

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ПОКАЗНИКІВ ДИНАМІЧНОСТІ ТА ПАЛИВООЩАДНОСТІ АТЗ З РОБОТИЗОВАНОЮ СХІДЧАСТОЮ ТРАНСМІСІЄЮ ЗА РІЗНИХ ДІАМЕТРІВ ЦИЛІНДРІВ ДВИГУНА

Гудз Г. С.¹, Глобчак М. В.¹, Пельо Р. А.¹, Коцюмбас О. Й.¹
Національний університет «Львівська політехніка»

Анотація. Наведено результати порівняльних досліджень показників динамічності та паливоощадності автотранспортного засобу категорії N₂, оснащеного двигуном з номінальними та ремонтними розмірами циліндрів. Для цього використано імітаційне моделювання руху автомобіля за наявності роботизованої східчастої коробки передач на їздових циклах, регламентованих стандартом.

Ключові слова: динамічність, паливоощадність, автотранспортний засіб, роботизована східчаста коробка передач, імітаційне моделювання.

Вступ

Спосіб ремонтних розмірів [1] регламентує збільшення діаметрів гільз циліндрів через виконання технологічних операцій (розточування і хонінгування), що спричиняють збільшення робочого об'єму двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), а це, у свою чергу, призведе до зміни характеристики ДВЗ, а отже, й показників динамічності та паливоощадності автотранспортного засобу (АТЗ) [2].

Враховуючи взаємообумовленість вищезазначених показників незначне підвищення динамічності АТЗ, може суттєво вплинути на зниження паливоощадності/екологічності, і навпаки [3].

Відтак, обґрунтування доцільності застосування ремонтних розмірів буде більш переконливим, якщо, по-перше, режими роботи ДВЗ при реалізації АТЗ випробувального циклу переважно належатимуть зовнішнім (форсованим); по-друге, робота трансмісії унікатиме явища переривання потоку потужності під час перемикання передач; по-третє, дотримання заданої програми руху є обов'язковою умовою [4].

Аналіз публікацій

Експлуатаційна придатність АТЗ залежить не лише від його потенційних можливостей, які закладені при його конструюванні, але й від того, як вони реалізуються в тих чи інших умовах [5].

Вплив різних чинників на експлуатаційні показники динамічності та паливоощадності АТЗ досліджувались у роботах [6-7], але вони передбачали використання традиційних східчастих коробок передач, тобто з перери-

ванням силового потоку в трансмісії під час перемикання. Задекларований в [6] принцип протиставлення вимог динамічності й паливоощадності підтримано, зокрема, й тому, що реалізація потенціалу АТЗ безпосередньо залежить від якості перехідних процесів у трансмісії під час перемикань.

Слід зазначити, що для трансмісії з розриванням силового потоку у статті [3] проведені аналітичні розрахунки паливоощадності АТЗ з дотриманням вимог стандарту ГОСТ 20306-90. Проте дані вимоги не завжди відповідають типовим програмам руху (міським, магістральним або змішаним). Отже, виникає певний інтерес проведення таких досліджень з метою виявлення рівня пристосованості до типових їздових циклів АТЗ, у складі якого розглядається система «ДВЗ - роботизована східчаста трансмісія» з використанням у ній ДВЗ з різними діаметрами циліндрів (Н-номінальними та Р-ремонтними).

Поширення в автомобільній техніці трансмісій з роботизованою механічною східчастою коробкою передач в своєму складі пояснюється раціональною її будовою, надійністю й довговічністю, вищим коефіцієнтом корисної дії (ККД), задовільним рівнем технології виробництва й порівняно низькою вартістю [8]. Проте, вагомою перевагою застосування роботизованих трансмісій є, - якість аналітичного моделювання і, як результат, адекватність оцінювання основних експлуатаційних показників АТЗ з ДВЗ з різними діаметрами циліндрів у типових умовах експлуатації [9].

Мета та постановка завдання

Метою даної роботи є порівняльна оцінка динамічності та паливоощадності АТЗ категорії N_2 з двома варіантами ДВЗ, що мають вищезазначені розміри.

