

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ  
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ХУДАВЕРДЯН ГЕОРГІЙ АШОТОВИЧ**

УДК 631.372

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ СИЛОВОГО ПРИВОДУ  
УНІВЕРСАЛЬНИХ ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В АПК**

Галузь знань 13 - Механічна інженерія  
133 - Галузеве машинобудування

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

  
\_\_\_\_\_ Георгій ХУДАВЕРДЯН

Науковий керівник:

Крайник Любомир Васильович,  
доктор технічних наук, професор

Львів 2025

## АНОТАЦІЯ

*Худавердян Г.А.* Обґрунтування параметрів силового приводу універсальних тягово-транспортних засобів в АПК. - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії (PhD) за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» (13- Механічна інженерія). – Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, Львів, 2025.

Реформування аграрного сектору економіки України з суттєвим ростом частки фермерських та одноосібних господарств зумовлює потребу в малотонажних універсальних колісних тягово-транспортних засобах, що дозволяють поєднати вантажні транспортні та технологічні операції, що фактично поєднує в одній машині функції як вантажного автомобіля підвищеної прохідності, так і колісного трактора. Машини такого типу знайшли своє розповсюдження ще у післявоєнній Європі – Mercedes-Benz Unimog (ФРН) та пізніші виробники в Італії, Австрії, Чехословаччині, Греції, зрештою віднедавна і у КНР, РФ, Білорусі та ін.

Дисертаційна робота присвячена обґрунтуванню параметрів силового приводу універсальних колісних тягово-транспортних засобів (УКТТЗ) як мобільних енергетичних засобів (МЕЗ) в агропромисловій сфері застосування.

У першому розділі проведено огляд та аналіз розвитку конструкцій УКТТЗ, насамперед в аспекті як МЕЗ в аграрній сфері використання, еволюцію зміни базових характеристик машин. Констатовано актуальність УКТТЗ з огляду на те, що понад 46-48% площі орних земель в Україні знаходяться у користуванні сімейних та малих фермерських господарств з площами обробітку до 100 – 500 га, власне у малотоннажному класі тяги 0,6 – 1,4 та вантажності 1 – 2 т. Представлено аналіз сучасних досліджень розрахунку базових параметрів тягового приводу автомобілів, у т.ч. для руху бездоріжжям, а також робіт по теорії тягового розрахунку колісних тракторів при виконанні технологічних

операцій по обробітку ґрунту, насамперед найбільш енергозатратної – оранки. Зокрема в частині теорії автомобіля це праці Волонцевича Д.О., Грубеля М.Г., Зінька Р.В., Крайника Л.В., Подригало М.А., Сахно В.П., Mitshe M., Wallentowitz H., Reze N. Jazar., Агейкіна Я. С., Ларина В.В. , а щодо теорії трактора – дослідження Антощенкова Р.В., Кальченка Б.І., Калініна Є.І., Кувачова В.П., Євтенка В.Г., Лебедєва А.Т., Надикто В.Т., Реброва О.Ю., Schilling E., Eichhorn H., Reckleben, Y., Schäfer N., Weißbach H., Гуськова В.В., Кутькова Г.М., Ксєневича И.П., Самсонова В.А. і інш. Окремо проаналізовано дослідження власне у сфері УКТТЗ - Адамчук В.В., Погорілий С.П., Дорошенко Л.В., а також зарубіжних Wischhof H.-J., Seidenglanz, E., Essig W., Vogler C.-H., Maile R., Hindennach G., Vogt A., Бурьянов А.И., Войнаш А.С., Дмитренко А.И., Дзоценідзе Т.Д., Кацигін В. В., Щитов С. В.

За результатами огляду та аналізу встановлено, що питання параметричного синтезу силового приводу УКТТЗ та імітаційного комп'ютеризованого моделювання руху УКТТЗ в транспортному та технологічному (обробіток ґрунту) режимах недостатньо висвітлені у відкритих джерелах інформації. Практично відсутня інформація щодо оцінки взаємодії УКТТЗ з опорною поверхнею, що деформується, в аспекті сучасного розвитку терамеханіки щодо військової автотехніки – так званої методики НАТО WES (Waterways Experiment Station), яка є значно детальніше опрацьованою у плані комп'ютерного моделювання руху колісних транспортних засобів (КТЗ) бездоріжжям (у порівнянні до аграрного чи лісогосподарського секторів і методик щодо військової автотехніки часів СРСР). Відповідно і сформовані мета та завдання дослідження.

У другому розділі проведено аналіз сфер використання УКТТЗ та характеристик умов руху та опрацьовано математичну модель руху УКТТЗ та типових технологічних режимів, а також сформована структура моделювання динаміки УКТТЗ у програмному середовищі MATLAB Simulink.

Зокрема узагальнено використання УКТТЗ у сільському господарстві та лісівництві, комунальній сфері, гірничій промисловості та енергетиці, у сфері надзвичайних ситуацій та рятувальних операцій, а також у військовій сфері.

Опрацьована математична модель руху УКТТЗ у двомірному просторі з врахуванням як транспортних режимів, так і виконання технологічних операцій обробітку ґрунту. Еквівалентна 3-ох масова динамічна модель самого УКТТЗ з прикладанням додаткового навантаження на зчіпний пристрій від навісного або причіпного обладнання, що у свою чергу відображається двомасовою еквівалентною моделлю одновісного причепа (або колісних сівалки чи сіножатки) або одномасовою моделлю плуга/культиватора на жорстких металевих колесах без підвіски. Крім цього передбачено врахування ефекту ущільнення опорної поверхні/ґрунту при проходженні колії передньої осі наступними осями – задньою віссю УКТТЗ (а також віссю причепа, коліс навісного обладнання, у разі його наявності, що здебільшого не збігається з колією тягача, і опір його рухові розраховується за схемою прокладення колії, як для першої осі УКТТЗ). Формування опору руху ґрунтообробного обладнання здійснюється на базі відомих положень теорії зрізу ґрунту плугом, як найбільш енергозатратного типу механічного обробітку ґрунту (використані відомі формули Л.С. Горячкіна та E. Schilling, - розповсюдженої в країнах ЄС).

В основу опису фізико-механічних характеристик ґрунтів і взаємодії колеса з опорною поверхнею, що деформується, з аналізу досліджень Грубеля М.Г. та Крайника Л.В. по військовій автотехніці, покладено так звану WES – методику НАТО (Waterways Experiment Station), яка значно більш опрацьована і забезпечує кращу адекватність розрахунку у порівнянні з методикою оцінки прохідності бездоріжжям колісних машин часів СРСР. Зокрема оцінка несної здатності ґрунтів (і опору руху) базується на єдиному показнику – так званому конусному індексу CI (cone index), що дає комплексну оцінку опору деформації ґрунту як у вертикальному напрямі, так і горизонтального зсуву – наближено до умов взаємодії з колесом з опорною поверхнею (ОП), що деформується (на відміну від існуючих радянських методик з 3-ма показниками характеристик ґрунту). Для оперативної оцінки характеристики CI ґрунту використовуються пенетрометри, геометрія конусного наконечника якого була опрацьована нами спеціально під



відповідну нормативну вимогу НАТО та оцінку адекватності результатів комп'ютеризованого моделювання і експерименту.

Формування структури моделювання динаміки УКТТЗ було здійснене в програмному середовищі MATLAB Simulink з використанням графічних модулів (блоків) стандартної бібліотеки блоків Simulink, кожен з яких виконує певну функцію щодо реалізації заданого алгоритму дій.

Третій розділ присвячено формуванню і реалізації методики визначення базових параметрів силового приводу УКТТЗ. Остання представлена у формі 6-ти етапної процедури, починаючи з задання масо-габаритних характеристик УКТТЗ, що проєктується, та відповідних умов руху у транспортному та технологічному режимах. При заданих характеристиках двигунів (з відповідністю поточним вимогам по екології в Україні для КТЗ загального призначення) здійснюється вибір типорозміру автомобільних шин з протектором підвищеної прохідності та відповідними індексами допустимого навантаження і швидкості. При цьому здійснюється і оцінка потенційної сили зчеплення шин на типових ґрунтових поверхнях в умовах весняно-польових робіт (твердість та вміст вологи).

Базуючись на заданій експлуатаційній масі і характеристиці двигуна здійснюється розрахунок необхідного сумарного передавального числа трансмісії з умови реалізації орієнтовного тягового зусилля на гаці (класу тяги), згідно рекомендацій Погорілого С.П. щодо параметрів типорозмірного ряду МЕЗ/УКТТЗ та з врахуванням частки тяги на рух відповідною ОП у діапазоні швидкості 7-12 км/год. За допомогою опрацьованого алгоритму імітаційного моделювання руху у програмному середовищі MATLAB Simulink здійснюється перевірка реалізації, корегування значення сумарного передавального числа з умов зчеплення шин з ОП (при потенційному пробуксовуванні до 15-20%). З умов заданої максимальної швидкості руху на асфальтобетонній дорозі І-ї категорії (і беручи до уваги індекс допустимої швидкості для обраних шин з всюдихідним протектором) визначається необхідне значення передавального числа головної передачі (з допущенням прямих передач у базовій та роздавальній коробках передач). Відповідно наступним етапом є визначення добутку передавальних чисел 1-ї або

2-ї передач базової коробки передач та понижуючої роздавальної коробки, звідки, (у т.ч. з аналізу існуючих моделей цих агрегатів), визначаються відповідні вищезгадані значення.

Представлено конкретні результати розрахунків – рекомендацій щодо вибору типорозміру шин та передавальних чисел головної передачі, роздавальної та базової коробок передач для проекту УКТТЗ ТУР ВТ 04, що прийняті до реалізації ВАТ «Укравтобуспром».

У четвертому розділі представлено експериментальні дослідження та проведена оцінка адекватності теоретичних досліджень. Зокрема описана методика польових експериментів та використана вимірювальна апаратура. Для оцінки фізико-механічних характеристик ґрунту випробувальної ділянки використано п'єзоелектричний твердомір ЛАН-М PRO з цифровим інтерфейсом та записом даних вимірювання на ноутбук. Конусний наконечник твердоміра – під вимоги нормативної бази НАТО з відповідно корекцією обчислювального блоку пенетрометра для фіксації відповідно конусного індекса CI, як показника твердості ґрунту при взаємодії з ґрунтовими та піщаними поверхнями і використанні інших емпіричних залежностей згідно WES – методики. Для оцінки максимального тягово зусилля, що може розвинути колісна машина на ґрунті (з замірним значенням CI) використано динамометр ДПУ-2-2-У2, що здатний вимірювати зусилля величиною до 20 кН з точністю до 200 Н. Фіксація на ноутбук фактичної швидкості та пройденого шляху, а також кількості обертів ведучих коліс (для оцінки ступеня пробуксовування), здійснювалась з використанням метрологічно повіреного комплексу БВК від ВАТ «Укравтобуспром», що використовує ефект Доплера відносно опорної поверхні (безконтактне п'яте колесо). Паралельно цьому швидкість і переміщення фіксувалось додатково і GPS – навігатором.

У п'ятому розділі проведено оцінку економічної ефективності використання ТУР ВТ-04 «Автотрак» при виконанні базових технологічних операцій у сільському господарстві з відповідним технологічним обладнанням. Також, зазначено можливість виконання не тільки технологічних, а й транспортних

операцій, що у свою чергу замінює купівлю вантажного автомобіля підвищеної прохідності.

У зв'язку з війною і не завершеними роботами у ВАТ «Укравтобуспром» по виготовленню дослідного зразка УКТТЗ ТУР ВТ04 «Автотрак» для оцінки адекватності опрацьованої методики імітаційного моделювання руху і визначення класу тяги були використані військові баггі – легкі ударні автомобілі переднього краю ТУР КВ 02 «Мамай» з дизельним двигуном потужністю 110 к.с. і шинами 235/80R16 з всюдихідним протектором та колісний трактор Mahindra Feng Shou FS244 з задекларованим заводом-виробником класом тяги 0,5. За результатами 3-кратного дублювання отримано значення сили тяги на гаці на 8% більше від задекларованого для трактора Mahindra та на 6% менше для ТУР КВ 02 «Мамай», у даному випадку щодо отриманого значення за результатами імітаційного моделювання цієї машини у опрацьованій програмі у середовищі MATLAB Simulink для заданого значення твердості ґрунту СІ. Загалом це засвідчує достатню адекватність опрацьованого алгоритму імітаційного моделювання руху УКТТЗ, відхилення можуть бути обумовлені і незначними коливаннями значень СІ на площі випробувальної ділянки (у комп'ютерну модель вводилося усереднене значення СІ), а також певними відмінностями і тягових характеристик двигуна (у ТУР КВ 02 «Мамай» двигун з пробігом). Додатково для оцінки адекватності комп'ютерного моделювання руху були відтворені умови експериментальної оцінки класу тяги УКТТЗ/МЕЗ – 330 на шасі КрАЗ 6233, проведених д.т.н. Погорілим С.П., результати яких засвідчили розбіжність результатів експерименту і імітаційного моделювання у аналогічних, допустимих межах.

**Ключові слова:** транспортні операції, технологічні операції, обробіток ґрунту, максимальне тягове зусилля, бездоріжжя, прохідність, універсальний колісний тягово-транспортний засіб, силовий привід, мобільний енергетичний засіб, імітаційне моделювання, WES – методика.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

1. Шевчук В.В., Сукач О.М., Габрієль Ю.І., Худавердян Г.А. Підвищення ефективності діагностики електронної системи керування сівалкою Horsch Pronto DC *Сільськогосподарські машини. Вип. 46.* ЛНТУ, Луцьк, 2021. 134с <https://doi.org/10.36910/acm.vi46.499> . (Дисертантом проведено аналіз взаємодії трактора з технологічним обладнанням, зокрема принципу роботи електронних систем керування)
2. Худавердян, Г. ., Хома, В. ., & Крайник, Л. . (2023). Імітаційне моделювання руху полем повнопривідної колісної техніки у програмному середовищі MATLAB Simulink. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження*, (26), 164–170. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2022.26.164> .(Дисертантом розроблена та представлена динамічна еквівалентна схема руху колісних машин у процесі обробітку ґрунту).
3. Худавердян , Г. (2024). Формування технологічного обладнання тягово-транспортної машини категорії T1/N1 в АПК. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження*, (27), 18–21. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.018> . (Дисертантом представлено доопрацьовану модель руху універсальних повнопривідних колісних тягово-транспортних засобів типу Mercedes-Benz Unimog по поверхні, що деформується в програмному середовищі MATLAB Simulink, а саме програмний модуль для визначення максимального тягового зусилля, яке може бути реалізоване на тій чи іншій опорній поверхні, здійснено підбір технологічного обладнання на базі проєкту ВАТ «Укравтобуспром» – ТУР BT-041 «Автотрак»).
4. Худавердян , Г., & Сукач , О. (2024). Оцінка адекватності імітаційної моделі руху універсальних тягово-транспортних засобів. *Вісник Львівського*

національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження, (28), 227–232. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2024.28.227> .  
(Дисертантом проведено організацію експериментального дослідження, а саме підготовку колісних машин до експлуатації, контрольованого обладнання, опрацювання результатів для подальшої перевірки імітаційної комп'ютерної моделі на адекватність).

### **Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

5. Крайник Л.В., Худавердян Г.А. Концепція та формування вітчизняного універсального автомобіля типу Автотрак/Унімог для фермерських та комунальних господарств. *Матеріали X-ої міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2022 року: збірник наукових праць* [Електронний ресурс] Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2022. – (PDF 331 с.). (Дисертантом проведено аналіз розвитку конструкції універсальних тягово-транспортних засобів).

6. Худавердян Г.А., Хома В.В. Технологічні процеси обробітку ґрунту: комп'ютерне моделювання. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали III Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції 19-20 жовтня 2022р. Рівне : НУВГП, 2022. 301с. Електронне видання.* (Дисертантом проведено аналіз методики підбору передавальних чесел трансмісії для транспортних та технологічних операцій, яка в подальшому була закладена в імітаційну комп'ютерну модель руху колісних машин поверхнею що деформується, за результатами моделювання підібрано роздавальну коробку передач на базі проекту ВАТ «Укравтобуспром» – ТУР ВТ-041 «Автотрак»).

7. Худавердян Г.А. Обґрунтування розмірності шин універсального колісного тягово-транспортного засобу. *Актуальні проблеми сучасної науки: теоретичні та практичні дослідження молодих учених: Матеріали I*

*Всеукраїнської науково-практичної конференції*. м. Полтава, 26 – 27 квітня 2023 р. Полтава, 2023. 360 с.

8. Крайник Т.Л., Худавердян Г.А., Крайник Л.В. Концепція та формування силового приводу універсального тягово-транспортного засобу типу Унімог/Автотрак. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «AutoTRAK-2024»*. – Київ: НУБіП України, 2024. – 213 с. (Дисертанту належить аналіз конструкції автомобілів Mercedes-Benz Unimog та їх аналогів).

9. Худавердян Г.А. Визначення тягового зусилля колісних машин за допомогою імітаційного комп'ютерного моделювання. *Наукове видання ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА РОЗВИТКУ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ ТА СІЛЬСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ: матеріали XXV Міжнародного науково-практичного форуму, 02–04 жовтня 2024 року м. Дубляни*

10. Крайник Л.В., Худавердян Г.А. Формування передавального діапазону трансмісії універсальної машини типу «Автотрак/Унімог». *Збірка тез Четвертої міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури 10, 11 і 12 грудня 2024 року. м. Київ (Дисертанту належить аналіз методик формування передавального діапазону трансмісії універсальних тягово-транспортних засобів).*

### **Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації**

11. Krainyk L. V., Syvulka P. M., Khudaverdian H. A., Gabriel Y. I. AGRICULTURAL TRANSPORT – THE TYPE AND STRUCTURE FORMATION OF THE WHEELED VEHICLES FLEET» в міжнародному журналі *TEKA. QUARTERLY JOURNAL OF AGRI-FOOD INDUSTRY* – 2021, Vol. 21, No. 1, 51-58 (Дисертантом проведено структури парку колісних транспортних засобів у сільському господарстві).

## ANNOTATION

***Khudaverdian H.A.*** Substantiation of the powertrain parameters of universal traction vehicles in the agricultural industry. - Qualification scientific work in the form of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy Specialty 133 "Industrial Mechanical Engineering" (Field of Knowledge 13- Mechanical Engineering). Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhytsky, Lviv, 2025.

Reforming the agrarian sector of the economy of Ukraine with a significant increase in the share of farms and individual farms determines the need for low-tonnage universal wheeled traction vehicles that allow combining cargo transport and technological operations, actually combining in one machine the functions of both an off-road truck and a wheeled tractor. Machines of this type were widespread in post-war Europe - Mercedes-Benz Unimog (Germany) and later manufacturers in Italy, Austria, Czechoslovakia, Greece, and recently in the People's Republic of China, the Russian Federation, Belarus, etc.

The dissertation is devoted to the substantiation of the powertrain parameters of universal wheeled traction vehicles (UWTV) as mobile power unit (MPU) in the agro-industrial field of application.

The first section reviews and analyzes the development of UWTV designs, primarily in terms of their use as MEV in the agricultural field, the evolution of changes in the basic characteristics of the machines. The relevance of UWTV is stated given that more than 46-48% of the arable land area in Ukraine is used by family and small farms with cultivated areas of up to 100 - 500 hectares, in the low-tonnage class of traction 0.6 - 1.4 and payload 1 - 2 tons. The analysis of modern studies on the calculation of basic parameters of the traction drive of vehicles, including for off-road driving, as well as works on the theory of traction calculation of wheeled tractors when performing technological operations on soil cultivation, primarily the most energy-intensive - plowing, is presented. In particular, in the part of the theory of the vehicle, these are the

works of Volontsevich D.O., Grubel M.G., Zinko R.V., Kraynik L.V., Podrygalo M.A., Sakhno V.P., Mitshke M., Wallentowitz H., Reze N. Jazar., Ageikin Y.S., Laryn V.V., and regarding the theory of the tractor - the studies of Antoshchenkov R.V., Kalchenko B.I. Evtenko V.G., Lebedeva A.T., Nadykto V.T., Rebrova O.Yu., Schilling E., Eichhorn H., Reckleben, Y., Schäfer N., Weißbach N., Guskova V.V., Kutkova G.M., Ksenevicha I.P., Samsonova V.A. and others. Separately analyzed are the studies in the field of UWTV - Adamchuk V.V., Pogoriliy S.P., Doroshenko L.V., as well as foreign Wischhof H.-J., Seidenglanz, E., Essig W., Vogler C.-H., Maile R., Hindennach G., Vogt A., Buryanov A.I., Voynash A.S., Dmitrenko A.I., Dzotsenidze T.D., Katsygin V.V., Shchytyov S.V.

According to the results of the review and analysis, it was found that the issues of parametric synthesis of the powertrain of the UWTV and simulated computer modeling of the movement of the UWTV in transport and technological (soil cultivation) modes are not sufficiently covered in open sources of information. There is practically no information on the assessment of the interaction of the UWTV with a deformable support surface in the aspect of the modern development of terramechanics for military vehicles - the so-called WES (Waterways Experiment Station) NATO methodology, which is much more developed in terms of computer modeling of the movement of wheeled vehicles (WV) off-road (in comparison with the agricultural or forestry sectors and methods for military vehicles of the USSR). Accordingly, the goal and objectives of the study were formed.

In the second section, an analysis of the areas of use of the UWTV and the characteristics of the movement conditions was carried out and a mathematical model of the movement of the UWTV and typical technological modes was developed, as well as a structure for modeling the dynamics of the UWTV in the MATLAB Simulink software environment was formed.

In particular, the use of UWTV in agriculture and forestry, municipal services, mining and energy, in the field of emergency situations and rescue operations, as well as in the military sphere is generalized.



A mathematical model of the movement of UWTV in two-dimensional space is developed, taking into account both transport modes and the implementation of technological operations of soil cultivation. An equivalent 3-mass dynamic model of the UWTV itself with the application of additional load on the coupling device from mounted or trailed equipment, which in turn is reflected by a 2-mass equivalent model of a single-axle trailer (or wheeled seeders or haymakers) or a 1-mass model of a plow/cultivator on rigid metal wheels without suspension. In addition, it is provided to take into account the effect of compaction of the supporting surface/soil when the front axle track is passed by the following axles - the rear axle of the UWTV (as well as the axle of the trailer, wheels of the attached equipment, if any, which mostly does not coincide with the tractor track, and its resistance to movement is calculated according to the track laying scheme, as for the first axle of the UWTV). The formation of resistance to movement of soil tillage equipment is carried out on the basis of known provisions of the theory of soil shear that with a plow, as the most energy-intensive type of mechanical tillage (the well-known formulas of L.S. Goryachkin and E. Schilling, common in the EU countries, were used).

The basis for the description of the physical and mechanical characteristics of soils and the interaction of the wheel with the deformable supporting surface, based on the analysis of the research of Grubel M.G. and Kraynik L.V. on military vehicles, is the so-called WES - NATO methodology (Waterways Experiment Station), which is much more developed and provides better adequacy of the calculation compared to the methodology for assessing the off-road capability of wheeled vehicles of the USSR. In particular, the assessment of the bearing capacity of soils (and resistance to movement) is based on a single indicator - the so-called cone index CI (Cone index), which provides a comprehensive assessment of the resistance to soil deformation in both the vertical direction and horizontal shear - close to the conditions of interaction with a wheel with a deforming bearing surface (unlike existing Soviet methods with 3 indicators of soil characteristics). Penetrometers are used for operational assessment of the soil CI characteristic, the geometry of the cone tip of which was specially developed by us for

the relevant NATO regulatory requirement and assessment of the adequacy of the results of computerized modeling and experiment.

Formation of the structure of the UWTV dynamics modeling was carried out in the MATLAB Simulink software environment using graphic modules (blocks) of the standard Simulink block library, each of which performs a certain function in implementing a given algorithm of actions.

The third section is devoted to the formation and implementation of the methodology for determining the basic parameters of the UWTV powertrain. The latter is presented in the form of a 6-stage procedure, starting with specifying the mass and dimensions of the designed UWTV and the corresponding driving conditions in transport and technological modes. Given the specified engine characteristics (in compliance with the current environmental requirements in Ukraine for general-purpose KTZ), the size of automobile tires with a high-cross-country tread and the corresponding indices of permissible load and speed are selected. At the same time, the potential grip force of tires on typical soil surfaces in spring field work conditions (hardness and moisture content) is also assessed.

Based on the specified operating mass and engine characteristics, the required total transmission ratio is calculated from the condition of implementing the approximate traction force on the hook (traction class), according to the recommendations of Pogoriliy S.P. regarding the parameters of the UWTV size series and taking into account the share of traction for movement by the corresponding supporting surface in the speed range of 7-12 km/h. Using the developed algorithm of simulation modeling of movement in the MATLAB Simulink software environment, the implementation is checked, the value of the total gear ratio is adjusted from the conditions of adhesion of tires with the supporting surface (with potential slippage up to 15-20%). From the conditions of the given maximum speed of movement on an asphalt-concrete road of the 1st category (and taking into account the permissible speed index for selected tires with all-terrain tread), the required value of the gear ratio of the main gear is determined (with the assumption of direct gears in the base and transfer gearboxes). Accordingly, the next stage is to determine the product of the gear ratios of

the 1st or 2nd gears of the base gearbox and the reduction transfer gearbox, from where, (including from the analysis of existing models of these units), the corresponding above-mentioned values are determined.

Specific results of calculations are presented - recommendations for the selection of tire sizes and gear ratios of the main transmission, transfer and base gearboxes for the UWTV TUR VT 04 project, which are accepted for implementation by JSC "Ukrautobusprom".

The fourth chapter presents experimental studies and an assessment of the adequacy of theoretical studies is carried out. In particular, the methodology of field experiments and the measuring equipment used are described. To assess the physical and mechanical characteristics of the soil of the test site, a piezoelectric hardness tester LAN-M PRO with a digital interface and recording of measurement data on a laptop was used. The conical tip of the hardness tester is in accordance with the requirements of the NATO regulatory framework with the corresponding correction of the penetrometer computing unit for fixing the conical index CI, as an indicator of soil hardness when interacting with soil and sand surfaces and using other empirical dependencies according to the WES - methodology. To estimate the maximum tractive effort that a wheeled vehicle can develop on the ground (with a measured CI value), a DPU-2-2-U2 dynamometer was used, which is capable of measuring forces of up to 20 kN with an accuracy of up to 200 N. The actual speed and distance traveled, as well as the number of revolutions of the driving wheels (to assess the degree of slippage) were recorded on a laptop using a metrologically verified complex from Ukrabusprom OJSC, which uses the Doppler effect relative to the supporting surface (contactless fifth wheel). In parallel, the speed and displacement the movement was additionally recorded by a GPS navigator.

In the fifth chapter, an assessment of the economic efficiency of using the TUR VT-04 "Avtotrak" in performing basic technological operations in agriculture with the corresponding technological equipment has been conducted. Also, the possibility of performing not only technological but also transport operations is noted, which in turn replaces the purchase of a high-mobility cargo vehicle.

Due to the war and unfinished work at Ukrautobusprom OJSC on the production of a prototype of the UWTV TUR VT04 "Avtotrak", military buggies were used to assess the adequacy of the developed method of simulation modeling of movement and determine the traction class - light front-end shock vehicles TUR KV 02 "Mamai" with a 110 hp diesel engine and 235/80R16 tires with all-terrain tread and a Mahindra Feng Shou FS244 wheeled tractor with a traction class of 0.5 declared by the manufacturer. According to the results of 3-fold duplication, the value of the traction force on the hook was obtained by 8% more than the declared one for the Mahindra tractor and by 6% less for the TUR KV-02 "Mamai", in this case, relative to the value obtained according to the results of simulation modeling of this machine in the developed program in the MATLAB Simulink environment for a given value of soil hardness SI. In general, this indicates sufficient adequacy of the developed algorithm for simulation modeling of the movement of the UWTV, deviations can be due to minor fluctuations in CI values on the area of the test site (an indirect SI value was given to the computer), as well as certain differences in the traction characteristics of the engine (in the TUR KV 02 "Mamai" the engine has a mileage). Additionally, to assess the adequacy of computer simulation of movement, the conditions of the experimental assessment of the traction class of the UWTV «MEZ – 330» on the KrAZ 6233 chassis, conducted by Dr. of Engineering Pogoril S.P., were reproduced, which showed the discrepancy between the results of the experiment and simulation modeling within similar, permissible limits.

**Keywords:** transport operations, technological operations, soil cultivation, maximum traction force, off-road, cross-country ability, universal wheeled traction and transport vehicle, powertrain, mobile energy vehicle, simulation modeling, WES – methodology.

## LIST OF APPLICANT'S PUBLICATIONS

### Scientific works containing the main research results of the dissertation:

1. Shevchuk V., Sukach O., Habriiel Y., Khudaverdian H. IMPROVING THE EFFICIENCY DIAGNOSTICS OF ELECTRONIC CONTROL SYSTEM OF SEEDER HORSCH PRONTO DC *AGRICULTURAL MACHINES*. No 46. LNTU, Lutsk, 2021. 134c <https://doi.org/10.36910/acm.vi46.499> . (The doctor philosophy candidate analyzed the interaction of the tractor with its technological equipment, specifically focusing on the operating principle of electronic control systems.)
2. Khudaverdian H., Khoma V., & Krainyk L. (2023). Simulation modeling of field movement of four-wheel drive vehicles in the MATLAB Simulink software environment. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agroengineering Research*, (26), 164–170. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2022.26.164> . (The doctor philosophy candidate developed and presented a dynamic equivalent scheme for the motion of wheeled vehicles during soil cultivation.).
3. Khudaverdian 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. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.018> . (The doctor philosophy candidate presented an improved motion model for universal all-wheel-drive wheeled traction and transport vehicles, such as the Mercedes-Benz Unimog, on deformable surfaces within the MATLAB Simulink software environment. This specifically includes a software module for determining the maximum tractive effort that can be realized on various supporting surfaces. Additionally, the author selected a technological base project from OJSC "Ukravtobusprom" – TUR VT-041 "Avtotrak.").
4. Khudaverdian H., & Sukach O. (2024). Assessment of the adequacy of the simulation model of universal towing vehicles. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Series Agroengineering Research*, (28), 227–232. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2024.28.227> . (The doctor philosophy

*candidate organized the experimental study, specifically preparing the wheeled vehicles for operation, setting up the control and measuring equipment, and processing the results for subsequent validation of the simulation computer model for adequacy).*

**Scientific works attesting to the approbation of the dissertation materials:**

5. Krainyk L.V., Khudaverdian H.A. Concept and Formation of a Domestic Universal Autotrak/Unimog Type Vehicle for Farms and Municipalities. *Proceedings of the X International Scientific and Technical Internet Conference "Problems and Prospects of Automotive Transport Development," April 14-15, 2022: Collection of Scientific Papers* [Electronic Resource] Ministry of Education and Science of Ukraine, Vinnytsia National Technical University [et al.]. – Vinnytsia: VNTU, 2022. – (PDF 331 p.). *(The doctor philosophy candidate analyzed the development of the design of universal traction and transport vehicles).*

6. Khudaverdian H.A., Khoma V.V. Technological Processes of Soil Cultivation: Computer Modeling. *Innovative Technologies for the Development of Mechanical Engineering and Efficient Functioning of Transport Systems: Proceedings of the III International Scientific and Technical Internet Conference*, October 19-20, 2022, Rivne: NUVGP, 2022. 301 p. Electronic edition. *(The doctor philosophy candidate analyzed the methodology for selecting transmission gear ratios for transport and technological operations, which was subsequently incorporated into the simulation computer model for wheeled vehicle movement on deformable surfaces. Based on the modeling results, a transfer case was selected from the OJSC "Ukravtobusprom" project – TUR VT-041 "Avtotrak").*

7. Khudaverdian H.A. Justification of Tire Dimensions for a Universal Wheeled Traction and Transport Vehicle. *Actual Problems of Modern Science: Theoretical and Practical Research of Young Scientists: Proceedings of the I All-Ukrainian Scientific and Practical Conference*. Poltava, April 26-27, 2023. Poltava, 2023. 360 p.

8. Krainyk T.L., Khudaverdian H.A., Krainyk L.V. Concept and Formation of the Powertrain of a Universal Unimog/Autotrak Type Traction and Transport Vehicle. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference "AutoTRAK-2024."* – Kyiv: NULES of Ukraine, 2024. – 213 p. *(The doctor philosophy candidate is responsible for the analysis of the design of Mercedes-Benz Unimog vehicles and their analogues).*

9. Khudaverdian H.A. Determination of Tractive Effort of Wheeled Vehicles Using Simulation Computer Modeling. *Scientific Publication THEORY AND PRACTICE OF AGRICULTURAL COMPLEX AND RURAL AREAS DEVELOPMENT: Proceedings of the XXV International Scientific and Practical Forum*, October 02–04, 2024, Dubliany.

10. Krainyk L.V., Khudaverdian H.A. Formation of the Transmission Gear Ratio Range for a Universal Autotrak/Unimog Type Vehicle. *Collection of Abstracts of the Fourth International Scientific and Practical Conference "Prospects for the Development of Automotive Transport and Infrastructure,"* December 10 - 12, 2024. Kyiv. *(The doctor philosophy candidate is responsible for the analysis of methodologies for forming the transmission gear ratio range for universal traction and transport vehicles).*

#### **Works that additionally reflect the scientific results of the dissertation**

11. Krainyk L. V., Syvulka P. M., Khudaverdian H. A., Gabriel Y. I. "AGRICULTURAL TRANSPORT – THE TYPE AND STRUCTURE FORMATION OF THE WHEELED VEHICLES FLEET" in the international journal *TEKA. QUARTERLY JOURNAL OF AGRI-FOOD INDUSTRY* – 2021, Vol. 21, No. 1, 51-58 *(The dissertation research focused on the structure of the wheeled vehicle fleet in agriculture).*

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>22</b>
<b>РОЗДІЛ І .....</b>	<b>27</b>
<b>ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА КОНСТРУКЦІЙ КОЛІСНИХ ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТИПУ «АВТОТРАК /УНІМОГ».....</b>	<b>27</b>
1.1 Розвиток конструкцій універсальних колісних тягово-транспортних засобів типу «Автотрак/Унімог».....	27
1.2 Аналіз досліджень параметричної оптимізації силового приводу автомобілів та колісних тракторів .....	51
1.3 Огляд та аналіз досліджень у сфері проектування та експлуатації УКТТЗ..	57
1.4 Постановка проблеми, мети та завдання дослідження .....	65
1.5 Висновки за розділом .....	67
<b>РОЗДІЛ ІІ .....</b>	<b>69</b>
<b>ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ УКТТЗ ТА ФОРМУВАННЯ БАЗОВИХ ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОГО ПРИВОДУ .....</b>	<b>69</b>
2.1 Аналіз сфер використання УКТТЗ та характеристик умов руху .....	69
2.2 Математична модель руху УКТТЗ та типових технологічних режимів .....	72
2.3 Формування структури моделювання динаміки УКТТЗ у програмному середовищі MATLAB Simulink.....	78
2.4 Висновки за розділом .....	86
<b>РОЗДІЛ ІІІ .....</b>	<b>88</b>
<b>МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ БАЗОВИХ ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОГО ПРИВОДУ УКТТЗ.....</b>	<b>88</b>
3.1 Формування структури параметричної оптимізації тягового приводу УКТТЗ для характерних сфер використання .....	88
3.2 Методика визначення потужності та передавального діапазону приводу для технологічних та транспортних операцій.....	92



3.3 Практичні рекомендації параметричного синтезу тягового приводу УКТТЗ (на прикладі проекту ТУР ВТ04 «Автотрак») .....	96
3.4 Висновки за розділом .....	101
<b>РОЗДІЛ IV.....</b>	<b>102</b>
<b>ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	<b>102</b>
4.1 Методичні засади експериментів та вимірювальна апаратура.....	102
4.2 Експериментальна оцінка тягових характеристик УКТТЗ / тракторів для технологічних операцій обробітку ґрунту.....	108
4.3 Оцінка адекватності імітаційного моделювання – розрахунку класу тяги на базі експериментальних досліджень .....	112
4.4 Висновки за розділом .....	114
<b>РОЗДІЛ V .....</b>	<b>115</b>
<b>ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>115</b>
5.1 Оцінка економічної ефективності використання ТУР ВТ-04 «Автотрак» .	115
5.2 Висновки за розділом .....	121
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>122</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>124</b>
Додаток А Базові параметри універсальних тягово-транспортних засобів.....	149
Додаток Б Технічні характеристики агрегатів силового приводу.....	152
Додаток В ТУР-ВТ-04 «Автотрак».....	155
Додаток Г Акти впровадження результатів досліджень.....	156
Додаток І СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА.....	159

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Реформування аграрного сектору економіки України з суттєвою часткою фермерських та одноосібних господарств (понад 48% площі орних земель) зумовлює потребу у малотонажних універсальних колісних тягово-транспортних засобах (типу Unimog та Praha UV80 та інші), які дозволяють виконувати вантажні транспортні та технологічні (обробіток землі) операції, фактично поєднати в одній машині функції як вантажного автомобіля підвищеної прохідності, так і колісного трактора (надалі «Автотрак»). Виробництво колісної автотехніки такого типу в Україні відсутнє (зрештою вже налагоджено в пострадянських Білорусі та РФ), що обумовлює актуальність і практичну значимість розробки таких конструкцій та, відповідно, теоретичних досліджень і обґрунтування необхідних параметрів силового приводу машин такого типу з врахуванням різних сфер використання. Німецькі Unimog обладнані роздавальними коробками передач (РК) з 3-ма діапазонами (на відміну від класичних автомобілів підвищеної і високої прохідності з 2-х діапазонними РК), що додатково передбачають додаткову понижуючу ступінь для забезпечення виконання робіт, насамперед в комунальній та дорожньо-ремонтній сферах. Однак більшість зарубіжних моделей цього типу – універсальних колісних тягово-транспортних засобів (УКТТЗ) – обладнані 2-х діапазонними (2-х ступеневими) РК з прямою та понижуючою передачами (відповідно транспортні та технологічні, власне аграрні режими роботи).

