

АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.3:656.1

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.45-57](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.45-57)**В.В. Аулін**, проф., д-р техн. наук, **А.В. Гриньків**, ст. досл., канд. техн. наук,**С.В. Лисенко**, доц., канд. техн. наук, **Д.В. Голуб**, доц., канд. техн. наук,**О.М. Лівіцький**, ст. наук. співр., канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна**e-mail: aulinvv@gmail.com*

Підвищення ефективності використання транспортних машин у агропромисловому виробництві узгодженням їх експлуатаційних характеристик та умов функціонування

В даній роботі розглянуто питання підвищення ефективності використання транспортних машин у агропромисловому виробництві узгодженням їх експлуатаційних характеристик та умов функціонування. Запропоновано підхід узгодження експлуатаційних характеристик машин з умовами функціонування, який базується на структурній та імітаційних моделях системи "транспортна машина-умови її функціонування". Пропонується ітераційне рішення імітаційної моделі з пошуком оптимальних параметрів. В якості інтегрального критерію ефективності використання транспортної машини на підприємстві агропромислового виробництва взято питому витрату палива на здійснення транспортної роботи. Специфічність умов експлуатації транспортних машин запропоновано характеризувати коефіцієнтом узгодженості, який відображає вплив умов функціонування на питому витрату палив при транспортних роботах. Узгодження характеристик транспортних машин з умовами функціонування, обґрунтування їх оптимальних конструкційних параметрів, проводили підбором параметрів трансмісії, що забезпечують покращення умов частковим демпфіруванням коливань навантаження. Представлені результати параметрів демпфіруючого вузла трансмісії автомобіля КамАЗ-4308 для різних режимів руху. Для цих умов проведені базові, теоретичні, експериментальні оцінки коефіцієнта узгодженості, а також дано рекомендовані режими руху транспортних машин при вивезенні зернових від комбайна для автомобілів КамАЗ-4308 та тракторних агрегатів МТЗ-82+2ПТС4.

ефективність, транспортна машина, агропромислове виробництво, експлуатаційні характеристики, структурна модель, імітаційна модель, коефіцієнт узгодженості, трансмісія

Постановка проблеми. На транспортні роботи в агропромисловому виробництві (АПВ) припадає до 35% витрат праці, до 40% вартості механізованих робіт, і навіть до 50% витрат енергії. При цьому до 30% перевезень у АПВ здійснюється тракторними агрегатами, до 70% – автомобілями, серед яких основну частку займають автомобілі загального призначення, які не завжди пристосовані до характерних для сільського господарства умов функціонування [1]. З урахуванням проблематики цього дослідження всі ці транспортні засоби класифіковані як "транспортні машини" (ТМ). Насьогодні існує низка проблем, пов'язаних із парком ТМ у АПВ: 54% тракторів перебувають у експлуатації понад 10 років, показник зносу вантажних автомобілів становить 60%. Безпеченість тракторами становить 73%, а забезпеченість автотранспортом – 58% [2]. При цьому до 50% нової техніки не відповідає технічним умовам щодо експлуатаційних характеристик. Таким чином, актуальною є проблема раціонального використання наявної техніки у АПВ та

створення нових ТМ, з урахуванням вимог сільськогосподарського виробництва. Одним із комплексних шляхів вирішення цієї проблеми є обґрунтування оптимальних конструкційних параметрів та режимів роботи ТМ на базі удосконаленої методики узгодження характеристик ТЗ з умовами функціонування, з використанням імітаційного математичного моделювання. Існуючі методики узгодження показників ТМ у АПВ з умовами їх функціонування завжди достатньою мірою враховують складну структуру системи "транспортна машина-умови функціонування". У той же час існує добре розроблений програмний інструментарій для розробки математичних моделей, що недостатньо широко застосовується для розрахунку машин, що експлуатуються і обслуговуються на підприємствах АПВ. Тому створення інструментарію, здатного охопити широке коло завдань узгодження параметрів ТМ з умовами їх функціонування на основі досягнень математичного моделювання є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сільськогосподарські роботи мають сезонний характер [3], а тому використання ТМ відбувається за обмеженого часу. Зі збільшенням розміру підприємств АПВ потрібні машини великої продуктивності, щоб розв'язати поставлені перед ними завдання під час відносно короткого проміжку часу. На відміну від промислових машин, амортизація яких може проходити за тисячі годин, використання ТМ у АПВ повинні окупатися за сотні годин експлуатації. Втрата оптимальних термінів використання ТМ при збиранні врожаю приводить до значних збитків з урахуванням обмеженості цього терміну [4,5]. ТМ мають бути зроблені з великою надійністю і мати високу ефективність, а тому правильний вибір ТМ і управління ними є безумовно важливим для її виробників і споживачів.

Згідно досліджень американських вчених [6], порядок вибору ТМ та управління їх ефективністю на підприємствах АПВ безпосередньо залежить від необхідного об'єму робіт, характеристики машин та їх продуктивності. Спочатку треба знати об'єм оброблювальних площ та види робіт, і визначити ефективність використання того або іншого типу машин для виконання конкретних видів робіт [7,8]. Потім ТМ підбираються за тяговими та показниками потужності. За цими показниками існують тільки мінімальні обмеження: з необхідним об'ємом робіт, наприклад, можуть справлятися трактори з більш потужними агрегатами, а їх використання в АПВ вимагає детального техніко-економічного обґрунтування [9,10]. Воно може бути зроблено на основі визначення повної вартості експлуатації машин, яка включає вартість використання і керування технічним станом машин [11-13].

При використанні ТМ на підприємствах АПВ основні витрати йдуть на паливо і оливу, технічне обслуговування і ремонт. Ці витрати корелюють з їх технічним станом [14,15]. Аналіз публікацій у цьому напрямку свідчать про те, що їх лінійне зростання при експлуатації не зовсім відповідає дійсності. Про це свідчать роботи [16,17] в яких йде мова про нелінійний характер зростання цих витрат. Окрім цього важливим чинником, що впливає на вартість використання машини, є її здатність виконувати необхідний об'єм робіт у встановленні терміни, що пов'язане з особливостями АПВ. Витрати при несвоєчасному виконанні робіт, можуть бути значними, що різко знижує ефективність використання малих машин, незважаючи на їх низьку вартість і експлуатаційні витрати.