Для досягнення поставленої мети проведено комп'ютерне моделювання руху АТЗ з досліджуваними ДВЗ, що дає можливість урахування як безперервного протікання силового потоку під час перемикання роботизованої східчастої коробки передач (РКПП), так і з перериванням потоку.

Особливості моделювання їздового циклу

Реалізація способу ремонтних розмірів циліндрів, без сумніву, вплине на динамічні та паливоощадні показники АТЗ та, цілком ймовірно, призведе до зміни характеристики ДВЗ. Проте, для ідентифікації цих показників аналітичними засобами доцільно застосувати роботизовану східчасту коробку передач.

Доцільність її застосування, на відміну від традиційної механічної, пояснюється, перш за все, покращеною динамікою розганяння, зокрема, за рахунок відсутності переривання силового потоку під час перемикань, а отже,

можливістю аналітично описати перехідні процеси.

Нині моделювання руху АТЗ утруднено у зв'язку з недостатньою базою кількісних оцінок і характеристик реальних умов експлуатації. Найважливіша методика моделювання типових маршрутів не враховує реальних взаємозв'язків між деякими складовими умов експлуатації (дорожніх, організаційно-технічних, кліматичних та транспортних чинників). Аналітичними засобами відтворити задекларовані програми руху АТЗ з будь якою трансмісією здебільшого будуть невдалими.

Їздовий цикл ГОСТ 20306-90 часто використовується для експериментальних досліджень паливоощадних і екологічних властивостей АТЗ категорій N_1 та N_2 . Імітаційне моделювання їздового циклу зручно проводити у програмному середовищі Matlab Simulink. Оскільки математична модель руху АТЗ в типовому їздовому циклі базується на достатньо простих математичних залежностях, то для її реалізації достатньо застосувати лише базові блоки, які доступні у згаданому програмному комплексі (рис.1).

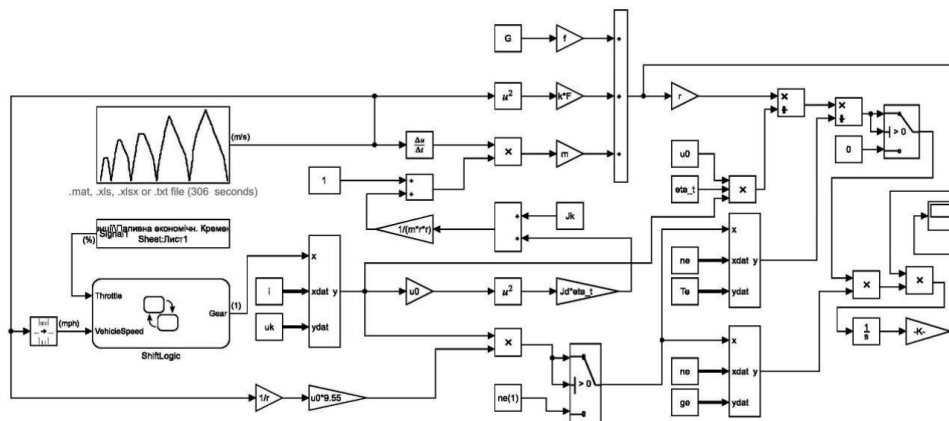


Рис. 1. Блок-схема програмного моделювання в Matlab Simulink

Динамічні та паливоощадні властивості АТЗ з роботизованою трансмісією можна реалізувати у повному обсязі, зокрема, обґрунтувавши режими перемикання передач впродовж розгону чи сповільнення АТЗ, навіть за умови дотримання заданої програми руху.

У статті [3] було розглянуто вплив зміни геометричних параметрів гільз циліндрів, отриманих внаслідок ремонту, на деякі експлуатаційні показники АТЗ, зокрема, на час руху та абсолютну витрату палива.