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконується згідно з планом науково-дослідної тематики факультету механіки, енергетики та інформаційних технологій «Розробка інноваційно-інформаційних, проєктно-керованих, ресурсощадних систем, технологій і технічних засобів для агро-промислового виробництва та його енергозабезпечення» (номер державної реєстрації УкрІНТЕІ 0121U109289) затверджений на засіданні вченої ради факультету механіки, енергетики та інформаційних технологій 18.02.2021 р., протокол №4.

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи - обґрунтувати технологічні можливості, загальну компоновку, параметри і характеристики тягового приводу універсального колісного тягово-транспортного засобу як мобільного енергетичного засобу в агропромисловій сфері застосування.

Відповідно визначено наступні завдання дослідження:

- провести аналіз сфер і умов використання УКТТЗ;
- провести аналіз зарубіжних аналогів та наукових досліджень у цій сфері;
- обґрунтувати теоретичні основи конструювання і необхідні масогабаритні та тягово-швидкісні характеристики УКТТЗ типу «Автотрак/Унімог» під сферу використання у особистих селянських та фермерських господарствах;
- розробити теоретичні основи – методику розрахунку та вибору базових параметрів силового приводу – двигуна, шин, діапазону передатних чисел трансмісії;
- опрацювати математичну модель взаємодії коліс з ґрунтовими поверхнями, що деформуються, та руху УКТТЗ з виконанням технологічних операцій обробітку ґрунту;
- експериментально дослідити адекватність опрацьованих аналітичних моделей імітаційного моделювання руху УКТТЗ на ґрунтових та твердих опорних поверхнях та при виконанні технологічних операцій обробітку ґрунту.

**Об'єкт дослідження** – універсальні колісні тягово-транспортні засоби типу «Автотрак/Унімог».

**Предмет дослідження** – формування базових конструкторських рішень та методика визначення характеристик і параметрів тягового приводу УКТТЗ.

**Методологія дослідження** – математичне моделювання динаміки руху УКТТЗ на технологічних та транспортних операціях, експериментальні дослідження адекватності опрацьованих методик імітаційного комп'ютерного моделювання. В основу досліджень покладено використання програмних пакетів MATLAB, Simulink, Autodesk Fusion 360, Statistical10, а також WES-методика НАТО оцінки руху колісних машин бездоріжжям.

### **Наукова новизна отриманих результатів дослідження.**

Уперше:

- опрацьована методика імітаційного комп'ютерного моделювання у програмному середовищі MATLAB Simulink динаміки колісної машини типу «Унімог/Автотрак» на ґрунтових поверхнях, що деформуються, під час виконання технологічних операцій;
- опрацьовано теоретичні основи вибору-розрахунку 2-діапазонної трансмісії УКТТЗ для поєднання виконання технологічного обробітку ґрунту та транспортних операцій, як в умовах бездоріжжя, так і на автодорогах із твердим покриттям.

Набули подальшого розвитку:

- моделювання взаємодії пневматичної шини з опорною поверхнею, що деформується, на базі емпіричних взаємозв'язків з показником твердості ґрунту – конусним індексом CI та WES-методології;
- оцінка впливу роботи колісного та причіпного технологічного обладнання на тягово-швидкісні характеристики руху УКТТЗ;
- наукові засади формування тягового приводу колісних машин – мобільних енергетичних засобів нового типу УКТТЗ для аграрної сфери.

**Практичне значення очікуваних результатів дослідження** полягає у формуванні методик конструктивного синтезу компоновки та вибору характеристик і параметрів тягового приводу УКТТЗ для використання у аграрній сфері. Відповідна співпраця з АТ «Укравтобуспром» (м.Львів) по реалізації результатів дослідження у дослідно-конструкторських роботах 2021- 25 рр.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати, рекомендації та висновки, що наведені у дисертаційній роботі, отримані автором самостійно та опубліковані у фахових виданнях, зареєстрованих МОН України, та у одному номері збірника зарубіжного видання. Серед них і аналізи наукових публікацій та зарубіжних нормативних баз, опрацювання математичної моделі та її реалізації в програмному середовищі MATLAB Simulink, виконання теоретичних досліджень та експериментальної оцінки адекватності, аналіз та інтерпретація отриманих

результатів. В опублікованих у співавторстві наукових працях дисертанту належать: аналіз сфер використання універсальних тягово-транспортних засобів Mercedes-Benz Unimog в країнах ЄС; розроблена імітаційна комп'ютерна модель руху колісних машин, по поверхні, що деформується, доопрацьована раніше створена модель, а саме додано модуль з визначення максимального тягового зусилля для здійснення підбору технологічного обладнання, методика проведення експериментального дослідження, методика формування передавального діапазону трансмісії, оцінка зміни навантажень на осі при русі по нерівній опорній поверхні.

**Апробація результатів роботи.** Основні результати роботи доповідались на міжнародних і всеукраїнських конференціях та форумах:

X Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2022 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс] Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2022. – (PDF 331 с.);

III Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції 19-20 жовтня 2022р. Рівне : НУВГП, 2022. 301с. Електронне видання;

Міжнародній науково-практичній конференції «AutoTRAK-2024». – Київ: НУБіП України, 2024. – 213 с;

XXV Міжнародному науково-практичного форумі, 02–04 жовтня 2024 року м. Дубляни;

IV Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури 10, 11 і 12 грудня 2024 року.PDF м. Київ4

I Всеукраїнській науково-практичній конференції. м. Полтава, 26 – 27 квітня 2023 р. Полтава, 2023. 360 с.

**Публікації.** Основні результати опубліковано у 11 наукових працях, у тому числі 4 статті у фахових виданнях МОН України, 1 стаття у закордонному виданні, в 6 тезах доповідей на всеукраїнських і міжнародних конференціях.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, який налічує 202 найменування. Повний обсяг роботи становить 161 сторінок. Робота містить 15 таблиць, 71 рисунок, 5 додатків.

## РОЗДІЛ І

### ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА КОНСТРУКЦІЙ КОЛІСНИХ ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТИПУ «АВТОТРАК /УНІМОГ»

#### 1.1 Розвиток конструкцій універсальних колісних тягово-транспортних засобів типу «Автотрак/Унімог»

Потреба в універсальних колісних тягово-транспортних машинах (УКТТЗ) з'явилася в Європі ще у післявоєнні 1940-і роки в умовах дефіциту будь-якої техніки, проте зараз вона зумовлена збільшенням ефективності ведення як сільського, так і комунальних господарств та інших сфер, адже одна одиниця такої техніки здатна виконувати велику кількість різних операцій, як транспортних, так і технологічних.

Розвиток УКТТЗ розпочався ще у післявоєнній Німеччині з виробництва у 1948 році моделі Unimog 70200 на заводі Gebr. Boehringer, рисунок 1.1 [1,2].

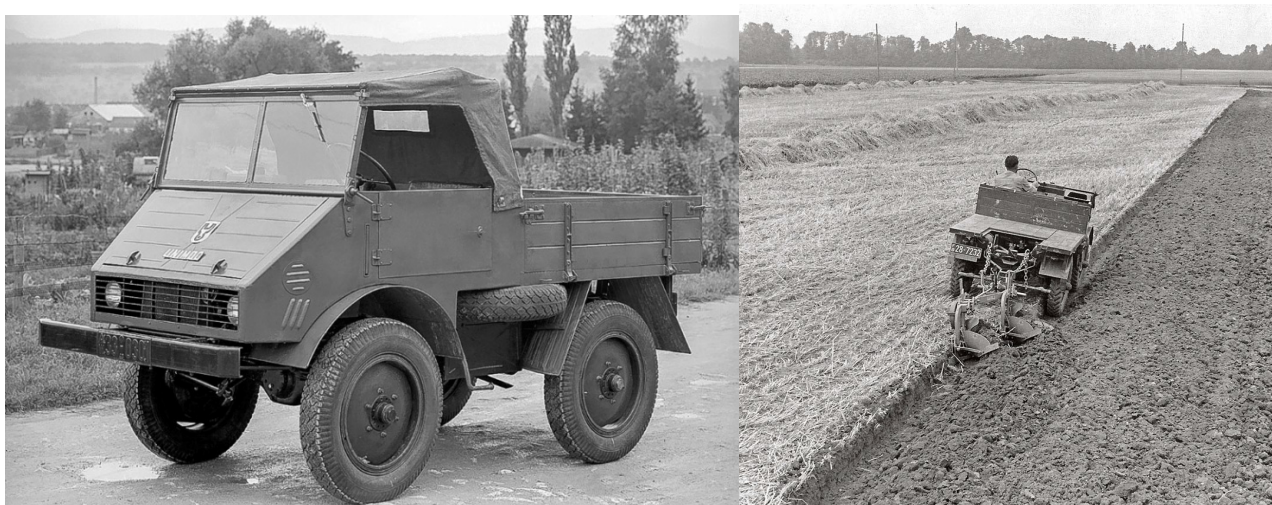


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд Unimog 70200 [2]

З 1946 року група працівників з Daimler-Benz на чолі з інженерами Альбертом Фрідріхом, Генріхом Реслером і Гансом Цабелем розробила та випробувала перші прототипи такого автомобіля-трактора. Саме Ганс Забель взяв дещо громіздку назву проекту «Universal-Motor-Gerät für Landwirtschaft» (переклад з нім. – «Універсальна моторизована машина для сільського господарства») і створив лаконічну аббревіатуру «Unimog».



Перший серійний Unimog 70200 був компактним, довжиною приблизно 3,5 метри. Він мав колеса однакового розміру, гідравлічні гальма, раму, виготовлену з U-подібних секцій, а також передні та задні ведучі осі з бортовими редукторами. Підвіска – пружини та гідравлічні амортизатори. Шини універсальні (6,5–18дюймів): розроблені як для доріг, так і для бездоріжжя, рисунок 1.2 [2] . В Unimog 70200 використовувався дизельний двигун легкового автомобіля Daimler-Benz - OM 636.912 – робочим об'ємом 1,7 л і потужністю 25 к.с. Базова 3-х ступенева коробка передач і 2-х ступенева роздавальна забезпечували діапазон робочих швидкостей 1–50км/год.

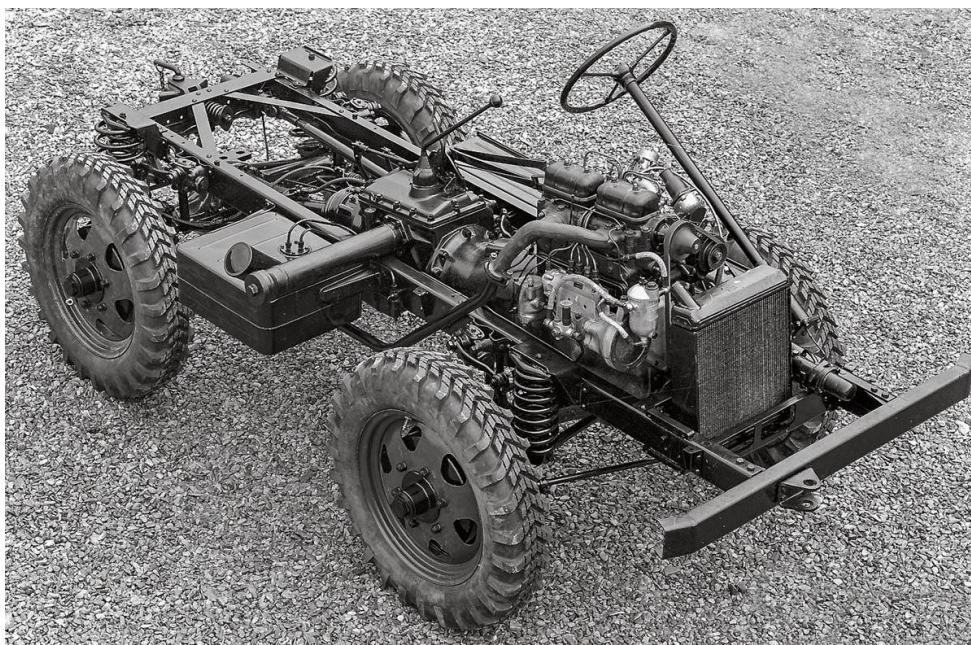


Рисунок 1.2 – Шасі першого Unimog 70200 [2]

Комерційний успіх Unimog 70200 зумовив викуп проекту з боку Daimler-Benz і перенесення виробництва з червня 1951р. на власний завод у м. Гаггенау вже як Unimog 2010 [3] (з незначними змінами у 5 варіантах виконання).

У 1953р. Daimler-Benz модернізував і змінив індексацию моделі на Unimog A401 (вже і з появою цільнометалевої автомобільної кабіни у версії A/F) та A402 – з видовженою колісною базою від 1720 до 2120 мм, що суттєво розширило ринок збуту за межі аграрної сфери.

Водночас з випуском моделей 401/402 у 1954р. розпочався випуск нової серії Unimog 403/ 404. На відміну від попередніх моделей і мод. 403, що були з



короткою колісною базою під сільськогосподарські трактори – детальний звіт про випробування [4], Unimog 404 являли собою невеликі вантажівки підвищеної прохідності з збільшеною вантажністю 1500 кг, виробництво яких здебільшого було спрямоване на військову сферу, рисунок 1.3 [1,3] .



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд Unimog 404 [1, 3]

Проте, даний транспортний засіб використовувався в цивільному житті як бортова вантажівка, бортова вантажівка з подвійною кабіною (автошкола), фургони з різними кузовами, в тому числі: як радіо та медичний транспортний засіб, пожежна машина і інш. Загалом було виготовлено 64242 автомобілі, що робить Unimog 403/404 найпопулярнішою серією Unimog на сьогоднішній день.

Серія 404 являла собою 10 моделей, на які встановлювалися різні двигуни (від 44 до 81 кВт), кабіни, вантажні платформи, додаткові прилади і обладнання з приводом від двигуна в залежності від потреб замовника.

До особливостей даної моделі слід віднести блокування міжосьового диференціала та високий кліренс (40 см) завдяки порталним мостам з бортовими редукторами.

Наступною була серія Unimog 411 Daimler-Benz AG виготовила 39581 одиниць з серпня 1956 по жовтень 1974 року [3]. Конструктивно 411 базується на Unimog 401. Від попередніх серій, серію 411 відрізняло насамперед різноманіття модельного ряду, всього було дванадцять різних моделей, які пропонувалися в численних варіантах з трьома колісними базами (1720 мм, 2120 мм і 2570 мм) та закритими і відкритими кабінами.

Першою серією середньої вантажності стала Unimog 406 спорядженої маси 2650 кг та повної 4560 кг [3,5]. Автомобілі цієї серії загалом виготовлялися з 1963 по 1989 рік на заводі Mercedes-Benz у м. Гаггенау, було випущено 37 069 одиниць. У порівнянні з серіями Unimog 401 і Unimog 411, ця модель в 11 модифікаціях мала подовжену колісну базу до 2380 мм та 2900 мм (мод. 416) і більш ніж удвічі більшу потужність двигунів від малотоннажних вантажівок.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд Unimog 406 (подвійна цільнометалева кабіна) [5]

Між оригінальним Unimog і середньою серією Daimler-Benz розробив легку, 421/403-ту серію, пізніше доповнивши ще 413-тою серією. Моделі легкої серії відрізняються колісною базою і потужністю двигуна. Серія 421 має колісну базу 2380 мм, а 403 — 2250 мм. У 1972 компанія Mercedes-Benz випустила



сільськогосподарський трактор MB Trac [6] з однаковими за розміром колесами, який на відміну від моделей Unimog був орієнтованим здебільшого на механічне землеробство. Новий трактор поєднав у собі технологію силового приводу Unimog із зовнішньою компоновкою трактора. Основними відмінностями MB-trac від моделей Unimog були: використання ресорної передньої і жорсткої задньої підвісок, кабіна розташовувалася між осями, проте трактори MB-trac не набули широкої популярності, загалом було продано 41365 одиниць. Виробництво серії MB-trac завершилося в 1991 році.

У 1974 році Daimler Benz розширив програму Unimog додатковою важкою лінійкою серії 425 (рисунок 1.5) [3]. Дана серія стала першою важкою серією, споряджена маса базової моделі становила 5940 кг, повна – до 10600 кг, та оснащувалися двигунами потужністю 98 і 148 кВт. Роздавальна коробка передач – планетарна коробка із трьома передачами: швидкісною, технологічною (польовою) та повзучою. Паралельна мод. 435 – подовжена версія колісної бази до 3850 мм (військова автотехніка) та розширеної лінійки двигунів від 124 до 170 кВт.



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд Unimog 425 [3]

По закінченню виробництва старих моделей Unimog 404 та 425/435 у 1987 році з'явилися легка 407 і у 1989 році – важка – 427/437 серії. Як і раніше, моделі мали десятки варіацій виконання. У моделі 407 були доступні коротка (2250 мм) та довга (2605 мм) колісні бази.

Середня серія Unimog 427 також була доступна як з короткою(2650 мм) так і з довгою (3250 мм) колісною базою. Двигуни встановлювалися потужністю від 100 до 213 к.с. У 1992 році на заміну 407-ї серії почала випускатися серія 408, рисунок 1.6. [7] . У новій серії додалися такі системи як регулювання тиску в шинах, якою можна керувати під час руху і системи траєкторної стабілізації руху, потужність двигунів становила від 88 до 115 к.с., пропонувалося коротка і довга колісна база – 2690 і 3220 мм.



Рисунок 1.6 – Загальний вигляд Unimog 408 [7]

У 1996 році дебютувала легка модель під назвою Unimog 409/UX100 – фактично модернізована безкапотна Multicar спорядженою масою 2,49 т та повною до 4,8 т , з часів соціалістичної східної Німеччини [9] ,що, однак, наприкінці 1998 року була продана компанії Нако GmbH і розглянута нижче.



З прем'єри у 2000 році Unimog 405 [3,7], що є наступником попередніх серій 408 , 418 і 427 і досі у виробництві. Незважаючи на те, що Unimog 405 має багато спільних технічних рішень з попередніми моделями Unimog, все ж таки має деякі технічні інновації. Всього існує 22 модифікації, дві з яких (405.210 і 405.230) продавалися виключно на північноамериканському ринку як Freightliner Unimog U 500. Базова модель Unimog 405 представлена на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Загальний вигляд Unimog 405 [10,11]

Фактично існуюче виробництво Unimog [10,11] зведено до 2 сімейств моделей – середнього 405 (позначення від U216 до U530, повною масою від 7,5 т до 16 т) та важкого 437.4 (позначення 4-значні, U3000, U4000 і U5000, останні популярні в арміях НАТО). Поетапний розвиток моделей Unimog у хронологічному порядку подано у додатку А (таблиця А.1) у вигляді таблиці із загальними технічними характеристиками. Базові технічні характеристики моделей сучасної лінійки Unimog подані у додатку А (таблиця А.2).



Рисунок 1.8 – Загальний вигляд базової моделі сучасної важкої лінійки Unimog 437.4 [11]

Концентрація виробництва Unimog у важкому та середньому класах обумовлена загальною тенденцією в ЄС (зрештою і в Україні в – агрохолдингах) домінанта застосування високопродуктивної важкої техніки – в аграрному секторі колісних тракторів класу тяги 3,0 – 6,0 і сектор легкої техніки є малочисельним з умов збуту в ЄС, окрім комунальної техніки, та аграрної сфери з малими площами угідь, переважно у гірських районах Італії, Швейцарії, Австрії, де, вслід за Unimog, і з'явилися численні малосерійні виробники.

Ідея створення власного універсального тягово-транспортного засобу була реалізована і у соціалістичному таборі, зокрема у Чехословаччині – де у 1986 році був створений аналог Unimog – універсальний Praga UV80 (Рисунок 1.9) [12-15]. Посприяло виробництву Praga UV80 те, що ні в Чехословаччині, ні в інших країнах СНД не випускався автомобіль, який би відповідав можливостям західнонімецьким Unimog-ам, які в той час купувалися для комунальних і сільськогосподарських потреб.



Рисунок 1.9 – Загальний вигляд Praga UV80 [14]

Praga UV80 агрегувалася 8-ми швидкісною (4 вперед, 4 назад) коробкою передач Praga 8PR30 або 8PR45 з дво- або три-ступеневою роздавальною коробками передач власного виробництва та двигунами Avia потужністю від 61 до 77 кВт (або пізніше у постсоціалістичний час Deutz) потужністю від 65 до 100 кВт, гідравлічною системою, яка дозволяє використовувати різні навісні пристрої на обох кінцях шасі, а також між осями. UV80 випускалась в декількох варіантах довжини з колісною базою 2800, 3400 або 4000 мм. Мости використовувалися порталні, власного виробництва, з бортовими редукторами та з блокуванням диференціалів. Підвіска - на гвинтових пружинах, підвіска задньої осі мала можливість блокування. Розмірність шин 12,5×20 або 14,5×20. Гальмівна система пневматична, двоконтурна, з барабанами на кожному колесі. Кермове управління оснащено гідропідсилювачем. Трансмісія власного виробництва дозволяла UV80 отримати діапазон швидкостей:

- Транспортний режим: 4,3 – 77 км/год
- Технологічний режим: 1,1 – 20 км/год
- Повзучий режим: 0,05 – 1,1 км/год



Крім типу UV 80, компанія також пропонувала більші типи UV 100 та UV 120 повною масою 10 т і 12 т відповідно. У 2001 році виробнича лінія була модернізована, і UV 80 був замінений на Alfa TN / UN [17] (рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 – Загальний вигляд Praga Alfa TN [16]

Praga Alfa TN [16] фактично являє собою UV 80 з покращеними експлуатаційними параметрами, зокрема потужність двигуна зросла до 132 кВт, зросла максимальна швидкість до 115 км/год, вантажність до 7 т, збільшився рівень комфорту – поява нової кабіни.

Основним замовником автомобілів був державний сектор. Однак у компанії існувала проблема з недостатніми продажами, протягом 2001–2003 років було вироблено менше 120 автомобілів усіх типів. У січні 2004 року компанія Praga збанкрутувала, але виробничі потужності по порталних мостах набула Tatra a.s. [17].

В Італії реалізатором ідеї вітчизняного УКТТЗ стала компанія Caron, яка була заснована як механічна майстерня в 1960-му році. Caron [18-20] з тих пір стала добре відомою і визнаною як один з найважливіших виробників універсальних транспортних засобів в сільськогосподарському, лісовому, будівельному та комунальному секторах. Своє виробництво компанія почала у



1960-тих роках з простих транспортувальних платформ (транспоптерів) з відкритою кабіною Caron FC10 (Рисунок 1.11) які виконували функцію транспортування вантажів та косіння трави. Пізніше, починаючи з моделі Transporter 222 Caron почала встановлювати вал відбору (ВВП) потужності на свої транспортери, що зробило їх затребуваними у високогірному землеробстві Італії.



Рисунок 1.11 – Перший транспортер Caron FC10 [18]

Сучасна ж лінійка транспортерів Caron являє собою 6 серій УКТТЗ, які відрізняються потужністю двигуна, вантажністю, типом кермового приводу та іншими конструктивними особливостями:

- СТ-S Series (75-136 к.с., 6,7 т., дві осі керовані)
- СТ-M Series (75-136 к.с., 8,5 т., дві осі керовані)
- СТ Series (75-136 к.с., 7,2 т., передня вісь керована)
- СТК-M SERIES (75-136 к.с., 5,3 т., дві осі керовані)
- СТК SERIES (75-136 к.с., 5 т., дві осі керовані)
- С SERIES (25-68 к.с., 3,2 т., дві осі керовані)

На рисунку 1.12 зображено загальний вигляд моделі Caron СТ-S у базовому виконанні, як найбільш популярної серії.



Рисунок 1.12 – Загальний вигляд Caron CT-S у базовій комплектації [18]

Універсальна версія транспортера серії CT-S забезпечує дуже широкі можливості налаштування та максимальну універсальність, задовольняючи потреби різноманітних секторів. У базовій комплектації він має універсальне шасі та швидкоз'єднувальні пристрої для начіпного обладнання. На вибір 3 варіанти колісної бази 2600, 2800 і 3000 мм, незалежний центральний ВВП на 540/1000 об/хв і незалежний ВВП з верхнім і/або нижнім виходом на задню вісь. Доступні різні версії гідравлічної системи для керування обладнанням, з важільним або джойстиковим керуванням.

Ще однією італійською компанією, яка успішно здійснила спробу створити свій вітчизняний УКТТЗ, була компанія SAME [21-26]. На відміну від інших тогочасних компаній, які намагалися повторити конструкцію оригінального Unimog, в компанії SAME вирішили піти іншим шляхом і зробили колісну машину, що є в першу чергу трактором (задні ведучі колеса більшого діаметру але з розширеними автомобільними можливостями). Так, у 1961 році був представлений перший прототип «багатоцільового автомобіля для роботи на полях і транспортування вантажів» Samecar Agricolo (Рисунок 1.13).

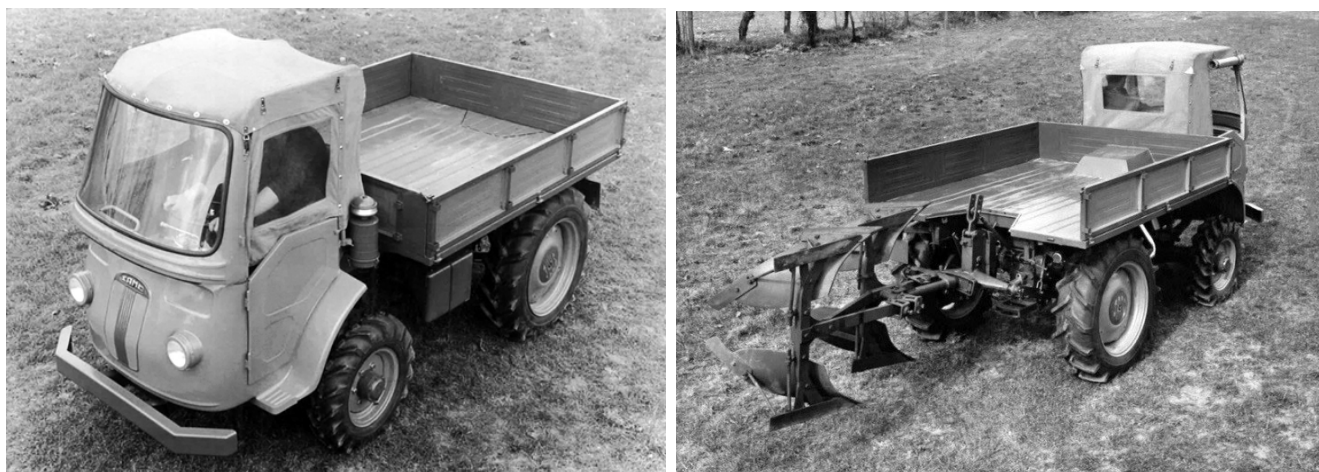


Рисунок 1.13 – Загальний вигляд Same Samecar Agricolo [21]

З дизелем власного виробництва потужністю 35-45 к.с. Agricolo забезпечував оранку двокорпусним плугом та перевезення вантажу 1,2–1,5 т. У важчій моделі Того вже були автомобільні колеса однакового типорозміру, вантажність 2 т та вища максимальна швидкість руху.

У 1963 році на світ з'явилася важка модель – Elefante [27] з десятилітровим тракторним 180-сильним дизелем повітряного охолодження V8 та чотириступінчастою коробки передач. Це була вже повноцінна важка аграрна вантажівка, якій довелось конкурувати з FIAT і виробництво припинилося в 1965 році. Сама ж компанія, за допомогою виробництва своїх тракторів та нескінченної серії технічних новацій продовжує розвиватися [25].

Ще однією італійською компанією, що виготовляла колісні машини універсального призначення, була Bremach. На відміну від попередніх, Bremach [28-30] спеціалізувалася на виробництві вантажівок підвищеної прохідності, шасі яких також використовувалися в комунальній, військовій та аграрній сферах шляхом встановлення на їх шасі необхідного обладнання.

Остання модель, Bremach T-Rex [30] (Рисунок 1.14) мала безліч варіантів виконання: з колісними базами 2600, 3100, 3450, 3700 мм, з трубчастою рамою власного виробництва, двигунами потужністю від 116 до 179 к.с. Пропонувалося дві коробки передач, механічна ZF S4000 (6+1) та автоматична Allison 100SP

(5+1) в парі з оригінальною роздавальною коробкою Bremach власного виробництва.



Рисунок 1.14 – Загальний вигляд базової моделі Bremach T-Rex [30]

Ще однією компанією, яка з 1950-х років випускала автомобілі універсального призначення, була компанія Multicar [3134] у тодішній Німецькій демократичній республіці, і тепер є частиною Possehl Group в об'єднанні з Нако, ФРН [35, 36] та була недовго під контролем Mercedes-Benz [17]. Основою виробничої програми була практично мікролітражна модель Multicar М 22 [33] (Рисунок 1.15) з 2-циліндровим дизелем потужністю 11 кВт та переважним використанням у комунальній сфері. З середини 1990-х р.р. (не без участі Mercedes-Benz [17]) повністю оновлена модельна гамма – фактично уніфіковані по кабіні чотири моделі Multicar М 29, М 31, М 41 [36] класу УКТТЗ повною масою 6–7,5 т та дизелями потужністю 80–110 кВт. На рисунку зображено загальний вигляд найбільш популярної моделі Multicar М 31.

На шляху розвитку Multicar поступово перейшло з класу молотонажних автомобілів в середній. Наспутні моделі отримали покращення техніко-експлуатаційних характеристик. На рисунку 1.16 подано загальний вигляд найбільш популярної моделі Multicar М 31.





Рисунок 1.15 – Загальний вигляд Multicar M 22 [33]



Рисунок 1.16 – Загальний вигляд HACO Multicar M 31 [36]

Ще один німецький виробник УКТТЗ – компанія HANSA [37], здебільшого займається виробництвом машин для комунального сектора. Сучасну лінійку

HANSA можна поділити на легку серію, це моделі APZ 1003 K 3.5-T, APZ 1003 K, APZ 1003 M, повною масою від 3,5 до 7,1 т, оснащені двигуном потужністю 75 к.с., та важку серію, це моделі APZ 1003 L, APZ 1003 XL, APZ 1003 XL 9.5 T, повною масою від 7,5т до 9,5 т, з двигунами потужністю 175 к.с. Також, до конструктивних особливостей цього сімейства варто віднести гідростатичну трансмісію та можливість керування передньою та задньою осями.

На рисунку 1.17 зображено базові версії легкої (APZ 1003 K 3.5) та важкої (APZ 1003 XL 9.5 T) серій Hansa.



Рисунок 1.17 – Загальний вигляд базових моделей HANSA (APZ 1003 K 3.5-T – зліва, APZ 1003 XL 9.5 T – справа) [37]

Lindner – ще одна компанія, яка займається виробництвом своїх УКТТЗ – Lindner Unitrac з Австрії [38,39] - комунального сектору, канатних доріг/курортів і ферм/аграріїв. Зараз у Європі працює понад 3500 одиниць Unitrac з 10000 одиниць навісного обладнання. Лише в комунальному парку м.Відня є понад 80 Unitrac. Незалежна підвіска коліс і гідравлічні циліндри підвіски з мембранними акумуляторами гарантують оптимальний комфорт з максимальною мобільністю на бездоріжжі, всі чотири колеса мають постійний контакт із землею та максимально можливе зчеплення.



Сучасний модельний ряд Unitrac представлений у вигляді 4-х моделей, це:

- Unitrac 72 P5 (двигун потужністю 55 кВт, повна маса 3350 кг) (рисунок 1.18);
- Unitrac 92 P5 (двигун потужністю 74кВт, повна маса 3450 кг);
- Unitrac 112 LDrive (двигун потужністю 79кВт, повна маса 3850 кг);
- Unitrac 122 LDrive (двигун потужністю 90кВт, повна маса 3975 кг).

Усі сучасні моделі Lindner Unitrac агрегатуються безступінчастими коробками перемикання передач власного виробництва та валом відбору потужності.



Рисунок 1.18 – Базова модель Lindner Unitrac 72 P5 [38]

Ще одне сімейство УКТТЗ але, здебільшого сільськогосподарського спрямування - Reform Mulі, рисунок 1.19 [40-42], що виробляється в стандартній комплектації з 1967 року. Транспортер призначений для безпечної та ґрунтозберігаючої роботи в будь-якій зоні. Він відрізняється надзвичайною прохідністю, маневреністю, максимальною безпекою та комфортом для водіїв.



Рисунок 1.19 – Базова модель середнього класу - REFORM Muli T7 X [41]

Сучасне сімейство REFORM MULI представлене широкою лінійкою транспортерів універсального призначення, сама компанія ділить їх на три класи:

- середній клас - Muli T7 X (рисунок 1.19), T8 X, T8 X PRO (двигун потужністю 80 кВт, повна маса 8100 – 9500 кг);
- преміум клас – Muli T10 X, T10 X HybridShift (двигун потужністю 80 кВт, повна маса 9500 кг);
- Muli T15 V (двигун потужністю 55 кВт, повна маса 3350 кг).

Усі класи оснащуються гібридними трансмісіями власного виробництва T10 X HybridShift, що поєднують як механічну так і гідростатичну складові, валами відбору потужності - як ззаду, так і спереду.

У Швейцарії виробництвом УКТТЗ займається компанія Aebi Schmidt Group, основою діяльністю якої є виробництво сільськогосподарської техніки, важкого обладнання, а також комунальної техніки [43].





Рисунок 1.20 – Базова модель середнього класу – Aebi TP 410 Agriculture [43]

Сучасна лінійка УКТТЗ Аебі [43] представлена двома серіями:

- Компактна серія з вузькою колією – Аебі МТ 760 (6500 кг), МТ 770 (7500 кг)
- Класична серія Аебі TP 410 Agriculture (рисунок 1.20), TP 410 Municipal, TP 470 Vario (Рисунок 1.20).

У радянській Україні з 1956р. на Харківському заводі тракторних самохідних шасі (зараз ТОВ «Завод самохідних шасі») розпочато виробництво тягово-транспортних машин з бортовим кузовом та задньомоторною компоновкою з послідовною модернізацією початкової моделі і виходом у 1961р. на Т16 /СШ16 (найбільш масової, сумарного випуску біля 600 тис. шт ), СШ 20 та СШ 28 аж до теперішнього часу (рисунок 1.21) [44, 45] (Зміна індексу базувалась насамперед на збільшенні потужності – у к.с. – двоциліндрового дизеля).



Рисунок 1.21 – Загальний вигляд СШ-20 [46]

Звично, що Т 16/СШ 20/СШ 28 не є повноцінним типом «Автотрактор» – перевезення 1–1,5 т вантажу (при класі тяги 0,6т) обмежені потужністю двигуна та тракторними шинами, швидкістю руху з якими обмежується до 20–25 км/год. Але загалом ця машина є актуальною для невеликих агрогосподарств (у т.ч. на фоні масового імпорту тракторів аналогічної потужності з КНР та саморобних причепів). Про її актуальність свідчить і нещодавнє відродження в Білорусі у модернізованому виді (з власними 3- і 4-циліндровими дизелями 30–40 к.с.) на Мінському моторному заводі як ММЗ 30ТД/40ТД [46] та промислове виробництво аналога - СИЛАНТ «Універсал» на Чебоксарському заводі силових агрегатів у Чувашії з дизелем Perkins 3,3 л та нещодавню появу там і версії з електроприводом [47]. Але загалом обидві машини – ММЗ і СИЛАНТ «Універсал» – залишаються з «тракторним» обмеженням швидкості руху до 30 км/год. Разом з тим слід констатувати реалізацію іншого модельного ряду - малотоннажного аналога Унімог/Автотрак – Силант, рисунок 1.22, створеного у 2005–2008 р.р. під керівництвом проф. Т.Д. Дзоценідзе [48-50].





Рисунок 1.22 – Загальний вигляд УКТТЗ Сілант [48]

Наприкінці 1980-х р.р. ХТЗ випустив невелику партію колісних тракторів середнього моторної компоновки ХТЗ 3130 класу тяги 0,8 т з переднім та заднім навісним обладнанням і діапазоном робочих швидкостей руху 0,57-33 км/год (рисунок 1.23 [51]). При спорядженій масі 2500 кг шини дозволяли установку вантажної платформи на 1,5 т (з збільшення колісної бази), але з обмеженням швидкості 40 км/год. Заміна шин на співрозмірні автомобільні з всюдихідним протектором з внесенням змін у передавальні числа трансмісії фактично дозволили б вийти уже на повноцінний «Автотрак/Унімог», але криза 1990-х р.р. та, очевидно і інші причини зупинили цей проект за півкроку до повноцінного УКТТЗ.

Подібна спроба була більш успішною вже після розпаду СРСР у Білорусі на Мінському тракторному заводі – початково це МТЗ ШУ-356 [52], рисунок 1.23.



Рисунок 1.23 – Загальний вигляд трактора ХТЗ-3130 [51]

Проте на відміну від харківського ХТЗ-3130, МТЗ ШУ-356 (рисунок 1.24) (з тракторними шинами різних типорозмірів і обмеженням швидкості) отримало свій подальший розвиток у вигляді ШУ-406 та ШУ-466 [54-56] (рисунок 1.25).



Рисунок 1.24 – Загальний вигляд трактора МТЗ ШУ-356 [52]

Перехід на автомобільні шини підвищеної прохідності дозволив забезпечити МТЗ Ш 406 / ШУ 466 значне підвищення швидкості руху (при

вантажності 3,5 т) та забезпечити тягове зусилля класу 1,2 т (повний привід 4х4). Практично це вже середньотонажний Унімог/Автотрак з двоступеневою роздавальною коробкою передач та експлуатаційною масою 6,7 т.