Постановка завдання. Метою даної роботи є підвищення використання ТМ у АПВ на основі структурної та імітаційної моделей узгодженням конструктивних і експлуатаційних характеристик ТМ з умовами їх функціонування.

Виклад основного матеріалу. В роботі запропоновано підхід узгодження експлуатаційних характеристик ТМ з умовами функціонування, який базується на

структурній та імітаційній моделях досліджуваних систем "транспортна машина-умови її функціонування". Структура імітаційної моделі визначається структурою реальної ТМ, її експлуатаційними характеристиками: векторами вхідних впливів $\vec{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n\}$ і вихідних показників $\vec{Y} = \{y_1, y_2, \dots, y_{n-1}, y_n\}$.

Систему "транспортна машина-умови її функціонування" представлено у вигляді блок-схеми, в якій конкретизовано умови функціонування ТМ та її конструкційні і експлуатаційні характеристики, які введено в блок-схему узгодження характеристик ТМ з умовами функціонування представлено на рис.1. Відображено процес оптимізації, встановлюються параметри, що варіюються, і вводиться цільова функція. Після чого проводиться ітераційне рішення імітаційної моделі з пошуком оптимальних параметрів.

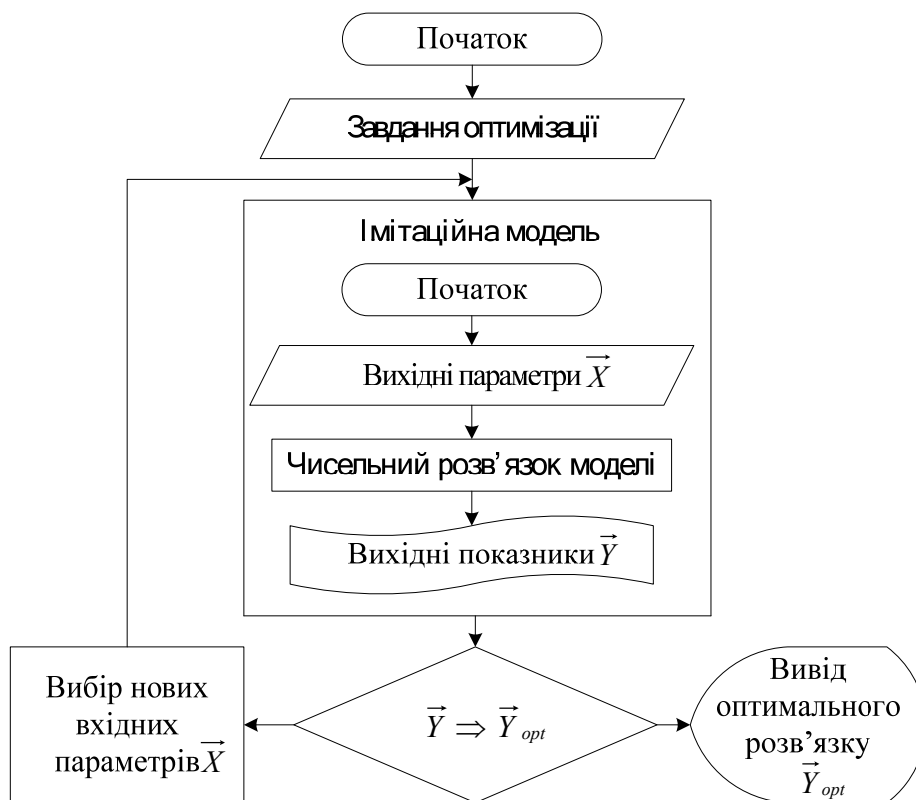


Рисунок 1 – Алгоритм розв'язання імітаційної та оптимізаційної моделей

Джерело: розроблено авторами

Розглянуто характеристики ТМ як динамічної системи, які є функціями перетворення вхідних параметрів у вихідні показники. Запропонована модель являє собою множину характеристик: погодинна витрата палива, потужність двигуна, крутний момент, експлуатаційна швидкість ТМ і т.д. В якості інтегрального критерію ефективності використання ТМ у підприємстві АПВ взято питому витрату палива на здійснення транспортної роботи (кг/100 т.км). Критерій пов'язує між собою дві важливі характеристики ТМ – погодинну витрату палива й продуктивність. За умови відсутності зміни зовнішнього навантаження погодинна витрата палива дорівнює:

$$B_{num} = 3,6k_{\kappa} g_{\kappa} \omega_{\kappa.в.}, \quad (1)$$

де $k_{\kappa} = i_{\delta} / (\pi \tau_{\delta})$, i_{δ} – число циліндрів двигуна;

τ_{δ} – тактність двигуна;

g_u – циклова подача, кг/цикл;

$\omega_{к.в.}$ – кутова швидкість колінчастого валу двигуна, рад/с.

Питома витрата палива істотно впливає на транспортну роботу і, з урахуванням відомих виразів для зв'язку циклової подачі палива з крутним моментом, має вигляд:

$$B_{num} = \frac{360 P_{\kappa} V_{теор}}{\eta_e \eta_m H_u V_{факт} M_{\epsilon}}, \quad (2)$$

де M_{ϵ} – маса вантажу, що перевозиться, т;

η_e – ефективний ККД;

η_m – ККД трансмісії;

H_u – нижчий рівень теплоти згоряння палива, Дж/кг;

$V_{теор}$, $V_{факт}$ – теоретична та фактична швидкість ТМ, відповідно, км/год.;

P_{κ} – дотична сила тяги, Н.

В умовах АПВ, з урахуванням (1) і (2) у режимах руху для одинично малої зміни навантаження зміна питомої витрати палива, дорівнює:

$$\Delta B_{num} = \frac{360 k_{\kappa} \Delta g_u \omega_{к.в.}}{\Delta V_{факт} M_{\epsilon}}, \quad (3)$$

де $\Delta g_u = g_{u0} + \bar{D}(\Delta z)$,

\bar{D} – вектор передавальних функцій ланок системи паливоподачі;

\bar{z} – вектор вхідних змінних.