Суміщення характеристик роботи системи «двигун-роботизована трансмісія»

Переконатись у покращенні динамічних показників АТЗ оснащеного ДВЗ з ремонтними розмірами циліндрів можна лише за умови суворого дотримання заданої програми руху. Для цього програму руху обирає водій, керуючись умовами та обставинами руху, а автомат перемикань передач її не коректує. Загалом умова дотримання заданої програми руху під час перемикань має доволі простий вигляд. Для цього потрібно, щоб

прискорення АТЗ на суміжних k -й та $(k+1)$ -й передачах, належали одній і тій самій функції ($j(t) = dv(t)/dt$), тобто $j_k(t) = j_{k+1}(t)$. Проте, дотриматись умови $j_k(t_0) = j_{k+1}(t_0)$, де t_0 – мить перемикання передач, доволі важко. Для перехідних процесів у трансмісії АТЗ необхідний певний час τ . Мінімізація значення τ , без врахування наслідків такого перемикання, не може бути виправданою через ймовірність значних ударних навантажень [9]. Традиційно досліджують перехідні процеси в АТЗ з припущення виконання умови

$$j_k(t_0) = j_{k+1}(t_0 + \tau). \quad (1)$$

На еквівалентних режимах роботи ДВЗ на двох суміжних k -й та $(k+1)$ -й передачах (рис. 2) лінія $A-B-C-D-E-F$ унаочнює протікання режимів роботи ДВЗ під час реалізації фрагмента заданої програми руху $v = v(t)$.

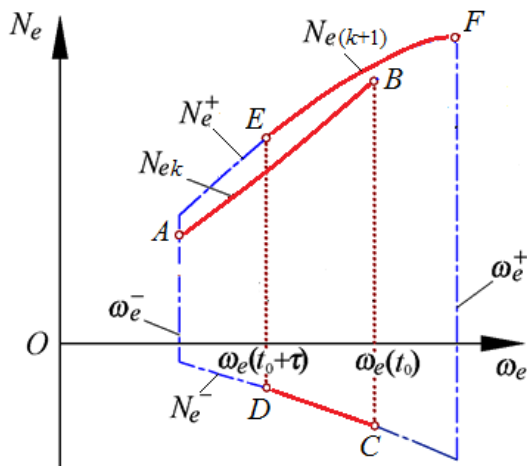


Рис. 2. Еквівалентні режими роботи ДВЗ на двох суміжних передачах

Відрізок $C-D$ (рис. 2) належить еквівалентним режимам роботи двигуна під час перемикання передач тривалістю τ роботизованої КПП без переривання силового потоку за оптимального значення коефіцієнта перекриття передач $K_n=0,5$ [10]. Згадана імітаційна модель дозволяє дослідити процеси динаміки АТЗ не лише за ранніх чи пізніх перемикань, а також різних значень тривалості перемикань τ .

Моделювання в Matlab Simulink перехідних процесів у роботизованій трансмісії автомобіля [10] на двох суміжних передачах

здійснювалось на основі динамічної моделі поданої на рис. 3 (Φ_k і Φ_{k+1} - фрикціони, що здійснюють перемикання; I_e - момент інерції мас трансмісії, пов'язаних з первинним валом коробки передач; I_a - момент інерції мас трансмісії між коробкою передач та головною передачею).

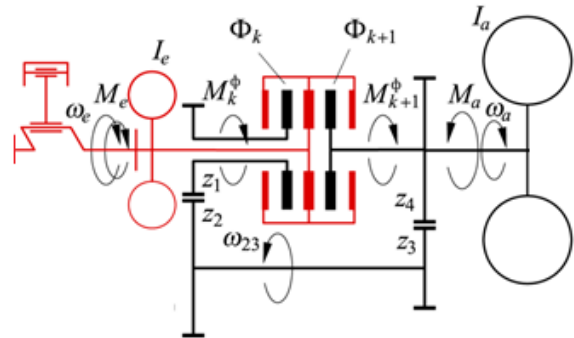


Рис. 3. Схема роботизованої трансмісії автомобіля з двох вищих сходинок

Відповідно до схеми, поданої на рис. 3 з системи рівнянь (2) і (3):

$$M_e - I_e \frac{d\omega_e}{dt} = M_k^\phi + M_{k+1}^\phi; \quad (2)$$

$$\frac{M_k^\phi}{u_k} + M_{k+1}^\phi = M_a, \quad (3)$$

впродовж перемикань тривалістю τ можна синтезувати значення обертових моментів M_k^ϕ і M_{k+1}^ϕ , створюваних фрикціонами Φ_k і Φ_{k+1} . У рівнянні (3) u_k - передатне відношення k -ої передачі. Зауважимо, що на рис. 3 $(k+1)$ -а передача пряма, тобто $u_{k+1}=1$.

