

УДК 629.114.4-235.004

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ЗАЛЕЖНО ВІД СКЛАДУ ЦІЛЬОВОЇ ФУНКЦІЇ

*Сахно В.П., д.т.н, проф., Глінчук В.Н.,  
Національний транспортний університет,  
м. Київ, вул. Суворова, 1  
E-mail: [sakhno@ntu.edu.ua](mailto:sakhno@ntu.edu.ua)*

*Павленко А.В., к.т.н, доц., Павленко В.В., к.т.н, доц.,  
Кременчугський державний політехнічний університет імені Михайла  
Остроградського  
39614, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20  
E-mail: [avtotr@polytech.poltava.ua](mailto:avtotr@polytech.poltava.ua)*

Рассматриваются возможности многокритериальной оптимизации ряда передаточных чисел трансмиссий грузовых автомобилей разными алгоритмами с целью улучшения показателей топливной экономичности.

**Ключевые слова:** трансмиссия, ряд передаточных чисел, время разгона, расход топлива, оптимизация.

The article deals with multi-objective optimization of gear-ratio range with transmissions of lorries by means of different optimization algorithms aiming fuel efficiency indices improvement.

**Key words:** transmission, gear-ratio range, acceleration time, fuel rate, optimization.

**Вступ.** Конструкція автомобіля має бути найкращим чином пристосована до умов його експлуатації. Оцінити відповідність конструкції автомобіля конкретним умовам досить важко. Це пояснюється тим, що виконати таку оцінку за допомогою одного критерію неможливо. Оцінка виконується за цілим комплексом критеріїв. Але очевидно те, що показники паливної економічності завжди будуть включені до будь-якого комплексного оціночного критерію. Оскільки зрозуміло, що транспортна робота у будь-яких шляхових умовах має виконуватись з мінімальними витратами палива. На здатність виконувати транспортну роботу з певними ознаками якості та з мінімальною витратою палива впливають багато конструкційних чинників, у тому числі і закон побудови ряду передавальних чисел трансмісії.

**Мета роботи.** Оцінити кількісний вплив складу цільової функції на величину зміни вихідних оцінюючих показників автомобіля при оптимізації за різними алгоритмами.

У статті [1] було визначено перелік показників, що формує цільові функції до оптимізації ряду передавальних чисел трансмісії повноприводних вантажних автомобілів КрАЗ. Необхідно відмітити, що такі показники паливної економічності як витрата палива в міському та магістральному їздових циклах до цього переліку не входять. Але відомо, що показники, які характеризують швидкісні властивості та паливну економічність є насамперед пов'язаними один з одним, залежними один від одного, а також знаходяться в протилежному зв'язку. Відомо, що при покращенні, наприклад, показників паливної економічності (чи навіть одного – при однокритеріальній оптимізації) погіршуються показники швидкісних властивостей. Приблизний кількісний зв'язок цієї зміни був до-

ведений розрахунковими методами в роботі [3]. У складі функції цілі в більшості присутні показники, що оцінюють швидкісні властивості, а саме: час розгону до заданої швидкості  $t_p$  (згідно ГОСТ 20306-90), прискорення за час розгону  $J_p$ , довжина шляху  $S_p$ , що проїхав автомобіль за час розгону, кількість витраченого палива за час розгону  $Q_p$ , адитивний динамічний фактор  $D$  [4], середня витрата палива усталеного руху  $Q_v$  [2].

**Матеріал та результати досліджень.** Розглянемо, як вплинула оптимізація на витрату палива в магістральному їздовому циклі. Як видно з рис. 1 результативність оптимізації можливо розділити на чотири умовні групи за груповим розміщенням результатів розрахунків. Перша група – покращення значення показника складає 30-35 %, друга – 20-30 %, третя – 10-20 % і остання, четверта – від 5 до 10 %. На рис. 1 прийнято такі позначення:  $\diamond$  – квазі Ньютонівський метод;  $\square$  – модифікований метод Ньтона;  $\Delta$  – метод симплексу і  $\times$  – метод Хука-Дживса.

