

© Л. В. Крайник, докт. техн. наук, професор,
 ORCID: 0000-0002-0524-9126,
 e-mail: l.kraynyk@gmail.com
 (АТ «Укравтобуспром»)
 © Г. А. Худавердян, аспірант,
 ORCID: 0000-0001-5257-458,
 e-mail: georgiu.kh@gmail.com
 (Львівський національний університет
 природокористування)

© Lubomyr Krainyk, Doctor of Technical Sciences,
 Professor, ORCID: 0000-0002-0524-9126,
 e-mail: l.kraynyk@gmail.com
 (JSC "Ukratobusprom")
 © Heorhii Khudaverdian, Postgraduate Student,
 ORCID: 0000-0001-5257-458,
 e-mail: georgiu.kh@gmail.com
 (Lviv National Environmental University)

ФОРМУВАННЯ ПЕРЕДАВАЛЬНОГО ДІАПАЗОНУ ТРАНСМІСІЇ УНІВЕРСАЛЬНОГО КОЛІСНОГО ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

FORMATION OF THE TRANSMISSION GEAR RANGE OF A UNIVERSAL WHEEL TRACTION VEHICLE

Анотація. Опрацьовано методику визначення передавального діапазону трансмісії універсального колісного тягово-транспортного засобу – УКТТЗ (типу Unimog/Автотрак) категорій N1/T1 з умов як транспортних функцій на автодорогах, так і технологічних в умовах бездоріжжя, зокрема механічного обробітку землі. З використанням агрегатної бази важкого джипа розробки АТ «Укравтобуспром», класу Oshkosh L-ATV, опрацьовано авант-проект УКТТЗ ТУР КТ 041 з напівкапотною компоновкою кабіни на 3 особи, вантажної платформи на 1, 2 т (або забудови під технологічне обладнання) та системи причіпного/навісного обладнання. З умов максимальної уніфікації агрегатів силового приводу – двигуна, базової механічної коробки передач та головних передач опрацьовано методику розрахунку передавального числа понижуючої передачі роздавальної коробки під виконання технологічних операцій. Під найбільш енергозатратну з них – оранку плугом сільськогосподарських угідь – представлено методику розрахунку з орієнтацією на певний клас тяги на гаку (тут 1,4 т) в умовах стандартизованого агрофону для колісних тракторів. Проведено оцінку адекватності методики шляхом співставлення результатів імітаційного моделювання процесу оранки у програмному середовищі MATLAB Simulink та експериментальних даних на прикладі колісного трактора Т 150К.

Ключові слова: автомобіль, колісний трактор, бездоріжжя, асфальтобетон, вантажні перевезення, механічний обробіток землі, трансмісія, передавальний діапазон.

Abstract. The method of determining the transmission mode of the universal wheeled traction and transport vehicle – UWTTV (Unimog/Autotrak type) of category N1/T1 has been developed from the conditions of both transport functions on highways and technological functions in off-road conditions, including mechanical tillage. Using the aggregate base of a heavy jeep developed by JSC "Ukratobusprom", class Oshkosh L-ATV, the avant-project of UWTTV TUR KT 041 with a semi-hooded cabin layout for 3 people, a cargo platform for 1.2 tons (or a building for technological equipment) and a system of trailed / mounted equipment has been developed. From the conditions of maximum unification of power drive units – engine, basic mechanical gearbox and main gears, the method of calculating the gear ratio, which reduces the transfer case transmission for performing technological operations, has been developed. For the most energy-intensive of them – plowing of agricultural land with a plow – a calculation method is presented with an orientation to a certain class of traction on the hook (here 1.4 t) in the conditions of a standardized agricultural background for wheeled tractors. The adequacy of the method is assessed by comparing the results of simulation modeling of the plowing process in the MATLAB Simulink software environment and experimental data using the example of a T 150K wheeled tractor.

Keywords: car, wheeled tractor, off-road, asphalt concrete, freight transportation, mechanical tillage, transmission, transmission range.