Рисунок 1.25 – Загальний вигляд трактора МТЗ Ш-406 [53, 54, 55]

Впродовж останнього десятиліття в Україні завдяки ініціативі ННЦ ІМЕСГ НААНУ, зокрема д.т.н. Погорілого С. П., опрацьовано конструкцію і дано оцінку використання УКТТЗ на шасі повнопривідного автомобіля КраЗ 6322 – МЕЗ-330 [56 – 58] . Даний УКТТЗ пройшов всесторонні випробування по механічному обробітку ґрунту (розглянуті нижче) і був представлений на виставці «Агро-2017», де здобув вищу відзнаку. Автотрактор МЕЗ-330 може виконувати транспортні і польові роботи, зокрема, вносити добрива, обробляти ґрунт, сіяти, обприскувати посіви, виконувати транспортно-перевантажувальні операції, тощо (рисунок 1.26). В роботі [58] детально проаналізовано і подібні аналоги УКТТЗ на повнопривідних автомобільних шасі КаМАЗ та «УРАЛ» (схем 6х6 і 4х4). Практично констатовано і експериментально підтверджено реалізація МЕЗ-330 «Автотрак» класу тяги 3.0 т. Однак загалом ці машини є актуальними для великих аграрних господарств, проблема власне для малих господарств з обмеженими



фінансовими можливостями і поєднання виконання транспортних і технологічних операцій залишається в Україні відкритою.



Рисунок 1.26 – Загальний вигляд МЕЗ-330 з багатокорпусним плугом [58]

Попри обмежений доступ до інформації про розвиток теми УКТТЗ в КНР можна все-таки констатувати наявність декількох моделей середнього (рисунок 1.27) та важкого (рисунок 1.28) класів, що значним чином корелюють з МВ Unimog попереднього покоління.



Рисунок 1.27 – Китайський аналог MB Unimog 425 – Shacman Shaanxi [59]

Як приклад – китайський Shacman Shaanxi SX2108S [60] (Рисунок 1.28), конструктивно – копія Unimog U5000, силовий привід являє собою двигун Foton Cummins F4.5NS6B220/National VI в парі з коробкою передач 6DS80T/8JS85TE-C, колісна формула 4x4, розміри шин 365/80R20 12RP. Дана модель випускається з одинарною та подвійною кабінами.



Рисунок 1.28 – Загальний вигляд Shacman Shaanxi SX2108S [60]

Базові конструктивні параметри моделей УКТТЗ, присутніх на сучасному світовому ринку, наведено у вигляді таблиці у додатку А (таблиця А.3).

## **1.2 Аналіз досліджень параметричної оптимізації силового приводу автомобілів та колісних тракторів**

Формування тягово-швидкісних характеристик автомобіля та колісного трактора в аспекті визначення необхідної максимальної потужності двигуна, передавальних чисел трансмісії (механічної коробки передач, роздавальної коробки, головної передачі) та типорозміру шин звично є розмежованими і передбачають різні критерії оптимальності – для автомобілів це насамперед динаміка розгону і паливна економічність [61-64], для повнопривідних для

бездоріжжя – додатково переборення певного сумарного опору руху при визначенні понижуючої передачі роздавальної коробки [65-67 і інш.] . Зростання мобільності військових дій в сучасних умовах зумовили зміщення акценту при формуванні нижнього діапазону передавальних чисел трансмісії (понижуючої передачі РК) на забезпечення максимально можливих швидкостей руху в умовах бездоріжжя [68, 69] . Останні умови щодо військової автомобільної техніки (ВАТ) однак не є актуальними для сільськогосподарських тракторів, де механічний обробіток ґрунту регламентовано певними обмеженими агротехнологічними швидкостями руху. Для колісних тракторів це насамперед формування максимально можливої тягової сили на гаку при заданій експлуатаційній масі у діапазоні агротехнологічних швидкостей 6-11 км/год з врахуванням обмежень сили зчеплення ведучих коліс з ґрунтом та відповідно підібраних типорозмірів шин [70 – 77 і інш.]. Природньо, що питання динаміки розгону чи досягнення високих швидкостей руху, що для тракторів звично обмежені до 40 км/год, не є актуальними. Загалом побудова ряду передавальних чисел ступенів механічних трансмісій базується здебільшого на так званому геометричному ряді, у т.ч. з умов ідентичності швидкісного діапазону роботи дизельних двигунів на всіх передачах. У сучасних моделях УКТТЗ МВ Unimog, як правило, використовується 3-діапазонна роздавальна коробка з 2 понижуючими передачами – рух бездоріжжям/механообробка ґрунту і рух на так званих повзучих швидкостях – у діапазоні 0,1-1,48 км/год [67] – для використання насамперед з відповідним обладнанням у дорожньо-будівельній та комунальній сферах. У відкритому доступі фактично відсутня інформація щодо методичних засад розрахунку вищезазначених конструктивних параметрів і характеристик силового приводу УКТТЗ МВ Unimog (що використовуються і у військовій сфері). Враховуючи, що об'єкт дослідження - потенційна базова модель Автотрак/Unimog – ТУР ВТ 04 «Автотрак» базується на агрегатній базі і шасі важкого військового джипа ТУР К05 розробки «Укравтобуспром» і призначена насамперед для дрібних фермерських та одноосібних сільських господарств та обмеженням по масовій категорії В посвідчення водія, у нашому випадку



обмежуємось 2-х ступеневою роздавальною коробкою, без включення діапазону «повзучих» швидкостей. Тим паче, що і абсолютна більшість вищенаведених аналогів УКТТЗ у розділі 1.1 не передбачають 3-х ступеневої роздавальної коробки. Питання максимального використання уніфікованих серійних агрегатів є також вкрай актуальним і з умов ціноутворення та технічного сервісу під час експлуатації.

З аналізу вищевикладеного випливає:

- підбір передавального діапазону та передавальних чисел базової механічної 6-ступеневої коробки передач здійснюється з умов транспортного режиму при ввімкнутій прямій передачі у роздавальній коробці відповідно до методології теорії автомобіля ( з огляду на практику формування вантажних автомобілів категорії N1);

- розрахунок/підбір трансформації передавального діапазону трансмісії для технологічного (тягового) режиму руху – механічного обробітку ґрунту зводиться до визначення передавального числа понижуючої передачі роздавальної коробки, що забезпечувало б реалізацію максимально можливого (з умов зчеплення шин з типовим ґрунтом під оранку) тягового зусилля (зусилля на буксирному гаці ) у діапазоні технологічних швидкостей руху 6-11 км/год;

- першопочатковою умовою проведення вищевикладених розрахунків є визначення моделей і тягово-швидкісних характеристик двигунів (тут -для ТУР ВТ 04), типорозміру шин і послідовно – передавального числа головної передачі.

Дизельний двигун для об'єкту досліджень – Автотрак – залишається незмінним з базової моделі важкого джипа, у виконанні «Євро-5» згідно умов сертифікації – допуску нових моделей колісних транспортних засобів (КТЗ) до експлуатації на автодорогах України [78, 79]. Запас потужності варіантів двигунів (в межах 160-180 к.с./120-130 кВт) базової моделі ТУР К 05 більш ніж достатній для версії «Автотрак» і за питомою потужністю перевищує абсолютну більшість вищенаведених прототипів. Вимоги щодо екологічних норм двигунів та гальмівних характеристик тракторів з умов їхньої сертифікації є нижчими у порівнянні до КТЗ і регламентовані відповідною нормативною базою [80].

Вибір шин щодо КТЗ та колісних тракторів відрізняється насамперед щодо вимог до допустимих швидкісних режимів, де для тракторних шин значно нижчі граничні швидкості руху. З іншого боку підвищені вимоги щодо зчеплення шин з ґрунтовими поверхнями і, відповідно, рисунку протектора та вищої висоти ґрунтозачепів у порівнянні до автомобільних для бездоріжжя. Нормативна база щодо тракторних шин в Україні опрацьована достатньо детально, у т.ч. з урахуванням міжнародних стандартів ISO [81, 83]. Зрештою прийняті вимоги Правил ЄЕК ООН № 106 щодо шин для сільськогосподарських транспортних засобів, що теж є актуальними щодо предмету дослідження [84].

Детально методологія вибору шин колісних тракторів висвітлена у роботі [70] з графічною номограмою вибору базових параметрів трактора залежно від заданого тягового зусилля на гаці рисунок 1.29 . Номограма складається з 4-х квадрантів, де на основі аналізу реальних моделей тракторів, у т.ч. зарубіжних, представлено узагальнені криві залежностей між базовими технічними параметрами тракторів обидвох колісних схем 4x2 та 4x4. Зокрема у верхньому правому квадранті (рисунок 1.29) представлено графічне визначення рекомендованих діаметрів ведучих коліс D (2- шини середньої ширини, 3 – ширші шини) залежно від обраного (заданого) значення тягового зусилля на гаці  $P_{кр}$  (класу тяги в тонах), у даному випадку з прикладом типу МТЗ 80 схеми 4x2 класу 1,4. У правому нижньому сегменті – залежність зміни необхідної експлуатаційної маси трактора обох колісних схем G (у тонах) від від класу тяги  $P_{кр}$  (тут окремо виділена модифікація схеми 4x2 з керованими (напрямними) колесами меншого діаметру і підключенням до силового приводу – переходом до схеми 4x4, але з колесами різних діаметрів на передній і задній осях. У лівому нижньому квадранті – через горизонтальну напрямну з правого квадранта з визначеною експлуатаційною масою – визначення раціонального статичного розподілу навантажень на осі (без врахування довантаження задньої осі різним навісним чи причіпним обладнанням).

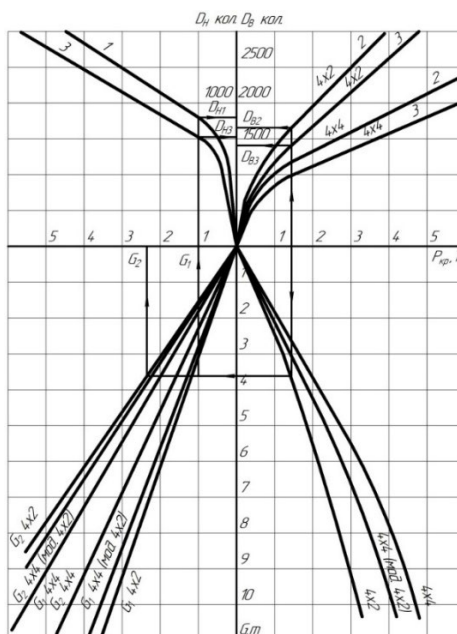


Рисунок 1.29 – Номограма вибору базових параметрів колісного трактора [70]

У лівому верхньому квадранті представлена графічна залежність для передніх керованих (напрямних) коліс схеми 4x2 (для вузьких 1 та широких 3 шин, рисунок 1.29) визначення діаметру залежно від розподілу статичних навантажень на передню вісь.

На прикладі (рисунок 1.29) представлено підбір вищезазначених базових параметрів для трактора колісної схеми 4x2 класу 1,4. Зокрема отримано рекомендації щодо необхідної експлуатаційної маси 3,16 т з розподілом навантажень на задню вісь 2110 кг і на передню – 1050 кг. Рекомендований діаметр ведучих коліс – 1590 мм (шини середньої ширини) і 1350 мм (широкі шини), діаметр керованих (напрямних) коліс, відповідно, 870 мм (вузькі шини 1) та 750 мм (широкі шини 3). З номограми також очевидно, що при переході на повнопривідні схеми 4x4 обох вищезазначених варіантів необхідна експлуатаційна маса відчутно зменшується.

Очевидно, що дані залежності опрацьовані для тракторних шин, що не мають необхідного з умов цільової концепції «Автотрак» індексів допустимих максимальних швидкостей руху, але і при використанні діагональних шин автомобілів підвищеної прохідності вищезазначена методика є актуальною для оцінки підбору шин у технологічному режимі (машинного обробітку землі).

Сучасні вітчизняні дослідження у цій сфері – кандидатські дисертаційні дослідження Білецького В.Р. [85] та Балаки М.М. [86,87] опрацьовано щодо тракторної та дорожньо-будівельної сфер, найбільш детально власне у аграрній сфері з врахуванням агроекологічних аспектів взаємодії шин/колів з ґрунтом у монографії д.т.н. Реброва О.Ю. [88]. Огляд і аналіз розвитку шин у аграрному секторі представлено у роботі [89], Дослідженню вибору і взаємодії з ґрунтом колісних рушіїв тягово-транспортних машин присвячена дисертаційна робота Болдовського В.Н. [90], а у дослідженнях д.т.н. Погорілого С.П. акцент зроблено на оцінку питомого тиску у контакті шин з ґрунтом з умов агроекології [91]. Взаємодія і вибір шин з всюдихідним протектором для бездоріжжя є предметом і сучасних зарубіжних дослідженнях [92], в РФ оновлено колишній радянський військовий стандарт щодо шин для колісної техніки [93]. Практичний інтерес представляє і дослідження у ФРН щодо вибору і ефективності шин тракторів при виконанні транспортних робіт [94].

Передавальне число головної передачі визначається з умов кінематики забезпечення заданої максимальної швидкості руху КТЗ повної маси на асфальтобетонній дорозі І категорії (при прямій передачі у базовій та роздавальній коробках трансмісії). Це класична задача теорії руху автомобіля [96 – 98], однак з внесенням змін – під задану максимальну швидкість з врахуванням індексу допустимої швидкості для автомобільних шин підвищеної прохідності та відповідного допустимого навантаження з умов експлуатаційної маси машини та довантаження задньої осі навісними/ причіпними знаряддями обробітку землі та вантажним причепом.

Визначення передавального числа понижуючої передачі роздавальної коробки з умов механічного обробітку ґрунту суттєво відрізняється від існуючих методик розрахунку для автомобілів високої і підвищеної прохідності [99-102]. В аграрній сфері чітко регламентовано діапазон швидкостей різних операцій обробітку ґрунту (7-12 км/год, [103-111]) і власне під нього необхідно здійснювати підбір даної понижувальної передачі з умов реалізації максимального класу тяги для відповідної експлуатаційної маси «Автотрак».

### 1.3 Огляд та аналіз досліджень у сфері проектування та експлуатації УКТТЗ

В Україні, попри розробку і нетривале малосерійне виробництво УКТТЗ типу «Автотрак» (хоча і з обмеженнями транспортних швидкостей в діапазоні тракторних – до 40 км/год, тобто фактично трактор з транспортними функціями) фактично тільки у 2000-х роках актуалізувалась тематика «Унімог»/ «Автотрак» [112] . Однак ще 1990-х роках актуальність теми УКТТЗ – МЕЗ (модульних енергетичних засобів) піднімалась професором Надикто В.Т. [113], а пізніше і внесення машин цього типу у перспективний типаж тракторів в Україні [114] . Однак найбільш об'ємний обсяг досліджень у цій сфері, насамперед експериментальних, проведено д.т.н. Погорілим С.П. на базі конверсії повнопривідного автомобіля КрАЗ 6322 у МЕЗ-330 «Автотрактор» (МЕЗ – мобільний енергетичний засіб) [115-122]. Першопочатково С.П. Погорілим та В.В. Адамчуком було розглянуто варіант використання автомобільного шасі підвищеної прохідності КрАЗ-6322 для внесення твердих органічних добрив в парі з агрегатом АРОД-11 [115]. Зокрема здійснено порівняльний аналіз продуктивності використання КрАЗ-6322+АРОД-11 та класичного машинно-тракторного агрегату (МТА) ХТЗ-17221+ПРТ-11. За результатами дослідження було зроблено висновок, що використання МТА на базі автомобільного шасі КрАЗ-6322 зі змінним технологічним модулем АРОД-11 для виконання технологічних операцій внесення твердих органічних добрив дасть можливість збільшити продуктивність на 50% порівняно з МТА ХТЗ-17221+ПРТ-11, що зрештою дасть можливість зменшити собівартість виробництва продукції рослинництва.

Подальший розвиток досліджень продемонстрував можливість реального розширення сфер використання даного шасі КрАЗ (з відповідним дообладнанням) у МЕЗ з переліком операцій що може виконувати (тут конкретно МЕЗ-330 «Автотрактор»):

- внесення твердих та рідких органічних добрив;

- внесення твердих і рідких мінеральних добрив та хіммеліорантів;
- обробіток ґрунту: лущення стерні; культивація; дискування; коткування; боронування;
- снігоприбирання;
- сівба;
- завантаження сівалок;
- підживлення та обприскування посівів сільськогосподарських культур;
- накопичування, транспортування та перевантаження сипучих технологічних матеріалів.

Також наведено схеми агрегатів що можуть бути скомплектованих на базі автомобіля (рисунок 1.30) та дана оцінка економічної ефективності використання МЕЗ-330 у порівнянні зі звичними колісними тракторами вітчизняного (Т-150К) та зарубіжного виробництва [123] .

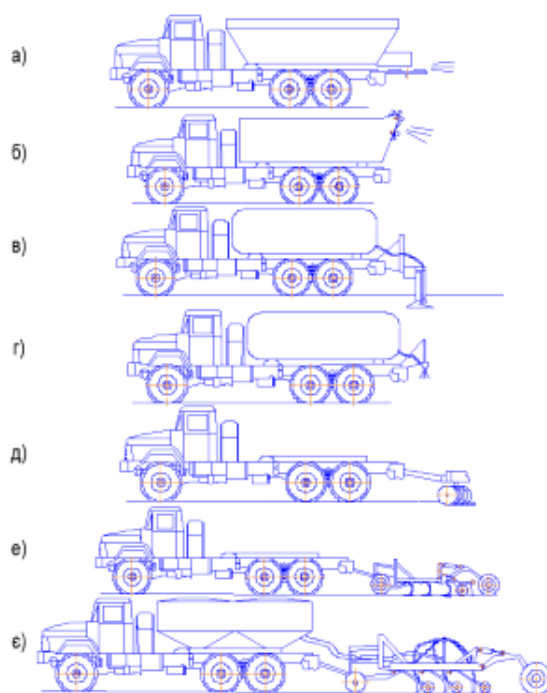


Рисунок 1.30 – Схеми агрегатів, скомплектованих на базі автомобіля, для виконання основних технологічних операцій рослинництва: а) внесення твердих мінеральних добрив; б) внесення твердих органічних добрив; в) внутрішньогрунтове внесення рідких добрив; г) обприскування посівів; д) дискування; е) культивація; є) сівба [122]

У роботі [122], враховуючи значну експлуатаційну масу МЕЗ-330 (але з тривісною схемою бхб) представлено результати проведених експериментальних досліджень впливу тиску повітря в шині колеса на площу її контакту при постійному нормальному навантаженні, обґрунтовано обладнання МТА на базі автомобільного шасі шинами з широким профілем та системою контролю підкачки шин, яка дасть можливість зменшити негативний вплив на ґрунт МТА та розширити перелік технологічних операцій на яких може застосування МТА. За результатами статистичної обробки отриманих експериментальних даних було отримано рівняння регресії з ймовірністю довіри 0,99:

$$F = 2672\rho^2 - 12408\rho + 2442,4 \quad (1.1)$$

де  $F$  – площа контакту шини, см<sup>2</sup>;  $\rho$  – тиск повітря в шині, МПа.

Очевидно, що значна експлуатаційна маса високопродуктивних МТА класу тяги 3-6 (як і МЕЗ-330, що вже домінують в агрохолдингах і великих фермерських господарствах, зумовлює проблему надмірного ущільнення земель і це зумовило актуальні дослідження у цій сфері [123-127], результати яких безумовно слід враховувати при розробці УКТТЗ. Враховуючи функції УКТТЗ типу Автотрак/Унімог транспортування продукції на автодорогах всіх категорій однозначною умовою впливає використання власне автомобільних шин з всюдихідним протектором (останній обумовлений власне технологічними операціями обробітку ґрунту) і відповідними типорозмірними рядами та характеристиками шин цього типу, де, однак, практично відсутня вітчизняна нормативна база [81-84]. Існуючі вітчизняні шинні заводи випускають ряд моделей під диски 18"-22", що достатньо для УКТТЗ різних класів тяги.

Проведені дослідження в реальних польових умовах засвідчили забезпечення МЕЗ-330 класу тяги 5 [57,116-119], у т.ч. з використанням на оранці різних багатокорпусних плугів (з рекомендацією баластування тягача). Окрім цього проведена і експериментальна оцінка сил опору коченню на ґрунтових поверхнях, що деформуються, [109], а також аналіз та сформовано пропозиції

щодо класів та базових параметрів УКТТЗ «Автотрак/Унімог» (як мобільних енергетичних засобів – МЕЗ) та раціональних значень експлуатаційної маси [116]. Зокрема важливим (робота виконувалась у Національному науковому центрі «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства») є констатація ефективності використання УКТТЗ «Автотрак» на 5 з 7 базових технологічних операціях по вирощуванню сільськогосподарських культур та фактично ефективність для господарств, що мають у користуванні до 100 га аграрних угідь двовісних УКТТЗ повною масою біля 3т (та вантажністю 2т, що з точки зору реалій спорядженої маси машини такого класу є завищеним очікуванням), а також повної маси біля 5т для господарств, що мають у користуванні від 100 до 500 га. Запропоновано типорозмірний ряд УКТТЗ «Автотрак» під звичні з часів СРСР тягові класи (таблиця 1.1) [122].

Таблиця 1.1 – Пропозиції базових параметрів типу МЕЗ «Автотрак» [122].

Тяговий клас	Номінальне тягове зусилля [2.1], кН		Експлуатаційна маса МЕЗ, т		Потужність ДВЗ МЕЗ, кВт	
	min	max	min	max	min	max
0,2	0,8	5,4	0,2	1,4	4,0	27,3
0,6	5,4	8,1	1,4	2,1	27,3	40,9
0,9	8,1	12,6	2,1	3,2	40,9	63,6
1,4	12,6	18,0	3,2	4,6	63,6	90,9
2	18,0	27,0	4,6	6,9	90,9	136,3
3	27,0	36,0	6,9	9,2	136,3	181,7
4	36,0	45,0	9,2	11,5	181,7	227,2
5	45,0	54,0	11,5	13,8	227,2	272,6
6	54,0	72,0	13,8	18,4	272,6	363,5
8	72,0	108,0	18,4	27,6	363,5	545,2



Також визначено, що функціонально УКТТЗ «Автотрак» повинні забезпечувати максимальну швидкість руху на асфальтобетоні біля 80 км/год (транспортний режим), а також технологічний режим з швидкостями руху до 15 км/год для забезпечення різних операцій з обробітку ґрунту. У цьому випадку поєднання функцій трактора і вантажного автомобіля дозволить збільшити річне завантаження УКТТЗ у 2,5 рази у порівнянні з звичним колісним трактором аналогічного класу тяги та у 1,5 рази щодо автомобіля аналогічної вантажності [124]. Важливими практично є оцінка необхідної сумарної площі контакту шин МЕЗ різних тягових класів – від 0,2 до 8 – з умов агроєкології (таблиця 1.2.) [122].

Під МЕЗ 330 «Автотрактор» на шасі КрАЗ 6322 колісної схеми 6х6 опрацьовано раціональні схеми забудови навісного та причіпного аграрного обладнання, проведено весь комплекс впливу на експлуатаційні характеристики тиску повітря в шинах, баластування, визначення оптимальних режимів роботи двигуна і трансмісії з умов паливно економічності. Враховуючи використання серійного шасі КрАЗ, природно, що питання вибору – розрахунку необхідних конструктивних параметрів силового приводу не розглядалось.

Разом з тим слід констатувати, що близько 46,2 % аграрних угідь в Україні знаходяться у користуванні господарств з площею обробітку до 500 га, тобто у зоні експлуатаційної маси МЕЗ/«Автотрак» до 5 т (таблиця 1.1), що у свою чергу обумовлює очевидну доцільність опрацювання проекту машини тягового класу 0,9 – 1,4. Тим паче, що на транспортні операції внутрішньогосподарського призначення припадає біля 30-40% всіх трудовитрат та до 50% витрат пального [122].

Формування і параметричний синтез силового приводу УКТТЗ цього класу (у т.ч. з використанням ряду вузлів і агрегатів з військового автомобіля високої прохідності – з умов уніфікації) потребує залучення нових досліджень у сфері механічного обробітку ґрунту – теорії колісних тракторів – насамперед харківської наукової школи – проф. Лебедєва А.Т. [125,126], проф. Кальченка Б.І. і проф. Реброва О.Ю. [127,128], а також нещодавніх дисертацій доктора наук – Євтенко В.Г. (в частині універсалізації тракторів і самохідних машин з

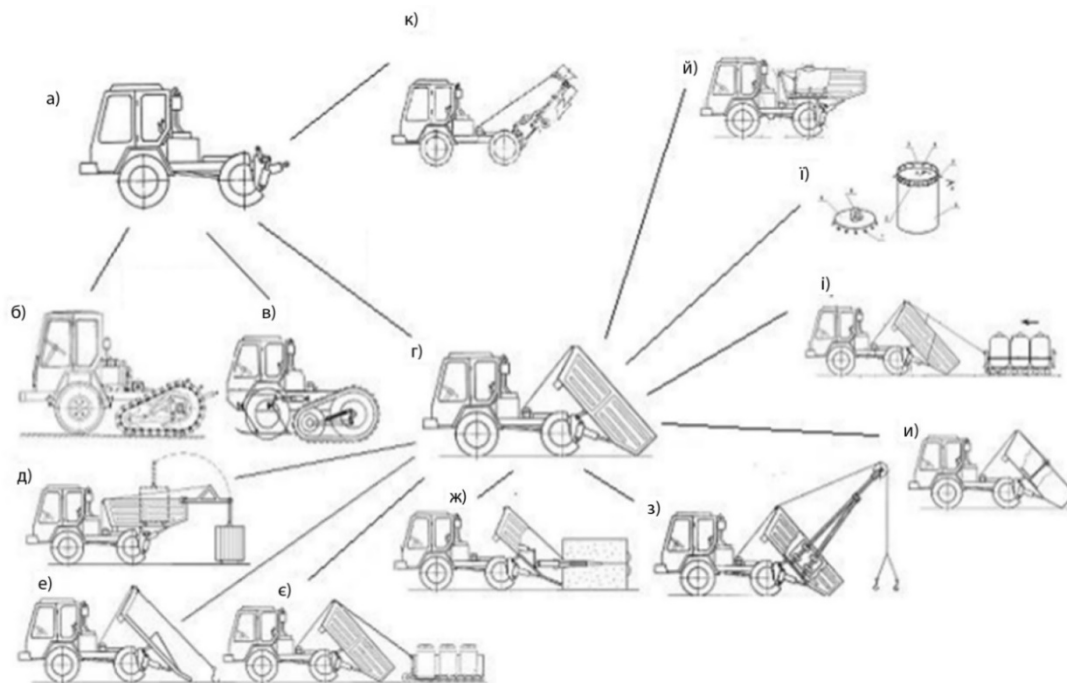
транспортними функціями) [129] та проф. Надикто В.Т. (в частині агрегування МЕЗ) [130,131], робіт проф. Кувачова В.П. [132-134] і проф. Калініна Є.І. [135, 136]. Звично, що при цьому слід брати до уваги і значно оновлену нещодавно вітчизняну нормативну базу щодо сільськогосподарських тракторів [81].

Таблиця 1.2 – Необхідна площа контакту шин з ґрунтом для різних тягових класів МЕЗ з умов агроєкології – питомого тиску на ґрунт [122].

Тяговий клас	Площа опорної поверхні, м <sup>2</sup>									
	за тиску на ґрунт 60 кПа		за тиску на ґрунт 80 кПа		за тиску на ґрунт 100 кПа		за тиску на ґрунт 120 кПа		за тиску на ґрунт 140 кПа	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
0,2	0,03	0,23	0,03	0,17	0,02	0,14	0,02	0,11	0,01	0,10
0,6	0,23	0,34	0,17	0,25	0,14	0,20	0,11	0,17	0,10	0,14
0,9	0,34	0,53	0,25	0,39	0,20	0,32	0,17	0,26	0,14	0,23
1,4	0,53	0,75	0,39	0,56	0,32	0,45	0,26	0,38	0,23	0,32
2	0,75	1,13	0,56	0,84	0,45	0,68	0,38	0,56	0,32	0,48
3	1,13	1,50	0,84	1,13	0,68	0,90	0,56	0,75	0,48	0,64
4	1,50	1,88	1,13	1,41	0,90	1,13	0,75	0,94	0,64	0,80
5	1,88	2,25	1,41	1,69	1,13	1,35	0,94	1,13	0,80	0,96
6	2,25	3,00	1,69	2,25	1,35	1,80	1,13	1,50	0,96	1,29
8	3,00	4,50	2,25	3,38	1,80	2,70	1,50	2,25	1,29	1,93

Щодо виконання УКТТЗ автотранспортних функцій на дорогах загального користування всіх 4-х категорій, то практично УКТТЗ згідно прийнятих Закону України щодо приєднання до так званої Женевської угоди 1959 р. щодо єдиних технічних приписів для колісних транспортних засобів (КТЗ) [78] та підзаконної нормативної бази [137] підлягають обов’язковій сертифікації / схвалення типу як спеціальні КТЗ на відповідність вимогам щодо екологічності двигунів та активної

і пасивної безпеки конструкції (ці вимоги щодо КТЗ є відчутно вищі у порівнянні з вимогами до сільськогосподарських тракторів). Питання власне спеціальної автотехніки та технологічних машин детально опрацьовані у дослідженнях професора Зінька Р.В. [138, 139], що можуть бути використані за тематикою даного дослідження як методологічна основа для відповідного формування характеристик УКТЗ у сфері транспортування.



а) – базове шасі ЕМ-0,6; б) – застосування напівгусеничного ходу з пійомом відстаючого борту при крутому повороті; в) – застосування напівгусеничного ходу і переднього мосту; г) – самоскидний кузов апарельного типу; д) – механізм для завантаження/розвантаження контейнерів; е) – вантажна платформа малогабаритного трактора; є) – механізм касетного завантаження/розвантаження; ж) – сінозбиральний агрегат; з) – механізм навантаження/розвантаження зі стрілою; и) – механізм порційного розвантаження кузова; і) – механізм навантаження насипних та навалювальних вантажів; ї) – мішок; й) – агрегат з цистерною для рідких вантажів; к) – орний агрегат.

Рисунок 1.31 – Схема варіантів використання Автотрак ЕМ-0,6 і навісного обладнання

Світові машинобудівні компанії активно розробляють та впроваджують тракторомобілі - Автотраки, призначені для малих фермерських господарств із невеликою площею сільськогосподарських угідь. Ці транспортні засоби поєднують високу прохідність із компактними розмірами, що робить їх оптимальним рішенням для роботи в умовах обмеженого простору.

Крім того, дослідження підтверджують, що використання вантажних автомобілів у поєднанні з причіпними сільськогосподарськими машинами може значно підвищити ефективність роботи фермерських господарств.

Зокрема, впровадження таких агрегатів у польові роботи дозволяє збільшити частку їхнього використання в структурі добового робочого часу до понад 70%, що сприяє оптимізації виробничих процесів та підвищенню продуктивності. Зокрема це стосується і пострадянських держав, де окрім створення МЕЗ/Автотрак на базі повнопривідних шасі КамАЗ і Урал та МАЗ у Білорусі (розглянутих вище), доцільних у великих господарствах, вже опрацьовано до промислового виробництва сімейство малотоннажних УКТТЗ та проведено значний обсяг відповідних теоретичних та експериментальних досліджень. Насамперед це стосується робіт проф. Дзоценідзе Т.Д. [140, 141], виконаних у головному інституті колишнього міністерства автомобільної промисловості СРСР – НАМИ, а також малогабаритних УКТТЗ к.т.н. Войнаша А.С. [142-144] та робіт проф. Панасюка А.Н. і Щитова С. В. на Далекому Сході [145,146] та Дмитренка А.І на Кубані [147-149]. Зокрема цікавим є у далекосхідному малотонажному «Автотрак» ЕМ-0,6 розширення сфери використання як навантажувально-транспортно- технологічного засобу, рисунок 1.30.

Заслуговує уваги і методика оцінки подолання підйомів (для трьох різних умов – стану ОП) Автотрак ЕМ-0,6 на базі динамічної характеристики УКТТЗ – так званий динамічний паспорт машини (ЕМ-0,6 експлуатаційної маси 2,1т при довантаженні платформи на 1т і потужності двигуна всього 21 кВт, колісній схемі моноприводу 4К2/4х2 та тяговому зусиллю класу 0,6).

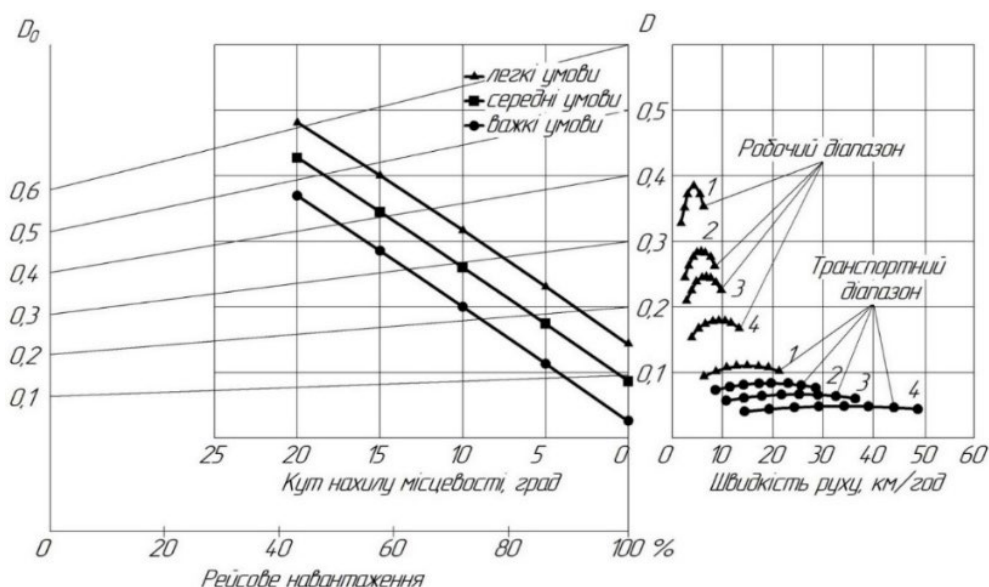


Рисунок 1.32 – Динамічний паспорт Автотрак ЕМ-0,6 при номінальному рейсовому навантаженні

#### 1.4 Постановка проблеми, мети та завдання дослідження

Внаслідок проведеного огляду та аналізу літературних джерел отримано наступні висновки: фермерські та приватні сільські господарства в Україні, на відміну від великих аграрних холдингів, не забезпечені відповідною малогабаритною і недорогою технікою. Імпорт, переважно з КНР, невеликих колісних тракторів не вирішує проблем транспортування сільськогосподарської продукції до міських ринків/оптових баз збуту у найближчих містах. Імпортна, здебільшого вживана з ЄС, автомобільна техніка категорії N1 (з умов масовості посвідчень водія власне категорії B) не передбачена для експлуатації бездоріжжям чи ґрунтовими дорогами. З цих умов випливає очевидна реальність створення і організації виробництва в Україні універсальної колісної повнопривідної машини типу Унімог/Автотрак категорії N1, T1, T4.3 що поєднувала б як функції автомобіля вантажністю 1-1,5 т та колісного трактора класу тяги 0,6 -1,4, що дозволяє здійснювати обробіток відносно невеликих земельних угідь фермерських і особистих селянських господарств. Як приклад можна навести (серед пострадянських країн) появу як у РФ такої універсальної

машини Сілант 2868, так і у Білорусі – МТЗ Ш406 та аналогічного класу машини віддавна виробляються, окрім ФРН, також в Італії, Австрії, Швейцарії.

Виходячи з цього, метою дисертаційної роботи є розроблення методики розрахунку необхідних параметрів силового приводу УКТТЗ з умов виконання як технологічних функцій обробітку аграрних земель, так і транспортних функцій на бездоріжжі та автодоріг з твердим покриттям.

Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити актуальне наукове завдання, сутність якого у розвитку методики вибору передавальних чисел механічної 2-х діапазонної трансмісії (базової 4 – 5-и ступеневої коробки передач, 2-х ступеневої роздавальної коробки передач та головної передачі) та вибору необхідного типорозміру шин для забезпечення виконання аграрних технологічних режимів обробітку ґрунту та транспортних функцій в умовах як бездоріжжя, так і автомобільних доріг I-IV категорій з дотриманням вимог щодо вантажних автомобілів.

Об'єкт дослідження – універсальні колісні тягово-транспортні засоби типу «Автотрак/Унімог».

Предмет дослідження – формування базових рішень та методика визначення характеристик і параметрів тягового приводу УКТТЗ .

Для досягнення поставленої в роботі мети, визначені наступні завдання:

- провести аналіз сфер і умов використання УКТТЗ;
- провести аналіз зарубіжних аналогів та наукових досліджень у цій сфері;
- обґрунтувати теоретичні основи і необхідні масогабаритні та тягово-швидкісні характеристики УКТТЗ типу «Автотрак/Унімог» під сферу використання у особистих селянських та малих фермерських господарствах;
- розробити теоретичні основи – методику розрахунку та вибору базових параметрів силового приводу УКТТЗ – двигуна, типорозміру шин, діапазонів передавальних чисел механічної трансмісії;
- опрацювати математичну модель взаємодії коліс з ґрунтовими поверхнями, що деформуються, та руху УКТТЗ з виконанням

- технологічних операцій обробітку ґрунту та можливості оперативної оцінки базових фізико-механічних характеристик ґрунту;
- експериментально дослідити адекватність опрацьованих аналітичних моделей/ імітаційного моделювання руху УКТТЗ на ґрунтових та твердих опорних поверхнях та при виконанні технологічних операцій обробітку ґрунту;
  - сформулювати відповідні рекомендації для конструкторських бюро та заводів-виробників щодо реалізації необхідних характеристик силового приводу малотоннажного УКТТЗ категорій N1/T1 з урахуванням сфер їх застосування в аграрній сфері.

Таким чином, у результаті проведеного огляду та аналізу існуючих конструкцій і досліджень УКТТЗ, ситуації у вітчизняній аграрній сфері сформульоване наукове завдання, виділені об'єкт і предмет дослідження, визначені його мета та часткові завдання, вирішення яких розглядається в наступних розділах дисертаційної роботи.

### **1.5 Висновки за розділом**

Аграрний сектор України характеризується значною часткою фермерських та одноосібних господарств, які обробляють понад 48% орних земель, це зумовлює потребу в універсальних тягово-транспортних засобах типу «Автотрак/Unimog» категорії N1/T1, які фактично поєднують функції вантажного автомобіля підвищеної прохідності та колісного трактора.