У випадку $\bar{z} = (\alpha_{оупн}; h_{оупн}; \omega_{к.в.})$,

де $\alpha_{оупн}$ – положення органу управління подачею повітря (ОУПП);

$h_{оупн}$ – відносне положення органу управління подачею палива.

З урахуванням ієрархічної та блокової структури моделі циклова подача може бути визначена для дизелів з різним регулюванням. Опускаючи проміжні перетворення, величини другого порядку малості, вважаючи динамічний режим роботи ТМ як підсумування збільшень та зменшень навантажень, зміна середньої питомої витрати палива становить:

$$\Delta \bar{B}_{num} = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{360 k_{\kappa}}{t_{\kappa}} \sum_{t_0}^{t_{\kappa}} \frac{g_{u0} \Delta \omega_{к.в.} + D \omega_{к.в.0}(\Delta z)}{\Delta V_{факт} M_{\epsilon}}, \quad (4)$$

де (i, n) – кількість зменшень та збільшень навантажень у відповідності до кількості нерівностей на шляху ТМ, од.;

t_{κ} – час перебігу перехідного процесу, с.

Враховуючи специфічність умов експлуатації ТМ на підприємствах АПВ, введемо коефіцієнт узгодженості K_{num} , що відображає вплив умов функціонування ТМ на питому витрату палива при транспортних роботах:

$$K_{num} = (B_{num} + \Delta \bar{B}_{num}) / B_{num} = 1 + \Delta \bar{B}_{num} / B_{num}, \quad (5)$$

Коефіцієнт K_{num} враховує вплив характеристик двигуна, вантажу, що перевозиться та показника зовнішнього навантаження. З виразу (5) випливає, що у разі узгодженої роботи ТМ з умовами його функціонування $K_{num} \rightarrow \min$. З урахуванням попереднього, в математичній формі узгодження характеристик ТМ з умовами його

функціонування набуває вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} K_{num} = 1 + \frac{1}{nB_{num}} \sum_i^n \frac{360k_k}{t_k} \sum_{t_0}^{t_k} \frac{g_{y0} \Delta \omega_{к.в.} + D \omega_{к.в.0} (\Delta z)}{\Delta V_{факт} M_в}, \\ \frac{d(\Delta \omega_{к.в.})}{dt} = \frac{\Delta M_{кр} - \Delta M_{зч}}{J_\delta}, \\ \frac{d(\Delta V_{факт})}{dt} = \frac{\varphi_{зч} \Delta N \pm (M_{сп} + M_{ТЗ}) g \sin(\Delta \alpha) + f(M_{сп} + M_{ТЗ}) g \cos(\Delta \alpha_n)}{M_в + M_{ТЗ}}, \\ K_{num} \rightarrow \min \end{array} \right. \quad (6)$$

де J_δ – наведений момент інерції двигуна, кг·м²;

$M_{кр}$ – крутний момент, Нм;

$M_{зч}$ – приведений до двигуна момент на зчепленні, Нм;

$\varphi_{зч}$ – коефіцієнт зчеплення;

N – нормальна сила, Н;

$M_{ТЗ}$ – маса ТЗ, кг;

α_n – кут нахилу ТЗ, рад.

У виразі (6) $\Delta M_{кр}$ визначається наступним чином:

$$\Delta M_{кр} = \sum_{k=1}^m (\Delta M_{k.in\delta} \pm \Delta M_{k.in} - \Delta M_{k.m.n}), \quad (7)$$

де $k = \overline{1, m}$ – циліндри двигуна;

$M_{k.in\delta}$, $M_{k.in}$, $M_{k.m.n}$ – індикаторний момент, інерційний момент та момент механічних втрат k -го циліндра, Нм.

Розрахунок термомеханічного стану циліндрів двигуна базується на залежностях, що описують масову подачу повітря та палива в контрольні об'єми двигуна та його системи. Розрахунок моменту опору заснований на перетворенні моменту, з урахуванням характеристик трансмісії ТМ та зчеплення. При цьому динаміку трансмісії описує система виразів:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_i \dot{\omega}_i = \eta_i z_i M_{i-1} - M_{i+1} - k_i \theta_i - b_i (\omega_{i-1} - \omega_i), \\ \dot{\theta}_i = (\omega_{i-1} - \omega_i), \\ z_i = [i_1, i_2, \dots, i_x], \\ 0 < k_i \leq k_{ном}, \\ 0 < b_i \leq b_{ном}, \end{array} \right. \quad (8)$$

де J – момент інерції, кг·м²;

ω – кутова швидкість, рад/с;

z_i – передавальне число;

M – момент сили опору, Нм;

b – коефіцієнт демпфірування, Нмс/рад;

k – жорсткість, Нм/рад;

θ – кут закручування, рад; індекс i відноситься до i -го елемента трансмісії, $(i-1)$, $(i+1)$ – до попереднього та наступного елементів трансмісії, відповідно.

Алгоритм розрахунку сил опору на провідних колесах ТМ базується на відомих положеннях теорії трактора та автомобіля. Профіль поверхні руху розраховується з використанням апарату випадкових функцій на основі даних про ймовірні

характеристики типових умов руху ТМ у АПВ.

Математична модель погодження характеристик ТМ з умовами його функціонування була доповнена допоміжними залежностями, що визначають граничні умови роботи окремих підсистем ТМ, а також умови управління ними і переходів моделі з динамічного стану в інший стан. Графічне відображення імітаційної моделі у вигляді кривих функцій крутного моменту $M_{кр}(t)$, швидкості руху ТМ $V(t)$, питомої витрати палива $B_{num}(t)$, частоти обертання колінчатого валу $n_{кв}(t)$, відносного положення органу управління подачею палива $h_{оупн}(t)$ наведено на рис.2.

Графічне відображення динамічної зміни характеристик імітаційної моделі ТМ: $B_{num}(t)$, $V(t)$ і $\alpha(t)$ при збільшенні навантаження наведено на рис.3.