Вступ

Розвиток малого і середнього фермерства, комунальних господарств територіальних громад і т. п. обумовлює потребу у малотоннажній повнопривідній автотехніці,

рівно ж як і у колісних тракторах класів тяги 0,6-1,4, власне виробництво яких в Україні відсутнє. У цьому плані актуальним є досвід повоєнної ФРН із появою універсальної машини MB Unimog [1], що поєднує в собі функції малої вантажівки та трактора з повним

приводом під відродження аграрного сектора та з подальшим значним розширенням сфер використання – від комунально-дорожньої до військової. Використання і власне виробництво машин такого типу – універсальних колісних тягово-транспортних засобів (УКТТЗ)/ Автотрак характерне і для Італії, Австрії, КНР, Туреччини (рис. 1). З кінця 1980-х і до початку 2000-х років виробництво було і в Чехословаччині – завод Прага. Однак внаслідок проблем збуту основного, агрегатного виробництва, припинилось (рис. 2) [2]. В часи СРСР питання УКТТЗ теж розглядалось [3], але реалій почало набувати вже у пострадянський період – поява на ХТЗ мод. 3130 [4] та в Білорусі – МТЗ ШУ356 [5]. Звично, що ці моделі базувались на уже наявних на тракторних заводах агрегатних базах, тракторних шинах і дисках з обмеженням швидкості руху до 40–45 км/год і були віддалені від базової ідеї – поєднання функцій вантажного автомобіля і колісного трактора. В рф відомо 8 проектів машин цього класу, серед них і ЗІЛ (банкрутство), але 2 проекти все-таки реалізовані у промисловому виробництві [6].

Актуальність машини такого типу – «автомобіль-трактор», скорочено «автотрак», підтверджена і в Україні [7, 8 тощо]. Реалії сьогодення і роботи АТ «Укравтобуспром» з важким військовим джипом класу Oshkosh L-ATV та ударними легкими автомобілями переднього краю «Мамай-2» обумовили можливість конвертації агрегатної бази у напівкапотну схему з вантажним кузовом на 1,2 т повною масою до 3,5 т (власне з умов доступності керування з посвідченням водія категорії В), **рис. 3** [6].

Звично, що зміна цільової сфери використання в аспекті виконання і механічного обробітку землі та робіт у дорожній і



Рис. 1. Unimog U5000 – у версії військової 4-тонної вантажівки з довгою колісною базою [1]



Рис. 2. Praga UV 80 – тут з аграрним оприскувачем [2]

комунальній сферах зумовила перегляд і внесення відповідних коректив, не тільки загальної компоновки, але і силового приводу, насамперед зміщення нижнього тягового діапазону трансмісії у зону звичних в агротехнологіях робочих швидкостей.

Основна частина

Формування діапазону передавальних чисел механічної трансмісії УКТТЗ, зрештою як і автомобіля чи трактора, базується на уже попередньо визначених характеристиках двигуна та типорозміру шин ведучих коліс. З умов

ність дисків коліс є у діапазоні від 16 до 20” дюймів. Опрацьована в часі СРСР методика вибору шин для технологічних операцій обробітку ґрунту у вищезазначеному діапазоні повної маси трактора базується на звичній задньопривідній схемі і, відповідно, формує вимоги великого, типово тракторного типорозміру задніх ведучих шин, що є неприйнятним для нашого випадку [11]. Перехід на повнопривідну схему 4x4 з відповідним збільшенням зчпної ваги до 3,5 т з умов реалізації певного класу тяги, а також діаметра коліс схеми 4x4, що для класу тяги 1,4 уже стає близьким до типорозмірів автомобільних шин для бездоріжжя (біля 1 м, майже вдвічі менше порівняно зі звичними задньопривідними МТЗ 80 того ж класу тяги). У табл. 1 представлені базові характеристики автомобільних шин підвищеної прохідності вітчизняного виробництва, оцінка ефективності яких на технологічних операціях обро-