Роботизовані трансмісії з достатньою кількістю сходинок передач загалом зменшують тривалість розганяння АТЗ до максимальної швидкості (чи інтервалу швидкостей) за умови використання форсованих режимів роботи ДВЗ.

Бажання збільшити кількість передач механічної трансмісії не завжди виправдано. Очікуваного покращення динаміки розганяння АТЗ може й не бути. Збільшення кількості передач трансмісії, передовсім, вимагає корекції характеристик ДВЗ. За певних обставин краще застосувати інший за характеристикою ДВЗ, ніж збільшувати кількість пере-

дач. Слід пам'ятати, що необгрунтоване збільшення сходинок передач у першу чергу збільшує кількість власне перемикачів, а отже, збільшує динамічні навантаження на неї.

Оцінка показників динамічності й паливоощадності

У таблиці 1 наведені результати імітаційного моделювання їздового циклу за ГОСТ 20306-90 АТЗ категорії N_2 з роботизованою трансмісією. Моделювання проводилось за умови повного використання потужності ДВЗ на ділянках розгону й, так званих, пізніх

перемикачів у трансмісії. З табл. 1 видно, що використання ДВЗ з ремонтними розмірами циліндрів (Р) має перевагу перед ДВЗ з номінальними (Н) за показником динамічності проходження ділянок циклу, проте, щодо паливоощадності, – перевага у ДВЗ з номінальним розміром циліндра.

Надавати перевагу пізнім перемикачам, з метою покращення динаміки розгону АТЗ до певної максимальної швидкості, слід за результатами окремих досліджень, поданих у таблиці 2.

Таблиця 1 – Результати моделювання руху АТЗ за різних діаметрів Н- та Р- розмірів

Ділянка	Швидкість на ділянці, v_i , км/год	Тривалість проходження ділянки t_i , с		Довжина ділянки s_i , м		Абсолютна витрата палива q_i , г	
		Н	Р	Н	Р	Н	Р
1	30	6,00	6,00	50	50	16,94	17,17
1-2	30-50	9,112	8,376	115,151	110,305	72,712	74,454
2	50	9,72	9,72	134,849	139,695	35,021	37,082
2-3	50-70	19,05	17,873	342,659	320,688	140,421	143,86
3	70	18,377	19,512	357,341	379,312	78,764	85,014
4	70-50	9	9	200	200	0	0
5	50	14,4	14,4	200	200	51,883	53,165
5-6	50-70	19,05	17,873	342,659	320,688	143,86	140,421
6	70	23,52	24,65	457,341	479,312	100,849	107,444
6-7	70-75	8,201	7,222	163,281	151,4	81,897	57,246
7	75	16,162	16,73	336,719	348,6	77,102	80,519
8	75-65	5	5	100	100	0	0
9	65	38,772	38,769	700	700	151,637	154,778
10	65-45	10	10	200	200	0	0
11	45	24,00	24,00	300	300	89,229	91,174
Всього		230,364	229,125	4000	4000	1040,315	1042,327

Таблиця 2 – Показники розгону АТЗ за різних режимів перемикачів

Розміри циліндрів ДВЗ	Шлях розгону, S_p , м		Тривалість розгону, T_p , с		Шляхова витрата палива розгону, Q_p^S , л/100 км	
	ранні	пізні	ранні	пізні	ранні	пізні
Номінальний	1368	1210	87,5	71,7	67,9	74,1
Ремонтний	1249	1101	80,8	66,1	51,9	63,1

Тут, як й у попередніх дослідженнях, парадигма про те, що динамічність і паливоощадність взаємообумовлені, знову підтверджується. Проте, більш динамічне розганяння АТЗ з ДВЗ після ремонту виявляється й більш ощадним. В обох випадках дотримання АТЗ заданої програми руху є сумнівним, оскільки ДВЗ з номінальними чи ремонтними розмірами циліндрів працює за зовнішньою характеристикою, а отже відтворює

відповідну програму руху.