Розроблена імітаційна модель системи "ТМ-умови функціонування" дозволяє розраховувати характеристики ТМ та їх структурних елементів у часі для випадків часткових швидкісних і навантажувальних режимів та переходів між цими режимами при сумісному впливі зміни характеру навантаження та впливів оператора на органи управління машини.

Спільне рішення виразів (6)-(8), що відображують математичну модель системи "ТМ-умови функціонування" з її оптимізацією, дозволяє, варіюючи в даному випадку параметри паливopодачі, передавальні числа та конструкційні параметри трансмісії, а також інші параметри вектора \vec{X} вхідних дій ТМ та умов функціонування, дає можливість визначити оптимальні режими роботи ТМ за критерієм мінімізації питомої витрати палива K_{num} на транспортних роботах.

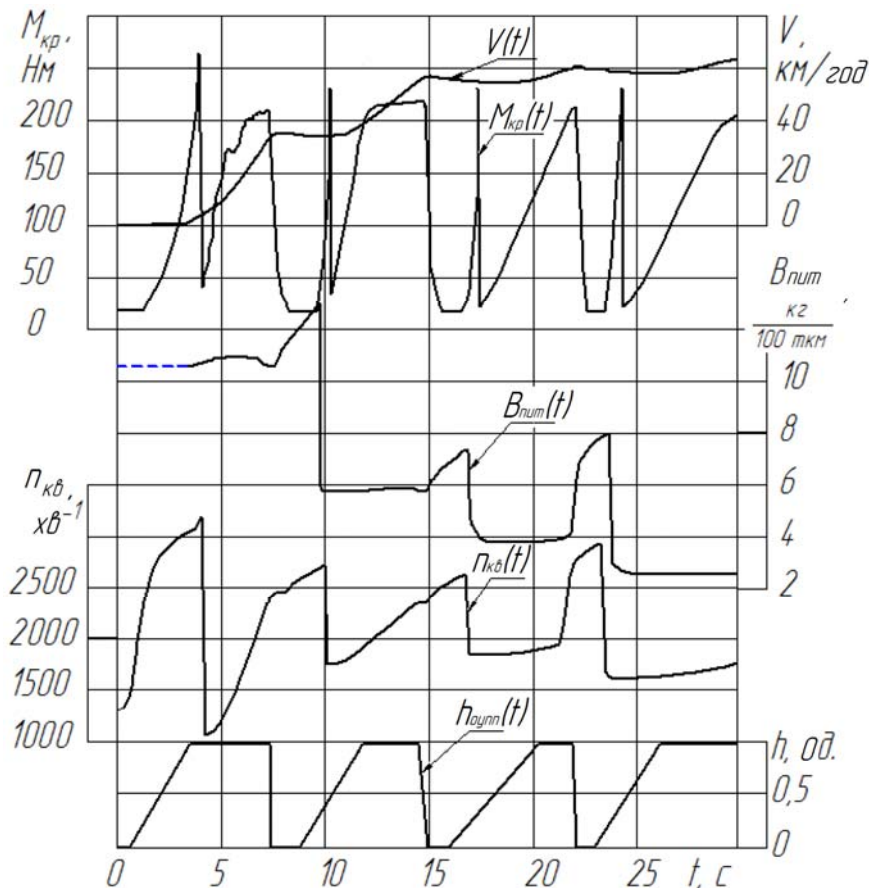


Рисунок 2 – Графічне відображення функцій характеристик імітаційного моделювання розгону Т3
Джерело: розроблено авторами

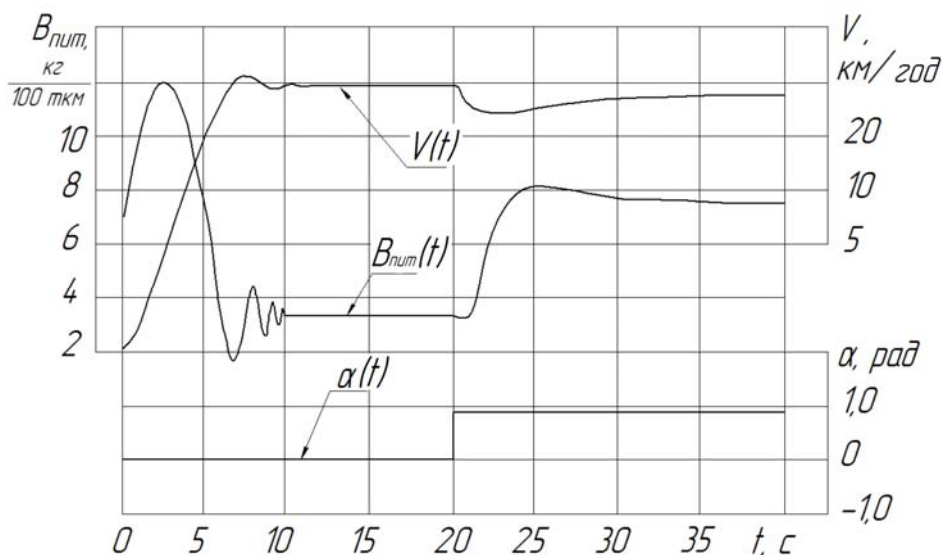
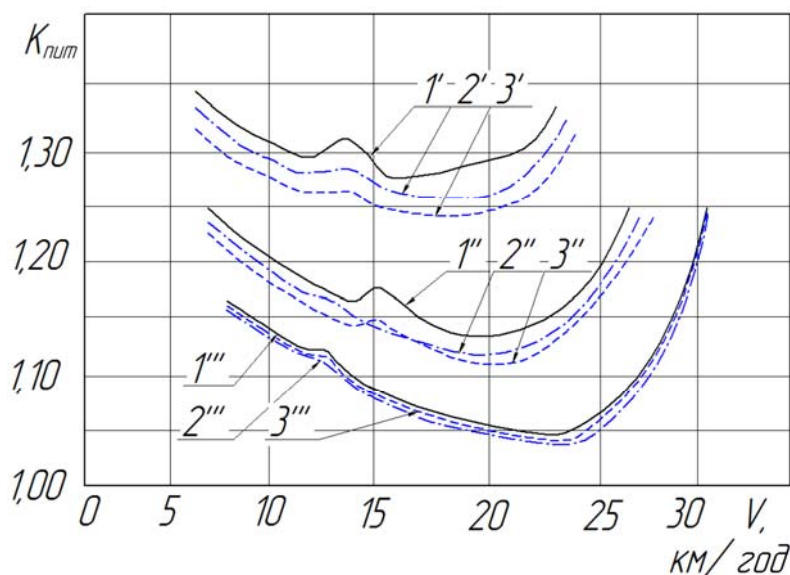