бітку ґрунту дозволила взяти за основу власне типорозмір R18 (ГАЗ 66, БТР 4Е), що із запасом за допустимим навантаженням (табл. 1) та індексом швидкості (К – до 110 км/год). Зрештою цей типорозмір шин є визначеним і для проекту важкого джипа. Як альтернативний варіант можливий розгляд і шин дещо більшої розмірності R20 (ЗиЛ 131 і ін.), щоправда зі значно більшим запасом допустимого навантаження. Загалом ці ж шини відповідають і вимогам щодо шин з умов руху транспортних засобів бездоріжжям [11]. Подальшу структуру і послідовність тягового розрахунку – методики визначення необхідних передавальних чисел трансмісії можна представити у вигляді поетапного підбору – розрахунку з можливістю повернення і внесення змін у попередні етапи при отриманні незадовільного результату на поточному.

Таблиця 1

Характеристики автомобільних шин підвищеної прохідності

Умовне позначення	Радіус ко-чення, м	Ширина профіля, м	Допустиме навантаження, кг	Маса шини, кг	Маса колеса в зборі, кг
320/80R18	0.484	0.32	1600	56,4	96.4
365/90R18	0.557	0.365	1850	78	118
365/80R20	0.546	0.365	3550	75	114

1. Задання проектних характеристик двигуна, вагових і розмірних характеристик КТТЗ, характеристик опорних поверхонь, базових транспортних і технологічних операцій

2. Визначення типорозміру шин з умов прохідності, навантаження, індексу швидкості

3. Розрахунок сумарного передавального числа з умов реалізації сили зчеплення шин з ґрунтом у діапазоні технологічних швидкостей руху 7-12 км/год (оранка)

4. Розрахунок необхідного передавального числа головної передачі з умови забезпечення заданої максимальної швидкості (прямі передачі в коробках передач)

5. Розрахунок передавального числа понижуючої передачі роздавальної коробки та передачі базової коробки передач при відомій головній передачі

6. Формування ряду передавальних чисел базової коробки передач з типових умов руху та паливно-швидкісних характеристик

Рис. 4. Структура параметричного синтезу трансмісії УКТТЗ типу Автотрак/Унімог

Враховуючи більш ніж достатній запас потужності дизельних двигунів із турбонаддувом та інтеркулером і робочим об'ємом 2,8 – 3,3 л, що покладені в основу проекту АТ «Укравтобуспром» – 160-175 к. с. (законодавча норма екологічності в Україні «Євро-5» для колісних транспортних засобів категорії N1, куди і віднесено проект УКТТЗ ТУР ВТ 041 «Автотрак» з умов допуску до автодоріг загального користування і максимальної швидкості руху більше 40 км/год) розрахунок відповідного передавального числа трансмісії в цілому (п. 2, **рис. 3**) здійснюємо з умов тяги 1,4 при швидкостях 7–12 км/год, типових для агротехнологій. Фактично це обернена задача класичного тягового розрахунку для повнопривідних колісних машин в умовах бездоріжжя [12] – при відомому заданому тяговому зусиллю на ведучих колесах F_k (задане тягове зусилля на гаці F_h та розрахункові значення сил опору усталеному рухові на заданому типі ґрунту F_o та певному підйомі F_i

$$u_c = u_1 u_{r1} u_0 = \frac{F_k r_k}{T_e \eta_t} + G(f + \sin \alpha) r_k / T_e \eta_t \quad (1)$$

де:

u_c – сумарне передавальне число трансмісії, u_1 – передавальне число 1-ї передачі, u_{r1} – передавальне число понижуючої передачі роздавальної коробки передач, u_0 – передавальне число головної передачі, r_k – радіус кочення колеса, T_e – крутний момент двигуна, η_t – ккд трансмісії, G – експлуатаційна вага повнопривідного УКТТЗ, f – коефіцієнт опору коченню шин на ґрунті, α – кут підйому опорної поверхні (звично граничний кут підйому опорної поверхні – ґрунту, що дозволяє реалізувати тягове зусилля на гаці 1,4 т при збільшеному відповідно опорі рухові).