Мінімізувати тривалість процесу переривання силового потоку можна завдяки організації роботи фрикційних зчеплень з перекриттям у часі. Даний процес характеризують значення коефіцієнта перекриття передач K_n . На рис. 4 наведені графіки розгону АТЗ, відповідно, з пізніми (1) та ранніми (2) перемикачами, для яких K_n знаходиться в межах 0,5–1,0 за різних діаметрів циліндрів.

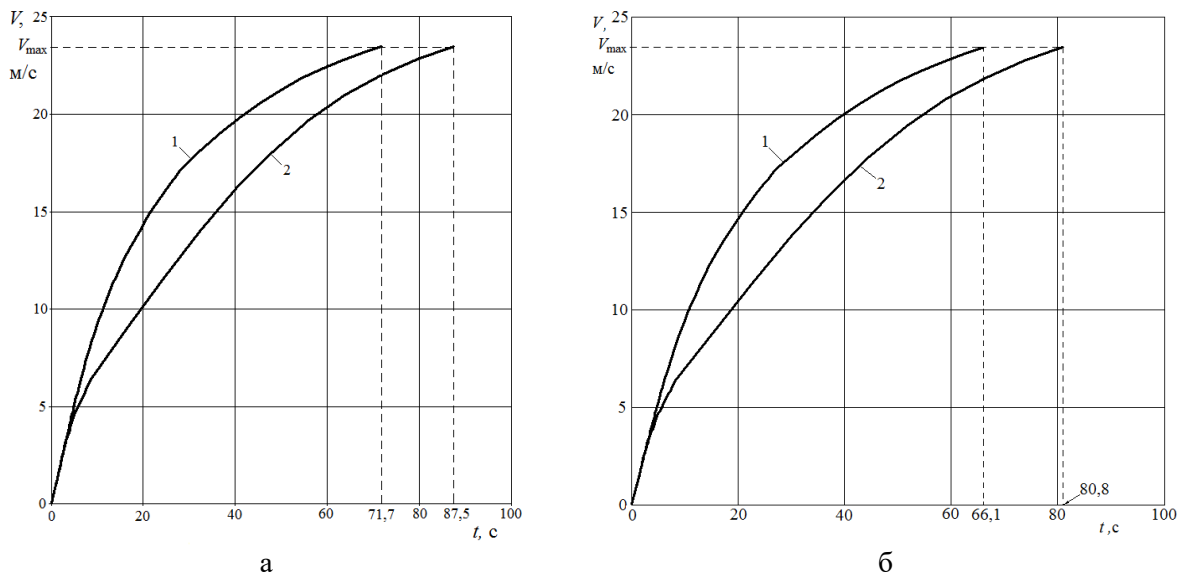


Рис. 4. Графіки розгону АТЗ з реалізацією пізніх (1) та ранніх (2) перемикач: а – номінальний розмір; б – ремонтний розмір

Висновки

Таким чином, результати досліджень показали, що залежно від вибору превалюючого показника (максимальна швидкість чи шляхова витрата палива), на нього в однаковій мірі впливає зміна діаметру циліндрів і типу РКПП.

За умови вибору кращої динаміки, доцільно застосовувати систему в складі «ДВЗ(Р)—РКПП($K_n=0,5$)». Реалізація даної умови забезпечить зменшення тривалості розганяння.

У випадку необхідності мінімізувати витрату палива, слід надати перевагу системі у складі «ДВЗ(Н)—РКПП($K_n=0,5$)». Проте, це призведе до збільшення тривалості розгону.

В обох випадках деяке відхилення від заданої програми руху АТЗ пояснюється особливостями аналітичного моделювання в типових циклах (програмах руху). Проте на адекватність моделювання це впливатиме не суттєво.

Література

1. Полянський О.С., Савченко Б.В., Байцур М.В. Технологія відновлення деталей та ремонту автомобілів. Харків: ХНАДУ, 2012. 320 с.
2. Гудз Г. С., Глобчак М. В., Коцюмбас О. Й. Вплив зміни розмірів ДВЗ на розгінні властивості автомобіля. Матеріали міжнар. симпоз. Укр. Інженерів-механіків у Львові. Львів, 2019. С. 65-67.
3. Гудз Г. С., Глобчак М. В., Коцюмбас О. Й., Пельо Р. А. Оцінка паливоощадності автомобіля внаслідок зміни розмірів циліндрів двигуна за наявності переривання силового потоку у трансмісії. Автомобільний транспорт.