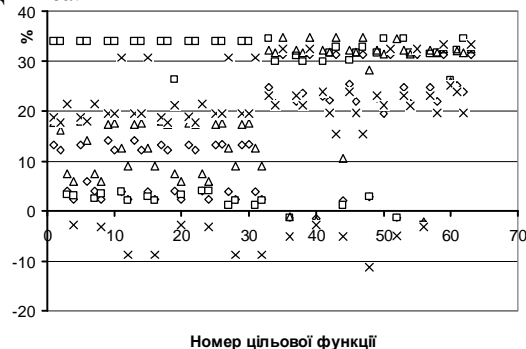


Рисунок 1 – Зміна витрати палива автомобіля КрАЗ 260 у міжміському їздовому циклі

Тепер розкладемо номери цільових функцій відповідно до їх розміщення з урахуванням методу оптимізації в табл. 1. Як видно з табл. 1 найбільший ефект досягається при застосуванні модифікованого методу Ньютона – найбільша кількість цільових функцій, при використанні яких витрата палива зменшується більш ніж на 30 %. У той же час найбільшу

чутливість до складу цільової функції виявив метод симплексу, і в другу чергу – метод Хука–Дживса.

Наступні цільові функції з першої групи зустрічаються в усіх чотирьох методах: 35, 39, 51, 55, 59, 63. Ці цільові функції побудовані на показниках, що відображені у табл. 2.

**Таблиця 1 – Розподіл цільових функцій, що дали позитивний результат оптимізації**

Група	Квазі Ньютонівський метод	Модифікований метод Ньютона	Метод симплексу	Метод Хука-Дживса
1, (30-35 %)	35, 39, 43, 47, 51, 55, 59, 63	1, 2, 5, 6, 9, 10, 13, 14, 17, 18, 21, 22, 25, 26, 29, 30, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 61, 62, 63	33, 34, 35, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 61, 62, 63	11, 15, 27, 31, 35, 39, 51, 55, 59, 63
2, (20-30 %)	33, 34, 37, 38, 41, 42, 45, 46, 49, 50, 53, 54, 57, 58, 60, 61, 62	19, 60	48, 60	3, 7, 19, 23, 33, 34, 37, 38, 41, 45, 49, 50, 53, 54, 57, 60, 61
3, (10-20 %)	1, 2, 5, 9, 10, 13, 14, 17, 18, 21, 22, 25, 26, 29, 30		1, 2, 5, 6, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 21, 22, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 44	1, 2, 5, 6, 9, 10, 13, 14, 17, 18, 21, 22, 25, 26, 29, 30, 42, 43, 46, 47, 58, 62
4, (5 - 10%)	6		3, 4, 7, 8, 12, 16, 19, 20, 23, 24, 28, 32	

**Таблиця 2 – Склад цільових функцій, які забезпечують найбільший відсоток зміни витрати палива в міськомуніципальному їздовому циклі**

Номер цільової функції	Показники у складі цільової функції	Відсоток зміни витрати палива			
		Квазі Ньютонівський метод	Модифікований метод Ньютона	Симплексу	Хука-Дживса
35	tp, Qp, Jp, D	31,188	32,1	34,58	32,3
39	tp, Jp, D	31,188	32,1	34,58	32,3
51	tp, Qp, Jp	31,188	32,2	32,25	32,3
55	tp, Jp	31,158	32,25	32,25	32,3
59	tp, Qp	31,28	32,7	32,45	33,27
63	tp	31,28	32,7	32,45	33,27

У таблицю 3 зведено результати зміни часу розгону автомобіля для цих же цільових функцій.

**Таблиця 3 – Зміна часу розгону**

Номер цільової функції	Відсоток зміни часу розгону			
	Квазі Ньютонівський метод	Модифікований метод Ньютона	Симплексу	Хука - Дживса
35	3,5	3,5	3,5	3,29
39	3,5	3,5	3,5	3,29
51	3,59	3,6	3,6	3,3
55	3,59	3,6	3,6	3,3
59	3,7	3,7	3,7	3,4
63	3,7	3,7	3,7	3,4

Як видно з табл. 3 суттєвої зміни часу розгону не відбулося, незважаючи на те, що функціонал 63 містить у собі тільки час розгону.