Звично, що отримане значення u_c підлягає перевірці з умов реалізації – співвідношення до сили зчеплення шин із загальноприйнятими типами ґрунтів під оранку:

$$F_k = (T_e u_c \eta_t / r_k) \leq \phi G_k \quad (2)$$

та оцінці діапазону швидкісного режиму роботи двигуна при агротехнологічних швидкостях руху 7-12 км/год:

$$n_e = (7 \leftarrow \rightarrow 12) u_c / 0,377 r_k \quad (3)$$

Отримані задовільні результати за (2) і (3) дозволяють виділити із значення u_c необхідне значення передавального числа головної передачі u_o (з умов прямої передачі у роздавальній коробці та прямої чи підвищувальної передачі у коробці переміни передач та кінематичного забезпечення заданої максимальної швидкості V_{\max} у діапазоні оборотності двигуна $n_e = (0,7 \square 0,8) n_N$, де n_N – частота обертання вала двигуна при максимальній потужності).

Отримане значення u_o (з корекцією, за необхідності, під промислові зразки головних пар) дозволяють перейти до визначення добутку значень передавальних чисел понижуючої передачі роздавальної коробки та першої передачі коробки переміни передач $u_1 u_{r1}$ (п. 5, **рис. 4**). З умов агрегатної уніфікації для обраної моделі дизельного двигуна (у випадку ТУР ВТ 041 – Iveco 8040) доцільно обрати серійну 5-ступеневу коробку передач, що дозволяє зафіксувати і передавальні числа передач, у т. ч. і 1-ї передачі, а, відповідно, з отриманого необхідного добутку $U \times U$ (з корекцією по уточненому значенню щодо головної передачі u) і відповідне значення для понижуючої передачі роздавальної коробки передач. Таким чином створення машини зводиться до мінімуму використання оригінальних агрегатів трансмісії Автотрак (передавальні числа понижуючих передач роздавальної коробки серійних повнопривідних автомобілів підвищеної прохідності логічно відрізняються – з умов руху бездоріжжям у діапазоні швидкостей, вищих за агротехнологічні [12]).

Визначені вище значення передавальних чисел трансмісії слід перевірити щодо реалізації необхідного тягового зусилля на гаці методом імітаційного моделювання операції оранки у типових для аграрної сфери умовах – характеристиках ґрунту [13–16]. У цьому плані одним з найбільш розповсюджених у сучасних дослідженнях є використання програмного середовища MATLAB Simulink [17], природно з відповідним доопрацюванням математичної моделі, що

включає і опис операцій обробітку ґрунту та динаміку відповідного перерозподілу навантажень на осі Автотрак [18]. При цьому в основу моделювання опору оранки плугом було покладено як загальноприйняту в Україні (СРСР) формулу Л. С. Горячкіна (з врахуванням сучасних уточнень [13, 14], так і більш розповсюджену у Західній Європі формулу проф. К. Шіллінг (K. Schilling) [15, 16], що зрештою показали близькі результати, **рис. 5**.

Моделювання оранки проведене для звичного суглинку середнього зволоження [14] та і для варіанту тяги з здвоєними колесами, що часто використовується в сучасній агротехніці як з умов покращення площі контакту – зчеплення шин та агроєкології, так і тягових характеристик [13]. Очевидно внаслідок невеликих навантажень на вісь застосування здвоєних шин дає відносно невелике збільшення сили тяги на гаку – у межах до 15% (**рис. 5**) і доцільне тільки на сильно зволжених ґрунтах.

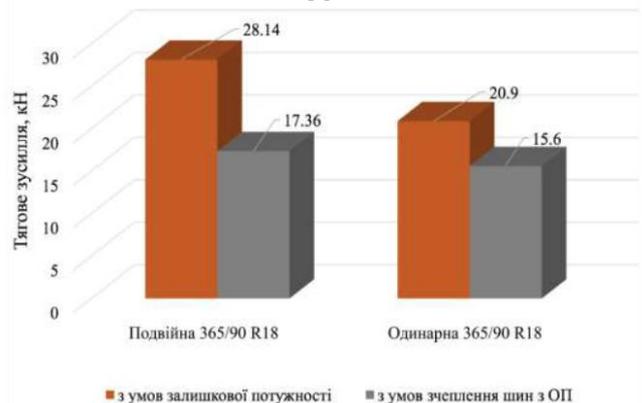


Рис. 5. Результати імітаційного моделювання оранки та оцінки тягового балансу (на прикладі ТУР ВТ 04) [18]