Відповідно до поставлених завдань, у першому розділі було проведено аналіз ринку вітчизняних та зарубіжних моделей та наукових досліджень у цій сфері. На жаль, аналіз поточного ринку свідчить про відсутність вітчизняного виробництва колісної автотехніки такого типу в Україні, на відміну від сусідніх пострадянських країн, де відповідні потужності вже налагоджено. Моделі зарубіжного виробництва представлені здебільшого у важких класах, дорогі та не конкурентоспроможні. Цей факт підкреслює високу актуальність і практичну значимість розробки нових конструкцій таких транспортних засобів. Відповідно,



важливими є подальші теоретичні дослідження та обґрунтування необхідних параметрів силового приводу УКТТЗ, з урахуванням специфіки їхнього використання у різних сферах.

## РОЗДІЛ II

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ УКТТЗ ТА ФОРМУВАННЯ БАЗОВИХ ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОГО ПРИВОДУ

#### 2.1 Аналіз сфер використання УКТТЗ та характеристик умов руху

З огляду на досвід використання УКТТЗ за кордоном, сфери їх застосування дуже широкі. В залежності від сфери використання змінюються характеристики умов руху, від чого в свою чергу залежать вимоги поставлені до таких УКТТЗ щодо їх тягово-швидкісних параметрів та агрегаткування.

Операції, які зазвичай виконують УКТТЗ у різних сферах, представлені у таблиці 2.1.

В Україні УКТТЗ найбільш ефективно своє застосування можуть знайти у сфері сільського господарства, зокрема у малих фермерських господарствах, адже їх використання дозволить зменшити загальну кількість одиниць техніки, як транспортного, так і технологічного призначення, що у свою чергу збільшить ефективність використання таких КМ.

Для детальнішого опису характеристик умов руху УКТТЗ їх слід розділити на дві групи:

- 1) Транспортні операції (перевезення вантажів)
- 2) Технологічні операції (обробіток ґрунту)

На транспортних операціях важливими для забезпечення економічної ефективності використання такої КМ є насамперед швидкість руху, яку здатна досягати КМ на відповідних ОП. Важливим є забезпечення достатньої швидкості транспортування вантажів як по дорогах з удосконаленим покриттям так і в умовах бездоріжжя. Оцінка паливно-швидкісних і гальмових характеристик, стійкості та керованості руху з умов сертифікації здійснюється на ОП, що відповідає вимогам щодо коефіцієнтів опору руху та зчеплення для автодоріг I категорії [150].

Таблиця 2.1 – Основні сфери використання УКТТЗ

Сфера використання	Операції
Сільське господарство та лісівництво	Використовується для оранки та інших операцій механообробітку землі, транспортування врожаю і засобів удобрення, буксирування техніки, роботи на ґрунтах з низькою несучою здатністю. В лісівництві — для транспортування колод, проїзду через завали та болота.
Комунальна сфера	Застосовується для прибирання снігу (з відвалами та розкидувачами), чищення вулиць, вивезення сміття, газонокосіння, буріння. Може обладнуватися щітками, кранами або спеціальними контейнерами.
Гірнича промисловість та енергетика	Використовується для обслуговування трубопроводів, вітряних електростанцій, перевезення обладнання в гірській місцевості та в умовах бездоріжжя.
Надзвичайні ситуації та рятувальні операції	Використовується пожежними службами (з насосами та резервуарами для води), для евакуації в зонах стихійних лих (повені, снігові заноси).
Військова сфера	Застосовується для логістики, транспортування особового складу та вантажів у важкодоступних регіонах, використання з різним навісним обладнанням у інженерних військах... Може бути броньованим (відома модель Fennek у НАТО) або обладнаним для розмінування чи іншого спорядження, у т.ч. вогневого ураження
Будівельна і ремонтна сфера	Транспортування вантажів в умовах бездоріжжя та навантажувально-розвантажувальні роботи (у т.ч. з установкою закабінного крана-маніпулятора), використання в ролі міні-бульдозера

При виконанні технологічних операції (надалі буде розглядатися процес оранки, як найбільш енерговитратний) найважливішим параметром є тягове зусилля, що може бути реалізоване на відповідній опорній поверхні (ОП), зокрема і на стерні – тяговий клас, з дотриманням технологічних швидкостей. Характеристики ОП в цьому аспекті визначаються з аналізу відомих досліджень [151 – 153] та нормативною базою [154] .

Таблиця 2.2 – Структура ґрунтів в Україні [155]

Ґрунт	С.-г. угіддя, тис. га	С.-г. угіддя, %	Рілля, тис. га	Рілля, %
Дерново-підзолистий	2511,2	6,03	2209,9	6,81
Дерновий оглеєний	1674,2	4,02	691	2,13
Дерново-карбонатний	146,9	0,35	137,8	0,42
Сірий лісовий	2620,5	6,30	1985,6	6,11
Темно-сірий опідзолений	1952	4,69	1867,7	5,75
Чорнозем опідзолений	2200,1	5,29	2048	6,31
Чорнозем типовий	7346,8	17,65	6997,8	21,55
Чорнозем звичайний	9250	22,22	7962,9	24,52
Чорнозем південний	3257,5	7,83	2993,8	9,22
Чорнозем (інші)	2844,2	6,83	1579,6	4,86
Темно-каштановий солонцюватий	1194,5	2,87	1090,3	3,36
Каштановий солонцюватий	100,9	0,24	79,8	0,25
Бурозем кислий	307,3	0,74	85	0,26
Буроземно-підзолистий кислий	105,8	0,25	44,8	0,14
Лучно-буроземний кислий оглеєний	104,4	0,25	39,3	0,12
Коричневий	29,1	0,07	7,6	0,02
Лучно-чорноземний і лучний	2996	7,20	935,7	2,88
Лучно-каштановий солонцюватий	94	0,23	112,7	0,35
Лучно-болотний і болотний	729,7	1,75	115,4	0,36
Торфовища	595,8	1,43	100,8	0,31
Інші	1564,9	3,76	1387,9	4,27
Усього	41625,8	100	32473,4	100

Однак слід зауважити, що нормативна база – міждержавний ГОСТ, що прийнятий і в Україні [154] зорієнтований на ґрунт, що не є домінуючими за

площами обробітку в Україні, тому бажано взяти до уваги і офіційну статистику профільного міністерства щодо структури сільськогосподарських угідь та питому частку різних типів ґрунтів (таблиця 2.2) [155] .

Відповідно і результати дослідження проф. Реброва О.Ю. щодо статистики розподілу значень питомого опору ґрунту при оранці (таблиця 2.3) [153].

Таблиця 2.3 – Розподіл ріллі за питомим опором при оранці [153]

Зона	Математичне сподівання $M_z$ , кПа	Середньоквадратичне відхилення $\sigma_z$ , кПа	Частка ґрунтів зони в загальному обсязі ріллі $\tau_z$
Полісся	46,28	4,97	0,107
Карпати	61,75	4,22	0,017
Лісостеп	56,38	4,51	0,391
Степ чорнозем	58,99	3,85	0,426
Степ сухий	63,89	6,43	0,058

## 2.2 Математична модель руху УКТТЗ та типових технологічних режимів

Для створення математичної моделі руху УКТТЗ, основним завданням якої є заміна експериментального дослідження на етапі проектування КМ, було обрано процес руху КМ як на транспортних операціях (рух як дорогами з удосконаленням покриттям так і бездоріжжям) так і на технологічних операціях, а саме оранки – як найбільш енергозатратна операція, а також використання вантажного причепа

Відповідно в основу динамічної еквівалентної моделі руху УКТТЗ покладено рух на ОП, що деформуються, – тут ґрунтах з відповідною взаємодією коліс з ОП і додатковим опором руху, а також додатковим опором руху на буксирному гаці (зусилля механічного обробітку ґрунту) та динаміки відповідного додаткового перерозподілу навантажень на осі з-за вертикального

навантаження на буксирний гак навісним чи причіпним обладнанням. Фізико-механічні характеристики ґрунту як ОП, як показали нещодавні дослідження у військовій автоотехніці, однозначно краще представляти у формі так званого конусного індексу CI (cone index), що є базовим у так званої WES – методології НАТО і є максимально наближеним до характеру взаємодії коліс/гусениць з ґрунтом та дозволяє одночасно враховувати як опір ОП вертикальній деформації, так і зсуву [156-158]. Радянська наукова школа оцінки і імітаційного моделювання прохідності КТЗ бездоріжжям в цьому значно менш ефективна і трудомісткіша, з використанням розділених показників характеристик ґрунту (вертикальна деформація – модуль деформації Е/модуль Юнга, опір горизонтального зсуву і ще 2 показники) і не забезпечує оперативної оцінки ґрунту [159-160].

Однак WES – методика здебільшого зорієнтована на оцінку прохідності та мобільності руху військової автотехніки різними типами бездоріжжя [161] та практично не використовувалась в аспекті технологій обробітку сільськогосподарських земель (оранка, культивація і т.п.), а також руху бездоріжжям (полем) з причепом. Фактично як у аграрній, так і комунальній сферах (на відміну від військової). Домінантні режими роботи технологічних колісних машин-тракторів – регламентуються певними агротехнологічними значеннями швидкостей, а не умовою максималізації швидкості руху як для військової автотехніки. Звична наявність основного обладнання для обробітку ґрунту – плуг, борона і т.д. не тільки суттєво збільшує сумарний опір рухові, але й здійснює динамічний перерозподіл навантажень на осі машини, що теж суттєво впливає на динаміку руху. Більш спрощеним варіантом у цьому випадку є рух бездоріжжям колісної машини з причепом – у процесі проєктних робіт актуальною є оцінка як допустима маса причепа у співвідношенні до повної маси тягача-колісної машини з умови забезпечення певних технологічних швидкостей руху (у тому числі супроводу іншої аграрної техніки), чи оцінки зменшення мобільності руху військової автотехніки. Очевидно, що загальноприйняті канони співвідношення мас тягача і причепа для доріг з асфальтобетонним покриттям у даному випадку теж є неабсурдними.

Опрацьована раніше структура алгоритму імітаційного моделювання руху автомобілів бездоріжжям у програмному середовищі MATLAB Simulink [162 – 164] обумовлює відповідних суттєвих змін і розвитку під вище викладені завдання. Практичну основу формування структури алгоритму імітаційного моделювання під вище зазначенні завдання покладено:

- введення додаткових навантажень на зчипний пристрій у вертикальній  $F_z$  (рисунок 2. 1) та горизонтальній  $F_x$  площинах від дії причепа, навісного і причіпного обладнання обробітку ґрунту;

- врахування ефекту ущільнення опорної поверхні/ґрунту при проходженні колії передньої осі наступних осей (задньої осі КМ та осі причепа, коліс навісного обладнання, у випадку його наявності, здебільшого не співпадає з колією тягача і опір його рухові розраховується за схемою прокладення колії, як для першої осі КМ);

- формування опору рухові ґрунтообробного обладнання здійснюється на базі відомих положень теорії зрізу ґрунту плугом, як найбільш енергозатратним видом обробітку ґрунту [163].

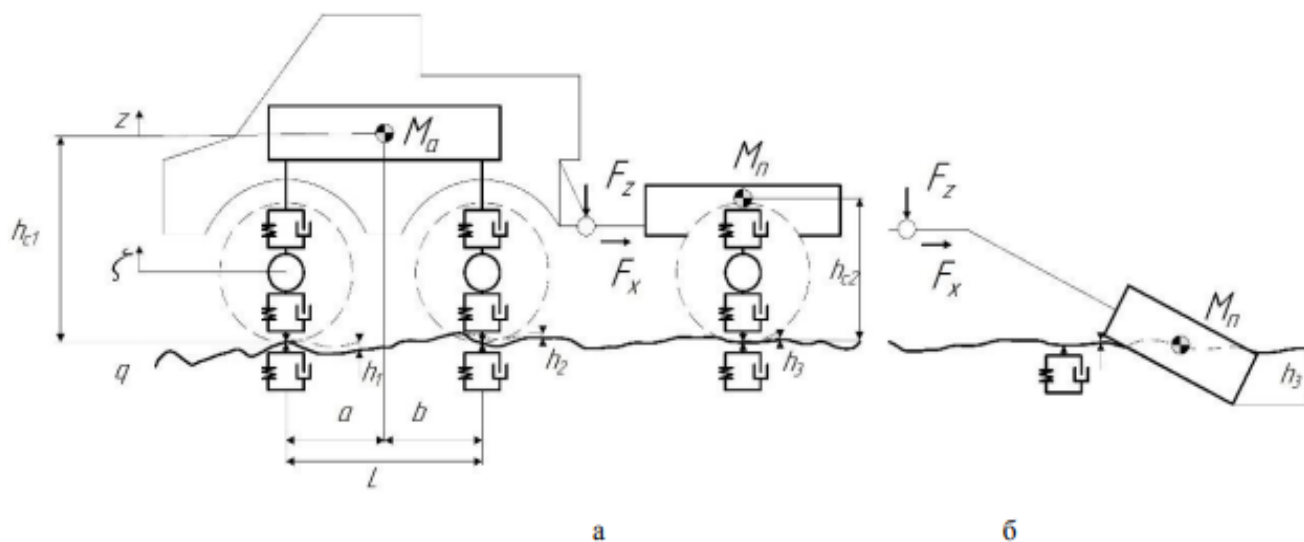


Рисунок 2.1 – Динамічна еквівалентна схема машин з причепом (а) та знаряддям обробітку ґрунту (б)

Математична модель руху УКТТЗ ґрунтовою поверхнею що деформується, виходячи з засад принципу Д,Аламбера, в цьому випадку представлена системою



диференціальних рівнянь (2.1-2.4), що враховують і деформацію ґрунту та додатковий опір рухові:

$$M_a \ddot{z} + (k_1 + k_2)(\dot{z} - \dot{\zeta}) + (c_1 + c_2)(z - \zeta) - F_z = 0 \quad (2.1)$$

$$m_1 \ddot{\zeta} + k_{ш1}(\dot{\zeta} - \dot{q}_1) - k_1(\dot{z} - \dot{\zeta}) + c_{ш1}(\dot{\zeta} - \dot{q}_1) - c_1(z - \zeta) = q_1(t) \quad (2.2)$$

$$m_2 \ddot{\zeta} + k_{ш2}(\dot{\zeta} - \dot{q}_2) - k_2(\dot{z} - \dot{\zeta}) + c_{ш2}(\dot{\zeta} - \dot{q}_2) - c_2(z - \zeta) = q_2(t) \quad (2.3)$$

$$M_{\Pi} \ddot{q} + k_{\Pi} \dot{q}_3 + c_{\Pi} q_3 + F_z = 0 \quad (2.4)$$

$$\frac{T_e U_i U_p U_o \eta_T}{\Gamma_K} - F_w(\ddot{x}) - F_o(\dot{x}) - F_x = ((M_a + m_1 + m_2)\delta + M_{\Pi})\ddot{x} \quad (2.5)$$

де  $y$ ,  $\dot{y}$ ,  $\ddot{y}$  – відповідно переміщення, швидкість  $\dot{y} = \frac{dy}{dt}$  та прискорення

$\ddot{y} = \frac{d^2y}{dt^2}$  КМ у вертикальній площині, аналогічно щодо координат у горизонтальній площині  $M_a, M_n, m_1, m_2, m_3$  – відповідно підресорені маси КМ, причепа та непідресорені маси передньої і задньої осей КМ і причепа;  $z$  – переміщення підресорених мас КМ;

$\zeta$  – переміщення непідресорних мас;  $q$  – змінна координат мікропрофілю опорної поверхні (з урахуванням зміни глибин колії  $h$  при послідовному проходженні кожної з осей);  $k$  та  $k_{ш}$  – демпфірувальні параметри підвіски і шин;  $c$  та  $c_{ш}$  – відповідно пружні характеристики (жорсткість) підвісок та шин;  $T_e, \eta_T$  – крутний момент двигуна та ККД трансмісії;  $r_k$  – радіус кочення ведучих коліс;  $u_i, u_p, u_0$  – передатні числа відповідно у коробці передач, роздавальної та головної

передач;  $F_w$  – сила опору повітря;  $F_0$  – сумарна сила опору рухові;  $\delta$  – коефіцієнт інерції оберткових мас (коліс, двигуна).

Власне, сила опору рухові КМ у цьому випадку докорінно відрізняється від звичного руху КМ на автодорогах, і домінуючою тут є не сила опору коченню коліс чи аеродинаміки, а саме опір деформації ґрунту та зусилля від навісного обладнання (опір рухові ведених коліс причепа в прокладеній колії є значно меншим, особливо якщо шини/колеса уніфіковані з КМ). Практично можна констатувати, що для аграрного сектору при відомих, невеликих технологічних швидкостях руху в діапазоні 5–20 км/год рівень динамічного перерозподілу навантажень на осі є фактично невідомий. Однак реально опір ґрунту при оранці не є постійним і це спричинює зміну навантажень на буксирний гак і, відповідно, на осі УКТТЗ. Окрім цього у транспортному режимі на бездоріжжі основним визначальним фактором обмеження швидкості є досягнення певних порогових значень віброколивних навантажень на організм водія [165]. (Переважає більшість колісних тракторів не обладнана підвіскою, застосовується тільки підресорювання сидіння водія). Відповідна до задачі імітаційного моделювання технологічних процесів обробітку ґрунту динаміка КМ у вертикальній площині  $Z$  в аспекті віброколивних навантажень на організм людини є малозначущою і обмежується тільки врахуванням зміни вертикальних навантажень на осі КМ під впливом зусилля притискання/занурення  $F_Z$  (рисунок 2.1), що впливає на перерозподіл навантаження на осі колісної машини та, відповідно, на формування опору рухові/деформації ґрунту. Таким чином, з викладеного випливає форматування двох дещо відмінних структур алгоритмів імітаційного моделювання руху КМ та навісного/прицепного обладнання в програмному середовищі MATLAB Simulink:

- з умов оцінки потенційної мобільності руху бездоріжжям КМ з причепом, як з умов прохідності місцевості, так і обмеження максимальної швидкості руху досягненням гранично допустимого, порогового рівня віброколивних навантажень на організм людини, де необхідно враховувати і динаміку

- вертикальних переміщень підресорених мас (очевидно, бажано і з врахуванням вібродемпфірувальних характеристик сидінь та, певним чином, і ґрунту, опорної поверхні);
- з умов оцінки сумарного опору рухові в процесі обробітку ґрунту/транспортування причепа, що є умовою визначення й оцінки ефективності передатних чисел знижувальних передач роздавальної коробки передач КМ, достатньо обмежитись моделюванням динаміки руху в горизонтальній площині  $x$  (очевидно, з врахуванням змін навантажень у вертикальній площині  $y$ ).

В основу емпіричних залежностей для розрахунку динаміки руху КМ (тут УКТТЗ) бездоріжжям у WES – методиці [156,157] покладено так званий індекс/номер мобільності  $MN$  (mobility number), що формується співвідношеннями твердості ОП у конфігурації  $CI$  та навантаженням на колесо  $Q$ , діаметром колеса  $D$  і шириною протектора  $B$  та висотою  $H$  шини з врахуванням її деформації  $h$  на твердій ОП під впливом навантаження  $Q$ :

$$MN_{CI} = \frac{CI \times B \times D}{Q_w} \times \sqrt{\frac{h_z}{H_T}} \times \frac{1}{1 + \frac{B}{2D}} \quad 2.6$$

Відповідно визначається глибина колії  $z$ :

$$z = \left( 0,003 + \frac{0,287}{MN_{CC}} \right) \times D \quad 2.7$$

та значення коефіцієнтів опору рухові  $f$  – деформації ОП та зчеплення шин з ОП:

$$f = 0,07 + \frac{0,2}{MN_{CI}}; \mu = 0,63 - \frac{0,27}{MN_{CI}} \quad 2.8$$

Враховуючи значимість питомого тиску у контакті шин з ґрунтом з умов насамперед агроєкології важких машин, в математичну модель руху УКТТЗ

введено також і його розрахунок у формі ММР, прийнятій у європейських арміях НАТО [157]:

$$MMP = \frac{k \times W_a}{2 \times n \times B^{0,35} \times D^{1,15} \times \left( \frac{h_z}{H_T} \right)^{0,5}} \quad 2.9$$

де  $k$  - коефіцієнт кількості осей. (У нашому випадку для колісної схеми 4х4 це 3,65, для схеми 4х2 це 4,4 ). ;  $h_z$  – питома деформація шини на недеформованій твердій поверхні (  $h_z = 0,18$  при номінальному тиску у шині для номінальної маси і швидкості масових автомобілів для шосе,  $h_z = 0,25$  при тиску 70% від номінального для повнопривідних позашляховиків повною масою, 0,35 – аналогічно при зменшенні тиску у шинах до 30% від номінального.

### **2.3 Формування структури моделювання динаміки УКТТЗ у програмному середовищі MATLAB Simulink**

Формування структури моделювання динаміки УКТТЗ було здійснене в програмному середовищі MATLAB Simulink з використанням графічних модулів (блоків) стандартної бібліотеки блоків Simulink, кожен з яких виконує певну функцію [163]. Зокрема у довіднику Simulink Documebtation [166] представлено блоки, що використовувалися при моделюванні та опис їх функціоналу. Модель являє собою дві частини – це графічний інтерфейс та частина розрахунку необхідних параметрів.

Інтерфейс керування моделлю представлено на рисунку 2.2, детальніший опис взаємодії з ним здійснено у розділі 3.2.

Розрахункова частина моделі поділена на підсистеми, загальний вигляд яких показано на рисунку 2.3. Усі підсистеми зв'язані між собою, що дозволяє їм здійснювати обмін необхідними даними. Детальніше опис роботи кожної з них описано нижче.

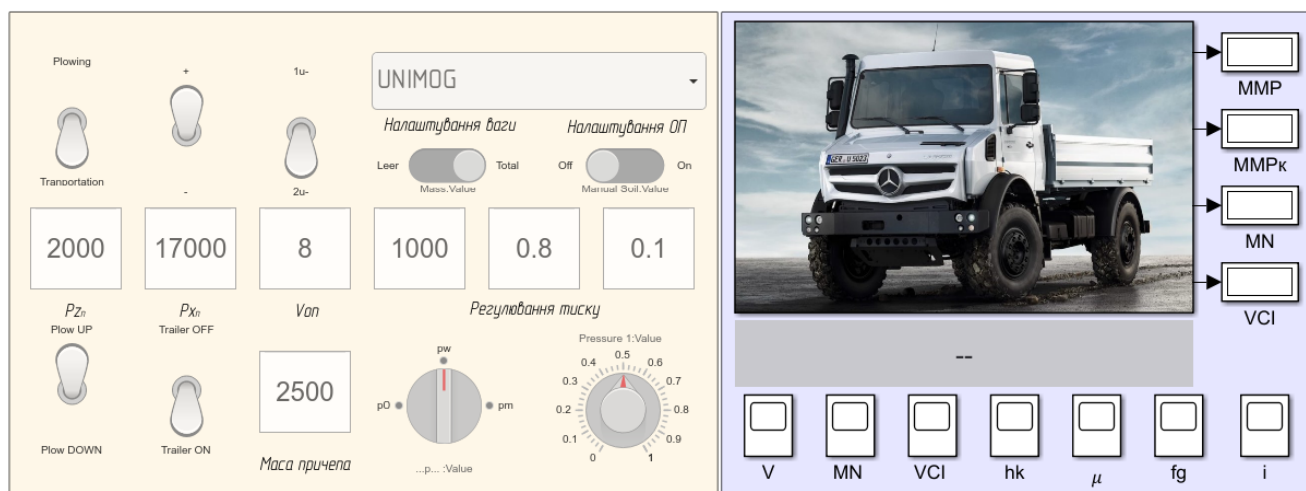


Рисунок 2.2 – Інтерфейс керування імітаційною моделлю в програмному середовищі MATLAB Simulink

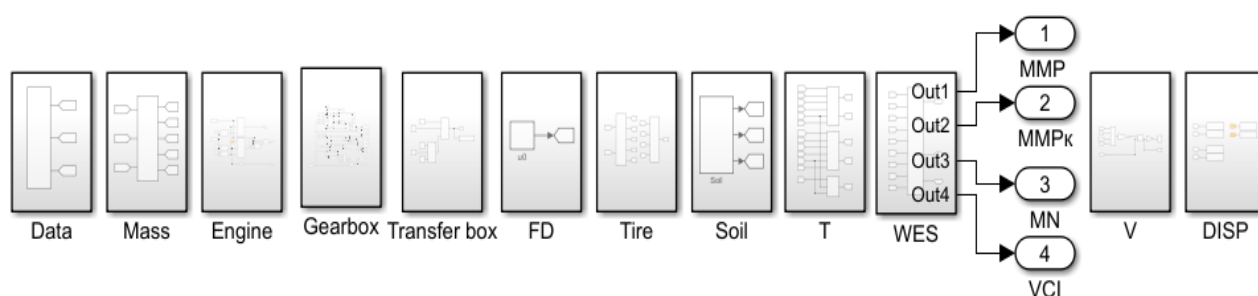


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд імітаційної моделі поділеної на підсистеми.

На рисунку 2.4 зображено підсистему «Data», яка являє собою блок вхідних даних щодо КМ. Дана підсистема отримує параметри одного або декількох автомобілів, у разі потреби здійснити порівняльний аналіз з попередньо закладеної таблиці з даними. В залежності від вибору конкретної моделі КМ на інтерфесі керування підсистема надсилає відповідні дані іншим підсистемам.

На рисунку 2.5 і 2.6 зображено підсистему «Mass». Дана підсистема здійснює розподіл ваги автомобіля по осях, отриманої від підсистеми «Data», відповідно до умов моделювання.



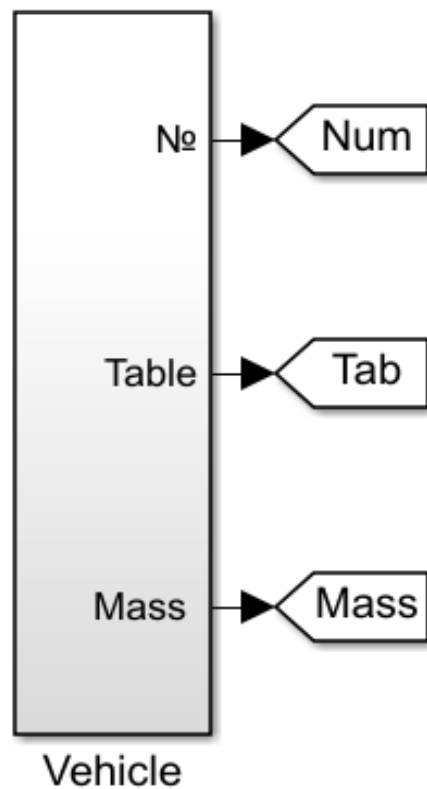


Рисунок 2.4 – Підсистема «Data» з вхідними характеристиками КМ.

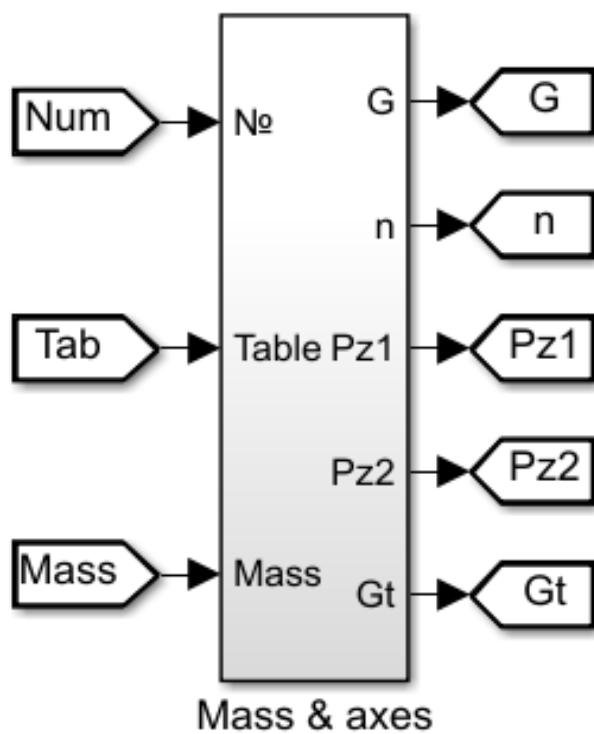


Рисунок 2.5 – Підсистема «Mass» розподілу ваги КМ.

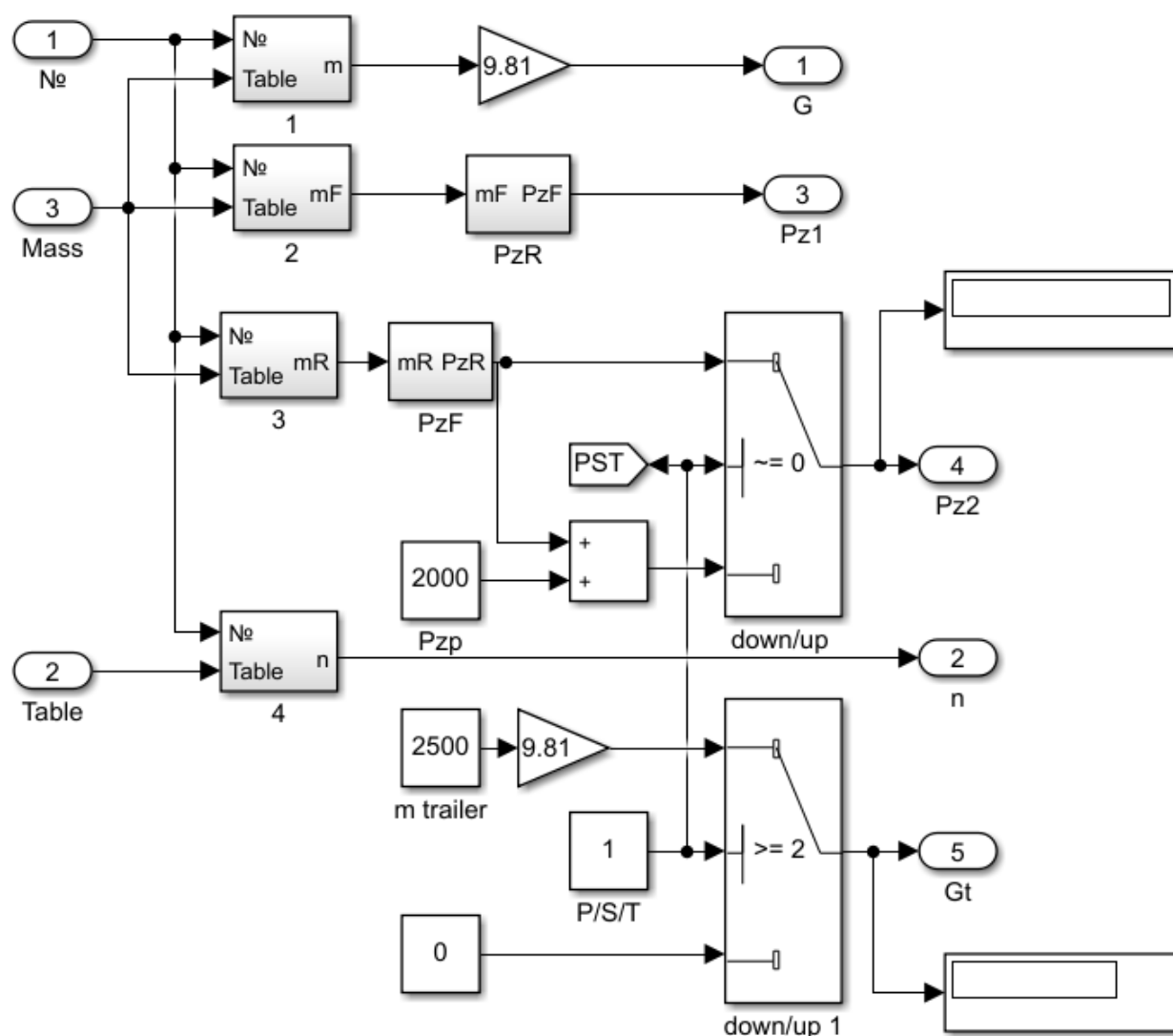


Рисунок 2.6 – Підсистема «Mass» розподілу ваги КМ у розгорнутому вигляді.

Підсистема «Engine» містить у собі характеристики обраного двигуна, такі як обмеження по мінімальних так і максимальних частотах обертання, зовнішню швидкісну характеристику (або і включно характеристики режимів часткових навантажень) в табульованому цифровому вигляді зображена на рисунку 2.7. Ця підсистема містить у собі вхідну і вихідну частину. На вхідну частину приходять дані у вигляді необхідної кількості обертів, які порівнюються з можливими для конкретного двигуна, вихідна частина надсилає відповідний момент та потужність на цих обертах іншим підсистемам.

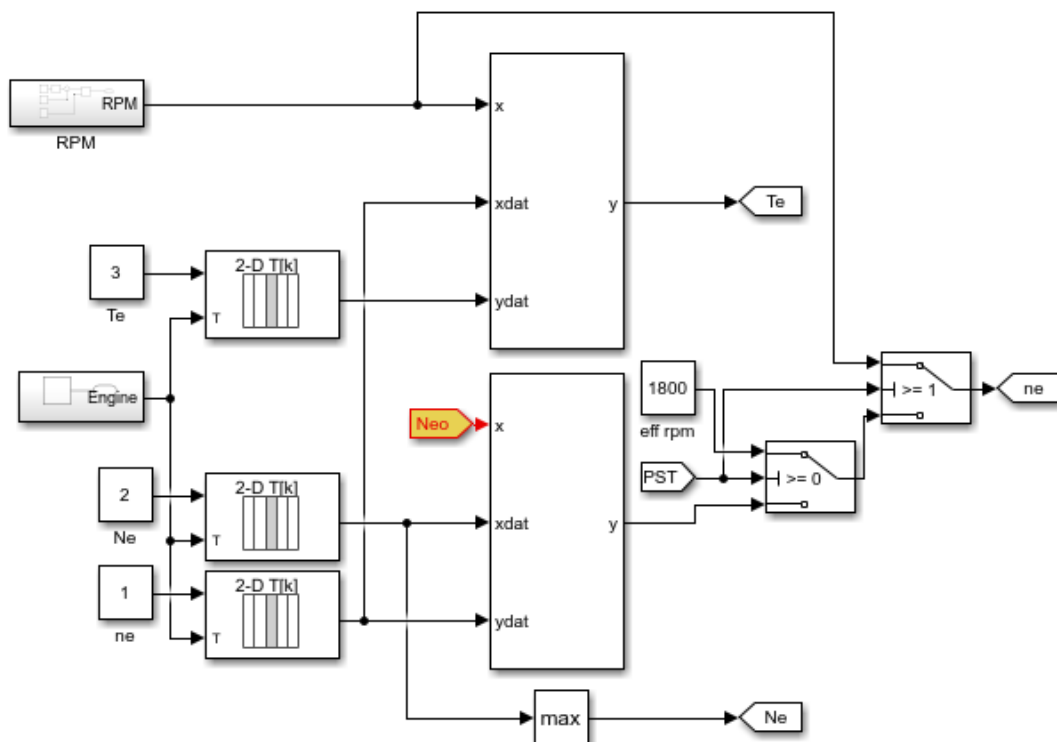


Рисунок 2.7 – Підсистема «Engine» моделювання роботи двигуна.

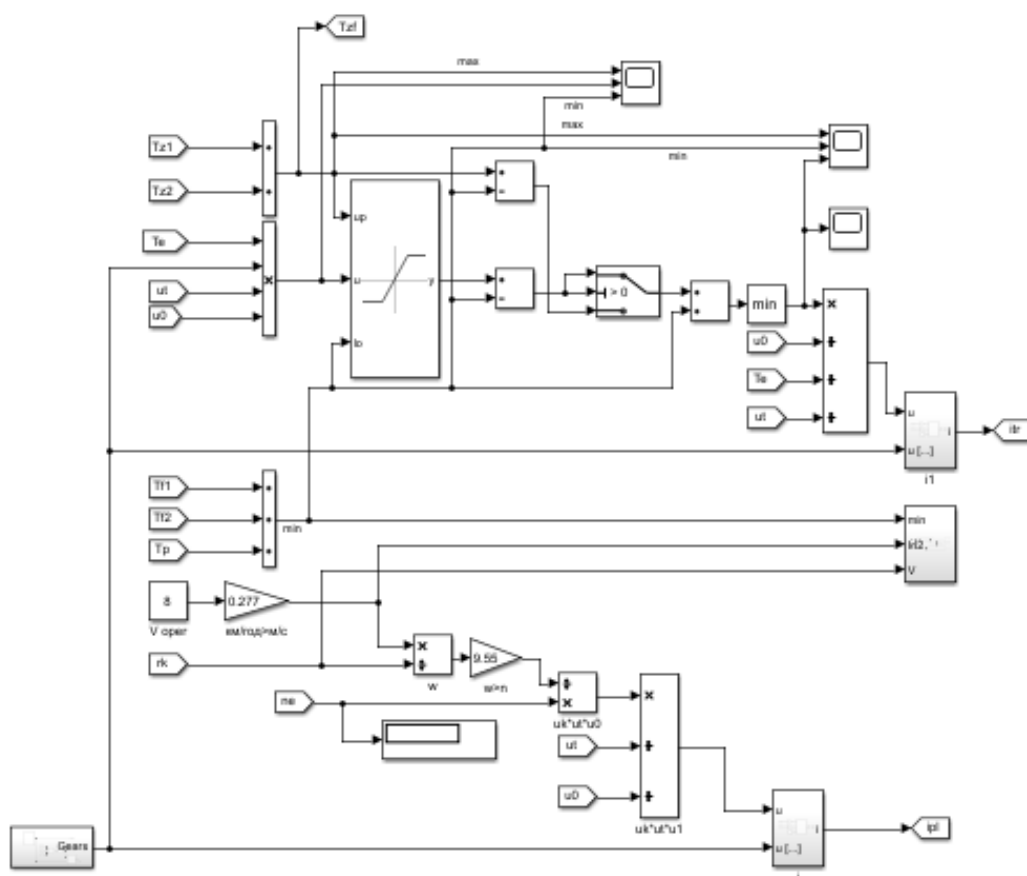


Рисунок 2.8 – Підсистема «Gearbox» моделювання роботи КПП.