Необхідно відмітити, що зменшити витрату палива в міськомуніципальному їздовому циклі не вдалося взагалі, за винятком цільових функцій 43 і 47 для методу

Хука–Дживса (5,7 %). Оскільки похибка вимірювань при експериментальних випробуваннях складає 5 %, довести експериментально вказане покращення буде неможливо.

Необхідно відзначити, що зміна середньої швидкості в магістральному їздовому циклі автомобілів

КрАЗ 5131 ВЕ і КрАЗ 260 знаходиться в інтервалі 7 – 5 % і при використанні методу симплексу досягає 35 % (для КрАЗ 5131 ВЕ). Розташуємо в табл. 4 і 5

дані щодо поліпшення середньої швидкості автомобілів в залежності від складу цільової функції.

**Таблиця 4 – Поліпшення середньої швидкості КрАЗ 5131 в магістральному їздовому циклі**

Група	Квазі Ньютонівський метод	Модифікований метод Ньютону	Метод симплексу	Метод Хука-Дживса
1, (30-35 %)	–	–	2, 6, 18, 22	–
2, (20-30 %)	–	–		–
3, (10-20 %)	48	43, 48	3, 4, 7, 8, 10, 11, 14, 15, 19, 20, 23, 24, 26, 27, 30, 31, 44, 59, 63	11, 15, 27, 31
4, (5 - 10%)	36	47, 59, 63	12, 16, 28, 32, 43, 47	2, 3, 6, 7, 18, 19, 22, 23, 43, 47, 59, 63

**Таблиця 5 – Поліпшення середньої швидкості КрАЗ 260 магістральному їздовому циклі**

Група	Квазі Ньютонівський метод	Модифікований метод Ньютону	Симплексу	Хука-Дживса
1, (30-35 %)	–	–	–	–
2, (20-30 %)	–	–	–	–
3, (10-20 %)	33, 35, 38, 39, 41, 43, 45, 47, 49, 51, 53, 55, 57, 59, 60, 61, 63	1, 2, 5, 6, 9, 10, 13, 14, 17, 18, 19, 21, 22, 25, 26, 29, 30, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63	33, 34, 35, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63	11, 15, 27, 31, 33, 35, 37, 39, 41, 45, 49, 51, 53, 55, 57, 59, 60, 61, 63
4, (5 - 10%)	1, 2, 5, 9, 10, 13, 14, 17, 18, 21, 22, 25, 26, 29, 30	36, 52	1, 2, 5, 6, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 17, 18, 21, 22, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 36	1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 13, 14, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 25, 26, 29, 30, 34, 38, 42, 43, 46, 47, 50, 54, 58, 62

**Таблиця 6 – Зміна середньої швидкості в магістральному їздовому циклі**

Номер цільової функції	Показники у складі цільової функції	Відсоток зміни середньої швидкості			
		Квазі Ньютонівський метод	Модифікований метод Ньютону	Симплексу	Хука-Дживса
11	tp, Qp, D, Qv	4,0/3,3	4,0/3,3	18,79/5,5	13,47/14,2
27	tp, Qp, Qv	4,0/3,3	4,0/2,04	18,79/5,5	13,47/14,2
31	tp, Qv	4,0/3,3	4,0/2,04	18,79/5,5	13,47/14,2
33	tp, Sp, Qp, Jp, D	0,55/11,1	-8,6/16,14	-9,3/14,8	-8,7/10,3
35	tp, Qp, Jp, D	-33,55/18,8	-28,69/14,3	-1,54/16,1	-21,5/14,9
37	tp, Sp, Jp, D	0,55/9,8	-8,6/13,8	-9,3/14,8	-8,78/10,3
38	Sp, Jp, D	-0,57/10,6	-9,16/13,8	-9,7/14,5	-8,7/9,5
39	tp, Jp, D	-33,5/13,8	-28,7/14,3	-1,5/16,1	-21,5/14,9
41	tp, Sp, Qp, D	-0,77/10,23	-8,58/13,8	-9,4/14,8	-8,7/10,65
43	tp, Qp, D	-0,56/13,9	11,1/14,6	9,6/16,1	7,5/9,4
45	tp, Sp, D	0,7/11,3	-8,7/13,9	-9,3/14,8	-8,8/10,6
47	tp, D	-0,6/13,9	9,7/14,6	9,9/16,1	7,4/9,4
49	tp, Sp, Qp, Jp	-0,9/10	-8,6/14	-9,3/14,8	-8,7/10,3
51	tp, Qp, Jp	-32,29/13,8	-28,7/14,4	-1,5/14,4	-21,5/14,8
53	tp, Sp, Jp	0,5/11	-8,8/16,14	-9,5/14,8	-8,8/10,3
55	tp, Jp,	-32,29/13,8	-28,7/14,4	-1,5/14,4	-21,5/14,85
57	tp, Sp, Qp	-0,8/11	-8,8/13,9	-9,5/14,8	-8,8/10,3
59	tp, Qp	-0,5/13,9	7,6/14,6	10,4/14,5	9,6/15,4
60	Qp	-5,8/11,6	-7,6/11,6	-4,3/11,5	-3,1/11
61	tp, Sp	-0,3/11,2	-8,4/14,9	-9,4/14,7	-8,7/10,6
63	tp	-0,5/13,8	7,3/14,65	10,3/14,5	9,5/15,4