2020. Вип. 46. С. 5–11.

4. ДСТУ UN/ECE R 83-05:2009 Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження кількісних транспортних засобів стосовно викидів забруднювальних речовин залежно від палива, необхідного для двигунів (Правила ЕЖ ООН № 83-05:2005, IDT).
5. Грубель М. Г. Багатофакторна оцінка та нормування паливної економічності вантажних автомобілів: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.22.02. Львів, 2008. С. 122.
6. Сахно В. П., Безбородова Г. Б., Маяк М. М., Шарай С. М. Автомобілі: Тягово-швидкісні властивості та паливна економічність. Київ, КВІЦ, 2004. 174 с.
7. Волков В. П., Вільський Г. Б. Теорія руху автомобіля: підручник. Суми: Університетська книга, 2010. 320 с.
8. Тарасик В. П., Рынкевич С. А. Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами: Монография. Минск: Технопринт, 2004. 512 с.
9. Тарасик В. П. Математическое моделирование технических систем: учебник. Минск: Новое знание, 2013. 584 с.
10. Пельо Р. А. Підвищення паливоощадності автотранспортного засобу формуванням раціональних законів та алгоритмів перемикачів передачі трансмісії: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.22.02. Львів, 2019. 105 с.

References

1. Polianskyi O. S., Savchenko B. V., Baitzur M. V. (2012) Tekhnolohiia vidnovlennia detalei ta remontu avtomobiliv [Technology of restoration of details and repair of cars] Kharkiv. KhNADU. [in Ukrainian]
2. Hudz G. S., Hlobchak M.V., Kotsjumbas O. I., (2019). Vpluv rosmiriv cylindriv DVZ na rozgin-

- ni vlastyivosti avtomobilia. [Impact of ICE cylinder dimensions changes upon the accelerating properties of the car]. *Mater. mizhnar. symp. ukr. inzh. mech u Lvovi*. Lviv. 65-67 [in Ukrainian].
3. Hudz H. S., Hlobchak M. V., Kotsiumbas O. Y., Pelo R. A. (2020). Otsinka palyvooshchadnosti avtomobilia vnaslidok zminy rozmiriv tsylindriv dvyhuna za naiavnosti rozryvu sylovoho potoku u transmisii [Evaluation of fuel efficiency of the car owing to change of engines cylinders dimensions under condition of force stream breaking in transmission] *Avtomobilnyi transport*. Kharkiv 46. 5–11. [in Ukrainian].
 4. DSTU UN/ECE R 83-05:2009 uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the emission of pollutants depending on the fuel required for engines (UN ECE regulations No. 83-05:2005, IDT). [in Ukrainian].
 5. Hrubel M. G. (2008). Bahatofakorna otsinka ta normuvannia palyvnoj ekonomichnosti vantazhych avtomobiliv [The multifactor evaluation of fuel economy standards trucks] : dis. na zdobuttia nauk. stup. k.t.n.: 05.22.02. Lviv, 2008. [in Ukrainian].
 6. Sakhno V.P., Bezborodova H.B., Maiak M.M., Sharai S.M. (2014) Avtomobili: Tiahovshvydkisni vlastyivosti ta palyvna ekonomichnist [Automobiles: Traction-speed characteristics and fuel efficiency] *Kvits*. Kyiv [in Ukrainian].
 7. Volkov V. P., Vil'skyi H.B. (2010) Teoriia rukhu avtomobilia [Car movement theory] *Univer-sytetska knyha*. Sumy. [in Ukrainian].
 8. Tarasik V. P., Rynkevich S. A. (2004) Intel'ektual'nye sistemy upravlenija avtotransportnyimi sredstvami [Intelligent vehicle control systems] *Monografija* [in Belarus].
 9. Tarasyk V. P. (2013) Matematycheskoe modelirovanye tekhnicheskikh system: uchebnyk [Mathematical modeling of technical systems: textbook] *Novoe znanye*. Mynsk [in Belarus].
 10. Pelo R. A. (2019) Pidvyshchennia palyvooshchadnosti avtotransportnoho zasobu formuvanniam ratsionalnykh zakoniv ta alhorytmiv peremykannia peredach transmisii [Increase of vehicle's fuel efficiency by formation of rational laws and algorithms of transmission gearshift]: dis. na zdobuttia nauk. stup. k.t.n.: 05.22.02. Lviv, 2019. [in Ukrainian].