Моделювання роботи коробки перемикання передач (КПП) здійснюється у підсистемі «Gearbox» (рисунок 2.8). Дана підсистема здійснює підбір передавальних чисел з існуючого діапазону для забезпечення максимальної швидкості КМ в заданих умовах руху – враховує значення крутного моменту, що необхідний для подолання опору рухові на заданій ОП.

Підсистема «Transfer box» (рисунок 2.9) моделює роботу роздавальної коробки передач. Дана підсистема дозволяє здійснити моделювання роботи одно- і двоступеневими роздавальними коробками передач, вибір передачі здійснюється з інтерфейсу керування (рисунок 2.2).

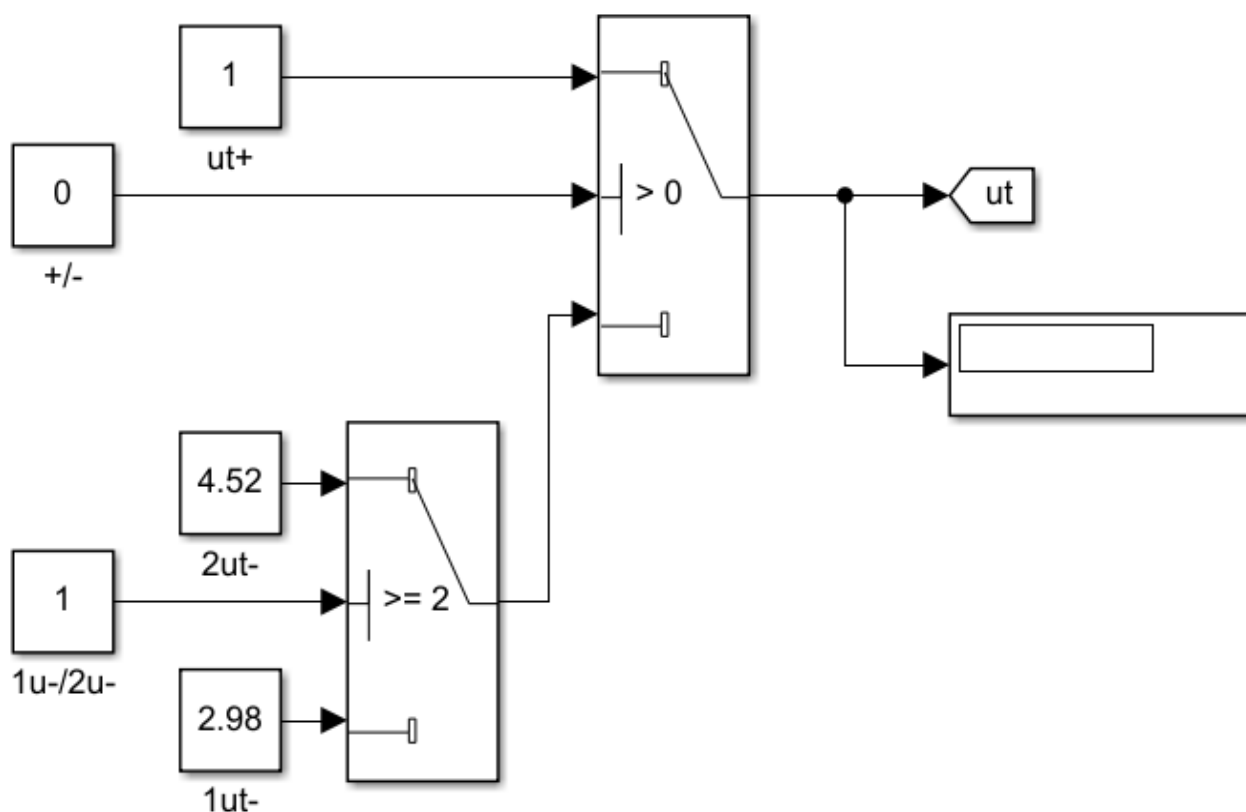


Рисунок 2.9 – Підсистема «Transfer box» моделювання роздавальної коробки передач

Параметри шин задані у підсистемі «Tire» (рисунок 2.10) у вигляді вхідної таблиці, у якій кожній моделі шини присвоєний номер «Num». Залежно від значення «Num», що надходить до підсистеми, вона обирає параметри відповідної шини.

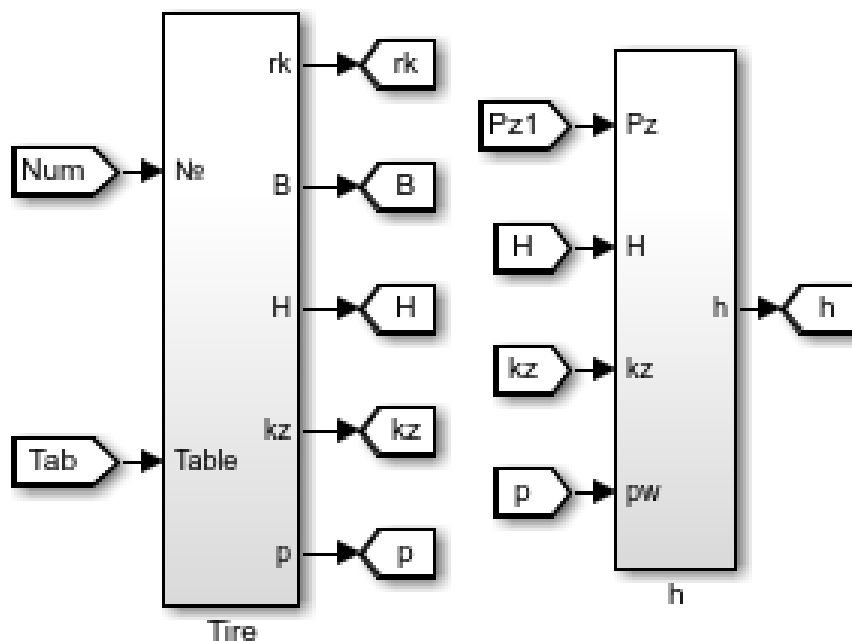


Рисунок 2.10 – Підсистемі «Tire» - геометричні параметри шин

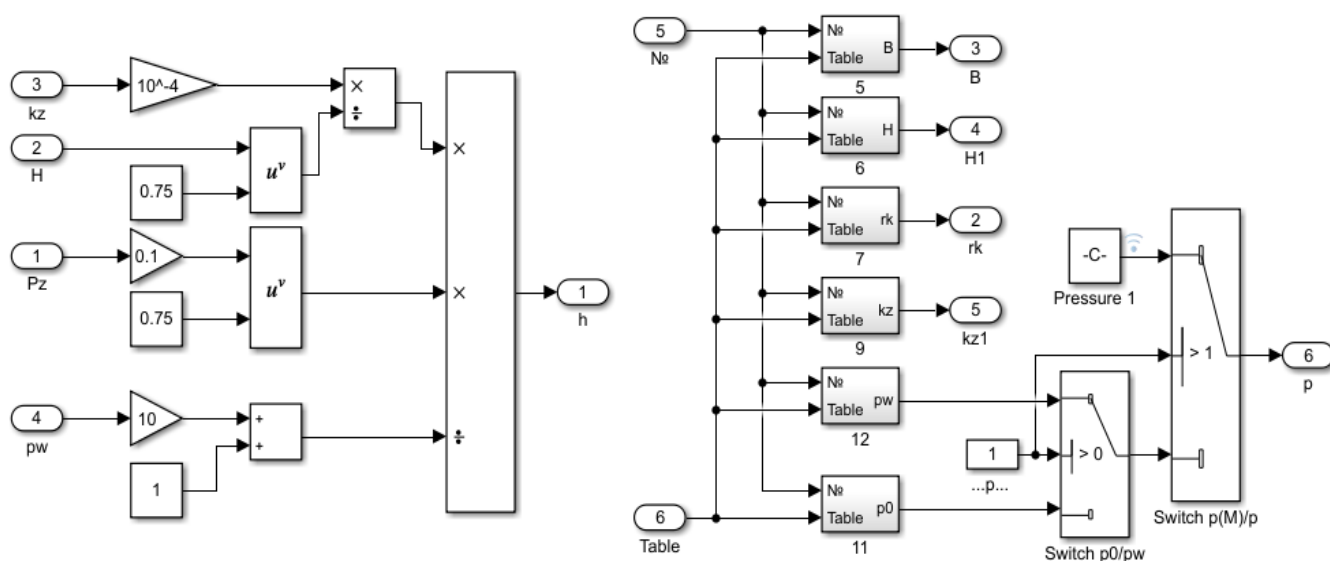


Рисунок 2.11 – Розгорнутий вигляд підсистеми «Tire» - геометричні параметри шин

На рисунку 2.12 зображено підсистему «Soil» яка містить в собі характеристики ОП, насамперед значення конусного інденсу (CI).

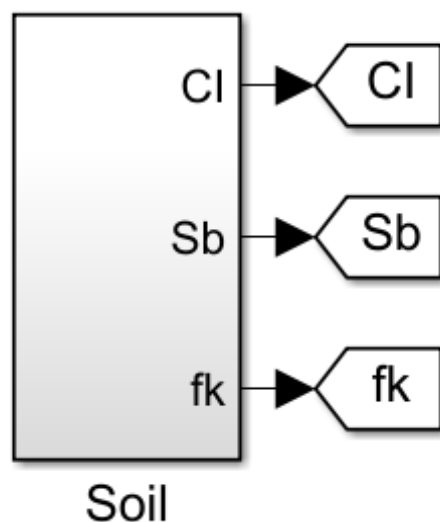


Рисунок 2.12 – Підсистема «Soil» - характеристики ОП

Тяговий розрахунок КМ на транспортних режимах руху враховуючи моменти опору руху відбувається у підсистемі «MMP WES» (рисунок 2.13)

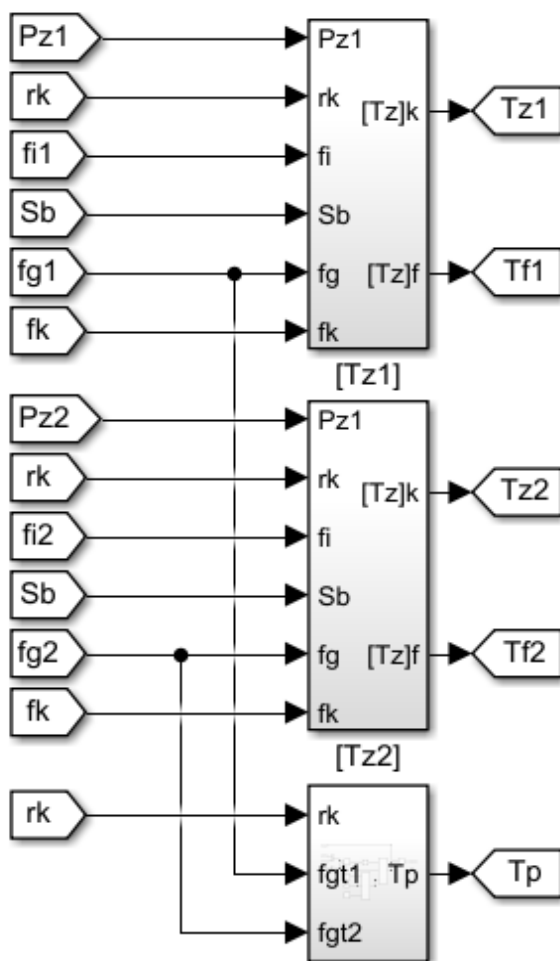


Рисунок 2.13 – Підсистема тягового розрахунку КМ «MMP WES»



Дана підсистема визначення максимально можливої швидкості руху по заданій ОП з умови точки вирівнювання тягового зусилля та сумарних сил опору (включно аеродинаміку) у транспортному режимі руху яке відображається на інтерфейсі керування моделлю. Враховуючи актуальність агроекологічних обмежень, насамперед для важких УКТТЗ, передбачено і розрахунок значення питомого тиску у контакті шини з ОП – у формі ММР [157].

Тяговий розрахунок з умов зчеплення з ОП і тяги двигуна продовжується у відповідній підсистемі та виводиться у вигляді значення моменту у відповідні поля інтерфейсу (Рисунок 2.14).

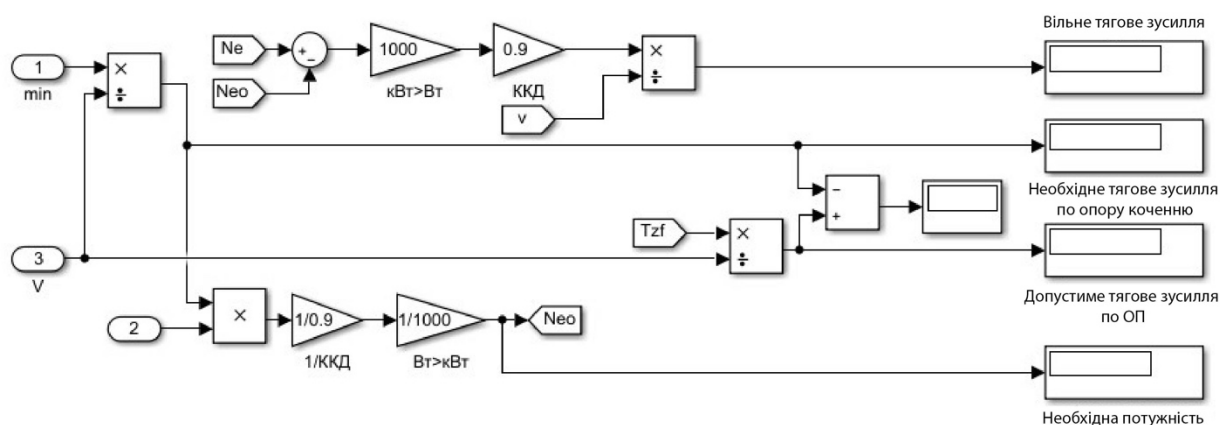


Рисунок 2.14 – Деталізована схема тягового розрахунку з умов зчеплення з ОП і тяги двигуна

## 2.4 Висновки за розділом

Виходячи з аналізу сфер використання УКТТЗ, були визначені ключові характеристики умов руху при виконанні транспортних та технологічних операцій. Це включає в себе характеристики опорної поверхні, кліматичні умови, а також необхідність виконання таких операцій, як перевезення вантажів різної тоннажності, буксирування, та роботу з навісним і причіпним обладнанням. Ці дані є важливими для подальшої розробки УКТТЗ та забезпечення їх ефективності та надійності у різноманітних експлуатаційних умовах.

За результатами аналізу сфер використання УКТТЗ визначено характеристики умов руху при виконанні транспортних та технологічних операцій. Зокрема для подальших розрахунків було обрано процес оранки – як найбільш енергоємнісну технологічну операцію у аграрному господарстві. Відповідно до цих умов було сформовано математичну модель руху. Для транспортних операцій це – розрахунок максимальної швидкості руху КМ на заданій ОП, для технологічних – визначення максимального тягового зусилля.

На основі сформованої математичної моделі було побудовано імітаційну комп'ютерну модель руху в програмному середовищі Matlab Simulink з використанням графічних модулів стандартної бібліотеки. Дана імітаційна математична модель дозволяє ефективно визначати ключові показники, такі як швидкість руху та максимальне тягове зусилля при заданих характеристиках силового приводу та ОП, оцінювати ефективність застосування методів покращення тягово-швидкісних характеристик КМ.

## РОЗДІЛ III

### МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ БАЗОВИХ ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОГО ПРИВОДУ УКТТЗ

#### 3.1 Формування структури параметричної оптимізації тягового приводу УКТТЗ для характерних сфер використання

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. Відповідна структура параметричного синтезу трансмісії УКТТЗ типу Автотрак/Унімог представлена на рисунку 3.1.

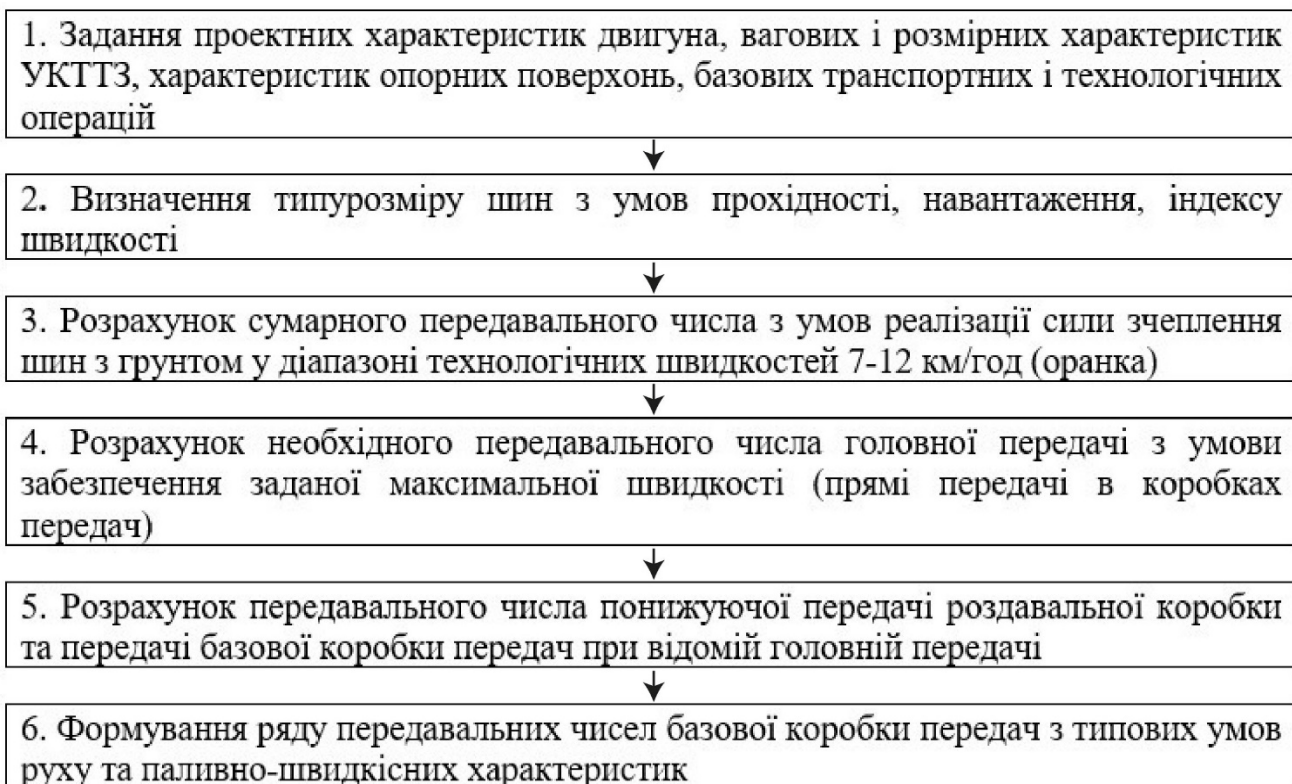


Рисунок 3.1 – Структура параметричного синтезу трансмісії УКТТЗ типу  
«Автотрак/Унімог»

Враховуючи більш ніж достатній запас потужності дизельних двигунів з турбонаддувом і інтеркулером та робочим об'ємом 2,8 – 3,3 л, що покладені в

основу проекту АТ «Укравтобуспром» - 160-176 к.с. (законодавча норма екологічності в Україні «Євро-5» для колісних транспортних засобів категорії N1, куди і віднесено проект УКТТЗ ТУР ВТ-04 «Автотрак» з умов допуску до автодоріг загального користування і максимальної швидкості руху більше 90 км/год), першочерговим є підбір необхідного типорозміру шин/коліс.

Природно, що умовою для УКТТЗ є однаковість типорозміру для передньої та задньої осей, радіус кочення яких та зчіпні властивості протектора з опорною поверхнею є необхідними для подальшого розрахунку необхідного передавального діапазону трансмісії (базової та роздавальної коробок передач, головної передачі) [141]. Особливістю УКТТЗ є умова поєднання транспортного (автомобіль) та технологічного (трактор, обробіток землі) режимів руху, що обумовлює відхід від класичних методик підбору шин для автомобіля або трактора [83,84,162]. Очевидно, задані максимальні швидкості руху на асфальтобетонних автодорогах (80-100 км/год з умов транспортного потоку) обумовлює використання автомобільних шин (тракторні, як правило, обмежені індексом допустимої швидкості 40-50 км/год). З іншого боку, технологія обробітку землі та рух бездоріжжям обумовлюють наявність ґрунтозачепів протектора та можливість руху на знижених значеннях тиску повітря у шині (як з умов прохідності, так і агротехнологій), що обумовлює підбір власне серед шин автомобілів підвищеної прохідності типу 4x4 чи 6x6. Умови зчеплення шин з ґрунтом та реалізації значних крутних моментів, насамперед при обробітку ґрунту – оранці, зумовлюють підбір достатньо крупногабаритних шин щодо звичних для колісних транспортних засобів (КТЗ) категорії N1 з відповідно великим запасом допустимих навантажень, що є оправданим і з умов незвичних для КТЗ донавантажень, насамперед шин задньої осі, від навісного сільськогосподарського обладнання, у т.ч. і під час руху при знижених тисках повітря в шинах [142]. Аналіз існуючих конструкцій УКТТЗ повною масою від 3,2 до 7,5 т [12-20 і інш.] показує, що розмірність дисків коліс є у діапазоні від 16 до 20 дюймів. Опрацьована в часи 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. Більш практичною у цьому плані виглядає номограма вибору основних параметрів колісного трактора з різними колісними схемами приводу (рисунок 1.28) де передбачено всі 3 можливі варіанти колісних схем – тобто і для варіанту з однакової розмірності коліс передньої та задньої осей – фактично схеми реалізованої на ХТЗ Т150К [167]. У останньому випадку, що є власне актуальним, слід зазначити відчутне зменшення критичного значення повної маси, необхідної для забезпечення сили зчеплення шин з ґрунтом з умов реалізації певного класу тяги, а також діаметра коліс схеми 4x4, що для класу 1,4. При цьому, однак, множина потенційних варіантів типорозміру шин обмежується власне автомобільними шинами з протектором для бездоріжжя, очевидно дещо незвично більших діаметрів у порівнянні з КТЗ категорії N1 для автодоріг загального користування. Визначення типорозміру шин і декількох можливих варіантів дозволяє перейти до наступного етапу – параметричного синтезу трансмісії УКТТЗ, тут механічної багатоступеневої з пріоритетом максимального використання існуючих агрегатів, наперед базової механічної коробки передач.

Розрахунок відповідного передавального числа трансмісії в цілому здійснюємо з умов оцінки класу 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 [84,85] – 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 та  $F_o$  певному підйомі  $F_i$  :

$$u_c = u_1 u_{r1} u_0 = F_k r_k / T_e \eta_t = G(f + \sin \alpha) r_k / T_e \eta_t \quad (3.1)$$

де:

$u_c$  - сумарне передавальне число трансмісії,  $u_1$  - передавальне число 1-ї передачі,  $u_{r1}$  - передавальне число понижуючої передачі роздавальної коробки

передач,  $u_o$  - передавальне число головної передачі,  $r_k$  - радіус кочення колеса,  $T_e$  - крутний момент двигуна,  $\eta_t$  - ккд трансмісії,  $G$  - експлуатаційна вага повнопривідного УКТТЗ,  $f$  - коефіцієнт опору коченню шин на ґрунті,  $\alpha$  - кут підйому опорної поверхні (звично граничний кут підйому опорної поверхні – ґрунту, що дозволяє реалізувати тягове зусилля на гаці 1,4 т при збільшеному відповідно опору рухові).

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

$$F_k = (T_e u_c \eta_t / r_k) \leq \phi G_k \quad (3.2)$$

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

$$n_e = (7 \longleftrightarrow 12) u_c / 0,377 r_k \quad (3.3)$$

Отримані задовільні результати (згідно формул 3.2 і 3.3) 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  $n_e = (0,7 \rightleftharpoons 0,8) n_N$ , де  $n_N$  - частота обертання вала двигуна при максимальній потужності.



### 3.2 Методика визначення потужності та передавального діапазону приводу для технологічних та транспортних операцій.

Отримане значення  $u_o$  (з корекцією, при 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, рисунок 3.1). З умов агрегатної уніфікації для обраної моделі дизельного двигуна (у випадку ТУР ВТ-04 – IVECO F1CE5) доцільно обрати серійну 6-ти ступеневу коробку передач, що дозволяє зафіксувати і передавальні числа передач, у т.ч. і 1-ї передачі, а, відповідно, з отриманого необхідного добутку  $u_1 u_{r1}$  (з корекцією по уточненому значенню щодо головної передачі  $u_o$ ) і визначити відповідне необхідне значення для понижуючої передачі роздавальної коробки передач. Таким чином створення машини зводиться до мінімуму використання оригінальних агрегатів трансмісії «Автотрак» (передавальні числа понижуючих передач роздавальних коробок серійних повнопривідних автомобілів підвищеної прохідності логічно відрізняються – з умов руху бездоріжжям у діапазоні швидкостей, вищих за агротехнологічні [168] ).

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 [151]. У цьому плані одним з найбільш розповсюджених у сучасних дослідженнях є використання програмного середовища MATLAB Simulink [168, 169], природно з відповідним доопрацюванням математичної моделі, що включає і опис операцій обробітку ґрунту та динаміку відповідного перерозподілу навантажень на осі Автотрак [170]. При цьому в основу моделювання опору оранки плугом було покладено як загальноприйняту в Україні (з часів СРСР) формулу Л.С. Горячкіна (з врахуванням сучасних уточнень

[141], так і більш розповсюджену у Західній Європі формулу проф. К. Шілінг (K.Schilling) [171], (що зрештою показали близькі результати [96]).

Відповідно до структури параметричного синтезу трансмісії УКТТЗ типу Автотрак/Унімог методика визначення потужності та передавального діапазону приводу для технологічних та транспортних операцій зводиться до наступних кроків:

- 1) Внесення параметрів компонентів силового приводу у відповідні модулі підсистем моделі, а саме характеристики двигуна, передавальні числа КПП, роздавальної КПП, диференціалу, характеристики шин;
- 2) Визначення максимального тягового зусилля, що може розвинути УККТЗ на відповідній ОП – перевірка можливості УКТТЗ виконувати поставлені перед ним технологічні задачі, визначення класу тяги для подальшого підбору технологічного обладнання;
- 3) Визначення максимальної швидкості руху УКТТЗ по відповідній ОП для перевірки можливості ефективного виконання транспортних операцій як з причепом так і без.

В модулі «Gears», який є частиною підсистеми «Gearbox» моделювання роботи КПП вносяться передавальні числа існуючої КПП для подальшої перевірки на відповідність вимогам транспортних та технологічних операцій. Відповідний модуль представлений на рисунку 3.2.

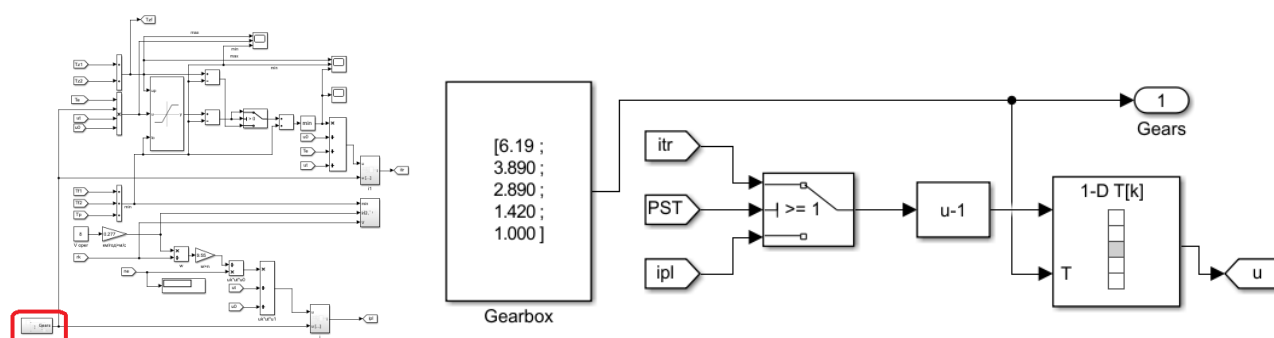


Рисунок 3.2 – Модуль «Gears» підсистеми «Gearbox» моделювання роботи КПП

Відповідно до структура параметричного синтезу трансмісії УКТТЗ зпершу здійснюється підбір передавально числа трансмії при роботі на понижених

передачах для виконання технологічних операцій. Вибір між понижувальною і прямою передачами роздавальної КПП здійснюється з загального інтерфейсу керування моделлю (рисунок 3.3), вибір передачі основної КПП здійснюється автоматично в підсистемі «Gearbox».

За допомогою підсистеми з визначення максимального тягового зусилля що може розвинути УКТТЗ на заданій ОП проводиться перевірка відповідності УКТТЗ класу тяги закладеному при проектуванні. Значення максимального тягового зусилля виводиться на інтерфес підсистеми визначення тягового зусилля (рисунок 3.4).

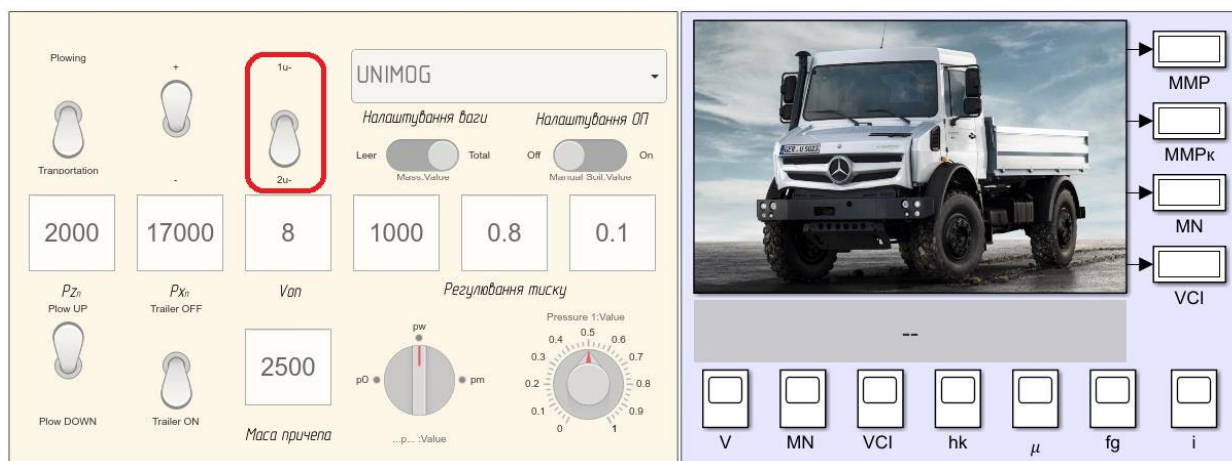


Рисунок 3.3 — Перемикач роздавальної КПП в інтерфесі керування моделлю

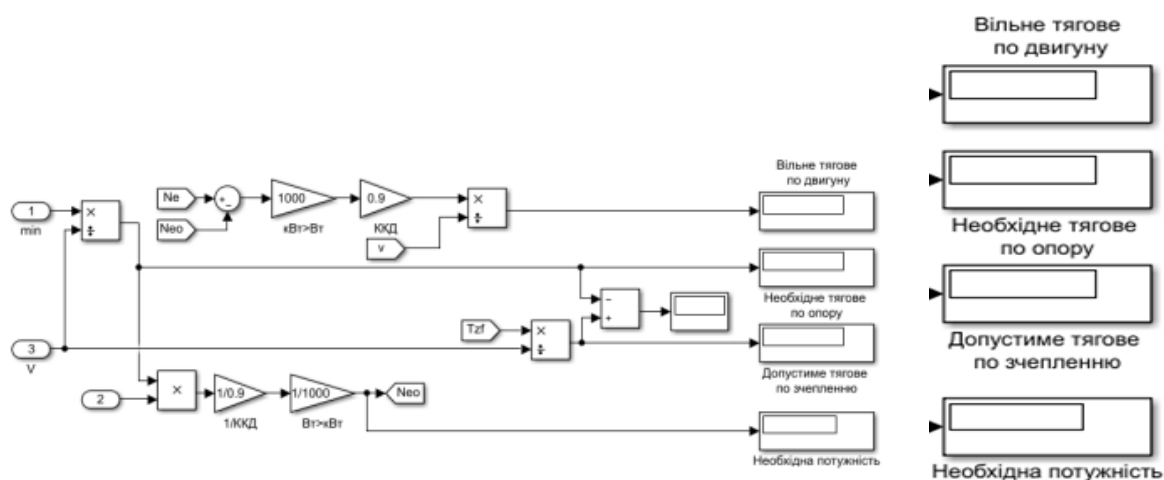


Рисунок 3.4 – Інтерфейс підсистеми визначення максимального тягового зусилля що може розвинути УКТТЗ на відповідній ОП.

Інтерфес являє собою три поля для виводу інформації:

- 1) «Вільне тягове зусилля по двигуну» - відображає зусилля в кН що може реалізувати УКТТЗ на еталонній поверхні,
- 2) «Вільне тягове зусилля по зчепленню» - відображає зусилля в кН що може реалізувати УКТТЗ на заданій ОП з відомими фізико-механічними властивостями.
- 3) «Необхідна потужність» - відображає потужність в кВт яка необхідна для подолання сил опору рухові.

Порівнюючи значення полів «Вільне тягове зусилля по двигуну» і «Вільне тягове зусилля по зчепленню» можна оцінити ефективність методів підвищення прохідності КМ, зокрема таких як використання баластів та здвоєних шин.

На рисунку 3.5 подано вихідний графік моделювання, відносно якого здійснюється підбір передавального числа (вибір передачі). На графіку видно дві прямі –  $T_{\min}$  та  $T_{\max}$  – діапазон крутного моменту, необхідного для забезпечення руху КМ.

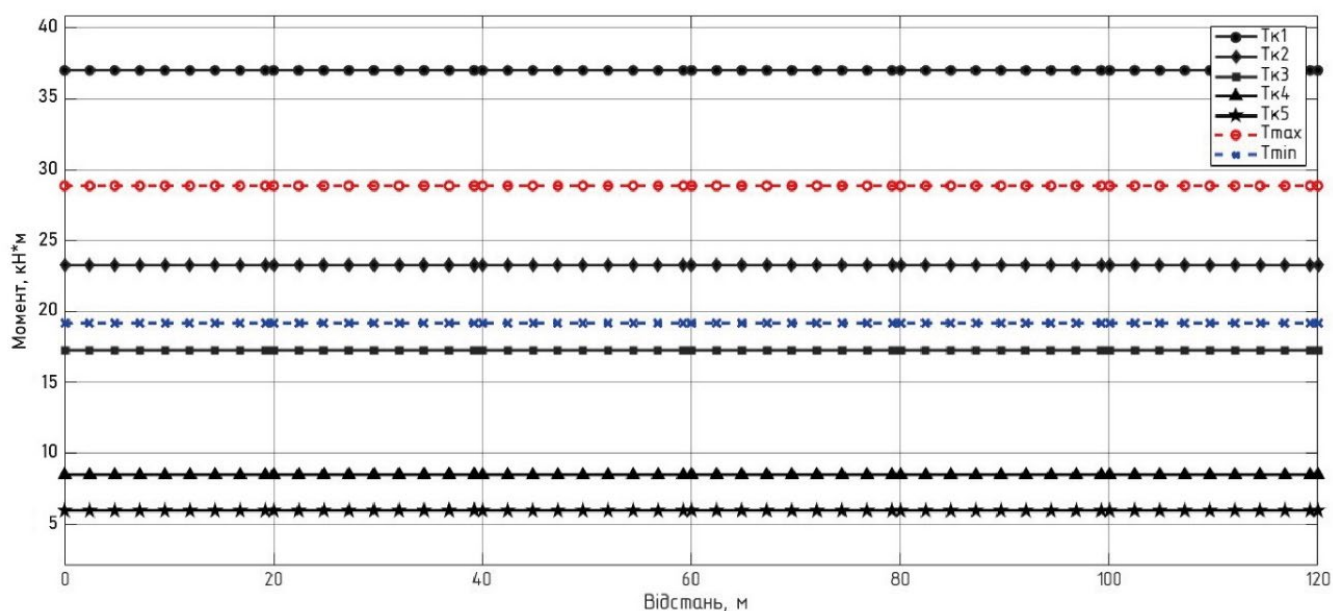


Рисунок 3.5 – Графік вибору передавального діапазону

### 3.3 Практичні рекомендації параметричного синтезу тягового приводу УКТТЗ (на прикладі проекту ТУР ВТ04 «Автотрак»)

На першому етапі здійснено моделювання руху УКТТЗ модель ТУР ВТ-04 «Автотрак» експлуатаційною масою 3,5 т, обладнаного дизельним двигуном IVECO F1CE5 у поєднанні з механічно КПП FT50.6M (відповідні характеристики двигуна та КПП наведені у додатку Б (таблиця Б.1, Б.2, Б.3)) у виконанні «Євро-5» потужністю 120 кВт з трьома найбільш розповсюдженими на ринку України автомобільними шинами з всюдихідним рисунком протектора для бездоріжжя, що попередньо були підібрані з умов прохідності для базової моделі важкого джипа ТУР – «Джип -1,5» в ВАТ «Укравтобуспром» . Моделювання проводилося на базі шин автомобілів ГАЗ-66 (320/80R18), БТР 4/ЗИЛ-131 (365/90R18) та КАМАЗ 4310 (365/80R20), параметри яких наведено у таблиці 3.1. В якості опорної поверхні – агрофону - вибрано вологий супісок ( $CI = 1500$  кПа), як гірший варіант власне з умов запасу зчеплення ведучих коліс з ОП. (Беручи до уваги значний запас потужності двигуна у виконанні «Євро-5», та можливості реалізації більшого тягового зусилля на інших типах ґрунтів).

Таблиця 3.1 – Основні характеристики шин.