Оцінку адекватності комп'ютерної моделі було проведено шляхом відтворення результатів польового експерименту – оцінки тяги подібного за колісною схемою (4x4 та однакові шини передньої та задньої осей, звично більшого типорозміру) колісного трактора Т 150К [13], що засвідчило достатню збіжність отриманого розрахунку класу тяги 3,0 даного трактора.

Отримані результати щодо ТУР ВТ 04 «Автотрак» дозволяють констатувати значний теоретичний резерв сили тяги з умов по-

тужності двигуна (співставної з вищезгаданим Т 150К), однак реально обмеженої з умов зчеплення шин з опорною поверхнею (2) до класу 1,5-1,4 (відповідно на шинах 365/90R18 або меншого діаметру – 320/80R18). Використання шин 365/80R20 в аспекті тягового зусилля близьке до шин 365/90R18 і у плані збільшення сил зчеплення та тяги більш доцільно розглядати уже шини 530/70R21 (1300-530-533), що використовуються на повнопривідних моделях КрАЗ, однак це зміна маточин під відповідні диски, а також 2-3 кратне зростання вартості шин і дисків.

Загалом, з-поміж технологічних операцій власне оранка плугом є визначальною щодо сили тяги у нижньому діапазоні трансмісії. Практика Unimog щодо використання двох понижуючих передач у роздавальній коробці (додатково до прямої, транспортної передачі) – для забезпечення так зв. «повзучого» режиму в діапазоні швидкостей 0,008-2 км/год, актуальна у інших сферах використання. Необхідна мобільність бездоріжжям забезпечується за рахунок 2–4 (5) передач основної коробки передач на пониженому діапазоні (передачі) роздавальної коробки.

Висновки

Очевидна актуальність розвитку вітчизняного автомобілебудування, насамперед для сфер оборони та сільського і лісового господарств, де домінує рух бездоріжжям, обумовлює пріоритет власного виробництва повнопривідних автомобілів підвищеної та високої прохідності, потреби в яких досі покривались

References

1. Hochgeländegängiger Unimog. (2024). Mercedes-Benz Trucks. Trucks you can trust. Retrieved from <https://www.mercedes-benz-trucks.com/de/de/home.html> [in German].
2. Praga UV 80. (2024). Wikipedie. Retrieved from https://cs.wikipedia.org/wiki/Praga_UV_80 [in Czech].
3. Katsygin, V. V., Gorin, G. S., Zenkovich, A. A., et al. (1982). Prospective mobile energy vehicle (MEV) for agricultural production. Minsk: Science and Technology, 272.
4. KHTZ 3130. (2024). Retrieved from <https://alfa-z.com.ua/xtz/stranica/1> [in Ukrainian].
5. SHU-356. (2024). Wikipedia. Retrieved from <https://be.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%A3-356> [in Belarusian].
6. Ipatov, A. A., Dzotsenidze, T. D. (2008). Development of new means for transport infrastructure advancement. Problems and Solutions. Moscow: Metallurhyzdat, 272.
7. Voynash, A. S., Voynash, S. A. (2010). Auto-Tractor for farming households. Problems and achievements of the automotive transport com-

за рахунок імпорту з рф та КНР. Аналогічна ситуація і з колісними тракторами класів тяги 0,6-1,4 – Білорусь та КНР. Відповідно і поява універсальних колісних тягово-транспортних машин типу Унімог/Автотрак, насамперед в малотоннажних категоріях NG1/T1, є затребуваною в аграрній та комунальній сферах насамперед.