З табл. 4 і 5 видно, що метод симплексу має найбільшу ефективність, другим можна вважати метод Хука-Дживса і модифікований метод Ньютону.

При цьому середня швидкість руху в магістральному їздовому циклі зростає на 10 – 20 %. У табл. 6 зібрані цільові функції та методи оптимізації, що дали позитивний результат (у чисельнику дані для КрАЗ 5131BE, у знаменнику – КрАЗ 260).

Найменший відсоток покращення середньої швидкості в магістральному їздовому циклі отримано при включенні до складу цільової функції показника, що характеризує паливну економічність усталеного руху (11, 27, 31), що видно з даних табл. 6. Відсоток покращення середньої швидкості незначною мірою залежить від складу цільової функції,

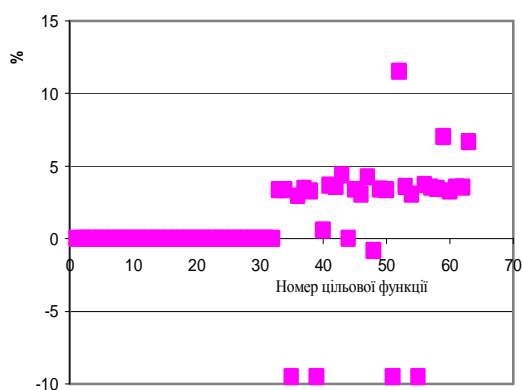


Рисунок 2 – Зміна середньої швидкості в міському їздовому циклі КрАЗ 5131BE при оптимізації за модифікованим методом Ньютону

З прикладу, що наведено на рис. 2 і 3, можна зробити висновок, що навіть при оптимізації за однаковими критеріями різні алгоритми досить часто дають різні результати.

коливання його значення знаходиться в межах 2%. Характерним для цього випадку є закономірність, що видно з результатів розрахунку за цільовими функціями 43, 47, 59, 63. Тобто включення до цільової функції додаткових показників (Qp, D) не дає жодних переваг перед однокритеріальною оптимізацією за одним критерієм – час розгону. Додавання інших показників до цільової функції нічого не змінює і є недоцільним.

Розглянемо, як вплинула оптимізація на середню швидкість у міському їздовому циклі. Зміна середньої швидкості автомобіля КрАЗ 260 не перевищує 5%, тому дані, що стосуються цього автомобіля, розглядатися не будуть. Дані, щодо автомобіля КрАЗ 5131BE, (рис. 2, 3) зведено до табл. 7.



Рисунок 3 – Зміна середньої швидкості в міському їздовому циклі КрАЗ 5131BE при оптимізації за методом симплексу

Проте у деяких випадках різні алгоритми пошуку оптимального рішення дають однакові результати, і, навіть, виявляються малочутливими до зміни складу цільової функції, табл. 2, 3, 6, 7.