Рисунок 3 – Моделювання збільшення навантаження (зміна кута підйому дороги $\alpha(t)$) на ТМ
Джерело: розроблено авторами

Для двигунів з різними паливними системами зміна циклової подачі палива Δg_u визначалася як функція зміни положення дросельної заслінки (для бензинових ТМ), функція зміни положення важеля подачі палива (для дизельних ТМ) з урахуванням роботи компонентів системи автоматичного регулювання паливоподачі машини.

На рисунку 4 наведено приклад графічних залежностей K_{nut} від швидкості руху ТМ (автомобіль КамАЗ-4308), з яких можна визначити оптимальний швидкісний режим функціонування ТМ.



1 – при номінальних параметрах; 2 – з електронним керуванням ТМ; 3 – при демпфіруванні коливань моменту опору трансмісії; ' – при русі по стерні колосових; '' – під час руху ґрунтовою дорогою; ''' – при русі асфальтованою дорогою

Рисунок 4 – Зміна коефіцієнта питомої витрати палива K_{nut} від швидкісного режиму автомобіля КамАЗ-4308 на другій передачі

Джерело: розроблено авторами

Математична модель спільно з оптимізаційною на базі побудованого генетичного алгоритму була реалізована у вигляді використання пакетів прикладних програм на ПК. На основі отриманих даних розроблені рекомендації до конструкційних параметрів трансмісії ТМ, рекомендації операторам ТМ щодо управління системами паливо- та повітроподачі у ТМ для підтримки оптимальних швидкостей експлуатації. Для підтримки заданих режимів експлуатації ТМ у АПВ розроблено алгоритми управління органами регулювання паливоподачі двигунів. На відміну від поширеного методу пропорційно-інтегрально-диференціального регулювання запропоновані алгоритми, що базуються на теорії нечітких множин.

Дорожньо-польові дослідження проводили з використанням у якості ТМ, широко розповсюдженого на підприємствах АПВ автомобіля КамАЗ-4308. Проводився збір експериментальних даних оцінки адекватності математичної моделі та узгодження характеристик ТМ з умовами їх функціонування.

Статистична оцінка досліджуваних показників ТМ показала, що усереднені значення теоретичних та експериментальних даних для ТМ з дизелем автомобілів КамАЗ-4308 розходилися по крутному моменту, до 7,2%, за витратою повітря до 5,1%, за витратою палива до 3,6%, за частотою обертання колінчастого валу двигуна до 7,0%, за потужністю двигуна до 6,0%, за питомою витратою палива до 9,0%. Зазначене свідчить про хорошу збіжність теоретичних та експериментальних даних.

Узгодження характеристик ТМ з умовами функціонування, обґрунтуванням їх оптимальних конструкційних параметрів, проводили підбором параметрів трансмісії, що забезпечують покращення умов функціонування ТМ частковим демпфіруванням коливань навантаження. В якості характеристик демпфіруючих елементів взято крутильну жорсткість та коефіцієнт демпфірування. Результати досліджень представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Параметри демпфіруючого вузла трансмісії автомобіля КамАЗ-4308 для різних режимів руху

Тип поверхні руху	$M_{гр}$, кг	b , кНм/рад		c , Нмс/рад		B , кг/год		W , т-км/год							
		Базовий	Демпф.	Базовий	Демпф.	Базовий	Демпф.	Базовий	Демпф.						
Асфальт сухий	2500	27,53	20,51	5,72	2,93	11,56	11,19	145,35	150,80						
	5000									20,30	3,87	15,32	14,78	275,40	287,30
Ґрунтова дорога	2500									17,91	3,47	6,95	6,54	82,80	88,10
	5000									16,37	3,98	8,04	7,82	147,50	158,10
Поле по стерні	2500									15,90	3,50	5,62	5,38	51,50	55,10
	5000									14,57	4,20	6,05	5,74	92,55	99,40

Джерело: розроблено авторами

Для інших режимів раціональними параметрами є: жорсткість – 14,12...22,47 кНм/рад; коефіцієнт демпфірування – 7,22...2,04 Нмс/рад.

Проведені порівняльні дослідження коефіцієнта K_{num} для базових, теоретичних та експериментальних даних по демпфіруючому вузлі при русі автомобіля КамАЗ-4308 із навантаженням 5 т за різними типами поверхні руху представлені в табл. 2.

Визначено, що зниження величини K_{num} від базового варіанту для різних режимів склало від 3,1% до 14,2% для КамАЗ-4308 і від 5% до 18,5% – для МТЗ-82+2ПТС4 за рахунок переходу на режими з мінімальним питомим споживанням палива.

Таблиця 2 – Коефіцієнт узгодженості – вплив умов функціонування ТМ

Поверхня руху:	Коефіцієнт K_{num}		
	Базовий	Теоретичний	Експеримент
Асфальт	1,19	1,11	1,08
Ґрунтова укочена	1,27	1,17	1,21
Ґрунтова нерівна	1,38	1,20	1,23
Стерня колосових	1,44	1,29	1,35
Стерня кукурудзи (вздовж)	1,48	1,32	1,38
Стерня кукурудзи (поперек)	1,57	1,34	1,42
Бездоріжжя	1,61	1,40	1,46

Джерело: розроблено авторами

Експериментальні дослідження показали, що додаткове зниження K_{num} може становити від 1,1 до 10,5% для КамАЗ-4308 і від 2,3% до 14% – для МТЗ-82+2ПТС4 за рахунок зниження впливу перехідних процесів на витрату палива.