Гудз Густав Стефанович¹, д.т.н., проф. каф. автомобільного транспорту; sgoodz@gmail.com; тел. 0505450960.

Глобчак Михайло Васильович¹, к.т.н., доцент, доцент каф. автомобільного транспорту, mykhailo.v.hlobchak@lpnu.ua, тел. 0972259100, orcid: 0000-0002-5742-9479.

Пельо Роман Андрійович¹, к.т.н., ст. викладач каф. автомобільного транспорту; pe-liorom70@gmail.com; тел. 0956329144; orcid: 0000-0002-9359-8931.

Коцюмбас Олег Йосифович¹, к.т.н., доцент каф. автомобільного транспорту, o.kotsjumbas@email.ua; тел. 0972602090; orcid: 0000-0002-6590-4022.

¹Національний університет «Львівська політехніка», вул. Ст. Бандери, 12, 79013, Львів.

Comparative evaluation of dynamics and fuel efficiency indicators of the car with robotic stepped transmission under condition of different diameters of engine cylinders

Abstract. Problem. Repair dimensions method regulates increment of cylinders by the means of mechanical treatment, which leads to increasing of working volume of the engine. This will cause a change of dynamics and fuel-efficiency indicators of the car with the certain type of transmission. **Goal.** The goal is to comparatively evaluate dynamism and fuel-efficiency of automotive vehicle category N2 with two options of engines, which have nominal and repair cylinder sizes. The riding cycle of the cars with robotic stepped gearbox was researched, that is without breaking of force stream while switching gears. **Methodology.** Imitative simulation of cars riding cycle, according to standard, was conducted with the help of Matlab Simulink software. Because of the fact that mathematical model of cars movement during mentioned cycle is based on elementary dependencies, for its realization the only basics available blocks of the software package were used. The flowchart is given in the paper. **Results.** Simulation of riding cycle of N₂ – category automotive vehicle with robotic gearbox was conducted at full engine's capacity while running-up. Obtained results have shown that engines with repairment sizes have advantage in dynamism indicators, engines with nominal cylinder sizes have advantages in fuel-efficiency. **Originality.** For obtaining of comparative evaluation of dynamics and fuel-efficiency indicators of the car with robotic gearbox with different engines, the imitation simulation of riding cycle, according to standards, was used with the help of Matlab Simulink software. **Practical value.** Application of the repairment sizes method upon the engine's cylinder liners has shown improvement of dynamics indicators of car with robotic transmission, which will improve its productivity under excessive engines work conditions.

Keywords: dynamics, fuel-efficiency, automotive vehicle, robotic stepped gearbox, imitative simulation.

Hudz Hustav¹, professor, doct.of Science, professor Motor Vehicle Transport Department, sgoodz@gmail.com, tel.+380505450960.

Hlobchak Mykhailo¹, assoc. prof. Ph.D, assoc. prof. Motor Vehicle Transport Department, mykhailo.v.hlobchak@lpnu.ua tel. +380972259100, orcid: 0000-0002-5742-9479.

Pelo Roman¹, assoc. prof. Ph.D, Senior Lecturer Motor Vehicle Transport Department, pe-liorom70@gmail.com tel. +380956329144, orcid: 0000-0002-9359-8931.

Kotsjumbas Oleg¹, assoc. prof. Ph.D, assoc. prof. Motor Vehicle Transport Department, o.kotsjumbas@email.ua, +380972602090, orcid: 0000-0002-6590-4022.

¹Lviv Polytechnic National University, st. S. Bandera, 12, 79013, Lviv.