Умовне позначення	Радіус кочення, 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

На рисунку 3.6 подано результати моделювання процесу руху ТУР ВТ-04 «Автотрак» при виконанні транспортних операцій (рух з причепом масою 1,5т з однотипними колесами і колією полем – вологим супіском з значенням  $CI = 1500$

кПа) за використання шин автомобілів ГАЗ-66 (320/80R18) (а), ЗИЛ-131 (365/90R18) (б) і КАМАЗ 4310 (365/80R20) (в).

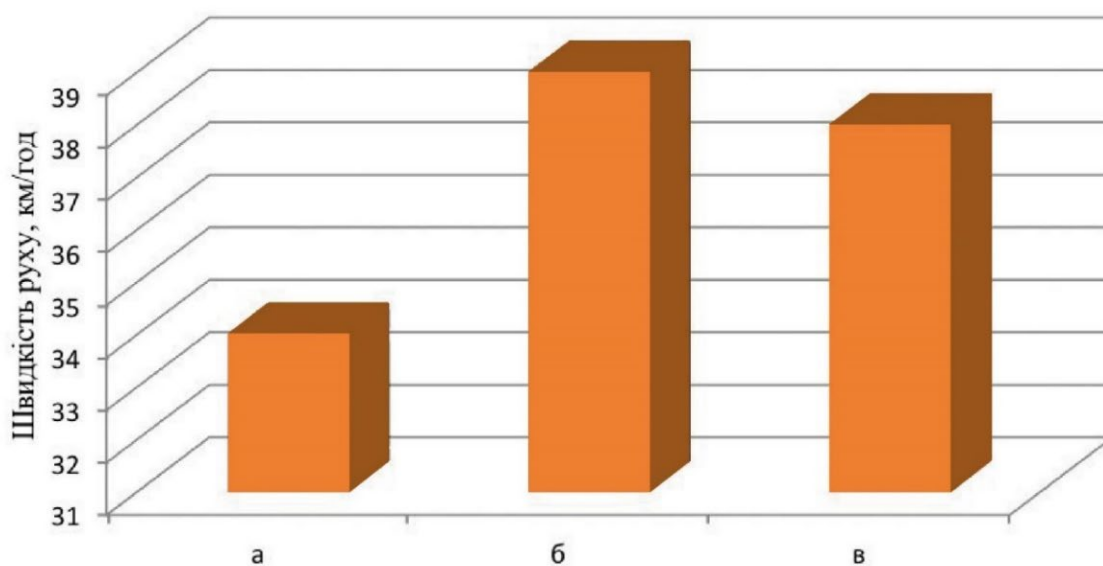


Рисунок 3.6 – Результати моделювання руху КМ з причепом, де:

а) – шини автомобіля ГАЗ-66 (320/80R18); б) – ЗИЛ-131 (365/90R18); в) – КАМАЗ 4310 (365/80R20).

Згідно з отриманих при імітаційному моделюванні руху результатів можна зробити висновок, що використання шин автомобіля ЗИЛ-131/ БТР-4 (365/90R18) у порівнянні з шинами автомобілів ГАЗ-66 (320/80R18) та КАМАЗ 4310 (365/80R20) дозволяє забезпечити вищу швидкість руху на транспортних операціях що в свою чергу позитивно впливає на продуктивність вантажоперевезень, збільшити зчеплення з ОП у порівнянні з шиною автомобіля ГАЗ-66 (320/80R18), забезпечити виконання технологічних операцій.

Моделювання оранки проведене для звичного суглинка середнього зволоження та і для варіанту тяги з здвоєними колесами, що часто використовується в сучасній агротехніці як з умов збільшення площі контакту зчеплення шин та агроєкології, так і тягових характеристик [98] Очевидно внаслідок невеликих навантажень на вісь застосування здвоєних шин дає відносно невелике збільшення сили тяги на гаку – у межах до 15% (рисунок 3.7) і доцільне тільки на сильно зволжених ґрунтах.



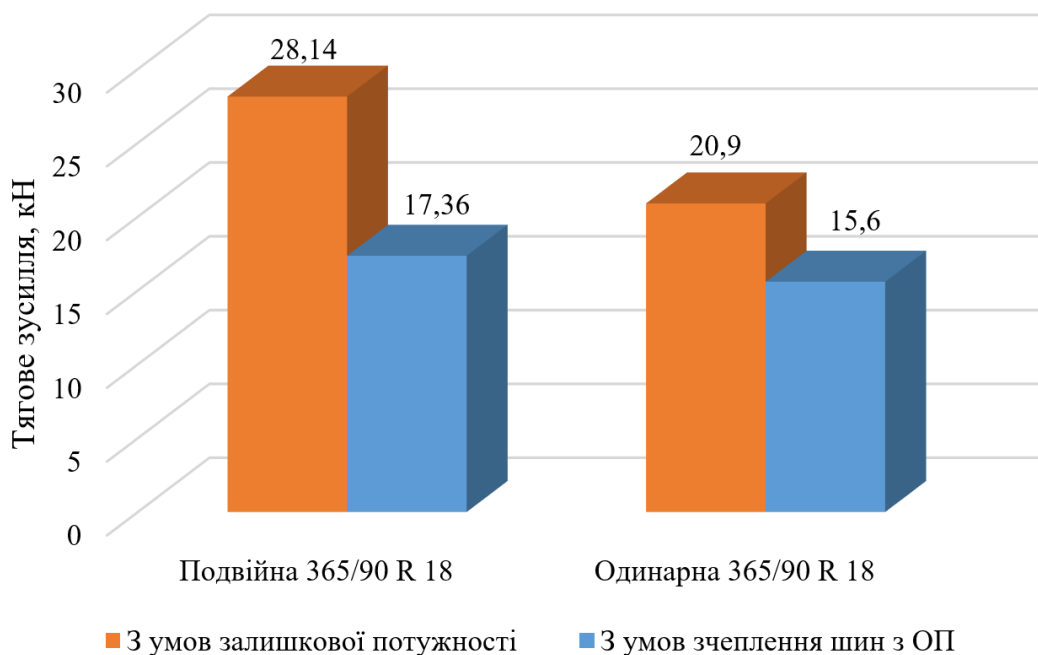


Рисунок 3.7 – Результати імітаційного моделювання оранки та оцінки тягового балансу (на прикладі ТУР ВТ-04) [172].

Отримані результати щодо ТУР ВТ-04 «Автотрак» дозволяють констатувати значний теоретичний резерв сили тяги з умов потужності двигуна (співставної з вищезгаданим Т 150К), однак реально обмеженої з умов зчеплення шин з опорною поверхнею 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 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 ВТ-04аного «повзучого» режиму у діапазоні швидкостей 0,008-2 км/год, актуальна у інших сферах використання, насамперед комунальній та дорожньо-ремонтній. Необхідну

мобільність бездоріжжям забезпечується за рахунок 2-4 (5)-ї передач основної коробки передач на пониженому діапазоні (передачі) роздавальної коробки.

За результатами імітаційного моделювання руху повнопривідної КМ ТУР ВТ-04 «Автотрак» було підібрано і відповідне технологічне обладнання та причеп як для внутрішньо-господарських перевезень (тракторний) і автомобільний – таблиці 3.2. [13].

Відповідна співпраця з АТ «Укравтобуспром» (м.Львів) по реалізації результатів дослідження у дослідно-конструкторських роботах 2021-23 рр., однак виготовлення і випробування дослідного зразка УКТТЗ ТУР ВТ-04 було призупинене з початком широкомасштабного вторгнення армії РФ в Україну і швидкою переорієнтацією на розробку та промисловий випуск легких ударних автомобілів переднього краю – військових баггі ТУР КВ 02/ LTV 02 «Мамай». У таблиці 3.3 подано базові технічні параметри, що покладені в основу проекту УКТТЗ ТУР ВТ-04 «Автотрак».

Практичне значення результатів дослідження полягає у формуванні методик конструктивного синтезу компоновки та вибору характеристик і параметрів тягового приводу УКТТЗ для використання у аграрній сфері.

Таблиця 3.2 – Технологічне та транспортне обладнання для ВТ-04 «Автотрак» (проект ВАТ «Укравтобуспром»)

Вид робіт	Назва машини або агрегату	Марка машини або обладнання
1	2	3
Обробка ґрунту	Навісний трьохкорпусний плуг	Типу ПЛН-3-35
	Культиватор навісний трьохрядний	Типу КПС-4
	Навісна дискова борона	Типу АГД-2,1
Посів	Сіялка зернова	Типу СЗ-3,6
Продовження таблиці 3.2		

1	2	3
Посів	Навісна картоплесаджалка	Типу СПК-4
Скошування	Косарка дискова навісна	Типу КДН-210
Збір сінажу	Прес-підбирач рулонний	Типу ПР-Ф-145
Транспортні операції	Причіп двохвісний	Типу 2НТС-3,2
		Типу PRAGMATEC V7-3117

Відповідні базові технічні параметри універсального ТУР ВТ-04 за даними ВАТ «Укравтобуспром» подані у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Базові технічні параметри універсального тягово-транспортного засобу ТУР ВТ-04 (дані ВАТ «Укравтобуспром»)

Параметри	Значення
Габаритна довжина	5056 мм
Ширина (кабіна/борт)	2000/2400 мм
Висота (кабіна)	2500 мм
Кліренс	410 мм
Споряджена маса (водій 75кг)	2160-2250 кг
Повна маса (допустима по осях)	3500 (5000) кг
Двигун, дизельний, потужність	126 кВт
Коробка передач, передатні числа (Iveco)	
1 – передача	5.375
2 – передача	3.154
3 – передача	2.041
4 – передача	1.365
5 – передача	1,00
6 – передача	0.791
Задня передача	4.838
Роздавальна коробка, передатні числа	
Вища	1,00
Понижена технологічна	2,98
Головна передача, передатне число	4,45
Шини, розмірність	12,00 – 18
Допустима маса причепа	2500 кг

Варіант виконання ТУР ВТ-04 «Автотрак» разом із системою начіпки зображено на 3.8. рисунку. Габаритне креслення шасі ТУР ВТ-04 «Автотрак» подано у додатку В.

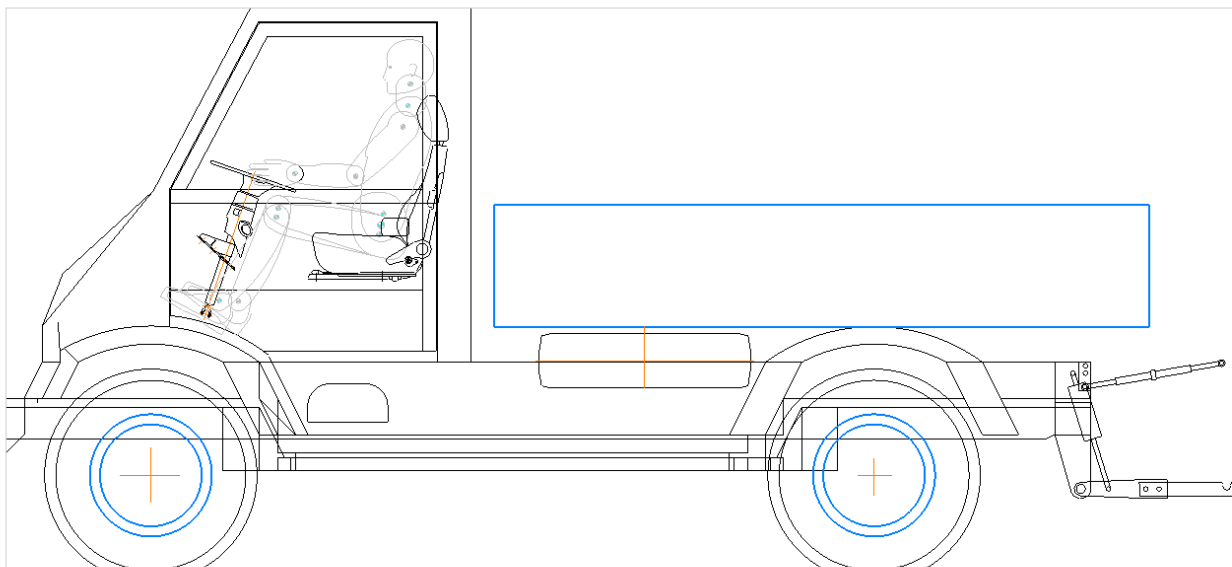


Рисунок 3.8 – Схема компонування ТУР ВТ04 «Автотрак» (у варіанті з системою начіпки (проект ВАТ «Укравтобуспром»))

### 3.4 Висновки за розділом

У цьому розділі сформовано загальну структуру параметричного синтезу трансмісії УКТТЗ типу «Автотрак/Унімог» та наведено відповідний алгоритм, описано методику визначення потужності та передавального діапазону приводу для технологічних та транспортних операцій. Згідно з отриманих при імітаційному моделюванні руху результатів здійснено підбір агрегатів силового приводу та технологічного обладнання на базі проєкту ВАТ «Укравтобуспром» ТУР ВТ-04. Відповідні базові технічні параметри та технологічне та транспортне обладнання універсального ТУР ВТ-04 подано у таблиці 3.3 та 3.2.

## РОЗДІЛ IV

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ І ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 4.1 Методичні засади експериментів та вимірювальна апаратура

Метою експерименту є перевірка комп'ютерної імітаційної моделі на адекватність, а саме оцінка збіжності результатів експерименту та моделювання з однаковими вхідними даними. Експеримент проводився відповідно до принципів, закладених у модель, зокрема при проведенні експерименту була відтворена та сама кінематична схема руху КМ, були визначені параметри ОП - конусний індекс СІ. Дані які необхідно звірити (вихідні) а також дані на основі яких проводилося моделювання (вхідні) представлено як структуру даних у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Структура даних для оцінки адекватності експерименту.

Параметр	Джерело	Одиниці вимірювання
Конусний індекс (СІ) ОП	Експериментальне визначення	кПа
Споряджена маса КМ	Дані виробника	кг
Повна маса КМ	Дані виробника	кг
Потужність двигуна	Дані виробника	кВт
Передатні числа трансмісії КМ	Дані виробника	-
Шини, розмірність КМ	Дані виробника	-
Колісна формула	Дані виробника	
Максимальне тягове зусилля на буксирному гаці, що можна реалізувати на даній ОП	Експериментальне визначення, імітаційне моделювання	кН

Суть експерименту полягала у визначенні максимального тягового зусилля що може реалізувати КМ на відповідній ОП, а саме по стерні з визначеним експериментально значенням СІ для подальшого порівняння з даними імітаційного моделювання для аналогічної ОП. Для цього було обрано горизонтальну рівну ділянку поля та проведено експериментальну оцінку несучої здатності ОП – визначено значення конусного індексу СІ. Його визначення відбувалося за допомогою твердоміра ґрунту ЛАН-М PRO вітчизняного виробництва [98], наконечник якого був модифікований згідно вимог WES – методики [136,137], а саме з кутом конуса  $30^\circ$  та площею основи  $3,23 \text{ см}^2$  ( $0,5$  дюйма<sup>2</sup>), рисунок 4.1. Відповідно були внесені зміни і відтаровано на заводі-виробнику твердоміра програмне забезпечення вимірювального блока.

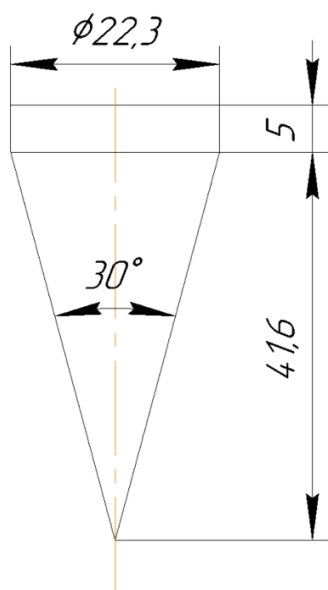


Рисунок 4.1 – Ескіз конусного наконечника (зліва) та його реальний вигляд (справа).

На рисунку 4.2 зображено загальний вигляд пенетрометра та його модифікований графічний інтерфейс, який дозволяє послідовно отримати значення прикладеної сили до конусного наконечника на відповідній глибині занурення при регламентованій у WES – методиці швидкості занурення. Також отримані дані записуються у вигляді таблиць на карту пам'яті приладу з



прив'язкою до GPS-координат та часу. Дані з карти пам'яті можна зчитати за допомогою персонального комп'ютера та спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ) що постачається в комплекті приладу для подальшої статистичної обробки. Інтерфейс даного ПЗ зображено на рисунку 4.3.



Рисунок 4.2 – Загальний вигляд твердоміра ґрунту ЛАН-М PRO [173].



Рисунок 4.3 – Інтерфейс програмного забезпечення ЛАН-М PRO [173].

Визначення конусного індексу відбувалося як перед, так і після визначення максимального зусилля на буксирному гаці, що може реалізувати об'єкт дослідження на ОП дослідницької ділянки, що також дозволило оцінити рівень ущільнення ґрунту в колії після проходження КМ.

Для визначення тягових показників було використано динамометр ДПУ-2-2-У2 (рисунок 4.4), що здатний вимірювати зусилля величиною до 20 кН з точністю до 200 Н [174], та метрологічно повірений комплекс РВПР вимірювання

та запису на ноутбук швидкості, шляху, прискорення/сповільнення у поздовжньому напрямку (розробник – ДП НДРТІ та ДП Випробувальний центр «Укравтотест» ВАТ «Укравтобуспром», м. Львів [137,147]). Основною відмінністю комплексу РВПР, на противагу звичним «5-м колесам», що використовуються при випробуваннях КТЗ на дорогах з твердим покриттям і є проблемними в умовах бездоріжжя, є безконтактне з ОП вимірювання швидкості/шляху/прискорення за рахунок випромінення радіосигналу і прийому його відбиття від ОП. Функціонально РВПР складається з чотирьох основних складових (рисунок 4.5): приймально-передавального модуля (ППМ); блока обробки сигналів (БОС) з двонаправленим інтерфейсом RS-232; портативного комп'ютера (ПК) і блока джерел вторинного електроживлення (БЖ). ППМ здійснює формування та випромінювання зондуючого сигналу, прийом відбитого від полотна ОП сигналу з доплерівським зміщенням частоти, а також виділення і підсилення сигналу доплерівської частоти.

БОС здійснює попередню цифрову обробку доплерівських сигналів, що надходять з ППМ, та їх фільтрацію. БЖ забезпечує формування всіх необхідних напруг живлення ППМ, БОС і ПК від бортової мережі об'єкта випробувань з напругою як 12 В, так і 24 В.

Особливістю побудови ППМ є те, що діаграми спрямованості антен розташовані під кутом  $90^0$  і спрямовані під кутом  $45^0$  до полотна ОП вперед-назад відносно напрямку руху. Таке розташування антен і наведена схема селекції доплерівських сигналів значно зменшують похибки вимірювань, які виникають за рахунок повздовжніх коливань кузова об'єкта випробувань на бездоріжжі.

Для оцінки і контролю пробуксовування використані датчики вимірювання частоти обертання коліс передньої і задньої осей [175]. Визначення тягових показників тривало до моменту пробуксовування коліс більш ніж як 15%, або появи нестабільної роботи двигуна.



Рисунок 4.4 – Динамометр ДПУ-2-2 [146]

Буксування ведучих коліс визначалося методом співставлення показників пройденого шляху КМ та кількості обертів ведучих коліс. Для автомобіля «Мамай» колісною формулою 4х2 цей процес зводиться порівняння частоти обертання ведучих і ведених коліс.

В ролі об'єктів випробувань обрано:

- військове баггі ТУР КВ-02 згідно ТУ У 29.1-00234844-234:2022 виробництва ВАТ «Укравтобуспром» (легший аналог військового шасі ТУР К05 – бази машинокомплекту для УКТТЗ ТУР ВТ 04), таблиця 4.2 [98];
- колісний трактор Mahindra Feng Shou FS244 заявленого класу тяги 0,5 [176], типовий у використанні сучасними одноосібними та малими фермерськими господарствами в Україні, таблиця 4.3;





Рисунок 4.5 – Розміщення вимірювального комплексу РПВР на об'єкті випробувань – баггі ТУР KB-02 «Мамай»

Тяговий опір створював трактор JohnDeere – при тягових випробуваннях трактора Feng Shou FS244 (рисунок 4.6), при тягових випробуваннях автомобіля «Мамай» у базовому виконанні – автомобіль «Мамай», обладнаний системою для евакуації поранених, котрий є важчим від базової версії на 48 кг. Характеристики об'єктів випробувань приведені у таблиці 4.2 – 4.3.

Таблиця 4.2 – Базові технічні характеристики ТУР KB-02 «Мамай» [98]

Параметр	Значення	
	Передня вісь	Задня вісь
Повна маса, кг	1440	
Підресорена маса, кг	430	934
Непідресорена маса, кг	34	42
Споряджена маса, кг	740	
Навантаження на осі, кг	280	460
Потужність двигуна, кВт (к.с.)	81 (109)	
Шини, типорозмір	225/70R15	
Віддаль до центру мас, м	1,5	1,3
Колісна база, м	2,8	

Таблиця 4.3 – Базові технічні характеристики Mahindra Feng Shou FS244 [176]

Параметр	Значення	
	Передня вісь	Задня вісь
Повна маса, кг		
Потужність двигуна, кВт (к.с.)	17,6 (24)	
Шини, типорозмір	6.00-16	9.50-24
Споряджена маса, кг	1070-1200	
Навантаження на осі, кг		
Колісна база, мм	1521	
Клас тяги	0,5	

#### 4.2 Експериментальна оцінка тягових характеристик УКТТЗ / тракторів для технологічних операцій обробітку ґрунту

Для перевірки адекватності опрацьованої моделі руху і визначення класу тяги УКТТЗ у програмному середовищі MATLAB Simulink максимальне тягове зусилля / класу тяги визначалося, паралельно до результатів моделювання, шляхом відповідних польових експериментів і для колісного трактора з вже відомими тяговими характеристиками.

Випробування проводились з врахуванням нормативних вимог [117,133,151-152] для відповідних значень експлуатаційної (спорядженої) маси. Оцінка фізико-механічних характеристик ґрунту – стерні (на базі замірів пенетрометром [98] з конусним наконечником під значення СІ) представлена на рисунку 4.6 та у таблиці 4.4.

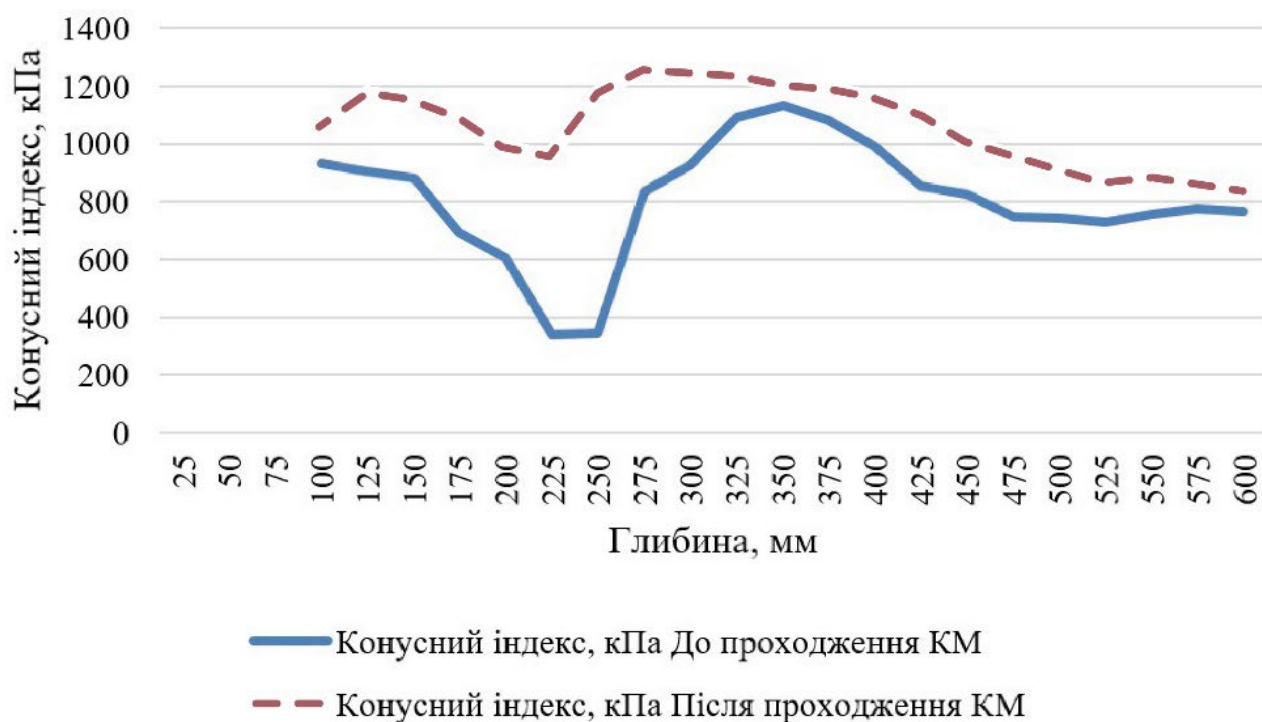


Рисунок 4.6 – Графічна характеристика твердості (СІ) опорної поверхні в функції глибини заміру пенетрометром

Таблиця 4.4. – Кількісна оцінка твердості – конусного індексу СІ випробувальної ділянки (стерні) в функції глибини заміру

Глибина, мм	Конусний індекс, кПа	
	До проходження КМ	Після проходження КМ
1	2	3
100	933	1066
125	905	1178
150	880	1153
175	694	1091
200	608	983
225	341	955
250	347	1178
275	834	1259
300	927	1246
325	1093	1234
350	1132	1200
375	1084	1190
400	992	1156
425	853	1097

Продовження таблиці 4.4		
1	2	3
450	825	1004
475	747	958
500	744	915
525	732	862
550	756	884
575	775	865
600	769	837



Рисунок 4.7 — Експериментальне визначення класу тяги трактора Mahindra Feng Shou FS244 (загальний вигляд експерименту)



Рисунок 4.8 – Експериментальне визначення класу тяги військового баггі ТУР КВ-02 «Мамай» (загальний вигляд експерименту)



Дані результатів експерименту та імітаційного комп'ютерного моделювання в середовищі MATLAB Simulink подані у вигляді графіку на рисунку 4.9.

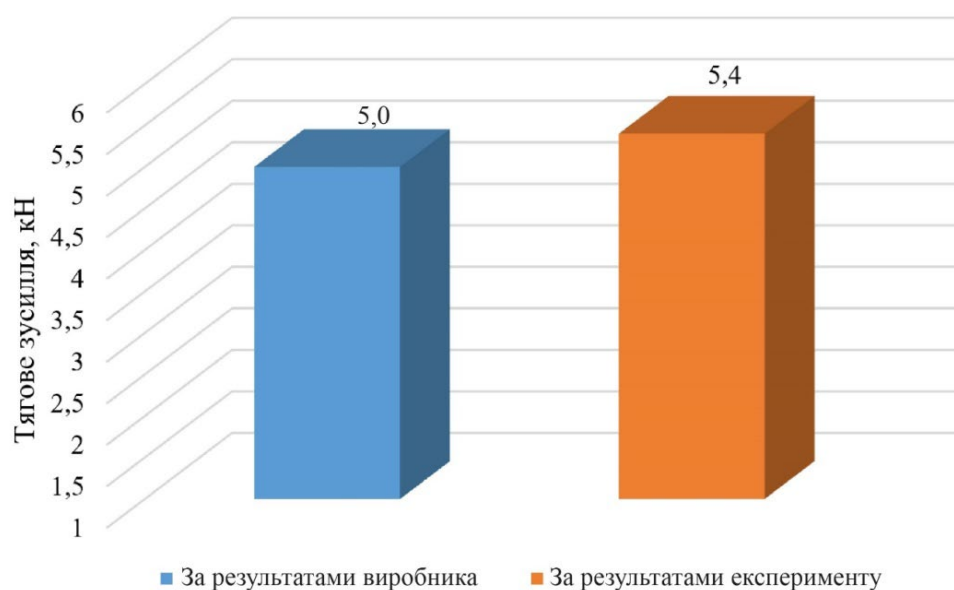


Рисунок 4.9 – Графік порівняння отриманого максимального значення тягового зусилля трактора Mahindra Feng Shou FS244 в ході експерименту та даних виробника

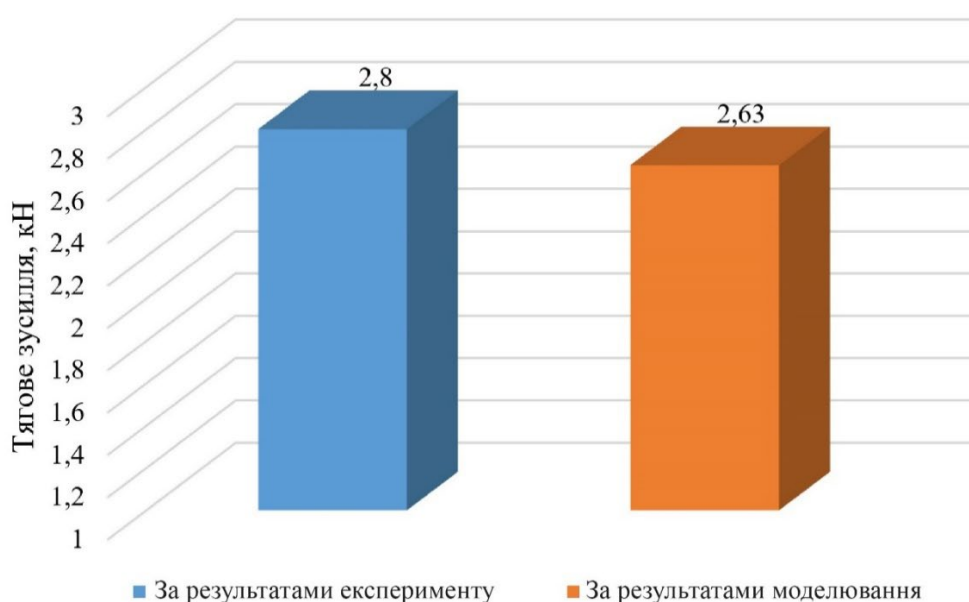


Рисунок 4.10 – Графік порівняння максимального значення тягового зусилля ТУР KB-02 «Мамай» отриманого при імітаційному моделюванні руху та за результатами експерименту

### 4.3 Оцінка адекватності імітаційного моделювання – розрахунку класу тяги на базі експериментальних досліджень

Окрім вищенаведених власних досліджень оцінки адекватності запропонованої методики комп'ютерного розрахунку класу тяги УКТТЗ / колісних тракторів та польового експерименту додатково були проведені роботи з використанням відомих експериментів з іншими МТА. Перевірку моделі на адекватність було здійснено на базі порівняння розрахунку з результатами експериментальних, польових досліджень серійного колісного трактора Т-150К [14,144]. Перевірка показала що тягове зусилля трактора при русі по стерні становить 28,688 кН, що відповідає його заявленому класу тяги 3.

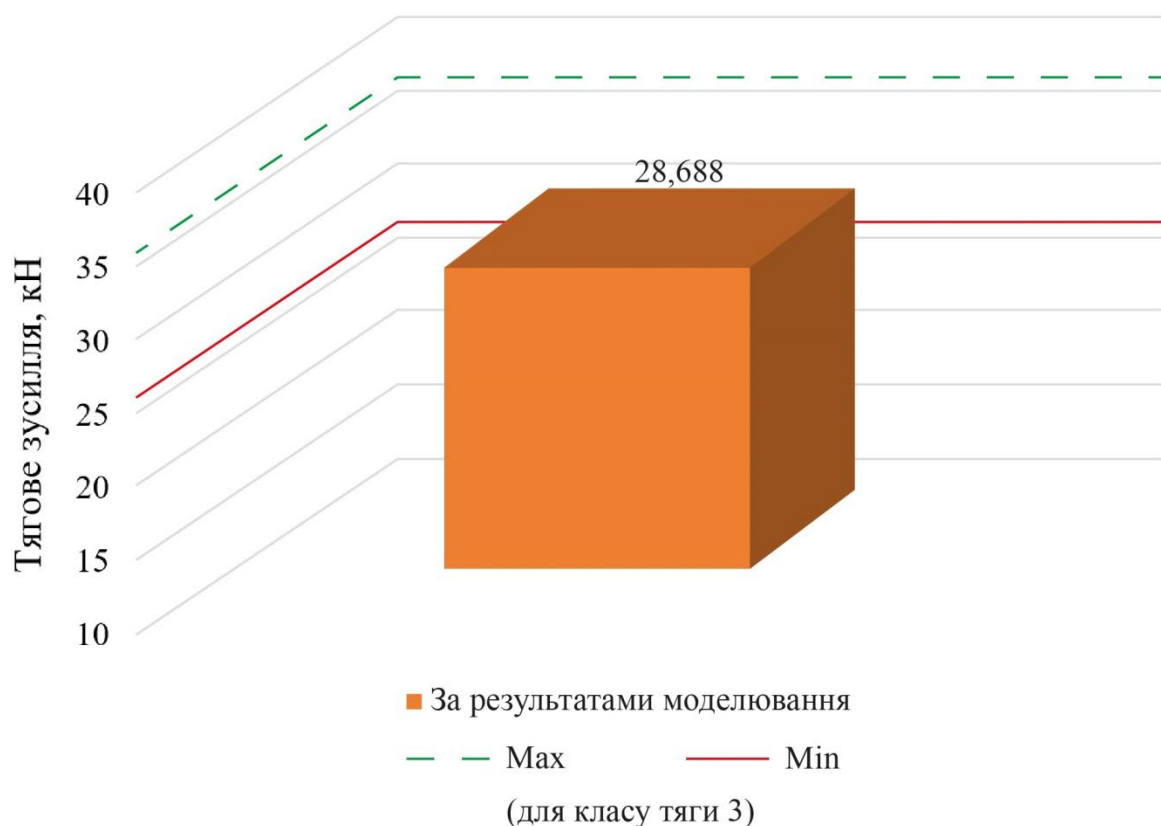


Рисунок 4.11 – Результати оцінки класу тяги колісного трактора Т-150К

Окрім цього було проведено моделювання по відтворенню експерименту по визначенню класу тяги МЕЗ-330 [16,113-115], рисунок 4.11.

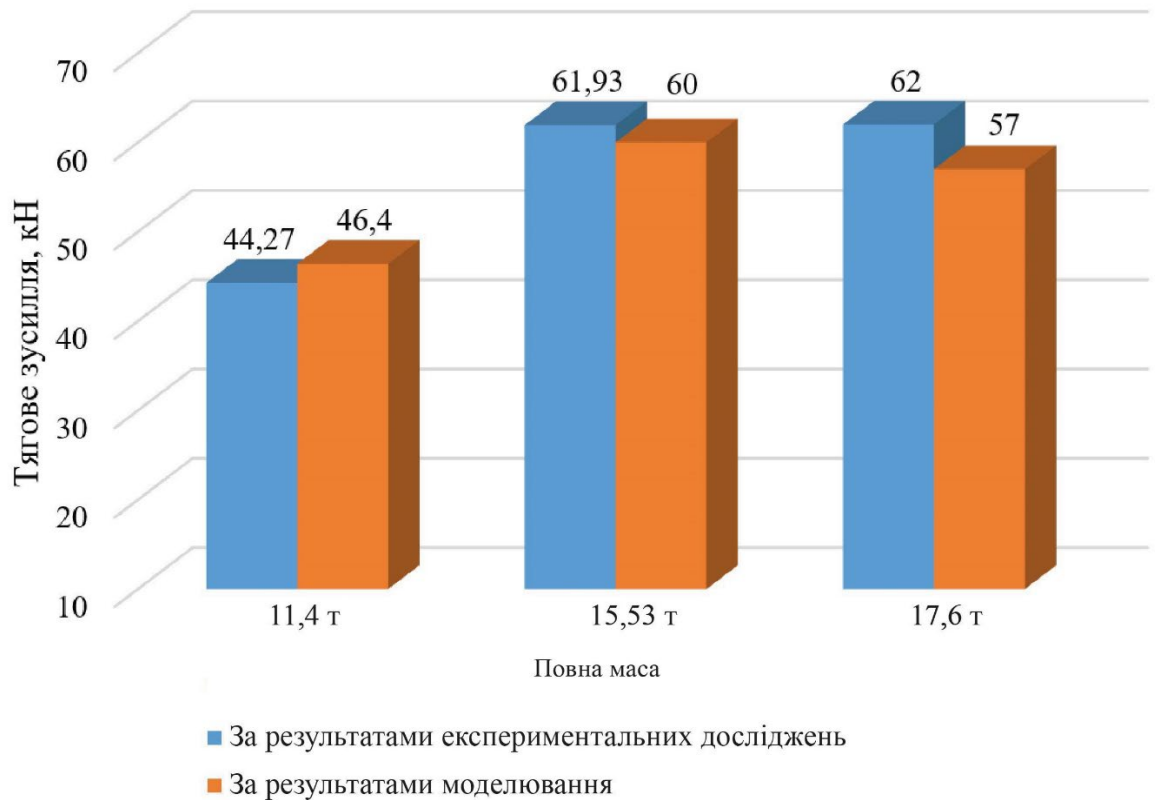


Рисунок 4.12 – Результати оцінки класу тяги УКТТЗ МЕЗ-330

Таким чином дані, що отримані в ході визначення максимального тягового зусилля, яке може реалізувати КМ на поверхні, що деформується, показали:

1) експеримент можна вважати достовірними, оскільки отриманні результати для Mahindra Feng Shou FS244 відповідають заявленим виробником, а саме клас тяги;

2) дана імітаційна комп'ютерна модель руху КМ є адекватною, про що свідчить: збіжність результатів експериментальних досліджень та імітаційного моделювання руху в середовищі MATLAB Simulink на прикладі автомобіля “Мамай”; збіжність результатів імітаційного моделювання та вже існуючих експериментальних даних на прикладі колісного трактора Т-150К і УКТТЗ МЕЗ-330.