Для узгодження показників ТМ з умовами їх функціонування при оптимізації режимів роботи розроблено рекомендації ефективного використання ТМ на підприємствах АПВ у вигляді режимів руху ТМ під час вивезення зернових від комбайнів (табл.3).

Таблиця 3 – Рекомендовані режими руху ТМ при вивезенні зернових від комбайна за різних умов руху автомобілів КамАЗ-4308 та тракторних агрегатів МТЗ-82+2ПТС4

Поверхня руху	M_e , кг	$V_{баз}$, км/год	$V_{рек}$, км/год	Номер передачі	B_{num} , кг/(100 ткм)		
					Базовий	Рекоменд.	Експеримент
КамАЗ-4308							
Асфальт сухий	0	55...60	62	4	8,3...8,1	7,8	8,0
	5000	50...55	57	4			
Ґрунтова дорога	0	30...35	35	3	8,9...8,6	8,4	8,5
	5000	19...25	26	3			
Поле по стерні	0	20...26	24	3	11,0...10	10,1	9,8
	5000	15...19	19	3			
МТЗ-82+2ПТС4							
Асфальт сухий	0	30...34	34	9	10,0...9,5	9,5	9,7
	4000	12...16	17	8			
Ґрунтова дорога	0	15... 18	18	8	14,5...12,4	12,4	12,6
	4000	10...12	14	7			
Поле по стерні	0	13... 15	15	7	21,1...19,1	18,6	18,1
	4000	6...10	9	5			

Джерело: розроблено авторами

Визначено, що застосування рекомендованих конструкційних параметрів досліджуваних ТМ і умов їх використання дозволить, наприкладі, для автомобіля типу КамАЗ-4308 знизити витрату палива на одиницю транспортної роботи на 6,70...15,98%, а також підвищити продуктивність на 3,75...13,60%. Крім цього використання рекомендованих режимів руху ТМ дозволить знизити витрати пального на одиницю транспортної роботи на 3,61...8,18%.

Висновки.

1. Аналіз стану питання щодо ефективного використання ТМ у сільськогосподарському виробництві показав, що неузгодженість характеристик транспортних засобів з умовами АПВ призводить до перевитрати до 13...20% палива і зниження на 12...17% продуктивності транспортних машин. Виявлено, що машини здебільшого працюють на режимах, що не відповідають мінімальній питомій витраті палива, а існуючі методики розрахунку характеристик транспортних машин не враховують в повному обсязі жорсткої умови їх функціонування.

2. Запропонована методика узгоджує характеристики транспортних машин з умовами їх функціонування у АПВ на підставі коефіцієнта узгодженості з питомою витраті палива, що базується на системному та імітаційному підході з урахуванням конструктивних їх особливостей та характеру процесів, що відбуваються у ТМ.

3. Розроблено імітаційну модель системи "транспортна машина-умови функціонування", що дозволяє розраховувати характеристики транспортних засобів та зміни їх підсистем у часі для випадків часткових швидкісних та навантажувальних режимів та переходів між цими режимами при спільному впливі зміни характеру навантаження та впливі оператора на органи управління машини та проведені дорожньо-польові дослідження функціонування транспортних машин в умовах АПВ.

4. Дано рекомендації до швидкісних режимів транспортних засобів – автомобіля КамАЗ-4308 та машино-тракторного агрегату МТЗ-82+2ПТС-4 – в умовах функціонування, характерних для АПВ. Забезпечується відповідно до рекомендацій зниження питомої витрати палива на 3,61...8,18% для автомобіля та на 5,03...14,41% для тракторного агрегату, а отримані алгоритми управління органами регулювання можуть бути адаптовані до сучасної техніки, що використовується у АПВ.

Список літератури

1. Войтюк В. Д., Рубльов В. І., Роговський І. Л. Системні принципи забезпечення якості технічного сервісу сільськогосподарської техніки: монографія. Київ: НУБіП України, 2016. 360 с.
2. Сидорчук О. В., Кузьмінський Р. Д., Барабаш Р. І., Михалюк М. А. Обґрунтування виробничої структури пунктів технічного обслуговування тракторів ХТЗ. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2013. № 17. С. 54-64.
3. Козаченко О.В. Проблеми та перспективи розвитку технічного сервісу машин АПК. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2014. Вип. 145. С. 3-7.
4. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лівіцький О.М. Підвищення надійності мобільної та автотранспортної техніки сільськогосподарського виробництва на основі діагностики їх стану. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с.-г. техніки*: матеріали X Міжнар. наук.-практичної конференції. Кіровоград: КНТУ, 2015. С.163-164.
5. Аулін В.В., Лівіцький О.М., Жулай О.Ю. Стан проблеми підвищення ефективності технічного сервісу СГТ в нових умовах господарювання. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин*. 2007. Вип.37. С. 158-162.
6. Engineering Principles of Agricultural Machines, 2nd Edition Chapter 15 pp. 525-552 (Copyright 2006 American Society of Agricultural Engineers).
7. Полянский А.С. Повышение эксплуатационной надежности и эффективности использования сельскохозяйственной техники в машинно-технологических станциях (МТС) Харьковской области. *Сб. науч. тр. Х.: ХГТУСХ*, 2000. С.119-123.
8. Аулін В.В., Замота О.М. Економічне обґрунтування ефективності та рентабельності використання транспортних засобів на АТП. *Вісник інженерної академії України*. 2014. №3. С. 151-158.
9. Експлуатація машинно-тракторного парку в аграрному виробництві / В. Ю. Ільченко та ін.; за ред. В.Ю. Ільченка. К. : Урожай, 1993. 288 с.
10. Таценко О. В. Шляхи підвищення ефективності використання транспортних засобів в транспортних технологіях для аграрного виробництва на основі їх експлуатаційних властивостей. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матеріали III Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 01-26 листопада 2021 р.). Мелітополь:

- ТДАТУ, 2021. 473-477 с.
11. Dong Z, Zhao J, Duan J, Wang M and Wang H (2018). Research on agricultural machinery fault diagnosis system based on expert system. 2nd IEEE advanced information management, communicates, electronic and automation control conf. (IMCEC) (Xi'an: IEEE) pp 2057-2060.
 12. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. 370 с.
 13. Аулін В.В., Великодний Д.О. Методи формування системи транспортно-технологічного забезпечення в АПК. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення*: збірник наукових праць за матеріалами VIII-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 23-25 травня 2018р. Одеса: КУПРІСНКО СВ, 2018. С. 15-17.
 14. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної технологіями триботехнічного відновлення: монографія / Аулін В. В., Лисенко С. В., Кузик О. В. [та ін.]; за ред. В. В. Аулін. - Кропивницький : СПД ФО Лисенко В. Ф., 2016. 303 с.
 15. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В. та ін. Принципи побудови та функціонування кіберфізичної системи технічного сервісу автотранспортної та мобільної сільськогосподарської техніки. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2020. № 22. С. 162-174.
 16. Аулін В.В., Замота О.М. Теоретичні передумови формування собівартості перевезень при різних системах технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів. *Вісник інженерної академії України*. 2013. №2. С. 162-165.
 17. Андрійчук В. Г. Економіка підприємств агропромислового комплексу : підручник . К. : КНЕУ, 2013. 779 с.

References

1. Voitiuk, V.D., Rublov, V.I. & Rohovskyi, I.L. (2016). *Systemni pryntsypy zabezpechennia yakosti tekhnichnoho servisu silskohospodarskoi tekhniki* [Systemic principles of ensuring the quality of technical service of agricultural machinery]. Kyiv: NUBiP Ukrainy [in Ukrainian].
2. Sydorhuk O.V., Kuzminskyi R.D., Barabash R.I., Mykhaliuk M.A. (2013). Obgruntuvannia vyrobnychoi struktury punktiv tekhnichnoho obsluhovuvannia traktoriv KhTZ [Substantiation of the production structure of maintenance points for HTZ tractors]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: ahroinzhenereni doslidzhennia – Bulletin of Lviv National Agrarian University: agro-engineering research*, 17, 54-64 [in Ukrainian].
3. Kozachenko O.V. (2014). Problemy ta perspektyvy rozvytku tekhnichnoho servisu mashyn APK [Problems and prospects for the development of technical service of agricultural machinery]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka – Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture*, Vol. 145, 3-7 [in Ukrainian].
4. Aulin V.V., Hrynkyv A.V., Livitskyi O.M. (2015). Pidvyshchennia nadiinosti mobilnoi ta avtotransportnoi tekhniki silskohospodarskoho vyrobnytstva na osnovi diahnozyky yikh stanu [Improving the reliability of mobile and motor vehicles of agricultural production based on the diagnosis of their condition]. *Problems of design, production and operation of agriculture techniques: X Mizhnar. nauk.-praktychna konferentsia – X International Scientific-Practical Conference* (pp. 163-164). Kirovohrad: KNTU [in Ukrainian].
5. Aulin, V.V., Livitskyi, O.M. & Zhulai, O.Iu. (2007). Stan problemy pidvyshchennia efektyvnosti tekhnichnoho servisu SHT v novykh umovakh hospodariuvannia [The state of the problem of increasing the efficiency of technical service of HRT in the new economic conditions]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia s/h mashyn – Design, manufacture and operation of agricultural machinery*. Kirovohrad:KNTU, Issue.37, 158-162 [in Ukrainian].
6. Engineering Principles of Agricultural Machines, 2nd Edition Chapter 15 pp. 525-552 (Copyright 2006 American Society of Agricultural Engineers). [in English].
7. Polyanskiy, A.S. (2000). Povyshenie ekspluatatsionnoy nadezhnosti i effektivnosti ispolzovaniya selskohozyaystvennoy tekhniki v mashinno-technologicheskikh stantsiyah (MTS) Harkovskoy oblasti [Improving the operational reliability and efficiency of the use of agricultural machinery in machine-technological stations (MTS) of the Kharkiv region]. *Sb. nauch. tr. - Sat. scientific tr.* X.: HGTUSH, 119-123 [in Russian].