Проектування та промислова реалізація машини такого типу пов'язана насамперед із формуванням оригінальної компоновки, як правило напівкапотної схеми (рис. 1-3) та силового приводу, що забезпечує як транспортні режими автомобіля, так і технологічні, обробітку ґрунту трактора. Представлена методика розрахунку-підбору необхідного передавального діапазону трансмісії згідно вищевикладених вимог, що реалізована на прикладі проекту малотоннажної моделі ТУР ВТ 041 «Автотрак» та проведена оцінка адекватності отриманих результатів на підставі співставлення результатів експерименту та комп'ютерного моделювання для іншої моделі машини.

Практично можна констатувати, що колісні засоби типу «Автотрак» категорії NG1/T1 при експлуатаційній масі 3,5 т дозволяють реалізувати тягове зусилля класу 1,4 при обробітку ґрунту та використанні причепа повною масою до 2,5 т на бездоріжжі, а також транспортування 1,2-1,3 т вантажів (додатково до 2т на автомобільному причепі) на автодорогах та бездоріжжі.

plex: proceedings of the VIII All-Russian scientific-technical conference. Ekaterinburg: UGTU-UPI, 19–23.

8. Doroshenko, L. V., Nikitin, S. V., Yakovenko, A. M. (2002). Justification for joint use of equipment in farming households. Agrarian bulletin of the Black Sea Region: Collection of scientific works, (19), pp. 39–48. Odessa.

9. Pohorilyi, S. P. (2018). Experimental study of traction performance of MEV-330 "Auto-Tractor" depending on design parameters. Bulletin of Lviv National Agrarian University. Agroengineering Series, (17), 41–48.

10. Kraynyk, L. V., Khudaverdyan, H. A. (2022). Concept and formation of a domestic Universal Auto-Tractor/Unimog for farming and municipal households. 10th International scientific-technical online conference "Problems and prospects of automobile transport development": Abstracts of reports (Vinnytsia, April 14–15, 2022). Vinnytsia: VNTU, 178–180.

11. Khudaverdyan, H. A. (scientific advisor: Kraynyk, L. V.) (2023). Substantiation of tire size for a universal wheeled traction and transport vehicle. Scientific publication "Actual problems of modern science: Theoretical and practical research of young scientists". Proceedings of the 1st All-Ukrainian scientific-practical conference, April 26–27, 2023. PDAU, Poltava, 100–102.

12. Kraynyk, L., Sennyshak, M. (2021). Features of selecting gear ratios for the transfer case of a high-cross-country vehicle. Problems with traffic flows and their solutions: Abstracts of reports. Lviv Polytechnic National University, March 25–26, 2021, 105–106.

13. Rebrov, O. Y. (2017). Theoretical justification of the main parameters of wheeled agricultural tractors. Technical service of agro-industrial, forestry, and transport complexes, (8), 243–255, Kharkiv.

14. Zayika, P. M. (2001). Theory of agricultural machines. Vol. 1, Part 1: Machines and tools for soil cultivation. Kharkiv: Oко, 444.

15. Schilling, E. (1962). Agricultural Machinery: Textbook and Handbook for agricultural ma-

chinery engineering (2nd ed., Vol. 2). Rodenkirchen bei Köln: Verlag Dr.-Ing. Erich Schilling, Inh. H.A. Schilling, 456.

16. Thiesing, M. (2016). Forces and kinematics in agricultural ploughs. Dissertation Dr. agr., University of Kassel, 108.

17. Hrubel, M. H., Kraynyk, L. V., Khoma, V. V. (2020). Simulation modeling of wheeled military vehicle motion off-road and its adequacy assessment. "Autoshlyakhovyk of Ukraine", (2), 21–28.

18. Khudaverdyan, H., Khoma, V., & Kraynyk, L. (2023). Simulation modeling of all-wheel-drive wheeled vehicles moving across fields in MATLAB Simulink. Bulletin of Lviv National University of Natural Resources. Agroengineering Research Series, (26), 164–170.

DOI: <https://doi.org/10.31734/agroengineering2022.26.164>

19. Khudaverdyan H. (2024). Developing the technological equipment for the T1/N1 traction transport machine used in the agro-industrial complex. Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agroengineering Research, (27), 18–21.

DOI: <https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.018>