Звично, що в умовах вступу України в ЄС слід опрацювати і питання оцінки відповідності УКТТЗ типу ТУР ВТ 04 «Автотрак» нормативній базі – технічним регламентам ЄС щодо тракторів [153] та автомобілів загального призначення

[154], а також проекту окремого регламенту щодо автомобілів для сільського та лісогосподарського призначення [155].

#### **4.4 Висновки за розділом**

Проведено перевірку комп'ютерної імітаційної моделі на адекватність шляхом порівняння результатів експериментів та моделювання з однаковими вхідними даними. Відповідно описано методику проведення експерименту та вимірювальну апаратуру.

За результатами проведення експерименту здійснено порівняння:

1) експериментально отриманого максимального тягового зусилля (5,4 кН) з даними виробника (5 кН) для трактора Mahindra Feng Shou FS244.

2) максимального тягового зусилля, отримане в ході експерименту (2,63 кН) з результатами імітаційного моделювання (2,8 кН) для військового баггі ТУР KB 02 «Мамай».

3) значення максимального тягового зусилля отриманого при моделюванні з результатами експериментальних досліджень серійного колісного трактора Т-150К (тягове зусилля 28,688 кН, що відповідає заявленому класу тяги 3).

4) Додатково, проведено моделювання для відтворення експерименту з визначення тягового зусилля ME3-330 описаного у роботі Погорілого С.П. [116] (дані отримані при моделюванні відповідають результатам експериментальних досліджень з точністю до 10%).

Таким чином, отримані дані підтвердили: достовірність проведених експериментів, оскільки результати для Mahindra Feng Shou FS244 відповідають заявленим виробником даним, адекватність імітаційної комп'ютерної моделі руху КМ, що підтверджується збіжністю результатів експериментальних досліджень та імітаційного моделювання для автомобіля «Мамай», а також збіжністю результатів моделювання та існуючих експериментальних даних для колісних тракторів Т-150К та УКТТЗ ME3-330.

## РОЗДІЛ V

### ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

#### 5.1 Оцінка економічної ефективності використання ТУР ВТ-04 «Автотрак»

Оцінка економічної ефективності використання ТУР ВТ-04 «Автотрак» на технологічних операціях проводилась відповідно до стандартної методики [200, 201] та актуальної нормативно правової бази [202].

Впродовж усього періоду роботи ТУР ВТ-04 «Автотрак» на полі господарство несе наступні витрати: 1) експлуатаційні витрати; 2) втрати через несвоєчасність збиральних робіт.

Питомі експлуатаційні витрати на одиницю виконаної агрегатом роботи, (грн/га) визначають [200, 201]:

$$C_v = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \quad (5.1)$$

де  $C_1$  – оплата праці персоналу, який обслуговує агрегат, грн/га;

$C_2$  – вартість витрачених паливно-мастильних матеріалів, грн/га;

$C_3$  – відрахування на реновацію машини, грн/га;

$C_4$  – відрахування на ремонт та технічне обслуговування, грн/га.

Оплата праці обслуговуючого персоналу дорівнює, грн/га;

$$C_1 = \frac{n_1 \cdot T_1 + n_2 \cdot T_2 + \dots + n_6 \cdot T_6}{W_{год}} \quad (5.2)$$

де  $n_1, n_2, \dots, n_6$  – чисельність працівників, які обслуговують агрегат, окремо за кожною кваліфікацією (розрядом);

$T_1, T_2, \dots, T_6$  – годинна оплата праці, грн./год;

$W_{год}$  – годинна продуктивність агрегату, га/год.

Вартість паливно-мастильних матеріалів:

$$C_2 = C_K \cdot G_{\Pi} \quad (5.3)$$

де  $C_K$  – комплексна ціна одного кілограма палива, грн/га;

$G_{\Pi}$  – погектарна витрата палива агрегатом, кг.

Питомі витрати на амортизацію агрегату:

$$C_3 = \frac{B_K \cdot a_K \cdot k_r}{100 \cdot S_c} \quad (5.4)$$

де  $B_K$  – балансова вартість трактора та с.г. машини, грн;

$a_K$  – відсоток відрахування на реновацію, %;

$k_r$  – коефіцієнт зайнятості;

$S_c$  – сезонна площа вирощування картоплі, га.

Питомі відрахування на ремонт і технічне обслуговування становлять:

$$C_4 = \frac{B_K \cdot P_K}{W_K^{год} \cdot T_K} \quad (5.5)$$

де  $P_K$  – відсоток відрахувань на ремонт і технічне;

$W_K^{год}$  – годинна продуктивність агрегату, га/год;

$T_K$  – нормативне річне завантаження  $r$ -ї машини для трактора.

Було здійснено порівняння економічної ефективності ТУР ВТ-04 при виконанні технологічних операцій з популярними в Україні тракторами суміжного класу тяги, ринкова вартість яких наведена у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Порівняльний аналіз техніко-економічних характеристик колісних тракторів тягового класу 1.4

Технічні характеристики	Назва КМ				
	YTO NLX 1054	ArmaTrac 1104 Lux	John Deere 6110B	Massey Ferguson 5711	УКТТЗ ТУР ВТ-04 «Автотрак»
Країна бренду / виробництва	Китай	Туреччина	США / Мексика	США / Франція	Україна
Номінальна потужність, к.с.	105	110	110	111	176
Модель двигуна	YTO (ліцензія Perkins)	Deutz (Німеччина)	John Deere PowerTech™	AGCO Power	Iveco
К-сть циліндрів / об'єм, л	4 / 4,5	4 / 3,6	4 / 4,5	4 / 4,4	4/3
Тип трансмісії	Механічна, 12x12	Напів-автоматична, 16x16	PowerReverser™, 12x12	Powershift, 16x16	Механічна
Вантажопідйомність навіски, кг	4000	5000	3350	4300	1500
Продуктивність гідронасосу, л/хв	45	60	60	58	-
Експлуатаційна вага, кг	4700	4900	4500	4100	3500
Вартість, млн. грн	1.57	2.54	2.42	2.51	1.35

Вибір обладнання, наведеного в таблиці 5.2, для проведення економічної оцінки використання тракторів тягового класу 1.4 обумовлений необхідністю сформулювати повний, замкнутий технологічний цикл вирощування зернових культур, що є типовим для більшості аграрних підприємств в умовах України. Даний комплекс дозволяє виконати всі ключові операції від основного обробітку ґрунту до допоміжних робіт.



Таблиця 5.2 – Перелік технологічного обладнання та причепа для тракторів тягового класу 1.4

№	Найменування обладнання	Модель	Ринкова вартість, тис. грн
1	Плуг	ПЛН-3-35	45
2	Культиватор	КПС-4	197
3	Сівалка зернова	СЗ-4,2	540
4	Розкидач добрив (причіпний)	ВМУ-5	290
5	Обприскувач (причіпний)	ОП-3000	940

Детальні результати економічного розрахунку подано у таблиці 5.3 для випадку роботи колісних машин в парі з плугом ПЛН-3-35.

Таблиця 5.3 – Результати економічного розрахунку КМ класу тяги 1.4 для роботи з плугом ПЛН-3-35

№	Характеристика	Назва КМ				
		YTO NLX 1054	ArmaTrac 1104 Lux	John Deere 6110B	Massey Ferguson 5711	УКТТЗ ТУР ВТ-04 «Автотрак»
1	Витрати на заробітну плату, грн/га	160,06	160,06	160,06	160,06	160,06
2	Витрати на ПММ, грн/га	1127,00	1069,00	1040,00	1011,00	1127,00
3	Амортизаційні відрахування для КМ, грн/га	15,70	25,40	24,20	25,10	13,50
4	Амортизаційні відрахування для обладнання, грн/га	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
5	Витрати на поточний ремонт і ТО для КМ, грн/га	135,45	219,14	208,78	216,55	116,47
6	Витрати на поточний ремонт і ТО для обладнання, грн/га	42,35	42,35	42,35	42,35	42,35
7	Питомі експлуатаційні витрати на одиницю виконаної агрегатом роботи, грн/га	1510,57	1545,95	1505,40	1485,07	1489,39

Результати розрахунку питомих експлуатаційних витрат при виконанні ключових технологічних операцій подано на рисунках 5.1 – 5.5.

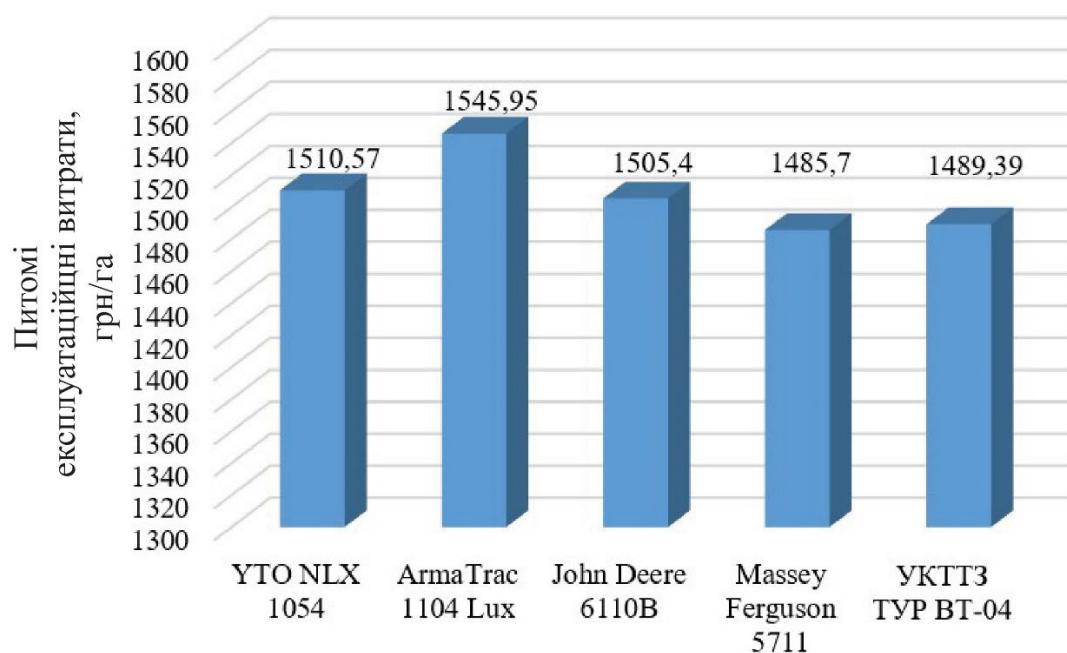


Рисунок 5.1 – Питомі експлуатаційні витрати для КМ в парі з плугом ПЛН-3-35

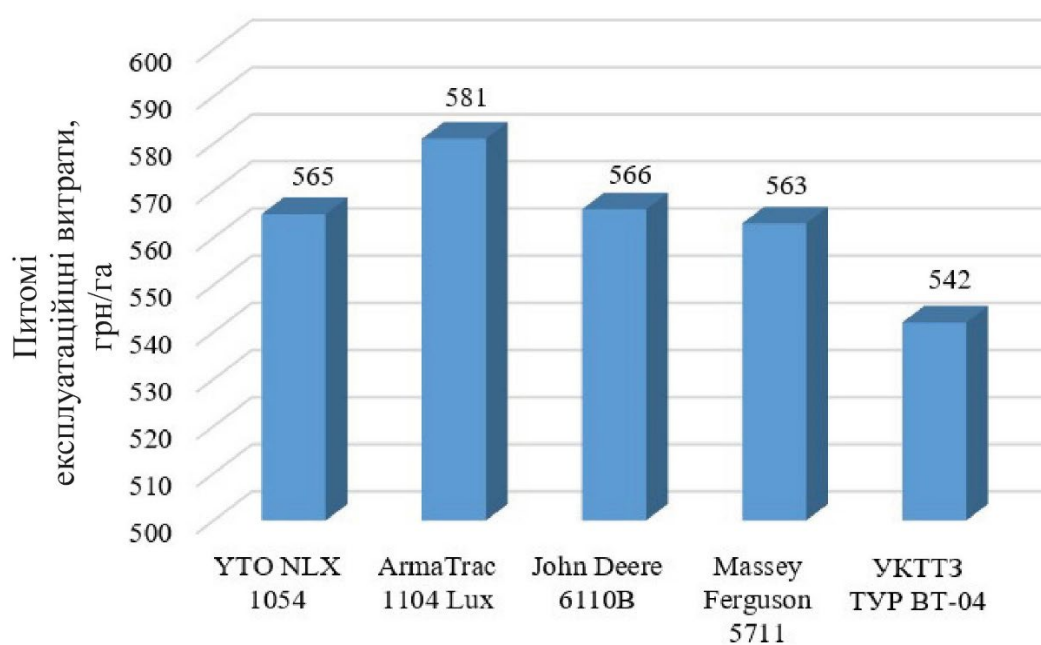


Рисунок 5.2 – Питомі експлуатаційні витрати для КМ в парі з культиватором КПС-4

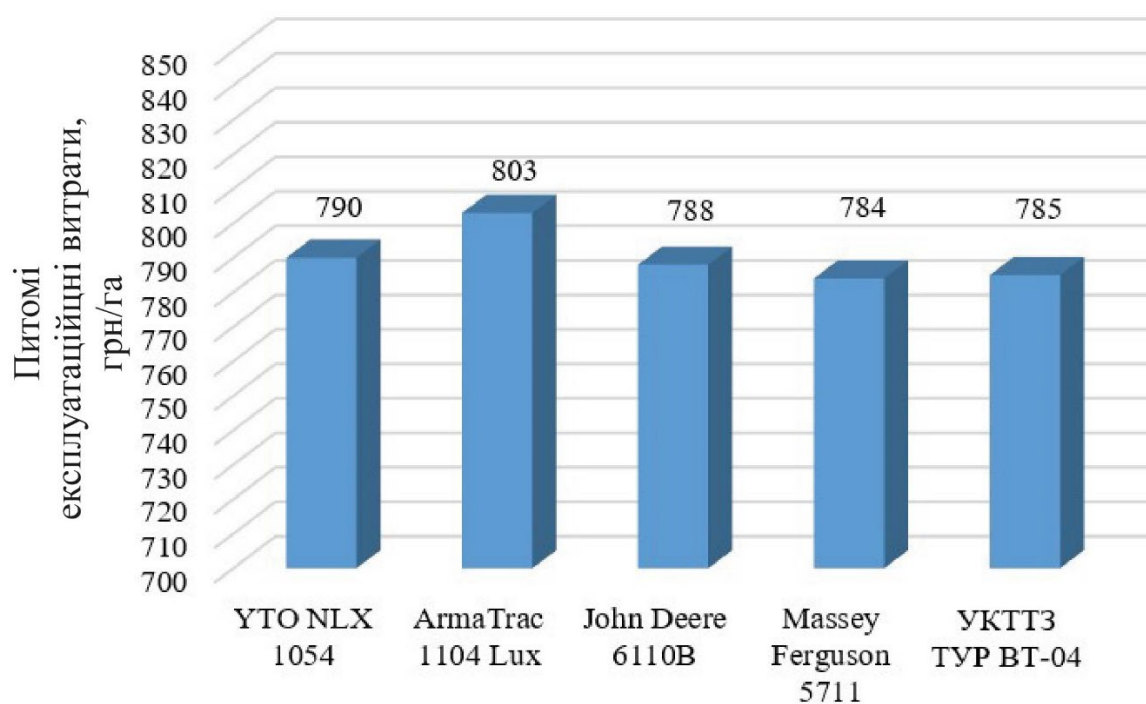


Рисунок 5.3 – Питомі експлуатаційні витрати для КМ в парі з зерною сівалкою СЗ-4,2

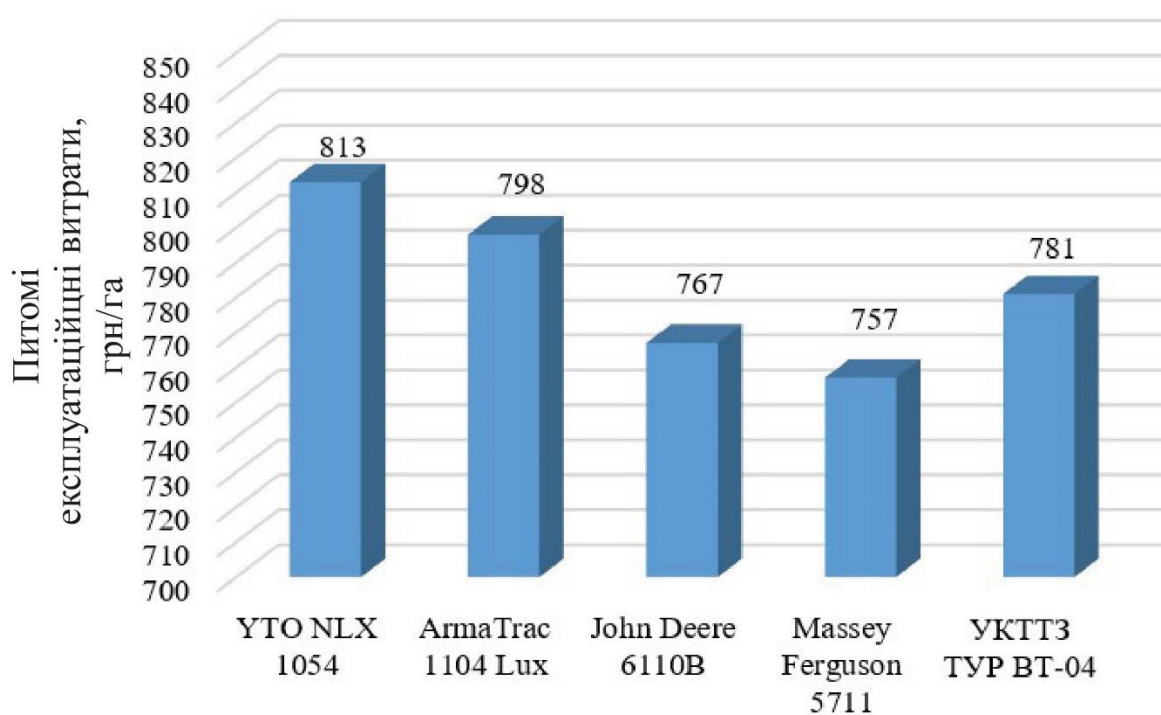


Рисунок 5.4 – Питомі експлуатаційні витрати для причіпного розкидача добрив ВМУ-5

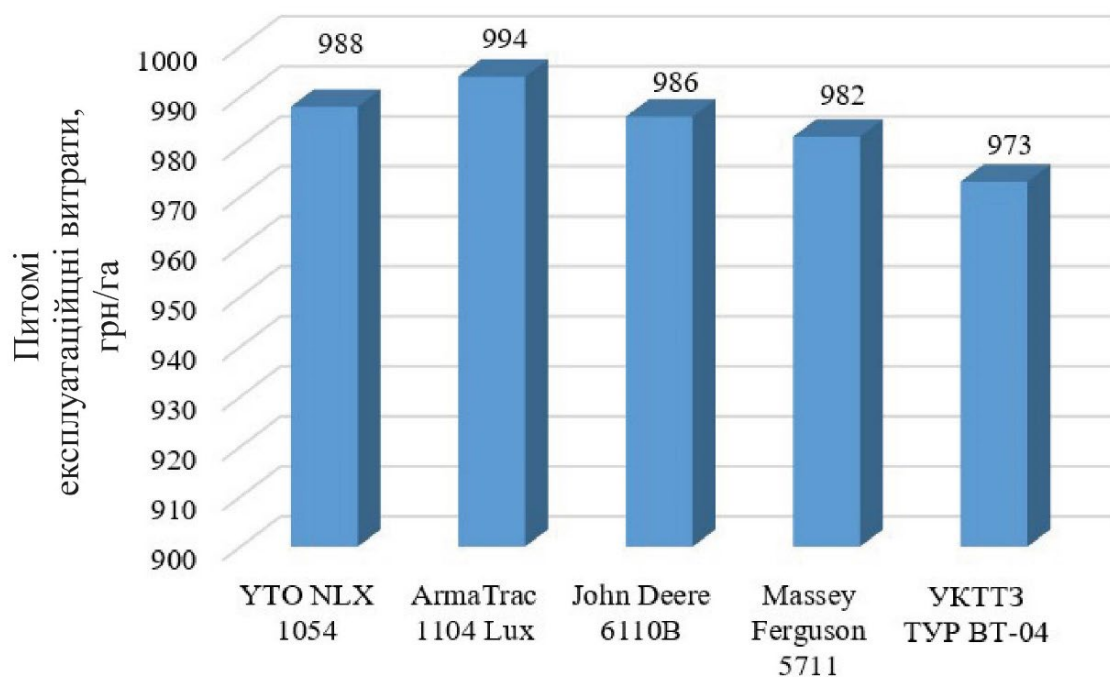


Рисунок 5.5 – Питомі експлуатаційні витрати для КМ в парі з причіпним обприскувачем ОП-3000

## 5.2 Висновки за розділом

Як видно з графіків, зображених на ринках 5.1-5.5 універсальний тягово-транспортний засіб ТУР ВТ-04 «Автотрак» зможе забезпечувати виконання більшість базових технологічних операцій при менших питомих експлуатаційних витратах на одиницю виконаної роботи аніж такі трактори як YTO NLX 1054 та ArmaTrac 1104 Lux та більших аніж John Deere 6110B та Massey Ferguson.

Враховуючи що ТУР ВТ-04 «Автотрак» поєднує у собі функції не тільки трактора, а й вантажівки, відповідно може виконувати не тільки технологічні, а й транспортні операції – це у свою чергу дає можливість зменшити витрати на транспортні операції (в залежності від потреб господарства) за рахунок купівлі причепа або повнопривідного вантажного автомобіля, скоротити експлуатаційні витрати та витрати на обслуговування автопарку. Вартість повнопривідного автомобіля, що здатен виконувати тільки транспортні операції як бездоріжжям так дорогою з удосконаленим покриттям в базовій комплектації становить близько 4 млн. грн (Iveco Dailu 55C18H V WX).

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі на основі проведеного огляду і аналізу існуючих конструкцій та досліджень універсальних колісних тягово-транспортних засобів (УКТТЗ) типу «Автотрак/Unimog» проведено комплекс досліджень, що дозволяють сформулювати наступні висновки:

1. Беручи до уваги, що біля 47–48 % площі аграрних угідь України знаходяться у користуванні невеликих фермерських і одноосібних господарств з землекористуванням до 100–500 га, актуальність УКТТЗ, що поєднує як землеобробні, так і автотранспортні функції, є очевидною (що підтверджується і міжнародним досвідом). З умов рекомендацій ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН України це машини класу тяги 0,6–1,4, що дозволяє і зменшити імпортозалежність щодо відповідних колісних тракторів цих тягових класів (переважно з КНР) та повнопривідних малотоннажних вантажівок для ґрунтових доріг та бездоріжжя (до війни – переважно з РФ).

2. На базі поєднання основних положень теорії руху автомобіля (транспортна сфера використання) та теорії колісного трактора (технологічна сфера – обробіток землі) опрацьована методика вибору передавальних чисел трансмісії та типорозміру коліс для УКТТЗ Автотрак / Унімог для виконання функцій автотранспортних перевезень та механічного обробітку землі.

3. Розроблена математична модель та її реалізація у програмному середовищі MATLAB Simulink імітаційного моделювання руху та обробітку землі УКТТЗ, що базується на оперативній оцінці твердості опорної поверхні – ґрунту (CI – cone index) та базових залежностях так званої WES – методики армій НАТО. Адекватність проведених досліджень УКТТЗ методами комп'ютерного моделювання підтверджена достатньою збіжністю з результатами експериментальних польових досліджень двох зразків – КТЗ і колісного трактора, а також відтворенням експериментальних досліджень УКТТЗ – МЕЗ 330 інших авторів.

4. За результатами проведених досліджень отримано рекомендації щодо необхідних базових характеристик УКТТЗ відповідно для класів тяги 0,6–1,4 т та відповідної експлуатаційної маси 1,4–3,5 т, відповідних типорозмірів шин 16 та 18 дюймів з автомобільними шинами з всюдихідним протектором та необхідних діапазонів передавальних чисел механічної трансмісії і використанні дизельних двигунів робочого об'єму відповідно 1,8-2,0 л та 2,8-3,0 л екологічних норм Євро-5/6 (з умов сертифікації машин як КТЗ). Це дозволяє у майбутньому, післявоєнний час максимально локалізувати виробництво під вітчизняні двигуни 4ДТНА та 6ДТНА проекту «Слобожанський дизель».

5. Для УКТТЗ класу тяги 1,4 та вантажністю близько 1,2 т проекту ТУР ВТ-04 на базі опрацьованих методик конструктивного синтезу параметрів силового приводу отримано рекомендації використання шин з всюдихідним протектором типорозміру 12,00 – 18 з статичним діаметром у діапазоні  $D=1080-1100$  мм та необхідним максимальним значенням передавального числа трансмісії (включно головну передачу) сумарно  $u_c=82,09$ . При фіксації передавального числа головної передачі (з умов швидкісних характеристик 4-х варіантів дизельних двигунів робочого літражу 2,8-3,0 л та прямих передач у базовій та роздавальній коробках при забезпеченні максимальної швидкості руху на асфальтобетоні  $V_{\max}=100$  км/год) на рівні  $u_0=4,4-4,5$  необхідне значення понижуючої передачі роздавальної коробки становитиме  $u_r=2,98$  (При використанні серійних зразків базових механічних коробок передач ZF, IVECO або Eaton відповідного тягового класу з передавальним числом першої передачі у діапазоні  $u_1=6,00-6,3$ ). Отримані результати у співпраці з АТ «Укравтобуспром» використовуються в дослідно-конструкторських роботах по ТУР KB02/LTV 02 «Мамай» (промислове виробництво) та ТУР K05, як агрегатної бази УКТТЗ ТУР ВТ 04 (в розробці).

6. Окрім вищезазначеного промислового впровадження результати роботи використовуються і в навчальному процесі кафедри автомобілів і тракторів ЛНУВМБ при викладанні дисципліни «Автомобілі» (Тема – «Аналіз співвідношень системи «трактор (автомобіль) – опорна поверхня – навколишнє середовище»).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 75 years ago: First series Unimog delivered. Unimog, Econic, Zetros | Mercedes-Benz Special Trucks World. веб-сайт. URL: <https://special.mercedes-benz-trucks.com/en/unimog/unimog-history/a-legend-meets-the-world.html> (date of access: 19.03.2025).
2. Hochgeländegängiger Unimog – Mercedes-Benz Trucks – Trucks you can trust. : веб-сайт. URL: [https://www.mercedes-benz-trucks.com/de\\_DE/models/unimog-off-road.html](https://www.mercedes-benz-trucks.com/de_DE/models/unimog-off-road.html) (Last accessed: 22.06.2022).
3. Mercedes-Benz History An In-Depth Look at the Mercedes Unimog eMercedesBenz. : веб-сайт. URL: <https://emercedesbenz.com/autos/mercedes-benz/unimog/mercedes-benz-history-an-in-depth-look-at-the-mercedes-unimog/> (Last accessed: 05.07.2022).(всі моделі UNIMOG)
4. Bericht ueber technische Untersuchungen nach der O.E.C.D,-Test-Code fuer Ackerschlepper Daimler-Benz Unimog 403. 36 S. : веб-сайт. URL: [https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/Daimler-Benz-Unimog-403\\_Nr222\\_1967](https://pruefberichte.dlg.org/filestorage/Daimler-Benz-Unimog-403_Nr222_1967)
5. Vogler Carl-Heinz: UNIMOG 406 – Typengeschichte und Technik./ Geramond Verlag, München 2016, 48S. ISBN 978-3-86245-576-8
6. Schmeing W., Wischof H.-J.: Traktoren der Daimler AG – Unbekannte Einblicke in Technik und Wirtschaft: vom Unimog zum MB-trac und warum es keinen Nachfolger gab, Vol. 2, DLG-Verlag, 2011, ISBN 9783769007343
7. Vogler, C.-H. Typenatlas Unimog: 1946 bis 2021 (in German). / GeraMond Verlag, Muenchen 2021. 411 S. ISBN 978-3-96453-027-1
8. Wischhof, H.-J., Seidenglanz, E., Gießner, K.-H. *et al.* Die neue Unimog-Generation. / *ATZ* 102 (2000). – S. 686–692. веб-сайт. URL: <https://doi.org/10.1007/BF03224301>
9. Wischhof, H.-J., Seidenglanz, E., Essig W. Der neue kompakte Geraetetraeger Unimog UX 100 / *ATZ* 98 (1996), H.7/8 - S.432-440
10. Unimog implement carrier | Mercedes-Benz Trucks. *Trucks you can trust* | Mercedes-Benz Trucks: веб-сайт. URL: <https://www.mercedes-benz-trucks.com/en/unimog/unimog-history/a-legend-meets-the-world.html>



[trucks.com/int/en/trucks/unimog-implement-carrier.html#technical-data](https://www.mercedes-benz-trucks.com/int/en/trucks/unimog-implement-carrier.html#technical-data) (дата звернення: 18.03.2025).

11. Extreme off-road Unimog | Mercedes-Benz Trucks. *Trucks you can trust* | Mercedes-Benz Trucks: веб-сайт. URL: <https://www.mercedes-benz-trucks.com/int/en/trucks/unimog-offroad.html#technical-data> (дата звернення: 18.03.2025).

12. History of the Praga company | PRAGA. PRAGA | Cars, Karts, Aviation: веб-сайт. URL: <https://pragaglobal.com/praga-history/> (дата звернення: 18.03.2023).

13. KARGER, St. Užitékové automobily Praga. / Automobil: časopis českého ministerstva strojírenství a elektrotechniky. 1987, roč. XXXI, čís. 6, s. 14–15.

14. Jedlička M. Český Unimog nabízel i verzi pro zemědělce. Vozidel Praga UV 80 vzniklo jen pár set. [www.agroportal24h.cz](http://www.agroportal24h.cz). веб-сайт. URL: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/cesky-unimog-nabizel-i-verzi-pro-zemedelce-vozidel-praga-uv-80-vzniklo-jen-par-set> (дата звернення: 18.03.2023).

15. Příspěvatelé projektů Wikimedia. Praga UV 80 – Wikipedie. Wikipedie, otevřená encyklopedie: веб-сайт. URL: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Praga\\_UV\\_80](https://cs.wikipedia.org/wiki/Praga_UV_80) (дата звернення: 18.03.2023).

16. Alfa TN. Truck Auto : веб-сайт. URL: <https://truck-auto.info/praga/514-alfa-tn.html> (дата звернення: 18.03.2025).

17. ŠUMAN-HREBLAY, Marián. Encyklopedie nákladních automobilů: České a slovenské užitékové automobily a autobusy. 1. vyd./ Brno: Computer Press, a. s., 2008. 222 s.

18. Caron Vehicles: Customisable Agricultural Tractors and Transporters for Every Sector. Caron : веб-сайт. URL: <https://caron.it/en/vehicles/> (date of access: 18.03.2025).

19. Sereni F. The off-road grip of Caron transporters. Mondo Macchina: l'informazione dedicata alla meccanizzazione per l'agricoltura, il giardinaggio, componentistica e multifunzionalità: веб-сайт. URL: <https://www.mondomacchina.it/en/the-off-road-grip-of-caron-transporters-c2749> (date of access: 18.03.2025).

20. Caron Transporters. Conservation Technology & Machinery Ltd. веб-сайт. URL: <https://ctmltd.co.uk/collections/caron-transporters> (date of access: 18.03.2025).

21. WheelsAge. *WheelsAge*. веб-сайт. URL: [https://en.wheelsage.org/same/samecar\\_agricolo\\_1](https://en.wheelsage.org/same/samecar_agricolo_1) (date of access: 18.03.2025).

22. Contributeurs aux projets Wikimedia. SAME Samecar – Wikipédia. Wikipédia, l'encyclopédie libre. : веб-сайт. URL: [https://fr.wikipedia.org/wiki/SAME\\_Samecar](https://fr.wikipedia.org/wiki/SAME_Samecar) (date of access: 18.03.2025).

23. Contributeurs aux projets Wikimedia. SAME Samecar Elefante – Wikipédia. Wikipédia, l'encyclopédie libre. : веб-сайт. URL: [https://fr.wikipedia.org/wiki/SAME\\_Samecar\\_Elefante](https://fr.wikipedia.org/wiki/SAME_Samecar_Elefante) (date of access: 18.03.2025).

24. Samecar. Genio incompreso | TRATTORI Web - News sui trattori. TRATTORI Web - News sui trattori. : веб-сайт. URL: <https://www.trattoriweb.com/samecar-genio-incompreso/> (date of access: 18.03.2025).

25. Trattori Same informazioni. Tractorum.it. : веб-сайт. URL: <https://www.tractorum.it/forum/topic/26847-trattori-same-informazioni/> (date of access: 18.03.2025).

26. STORIA & PASSIONE IL TORO E L'ELEFANTE. PARTE 02 - Dal Boom al Toro - Professione Camionista. Professione Camionista. : веб-сайт. URL: <https://professionecamionista.it/storia-passione-il-toro-e-lelefante-parte-02-dal-boom-al-toro/> (date of access: 18.03.2025).

27. STORIA & PASSIONE IL TORO E L'ELEFANTE. PARTE 03 - L'Elefante e il presente. - Professione Camionista. Professione Camionista. : веб-сайт. URL: <https://professionecamionista.it/storia-passione-il-toro-e-lelefante-parte-03-lelefante-e-il-presente/> (date of access: 18.03.2025).

28. BREMACH Image Gallery. BREMACH - HOME Page. : веб-сайт. URL: <https://www.bremach.us/GalleryBRM10.html> (date of access: 18.03.2025)

29. Bremach T-Rex: история универсального итальянца | Тюнинг-центр BTR 4x4. Тюнинг-центр BTR 4x4. : веб-сайт. URL:

<http://btr.ua/2015/02/03/bremach-t-rex-istoriya-universalnogo-italyanca/> (дата звернення: 18.03.2025).

30. Bremach T-REX Retail Pricelist | PDF | Transmission (Mechanics) | Truck. Scribd. URL: <https://www.scribd.com/document/57029859/Bremach-T-REX-Retail-Pricelist-1> (date of access: 18.03.2025).

31. Autoren der Wikimedia-Projekte. Multicar – Wikipedia. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie. : веб-сайт. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Multicar> (date of access: 19.03.2025).

32. Historie značky Multicar v kostce. Světluška - Náhradní díly na nákladní vozy. : веб-сайт. URL: <https://eshop.svetluska.cz/clanky/historie-znacky-multicar-v-kostce/> (date of access: 19.03.2025).

33. Multicar 22 klub - historie. Multicar 22 klub - Vítejte. : веб-сайт. URL: <http://www.multicar22.cz/historie.htm> (date of access: 19.03.2025).

34. Udo Bols: Multicar. Der Alleskönner. Podszun, Brilon 2003, ISBN 3-86133-325-2

35. Overview. Startseite - Hako. : веб-сайт. URL: <https://www.hako.com/en/products/municipal-technology/multifunctional-load-and-implement-carriers/overview> (date of access: 19.03.2025).

36. Hako Multicar M29 T Technische Daten, Datenblätter (2018-2020) \_ LECTURA Specs : веб-сайт. URL: <https://specs.lectura.de/de/type/kommunaltechnik/fahrzeuge-kommunale-schlepper-hako/multicar-m29>  
[11705526?\\_gl=1\\*1qyypny\\*\\_gcl\\_au\\*NDA1NjA2NDcwLjE3NDIzNDQ0NjI.\\*\\_ga\\*MTQ3NDIwMjk5Mi4xNzQyMzQ0NDY2\\*\\_ga\\_BZ11BHD0D3\\*MTc0MjM0NDQ2MS4xLjAuMTc0MjM0NDQ5MC4wLjAuNTgyMjk4NjA.](https://specs.lectura.de/de/type/kommunaltechnik/fahrzeuge-kommunale-schlepper-hako/multicar-m29) (date of access: 19.03.2025).

37. HANSA-Maschinenbau Vertriebs- und Fertigungs GmbH. HANSA-Maschinenbau : веб-сайт. URL: <https://www.hansa-maschinenbau.de/en/> (date of access: 19.03.2025)

38. Unitrac series - more than a transporter. *Lindner Traktoren.* : веб-сайт. URL: <https://www.lindner->

[traktoren.at/en/tractortransporters/transporters?srsId=AfmBOorN2IEwbP\\_8OTY5\\_onwif5mPajonVoeGrOMm0oNUfGW8fx5YqP](https://traktoren.at/en/tractortransporters/transporters?srsId=AfmBOorN2IEwbP_8OTY5_onwif5mPajonVoeGrOMm0oNUfGW8fx5YqP) (date of access: 19.03.2025).

39. Autoren der Wikimedia-Projekte. Lindner Traktorenwerk – Wikipedia. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie: веб-сайт. URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Lindner\\_Traktorenwerk](https://de.wikipedia.org/wiki/Lindner_Traktorenwerk) (date of access: 19.03.2025).

40. REFORM - Muli. REFORM - REFORM Kommunalfahrzeuge und Berglandtechnik: веб-сайт. URL: <https://www.reform.at/en/products/muli> (date of access: 19.03.2025).

41. WheelsAge. *WheelsAge*: веб-сайт. URL: <https://en.wheelsage.org/reform/muli/pictures> (date of access: 19.03.2025).

42. Autoren der Wikimedia-Projekte. Reform Muli – Wikipedia. Wikipedia – Die freie Enzyklopädie: веб-сайт. URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Reform\\_Muli](https://de.wikipedia.org/wiki/Reform_Muli) (date of access: 19.03.2025).

43. Multipurpose transporter | TP 420 | Aebi Schmidt Group. Home | Aebi Schmidt Group: веб-сайт. URL: <https://www.aebi-schmidt.com/en/products/aebi/multipurpose-transporters/tp-420/> (date of access: 19.03.2025).