8. Aulin, V.V. & Zamota, O.M. (2014). Ekonomichne obgruntuvannia efektyvnosti ta rentabelnosti vykorystannia transportnykh zasobiv na ATP [Economic substantiation of the efficiency and profitability of using vehicles on the ATP]. *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy – Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*, 3, 151-158 [in Ukrainian].
9. Ilchenko, V.Yu., Karasov, P.I., Limont A.S. et al. (1993). *Ekspluatatsiia mashynno-traktornoho parku v ahrarnomu vyrobnytstvi [Operation of the machine and tractor fleet in agricultural production]*. V.Iu. Ilchenka (Ed.). Kyiv : Urozhai [in Ukrainian].
10. Tatsenko, O.V. (2021). Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti vykorystannia transportnykh zasobiv v transportnykh tekhnolohiiakh dlia ahrarnoho vyrobnytstva na osnovi yikh ekspluatatsiinykh vlastyvostei [Ways of increasing the efficiency of the use of vehicles in transport technologies for agricultural production based on their operational properties]. *Technical support of innovative technologies in the agro-industrial complex: International Scientific-Practical (Melitopol, 01-26 lystopada 2021 r.). – III Internet Conference Internet-Conference* (pp. 473-477). Melitopol: TDATU [in Ukrainian].
11. Dong, Z, Zhao, J, Duan, J, Wang, M & Wang, H. (2018). Research on agricultural machinery fault diagnosis system based on expert system. *2nd IEEE advanced information management, communicates, electronic and automation control conf. (IMCEC)* (Xi'an: IEEE). pp 2057-2060 [in English].
12. Aulin, V.V., Golub, D.V., Grinkiv, A.V. & Lisenko, S.V. (2017). *Metodologichni i teoretichni osnovi zabezpechennya ta pidvishennya nadiynosti funkcionuvannya avtomobilnih transportnih sistem: monografiya [Methodological and theoretical bases of maintenance and increase of reliability of functioning of automobile transport systems]*. Kropivnickij: Vidavnictvo TOV "KOD" [in Ukrainian].
13. Aulin, V.V. & Velykodnyi, D.O. (2018). Metody formuvannia cystemy transportno-tekhnolohichnoho zabezpechennia v APK [Methods of formation of the system of transport and technological support in the agro-industrial complex]. *Transport and logistics: problems and solutions: zbirnyk naukovykh prats za materialamy VIII-yi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii - a collection of scientific papers on the materials of the VIII International Scientific and Practical Conference*, 23-25 travnia 2018r. Odesa: KUPRIENKO SV, 15-17 [in Ukrainian].
14. Aulin, V.V., Lysenko, S.V., Kuzyk, O.V. et al. (2016). *Trybofizychni osnovy pidvyshchennia nadiynosti mobilnoi silskohospodarskoi ta avtotransportnoi tekhnolohiiamy trybotekhnichnoho vidnovlennia [Tribophysical basics of increasing the reliability of mobile agricultural and motor vehicle technologies of tribotechnical recovery]*. V. V. Aulin (Ed.). Kropyvnytskyi : SPD FO Lysenko V. F. [in Ukrainian].
15. Aulin, V.V., Hrynkiv, A.V., Lysenko, S.V. et al. (2020). Pryntsypy pobudovy ta funktsionuvannia kiberfizychnoi systemy tekhnichnoho servisu avtotransportnoi ta mobilnoi silskohospodarskoi tekhniky [Principles of construction and functioning of cyberphysical system of technical service of motor transport and mobile agricultural machinery]. *Tekhnichniy servis ahropromysloвого, lisovoho ta transportnoho kompleksiv – Technical service of agro-industrial, forest and transport complexes*. Kharkiv: KhNTUSH, 22, 162-174 [in Ukrainian].
16. Aulin, V.V. & Zamota, O.M. (2013). Teoretychni peredumovy formuvannia sobivartosti perevezen pry riznykh systemakh tekhnichnoho obsluhovuvannia i remontu transportnykh zasobiv [Theoretical prerequisites for the formation of the cost of transportation in different systems of maintenance and repair of vehicles]. *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy - Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*, 2, 162-165 [in Ukrainian].
17. Andriichuk, V.H. (2013). *Ekonomika pidpriemstv ahropromysloвого kompleksu : pidruchnyk [Economics of enterprises of the agro-industrial complex: textbook]*. Kyiv : KNEU [in Ukrainian].

Viktor Aulin, Prof., DSc., **Andrey Hrinkiv**, Senior Researcher, PhD tech. sci., **Serhii Lysenko**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Dmitro Holub**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksandr Livitskyi**, Ph.D., PhD tech. sci.
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Increasing the Efficiency of the Use of Transport Vehicles in Agro-industrial Production by Harmonizing their Operational Characteristics and Operating Conditions

This paper examines the issue of increasing the efficiency of the use of transport vehicles in agro-industrial production by harmonizing their operational characteristics and operating conditions.

The approach of matching the operational characteristics of machines with the conditions of operation is proposed, which is based on structural and simulation models of the "transport machine-conditions of its operation" system. An iterative solution of the simulation model with the search for optimal parameters is proposed. The specific fuel consumption for carrying out transport work is taken as an integral criterion for the efficiency of the use of a transport vehicle at an agro-industrial production enterprise. The specificity of the operating conditions of transport vehicles is proposed to be characterized by the consistency coefficient, which reflects the influence of operating conditions on the specific fuel consumption during transport operations. This coefficient takes into account the influence of the characteristics of the engine, cargo and external load. The

corresponding system of equations is given as a mathematical model, which was supplemented with auxiliary dependencies that determine the boundary conditions of the operation of individual subsystems of transport machines, their control conditions and transitions of the model from a dynamic state based on a simulation model, the characteristics of machines and their structural elements in time are calculated for cases of partial high-speed and loading modes and transitions between them.

Matching the characteristics of transport vehicles with the operating conditions, justifying their optimal design parameters, was carried out by selecting the transmission parameters, which ensure the improvement of conditions by partial damping of load fluctuations. The results of the parameters of the damping assembly of the transmission of the KamAZ-4308 car for different driving modes are presented. For these conditions, basic, theoretical, and experimental evaluations of the consistency coefficient were carried out, as well as recommended driving modes of transport vehicles when removing grain from the КамАЗ-4308 combine for cars and MT3-82+2ПТЦ4 tractor units.

efficiency, transport machine, agricultural production, operational characteristics, structural model, simulation model, consistency coefficient, transmission

Одержано (Received) 19.11.2022

Прорецензовано (Reviewed) 29.11.2022

Прийнято до друку (Approved) 29.12.2022

УДК 519.8

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.57-67](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.57-67)

Л.А. Тарандушка, доц., д-р техн. наук, **Н.Л. Костьян**, доц., канд. техн. наук,

І.П. Тарандушка, ст. викл., **С.С. Курко**

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна

e-mail: tarandushkal@ukr.net; 438knl@gmail.com; tarandushka@ukr.net, s.s.kurko.fktdm21@chdtu.edu.ua

Е.С. Клімов

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчуцьк, Україна

e-mail: edward.klimov@gmail.com

М.В. Мельниченко

Черкаський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України, м. Черкаси, Україна

e-mail: 24_kdtz@ukr.net

Методика визначення та розташування оптимальної кількості зарядних станцій для електротранспорту в населеному пункті

Досліджується проблема визначення оптимальної кількості та розташування зарядних станцій для електротранспорту в межах міста. Для вирішення цієї проблеми було визначено критерії, фактори та обмеження оптимального розміщення зарядних станцій. Так як задача включала в себе забезпечити комфортну експлуатацію електромобілів містянами до 2025 року, то була необхідність спрогнозувати кількість електромобілів, що будуть зареєстровані в місті Черкаси. Для цього було складено портрет потенційного споживача, визначено потенційні потужності ринку транспорту. Також було визначено ключові місця концентрації потенційних клієнтів, виконано підбір рівня зарядних станцій для електромобілів, що будуть забезпечувати їх експлуатацію в місті Черкаси та виконано розрахунок оптимальної кількості зарядних станцій для Південно-Західного району міста Черкаси.

електромобілі, зарядні станції, оптимальна кількість, розташування