Таблиця 7 – Зміна середньої швидкості в міському їздовому циклі КрАЗ 5131BE

Номер цільової функції	Показники у складі цільової функції	Відсоток зміни середньої швидкості		
		Модифікований метод Ньютону	Симплексу	Хука - Дживса
1	2	3	4	5
1	tp, Sp, Qp, Jp, D, Qv	–	5,38	–
5	tp, Sp, Jp, D, Qv	–	5,38	–
9	tp, Sp, Qp, D, Qv	–	5,18	–
13	tp, Sp, D, Qv	–	5,18	–
17	tp, Sp, Qp, Jp, Qv	–	5,38	–
21	tp, Sp, Jp, Qv	–	5,38	–
25	tp, Sp, Qp, Qv	–	5,59	–
29	tp, Sp, Qv	–	5,59	–
43	tp, Qp, D	–	9,95	–
44	Qp, D	–	–	5,8
47	tp, D	–	9,95	–
52	Qp, Jp	11,53	–	–
59	tp, Qp	7,04	11,3	10,8
63	tp	6,68	11,3	10,96

Як видно з табл. 6, 7, велика кількість показників у складі функції цілі не є запорукою значного покращення швидкісних параметрів взагалі і середньої швидкості в міському їздовому циклі в конкретному випадку. Найбільший відсоток збільшення середньої швидкості має місце при використанні часу розгону і витрати палива за час розгону у складі цільової функції 59. Але майже такий результат можна отримати і при однокритеріальній оптимізації за критерієм часу розгону.

**Висновки.**

1. Суттєво покращити час розгону повноприводних автомобілів не вдалося будь-яким методом за будь якої цільової функції.

2. Найкращим чином покращити паливну економічність у магістральному їздовому циклі дає можливість модифікований метод Ньютона та метод симплексу. Очікуване покращення цього показника знаходиться в межах 30-35 %.

3. Найбільша зміна витрати палива в магістральному їздовому циклі має місце при застосуванні в складі цільової функції часу розгону, прискорення під час розгону та динамічного фактора. Але при використанні тільки часу розгону різниця складає всього 2 відсотка, що є несуттєвою різницею. Тому вважаємо доцільним у більшості випадків обмежитися тільки одним показником – часом розгону.

4. Найкращий результат при покращенні середньої швидкості в магістральному їздовому циклі досягається при використанні у цільовій функції часу розгону, довжини шляху розгону та прискорення під час розгону.

5. Використання модифікованого методу Ньютона і симплексу однаковим чином впливають на середню швидкість руху в магістральному їздовому циклі.

6. Помітно впливають на середню швидкість у міському їздовому циклі час розгону, або одночасне використання у складі функції цілі часу розгону і витрати палива за час розгону.

7. Алгоритм симплексу найбільшим чином впливає на середню швидкість у міському їздовому циклі.

Загалом можна стверджувати, що для покращення швидкісних властивостей і паливної економічності повноприводних автомобілів доцільно використовувати метод симплексу чи модифікований метод Ньютона, і в більшості випадків обмежитися використанням часу розгону як критерія оптимальності.

**ЛІТЕРАТУРА**

1. Павленко А.В., Павленко В.В. Методика анализа возможности применения численных методов оптимизации ряда передаточных чисел трансмиссии автомобилей // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук КДПУ, 2005.- Вип. 5(34). – С. 71-76.

2. Павленко А.В., Павленко В.В. Зависимость расхода топлива автомобиля в установленном движении от числа ступеней трансмиссии // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук КДПУ, 2003.-Вип. 2(19), Т. 3. – С. 123-125.

3. Сахно В.П., Павленко А.В., Горбаха М.М. Анализ применения методов оптимизации передаточных чисел трансмиссии грузового автомобиля повышенной проходимости // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук КДПУ, 2004. - Вип 4(28). – С. 123-127.

4. Павленко А.В., Павленко В.В. Оптимизация числа передач трансмиссии автомобилей по условию получения максимальных скоростных свойств // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук КДПУ, 2003. - Вип. 4(21). – С. 89-91.

Стаття надійшла 17.04.2008.

Рекомендована до друку д.т.н., проф.  
Солтусом А.П.