44. ЄПІФАНОВА Н.В., КРИЖАНОВСЬКИЙ В.Є., СЕРГІЄНКО М.Є., НАРИСИ ІСТОРІЇ ХАРКІВСЬКОГО ЗАВОДУ ТРАКТОРНИХ САМОХІДНИХ ШАСІ /Вісник НТУ "ХПІ" «Автомобіле- та тракторобудування» : веб-сайт. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/8696cc78-7dcb-419f-96c1-4748b3c92f16/content>

45. Трактор Т-16 : веб-сайт. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2-16\\_\(%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A2-16_(%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80))

46. Тракторное самоходное шасси ММЗ 30ТД : веб-сайт. URL: [https://www.nemiga.info/discovery/minskie\\_motory.htm](https://www.nemiga.info/discovery/minskie_motory.htm)

47. Полевые ипытания трактора Силант Универсал Слектро. 28.06.2024. : веб-сайт. URL: <https://silant.com/news/tpost/x8zavzl7x1-polevie-ispitaniya-traktora-silant-unive>

48. Contributors to Wikimedia projects. Silant - Wikipedia. Wikipedia, the free encyclopedia : веб-сайт. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Silant> (date of access: 18.03.2025).

49. Ипатов А. А., Дзоценидзе Т. Д. Создание новых средств развития транспортной инфраструктуры. Проблемы и решения. -М. :Металлургиздат, 2008. – 272с.

50. Дзоценидзе Т.Д. Создание малогабаритных транспортных средств для сельского хозяйства // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ № 1'2009. С. 54-58.

51. Експлуатація та ремонт сільськогосподарської техніки: Підручник: У 3 кн. - Кн.1: Трактори / А.Ф.Головчук, В.Ф.Орлов, О.П.Строков; За ред. А.Ф. Головчука. - К.: Грамота, 2003.: - 336с. ISBN 966-8066-30-8 : 18.35 .

52. Удзельнікі праектаў Вікімедыя. ШУ-356 – Вікіпедыя. Вікіпедыя. URL: <https://be.wikipedia.org/wiki/ШУ-356> (дата звернення: 19.03.2025).

53. МТЗ Ш-406. БЕЛАРУС-Ш-406. Шасси универсальное МТЗ : веб-сайт. URL: [https://www.bel-shop.com/mtz/spec\\_mtz/sh\\_406.html](https://www.bel-shop.com/mtz/spec_mtz/sh_406.html) (дата звернення: 19.03.2025).

54. МТЗ. *Минский тракторный завод* : веб-сайт. URL: <https://belarustractors.com/production/shassi-universalnye/#section0> (дата звернення: 19.03.2025).

55. Чехута В. Минский «Унимог». 05.12.2005/ Автоцентр : веб-сайт. URL: <https://www.autocentre.ua/kommercheskie/obzor-kommercheskie/minskiy-unimog-309697.html>

56. Адамчук В.В., Погорілий С.П., Черняк Р.Є., Дунь С.В. Багатофункціональний мобільний енергетичний засіб для АПВ./ Науково-теоретичний журнал Національної академії аграрних наук України, Вісник аграрної науки. 2018. Вип. № 5 (782). С. 47-53.

57. Адамчук В.В., Погорілий С.П., Черняк Р.Є., Дунь С.В. Результаты экспериментальных исследований тяговых показателей МЭЗ-330 «Автотрактор». /Научный журнал «Инженерия природокористування». 2018. Вип. № 1 (9). С. 100-105.

58. Погорілий С. П. «Механіко-технологічні основи створення мобільних енергетичних засобів типу «Автотрактор». – Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Національної академії аграрних наук України, Глеваха, 2020. 353 с.

59. 陕汽长头越野卡车最抢眼, 第345-346批N类货车新品公示概述收官篇 : веб-сайт. URL: <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1707269016362369122&wfr=spider&for=pc> (дата звернення: 19.03.2025).

60. SX2119全地形越野车 (单排) -陕西通力专用汽车有限责任公司 : веб-сайт. URL: <https://www.sqtl.com.cn/archives/7209> (дата звернення: 19.03.2025).

61. Кошарний М.Ф. Основи механіки та енергетики автомобіля / Київ: Вища школа, 1992. – 200 с.

62. Сахно В.П. та ін. Експлуатаційні властивості автотранспортних засобів. В 3 ч. Ч 1. Динамічність та паливна економічність автотранспортних засобів : [навчальний посібник] / В.П. Сахно, А.В. Костенко, М.І. Загороднов та ін. – Донецьк: Вид-во «Ноулідж» (донецьке віділення), 2014. – 444 с. ISBN 978-617-579-924-6 ISBN 978-617-579-925-3 (Ч. 1)

63. Mitshke M., Wallentowitz H. Dynamik der Kraftfahrzeuge / Springer-Verlag, Berlin, 2004, 4-ed. 826s.

64. Reze N. Jazar. Vehicle Dynamics: Theory and Application / Springer-Verlag. New-York, 2008. 1022 p.

65. Ларин В.В. Теория движения полноприводных колесных машин / Москва, изд МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006. 391 с.

66. Wong Y.J. Theory of ground vehicle. Mc-Graw Hill Book Comp., London – New-York, 1993. 423 p.

67. Крайник Л., Сенишак М. ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ ПЕРЕДАТНИХ ЧИСЕЛ РОЗДАВАЛЬНОЇ КОРОБКИ ТРАНСМІСІЇ АВТОМОБІЛЯ ВИСОКОЇ

ПРОХІДНОСТІ Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання. Тези доповідей. Національний університет «Львівська політехніка», 28-30 березня 2019 року. – с.

68. Волонцевич Д.О., Веретенников Е.А. Методика комплексной оценки динамичности военных гусеничных и колесных машин на этапе структурно-параметрического синтеза их трансмиссий. // Вісник НТУ "ХПІ". Збірка наукових праць. Тематичний випуск: Транспортне машинобудування. –Харків: НТУ "ХПІ", –2011. –№18. –С. 102-105.

69. Александров Е.Е., Елифанов В.В., Медведев Н.Г., Устиненко А.В. Тягово-скоростные характеристики быстроходных гусеничных и полноприводных колесных машин: теория и расчет. Учебное пособие. – Харьков:НТУ “ХПИ“, 2007. – 124 с.

70. Гуськов В.В. Оптимальные параметры сельскохозяйственных тракторов. Выбор и обоснование некоторых параметров / Москва, Машиностроение, 1966. 196 с.

71. Тракторы: Теория / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. А. Атаманов и др.; Под ред. В. В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.

72. Кутьков Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. – М.: Колос, 2004. – 504 с.: илл.

73. Кацыгин В. В. Перспективные мобильные энергетические средства (МЭС) для сельскохозяйственного производства / В. В. Кацыгин, Г. С. Горин, А. А. Зенькович и др. – Мн.: Наука и техника, 1982. –272 с., ил.

74. Самородов В.Б. Ребров А.Ю.Развитие классических методов тягового расчета трактора с учетом основных технико-экономических показателей МТА. /Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автомобіле- і тракторобудування. – Харків: НТУ "ХПІ". 2008. № 12. – С. 88–91.

75. Ребров О.Ю. Теоретичне обґрунтування основних параметрів колісних сільськогосподарських тракторів / Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів, № 8, 2017. – С. 243 – 254



76. Schilling, E. *Landmaschinen, Lehr- und Handbuch für den Landmaschinenbau* (2. Ausg., Bd. 2). Rodenkirchen bei Köln: Verlag Dr.-Ing. Erich Schilling, Inh. H.A. Schilling. 1962. 456 S.

77. Eichhorn H. (Herausgeber) u.a. *Landtechnik*. 7., voellig neu bearbeitete Aufl. / Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart. 1999. 688 S.

78. Закон України „Про приєднання України до Угоди про прийняття єдиних технічних приписів для колісних транспортних засобів, предметів обладнання та частин, які можуть бути встановлені та або використані на колісних транспортних засобах, і про умови взаємного визнання офіційних затверджень, виданих на основі цих приписів, 1958 року з поправками 1995 року” від 10.02.2010р. №1448-III.

79. Про затвердження порядку затвердження конструкції транспортних засобів, їх частин та обладнання (з змінами 2017р.). / Наказ Мінінфраструктури №521 від 17.07.2012р.

80. Про затвердження Технічного регламенту затвердження типу сільськогосподарських та лісгосподарських тракторів, їх причепів і змінних причіпних машин, систем, складових частин та окремих технічних вузлів».Із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ N 1069 від 28.12.2016.

81. ДСТУ 2150-93 (ISO 4251-4:1992) (ГОСТ ИСО 4251/4-94) Шини (серії з маркуванням норми шарування) для сільськогосподарських тракторів і машин. Класифікація і номенклатура шин

82. ДСТУ 2219-93 Шини пневматичні. Конструкція. Терміни та визначення

83. ШИНИ ПНЕВМАТИЧНІ ДЛЯ ТРАКТОРІВ ТА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН Загальні вимоги до експлуатування ДСТУ 4883:2007

84. ДСТУ UN/ECE R 106-02 1) Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження пневматичних шин для сільськогосподарських транспортних засобів та їхніх причепів (UN/ECE R № 106-02:1998, IDT)

85. Білецький В.Р. Обґрунтування параметрів колісних рушіїв машинно-тракторних агрегатів на основі взаємодії з ґрунтовим середовищем. Дис. ...к.т.н. за спец. 05.05.11. Львів ДАУ, 2006. – 167с.

86. Балака М.М. Методика розрахунку і побудови тягової характеристики окремого колеса з пневматичною шиною / Вестник ХНАДУ, вип.. 73, 2016. – С. 87 – 91.

87. Балака М.М., Пелевін Л.Є., Аржаєв Г.О., Василенко А.В. Експериментальні дослідження роботи колеса з пневматичною шиною на опорній поверхні, що деформується / Науковий вісник Херсонської держ. морської академії, № 1 (8), 2013. – С.132-139.

88. Ребров О.Ю. Вибір параметрів шин сільськогосподарських тракторів. Монографія. Харків, вид. О.А. Мірошніченко, 2021. 304 с.

89. В. І. Ачкевич, С. В. Чуба ХОДОВІ СИСТЕМИ СУЧАСНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ / НАУКОВІ ГОРИЗОНТИ, SCIENTIFIC HORIZONS, 2018, № 12 (73) – С.74-80

90. Болдовський В.Н. Оцінка впливу рушіїв колісних тяглого-транспортних засобів на ґрунт. Дис. канд. техн.наук. по спец. 05.22.02, ХНАДУ, Харків, 2011. – 171 с.

91. Адамчук В.В., Погорілий С.П., Черняк Р.Є., Дунь С.В. Шляхи зниження впливу ходових систем сільськогосподарських агрегатів на базі автомобільного шасі на ґрунт. Науковий журнал «Інженерія природокористування». 2017. Вип. № 1 (17). С. 11-15.

92. Абрамов, В.Н. Оценка и выбор пневматических шин регулируемого давления для армейских автомобилей / В.Н. Абрамов, М.П. Чистов, И.В. Веселов, А.А. Колтуков; под. Общ. Ред. В.В. Шипилова. – Бронницы: ФГУП 21 НИИИ МО РФ, 2006. – 223 с.

93. ГОСТ РВ 52395-2005. Шины пневматические с регулируемым давлением для военной техники. – М.: Изд. Стандартов, 2005. – 16 с.

94. Reckleben, Y.; Schäfer, N. und Weißbach, M.: Steigerung der Effizienz bei Straßentransporten mit unterschiedlichen Reifentypen für Traktoren / Landtechnik 68 (2013) H. 3, S. 196-201

95. Krainyk L.V., Syvulka P.M., Khudaverdian H.A., Gabriel Y.I. (2021). Agricultural transport –the type and structure formation of the wheeled vehicles fleet. TEKA. Quarterly journal of agri-food industry –2021, Vol. 21, No. 1, 51-58

96. Худавердян, Г., Хома, В., Крайник, Л. (2022). Імітаційне моделювання руху полем повнопривідної колісної техніки у програмному середовищі MATLAB Simulink./ Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження, (26), с.164–170. веб-сайт. URL: <https://doi.org/10.31734/agroengineering2022.26.164>

97. Худавердян, Г. (2023). Формування технологічного обладнання тягово-транспортної машини категорії T1/N1 в АПК./ Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження, (27), с.18–21. веб-сайт. URL: <https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.018>

98. Худавердян, Г., Сукач, О. (2024). Оцінка адекватності імітаційної моделі руху універсальних тягово-транспортних засобів./ Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження, (28), 227–232. веб-сайт. URL: <https://visnyk.lnup.edu.ua/index.php/agroengineering/article/view/400>

99. Крайник Л., Сенишак М. ОСОБЛИВОСТІ ВИБОРУ ПЕРЕДАТНИХ ЧИСЕЛ РОЗДАВАЛЬНОЇ КОРОБКИ ТРАНСМІСІЇ АВТОМОБІЛЯ ВИСОКОЇ ПРОХІДНОСТІ

100. Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання. Тези доповідей. Національний університет «Львівська політехніка», 28-30 березня 2019 року. – с.

101. Волонцевич Д.О., Веретенников Е.А. Методика комплексной оценки динамичности военных гусеничных и колесных машин на этапе структурно-параметрического синтеза их трансмиссий. // Вісник НТУ "ХПІ". Збірка наукових

праць. Тематичний випуск: Транспортне машинобудування. –Харків: НТУ "ХПІ", –2011. –№18. –С. 102-105.

102. Александров Е.Е., Елифанов В.В., Медведев Н.Г., Устиненко А.В. Тягово-скоростные характеристики быстроходных гусеничных и полноприводных колесных машин: теория и расчет. Учебное пособие. – Харьков:НТУ “ХПИ“, 2007. – 124 с.

103. Тракторы: Теория / В. В. Гуськов, Н. Н. Велев, Ю. А. Атаманов и др.; Под ред. В. В. Гуськова. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.

104. Кутьков Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. – М.: Колос, 2004. – 504 с.: илл.

105. Кацыгин В. В. Перспективные мобильные энергетические средства (МЭС) для сельскохозяйственного производства / В. В. Кацыгин, Г. С. Горин, А. А. Зенькович и др. – Мн.: Наука и техника, 1982. –272 с., ил.

106. Самсонов В. А. Численные методы в теории трактора / В. А. Самсонов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – № 10; – 2005. – № 8; – 2005. – № 9; – 2005. – № 11; – 2006. – № 4; – 2006. – № 8.

107. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1: Ч. 1. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків: Око, 2001. 444 с.

108. Самородов В.Б. Ребров А.Ю.Развитие классических методов тягового расчета трактора с учетом основных технико-экономических показателей МТА. /Вісник НТУ “ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Автомобіле- і тракторобудування. – Харків: НТУ "ХПІ". 2008. № 12. – С. 88–91.

109. Ребров О.Ю. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ КОЛІСНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ / Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексівISSN 2311-441X Technical service of agriculture, forestry and transport systems , Харків, №8’ 2017. - С. 243-255

110. Schilling, E. Landmaschinen, Lehr- und Handbuch für den Landmaschinenbau (2 Ausg., Bd. 2). Rodenkirchen bei Köln: Verlag Dr.-Ing. Erich Schilling, Inh. H.A. Schilling.1962. 456 S.

111. Eichhorn H. (Herausgeber) u.a. Landtechnik. 7., voellig neu bearbeitete Aufl. / Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart. 1999. 688 S.

112. Дорошенко Л. ПРОХІДНІСТЬ ТРАНСПОРТНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ВИКОНАННІ ПОЛЬОВИХ РОБІТ У ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВАХ. *АГРАРНИЙ ВІСНИК ПРИЧОРНОМОР'Я*. 2010. № 55. С.53-61.

113. Надикто В. Т. Ефективність застосування модульних енергетичних засобів / В. Т. Надикто // Техніка АПК. – 1997. – № 4. – С. 20-21.

114. Кюрчев В. М. Роль модульних енергетичних засобів у формуванні типу тракторів України / В. М. Кюрчев, В. Т. Надикто // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / НУБіП. – К., 29 2010. – Вип. 144, ч. 2. – С. 13-20. – (Техніка та енергетика АПК).

115. Адамчук В.В., Погорілий С.П., Черняк Р.Є., Дунь С.В. Багатофункціональний мобільний енергетичний засіб для АПВ. Науковотеоретичний журнал Національної академії аграрних наук України, Вісник аграрної науки. 2018. Вип. № 5 (782). С. 47-53.

116. Погорілий С.П. Експериментальні дослідження тягових показників МЕЗ-330 «Автотрактор» залежно від його конструкційних параметрів. Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження. 2018.

117. Погорілий С.П. Обґрунтування раціональної маси МЕЗ-330 «Автотрактор». Загальнодержавний збірник «Механізація та електрифікація сільського господарства». 2018. Випуск 8 (107). С. 167-174. № 22. С.41-46. .

118. Погорілий С.П. Результати експериментальних досліджень орного агрегату на базі МЕЗ-330 «Автотрактор». Загальнодержавний збірник «Механізація та електрифікація сільського господарства». 2017. Вип. 6 (105). С. 164-170.

119. Погорілий С.П. Результати експериментальних досліджень сили опору коченню МЕЗ-330 «Автотрактор». Загальнодержавний збірник

«Механізація та електрифікація сільського господарства». 2019. Випуск 10 (109). С. 118-124.

120. Погорілий С.П. Результати експериментальних досліджень тягових показників мобільного сільськогосподарського агрегату, сформованого на базі автомобільного шасі. Загальнодержавний збірник «Механізація та електрифікація сільського господарства». 2017. Вип. 5 (104). С.263-268

121. Погорілий С.П. Результати експериментальних досліджень МЕЗ 330 «Автотрактор» з плугом ПНН-5-40. Загальнодержавний міжвідомчий тематичний збірник «Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин». 2017. Вип. 47, Част. II. С. 227-231.

122. Погорілий С. П. «Механіко-технологічні основи створення мобільних енергетичних засобів типу «Автотрактор». – Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Національної академії аграрних наук України, Глеваха, 2020. 353 с.

123. Ксенович, И.П. Сельскохозяйственные тракторы нетрадиционных компоновок: справочное пособие / И.П. Ксенович, А.П. Парфенов, С.Е. Либсис; под ред. И.П. Ксеновича. — Минск, 2003. — 210 с

124. Диденко Н.К. Експлуатація машинно-тракторного парку. Київ: «Вища школа», 1977. 392 с

125. Лебедєв С., Лебедєв А., Коробко І., Шевченко А. ФОРМУВАННЯ ТЯГОВО-ШВИДКІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРАКТОРА ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ/ Сільськогосподарська техніка та обладнання: прогнозування, конструювання, випробування //Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України Випуск 31 (45), 2018. – С. 86-95

126. Лебедєв А. Сучасні проблеми теорії трактора / Техніка і технології АПК, № 1 (118), 2021 – С.20-25.

127. Ребров О.Ю. Теоретичне обґрунтування основних параметрів колісних сільськогосподарських тракторів / Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів, № 8, 2017. – С. 243 – 254

128. Кальченко Б.І., Ребров О.Ю., Кожушко А.П., Мамонтов А.Г., Якунін М.Є. Динаміка руху колісних тракторів Харків, Вид. В.А. Мірошніченко, 2021. 320 с.

129. Євтенко В.Г. Механіко-технологічні основи універсалізації сільськогосподарських тракторів і самохідних машин; автореферат дис. д-ра техн. наук 05.20.01 / Київ, НАУ, 1996. – 48 с.

130. Надикто В. Т. Основи агрегування модульних енергетичних засобів: автореферат дис... д-ра техн. наук: 05.20.01 / В. Т. Надикто. – Глеваха, 2000. – 36 с.

131. Черепухін В. Д. Базовий енергетичний засіб для орендних колективів МЕЗ-200 / В. Д. Черепухін, В. Т. Надикто // Механізація і електрифікація сільського господарства: респ. міжвід. темат. наук.-техн. зб. / УНДІМЕСГ. – К., 1993. – Вип. 77. – С. 59-63.

132. Volodymyr Kuvachov., Serhii Kiurchev, Tomasz Nurek, Tetiana Chorna, Vasyl Mitkov, Yevhen Ihnatiev, Szymon Glowacki, Taras Hutsol, Sergii Slobodian, Oleksandr Dumanskyi. Scientific bases of increase movement smoothness of the machine-tractor units on base of modular power means. Monograph – Warszawa: 2021. – 136 p.

133. Аюбов А.М. Транспортний процес в АПК: курс лекцій/А.М. Аюбов, В.П. Кувачов, В.Б. Мітков, В.М. Мітін, В.Ф. Мовчан. - Мелітополь: ТДАТУ, 2020. - 152 с.

134. Булгаков В.М., Адамчук В.В., Кувачов В.П. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ БЛОКОВО-МОДУЛЬНОГО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО АГРЕГАТУ./ 2021, №7 (820) Вісник аграрної науки – С. 49-58



135. І. В. КОЛЕСНИК, Є. І. КАЛІНІН, Ю. І. КОЛЕСНИК, О. В. ПАНКОВА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС ТРАКТОРНО-ТРАНСПОРТНОГО ПОЇЗДА / Вісник НТУ «ХП». Серія: Автомобіле- та тракторобудування № 2, 2024 – С. 125 – 130.

136. Теоретичні основи ефективності використання транспортного агрегату / І. В. Колеснік, Є. І. Калінін, Ю. І. Колеснік, І. О. Шевченко // Вісник Національного технічного університету "ХП". Сер. : Автомобіле- та тракторобудування: зб. наук. пр. – Харків : НТУ "ХП", 2023. – № 2. – С. 70-79.

137. ДСТУ ISO 789-9:2005 Сільськогосподарські трактори. Методики випробування. Частина 9. Визначення потужності на зчипному брусі (ISO 789-9:1990, IDT).

138. Зінько Р.В. Основи конструктивного синтезу та динаміка спеціальних автомобілів і технологічних машин: монографія / Р.В. Зінько, Л.В. Крайник, О.З. Горбай. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. 344 с.

139. Зінько Р.В. Наукові основи формування шасі спеціальних автомобілів та технологічних колісних і гусеничних машин. – Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – «автомобілі і трактори». – Харківський національний автомобільно-дорожній університет, МОН України, Харків, 2020. 384 с.

140. Ипатов А.А., Дзоценидзе Т.Д. Создание новых средств развития транспортной инфраструктуры. Проблемы и решения. – М.: Metallurgizdat, 2008.– 272 с.

141. Дзоценидзе Т.Д. Обоснование параметров малогабаритных транспортных средств сельскохозяйственного назначения с широкими функциональными возможностями: дис... д-ра техн. наук. – М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2009.– 407 с.

142. Войнаш А.С., Войнаш С.А. Автотрактор для фермерских хозяйств // Проблемы и достижения автотранспортного комплекса: сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010. – С.19-23.

143. Войнаш А.С., Войнаш С.А., Жарикова Т.А. Малогабаритные транспортнотехнологические средства: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 23.05.01 “Наземные транспортно-технологические средства” / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2014. – 107 с.

144. Войнаш С.А., Войнаш А.С. Анализ концептуальных подходов к решению проблемы механизации работ в крестьянских (фермерских) хозяйствах. Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 3. С. 51-55

145. Кашбулгаянов Р.А., Панасюк А.Н., Липкань А.В. Методика выбора энергетических средств в технологиях растениеводства по экологическим, энергетическим и экономическим критериям // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 2(99). С 139-148

146. Щитов, С. В. Повышение тягово-сцепных свойств мобильных энергетических средств в транспортно-технологическом обеспечении АПК Дальневосточного федерального округа : монография / С. В. Щитов, З. Ф. Кривуца, Н. Н. Сенникова, Н. Ф. Двойнова. – Южно-Сахалинск : СахГУ , 2017. – 176 с. ISBN 978-5-88811-556-5

147. Дмитренко, А.И. Современные модульные технологические агрегаты/А.И. Дмитренко, А.И. Бурьянов//Сельский механизатор. -2016. -№ 3. -С. 14-16, 40.

148. Модульные зерноуборочные агрегаты на базе универсальных энергетических средств/А.И. Бурьянов, А.И. Дмитренко, Ю.О. Горячев, О.В. Рехлицкий, А.И. Камко, А.А. Новиков//Вестник аграрной науки Дона. -2016. -№ 3(35). -С. 14-30.

149. Бурьянов, А.И. Современные тенденции развития мобильных энергетических средств для села/А.И. Бурьянов, А.И. Дмитренко//Техника и оборудование для села. -2015. -№ 6. -С. 8-13.

150. ДБН В.2.3-4-2000 Споруди транспортні. Автомобільні дороги

151. Медведев В.В. Почвенно-технологическое районирование пахотных земель Украины / В.В. Медведев, Т.Н. Лактионова. – Харків.: Вид. "13 типографія", 2007. – 395 с.
152. Булгаков В. М. Агрегатування плугів: монографія / В. М. Булгаков, В. І. Кравчук, В. Т. Надикто. – К: Аграрна наука, 2008. – 152 с.
153. Ребров О.Ю. Аналіз розподілу сільськогосподарських угідь України за питомим опором ґрунту при оранці / О.Ю. Ребров // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2017. – № 3. – С. 51–56
154. ГОСТ 30745-2001 (ИСО 789-9-90) Тракторы сельскохозяйственные. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯГОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ / Минск, МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ.2001. 15 с.
155. Національна доповідь про стан родючості ґрунтів України (Затверджено Міністерством аграрної політики України 25.08.2010 р.). – Київ. 2010. – 111 с.
156. Wong J. Y. Terramechanics and off-road vehicle engineering, 2. Ed., Butterworth-Hannemann, London. 2010. 482 p.
157. Wong Y. J. Theory of ground vehicle. Mc-Graw Hill Book Co., London-New-York, 1993. 423 p.
158. Грубель М. Г., Крайник Л. В. Прохідність військових автомобілів: монографія. К.: Видавничий дім “Професіонал”, 2023. 184 с
159. Агейкин Я. С. Проходимость автомобилей / Я. С. Агейкин. М.: Машиностроение, 1981. 232 с.
160. Смирнов Г. А. Теория движения колёсных машин: учебник/ Г. А. Смирнов. М.: Машиностроение, 1990. 352 с.
161. Ларин В. В. Теория движения полноприводных колёсных машин: учебник / М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. 391 с.
162. Худавердян Г.А. ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗМІРНОСТІ ШИН УНІВЕРСАЛЬНОГО КОЛІСНОГО ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ / Наукове видання «АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ НАУКИ: ТЕОРЕТИЧНІ

ТА ПРАКТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МОЛОДИХ УЧЕНИХ». Матеріали I Всеукраїнської науково-практичної конференції 26–27 квітня 2023 р. м. Полтава.с. С. 76-78.

163. Худавердян, Г., Хома, В. , Крайник, Л. (2022). Імітаційне моделювання руху полем повнопривідної колісної техніки у програмному середовищі MATLAB Simulink./ Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження, (26), с.164–170. веб-сайт. URL: <https://doi.org/10.31734/agroengineering2022.26.164>

164. Крайник Л. В., Худавердян Г. А. Концепція та формування вітчизняного універсального автомобіля типу автотрак/унімог для фермерських та комунальних господарств / Матеріали X-ої міжнародної науково-технічної інтернетконференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2022 року: збірник наукових праць [Електронний ресурс] / Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2022. – (PDF 178-180 с.)

165. Hrubel, M., Manziak, M., Kuznyetsov, O., Kraynyk, T., & Khudaverdian, H. (2024). Spectral evaluation of vibration loadslight military vehicle. Journal of Mechanical Engineering and Transport, 10(2), 31-37. <https://doi.org/10.63341/vjmet/2.2024.31>

166. Simulink Documentation. Access Denied. URL: <https://www.mathworks.com/help/simulink/index.html> (date of access: 27.05.2025).

167. В.А. Бугара, Н.Н. Ватуля, Л.А. Вайнштейн, І.А. Коваль, А.Д. Левітанус, Г.Є. Огий. Довідник по тракторах Т-150 і Т-150К під редакцією професора Б.П. Кашуби. = Справочник по тракторам Т-150 и Т-150К под редакцией профессора Б.П. Кашубы. — Друге, перероблене і доповнене. — Харків : "Прапор", 1975.

168. Грубель М. Г., Крайник Л. В., Хома В.В. Імітаційне моделювання руху колісної військової автомобільної техніки бездоріжжям та оцінка його

адекватності. / Науково-виробничий журнал “Автошляховик України”. Київ, 2020. - No 2.- с. 21-28.

169. Худавердян , Г., Сукач , О. (2024). Оцінка адекватності імітаційної моделі руху універсальних тягово-транспортних засобів./ Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження,(28),227–232.Худавердян Г.А Хома В.В. Технологічні процеси обробітку ґрунту: комп’ютерне моделювання / Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали III Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції 19-20 жовтня 2022р. Рівне : НУВГП, 2022. 301с. Електронне видання. – С.299-301

170. Кюрчев В. М. Роль модульних енергетичних засобів у формуванні типу тракторів України / В. М. Кюрчев, В. Т. Надикто // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України / НУБіП. – К., 29 2010. – Вип. 144, ч. 2. – С. 13-20. – (Техніка та енергетика АПК).РАЗОМ З ШИНИ ПНЕВМАТИЧНІ І ДСТУ 106-02

171. Schilling, E. Landmaschinen, Lehr- und Handbuch für den Landmaschinenbau (2 Ausg., Bd. 2). Rodenkirchen bei Köln: Verlag Dr.-Ing. Erich Schilling, Inh. H.A. Schilling.1962. 456 S.

172. Худавердян , Г. (2023). Формування технологічного обладнання тягово-транспортної машини категорії T1/N1 в АПК./ Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження, (27), с.18–21. веб-сайт. URL: <https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.018>

173. Щільномір для ґрунту ЛАН-М PRO з функцією GPS : веб-сайт. URL: <https://spectrolab.com.ua/ua/p1201734994-plotnomer-dlya-pochvy.html> (дата звернення: 06.07.2023)

174. ДПУ-2-2-В1 2 т (20 кН) динамометр : веб-сайт. URL: <https://zapadpribor.com.ua/dpu-2-2-v1-2-t-20-kn/> (дата звернення: 06.07.2023)

175. UT373 Mini Tachometer - UNI-T Meters Test & Measurement Tools and Solutions : веб-сайт. URL: <https://meters.uni-trend.com/product/ut373/> (дата звернення: 08.07.2023)

176. Mahindra Feng Shou FS244 : веб-сайт. URL: <https://am.ua/uk/traktor-mahindra-fengshoufs244new/?srsltid=AfmBOooMMfNLUNQAWOCTKngYr2Jy2Vu65lZUBPZN5Z8jPDI0n4BJc5G> (дата звернення: 07.07.2023)

177. Volodymyr Kuvachov., Serhii Kiurchev, Tomasz Nurek, Tetiana Chorna, Vasyl Mitkov, Yevhen Ihnatiev, Szymon Glowacki, Taras Hutsol, Sergii Slobodian, Oleksandr Dumanskyi. Scientific bases of increase movement smoothness of the machine-tractor units on base of modular power means. Monograph – Warszawa: 2021. – 136 p.

178. Самсонов В. А. Численные методы в теории трактора / В. А. Самсонов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – № 10; – 2005. – № 8; – 2005. – № 9; – 2005. – № 11; – 2006. – № 4; – 2006. – № 8.

179. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. 1: Ч. 1. Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків: Око, 2001. 444 с.

180. Формування технологічного обладнання тягово-транспортної машини категорії T1/N1 в АПК./ Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження, (27), с.18–21. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.018>

#### ДО 4.1

181. Грубель М. Г., Манзяк М. О., Кузнецов О. О., Крайник Т. Л., Худавердян Г. А. Спектральна оцінка вібронавантажень легкого військового автомобіля. / ВМТ, 2024. вип. 20, вип. 2, с. \_\_–\_\_

182. Крайник Л. В., Крайник Т. Л., Христинич Б. І., Грубель М. Г., Манзяк М. О. Сучасний стан і перспективи розвитку спеціальних ударних автомобілів типу “багті”. Збірник наукових праць ЦНДІ ОБТ ЗСУ. 2023. №3(90). С. 165-180.

183. ГОСТ 27021-86. Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы. – М. Государственный комитет СССР по стандартам. – 1986. – 8 с

184. Kommission der Europäischen Gemeinschaft (2003). Richtlinie 2003/37/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Mai 2003 über die Typgenehmigung für land- oder forstwirtschaftliche Zugmaschinen, ihre Anhänger und die von ihnen gezogenen auswechselbaren Maschinen sowie für Systeme, Bauteile und selbstständige technische Einheiten dieser Fahrzeuge und zur Aufhebung der Richtlinie 74/150/EWG, AB L 171/1. Brüssel.

185. Kommission der Europäischen Gemeinschaft (2007). Richtlinie 2007/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 5. September 2007 zur Schaffung eines Rahmens für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern sowie von Systemen, Bauteilen und selbstständigen technischen Einheiten für diese Fahrzeuge (Rahmen-richtlinie), AB L 263/1. Brüssel.

186. Kommission der Europäischen Gemeinschaft (2010). KOM (2010) 395 endgültig: Vorschlag für eine Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates über die Typgenehmigung von land- und forstwirtschaftlichen Fahrzeugen. Stand 1. November 2010. Brüssel.

187. Погорілий С. П. «Механіко-технологічні основи створення мобільних енергетичних засобів типу «Автотрактор». – Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» Національної академії аграрних наук України, Глеваха, 2020. 353 с.

188. Krainyk L.V., Syvulka P.M., Khudaverdian H.A., Gabriel Y.I. (2021). Agricultural transport –the type and structure formation of the wheeled vehicles fleet. ТЕКА. Quarterly journal of agri-food industry –2021, Vol. 21, No. 1, 51-58

189. Худавердян , Г. (2023). Формування технологічного обладнання тягово-транспортної машини категорії Т1/Н1 в АПК./ Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні



дослідження, (27), с.18–21. веб-сайт. URL:  
<https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.018>

190. Getzlaff, G. (1953): Vergleichende Untersuchungen über die Kräfte an Normpflugkörpern. Grundlagen der Landtechnik 5, S. 16–35.

191. Bernacki, H. (1972): Bodenbearbeitungsgeräte und -maschinen. Berlin, VEB Verlag Technik – 278 S.

192. Eichhorn H. (Herausgeber) u.a. Landtechnik. 7., voellig neu bearbeitete Aufl. / Verlag Eugen Ulmer GmbH&Co., Stuttgart. 1999. 688 S.

193. Patrick Rößler, Timo Kautzmann und Marcus Geimer Online parametrierbare Traktor – Geraetemodell / Landtechnik H. 4. 2012 - S. 188-192

194. Seeger, J. ( 2001): Antriebsstrangstrategien eines Traktors bei schwerer

195. Zugarbeit. Dissertation, Technische Universität Braunschweig. 164 S.

196. American Society of Agricultural Engineers (2003): ASAE-Standard D497.4 Agricultural Machinery Management Data, St. Joseph, Michigan, USA

197. Черепухін В. Д. Базовий енергетичний засіб для орендних колективів МЕЗ-200 / В. Д. Черепухін, В. Т. Надикто // Механізація і електрифікація сільського господарства: респ. міжвід. темат. наук.-техн. зб. / УНДІМЕСГ. – К., 1993. – Вип. 77. – С. 59-63.

198. Ксенович, И.П. Сельскохозяйственные тракторы нетрадиционных компоновок: справочное пособие / И.П. Ксенович, А.П. Парфенов, С.Е. Либчис; под ред. И.П. Ксеновича. — Минск, 2003. — 210 с

199. Вільбіцький В., Цема Т., Афанасьєва С. Оновлена нормативна база щодо затвердження типу тракторів, причепів та причіпних машин / Техніка і технології АПК, № 1 (118), 2021 – С.8-13.

200. Марченко В. Методика визначення показників економічної ефективності використання комплексів машин та машинно-тракторного парку / В. Марченко // Збірник наук.пр. НАУ. Механізац. с.г. ви-ва. Т.XIV. 2003. С. 189-194.

201. Про затвердження Методики обчислення вартості машино-дня та збитків від простою машин” постанова Кабінету міністрів України від 12 липня

2004 р. N 885.

202. Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії: постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/7363287> (дата звернення: 22.05.2024).

## ДОДАТКИ

Додаток А

Базові параметри універсальних тягово-транспортних засобів

Таблиця А.1 - Модельний ряд Mercedes-Benz Unimog 1946-2014

Параметри	Серії Mercedes-Benz																											
	Protokur	Boehringer Unimog 70200	Серія 2010	Серія 401	Серія 402	Серія404.1/404.0 (Unimog S)	Серія 406	Серія 416	Серія 421	Серія 403/413	MB-trac (BR 440)	Серія 435	Серія 424	MB-trac (BR 442/443)	MB-trac (BR 441)		Серія 427	Серія 407	Серія 437	Серія 417	Серія 408	Серія 418	Серія 409	Серія 405	Серія 437.4	Серія 405 (U 20)	Серія 405 (поточна програма)	Серія 437.427 437.437 (поточна програма)
Рік початку виробництва	1946	1949	1951	1953	1953	1955	1963	1965	1966	1966	1975	1975	1976	1976	1982-1987		1988	1988	1988	1988	1992	1992	1996	2000	2002	2007	2013	2014
Коммерційна назва			U 25	U 25	U 25	BR 404.1/U 60 /U 80 / U 82 / U 82/80 / U 92 / U 92/80 / U 110 S BR 404.0: U 82 / U 110	P 65 / G 65 / T 65 U 65 T / U 70 T / U 80 T / U 70 / U 80 / U 84 U 900	U 80 U 90 U 90 T U 100/416 U 100 / U 110 / U 1100 T U 100 / U 1100L / U 1100 L/34 UR 416 U 125 /U 1100L	U 40 U 45 U 52 U 60 / U 600 U 40 T / U 45 T U 55 T U 60 T / U 600 T	U 54 U 66, U 72, U 800 BR 413: U 80 / U 800 L	MB-trac 65/70 MB-trac 700 MB-trac 800 MB-trac 900, MB-trac turbo 900	U 1300 L (U 1350 L) U 1300 L/37 (U 1550 L/37) U 1700 (U 1750) U 1700 L (U 1750 L) U 1700 L/38 (U 1750 L/38) Teilesatz TM 170	U 1000 U 1000 T U 1200 U 1200 T U 1250 U 1550 U 1250 L U 1550 L		MB-trac 1100 MB-trac 1100 MB-trac 1300 MB-trac 1500 MB-trac 1300 Turbo MB-trac 1400 Turbo MB-trac 1600 Turbo MB-trac 1800 Intercooler	MB-trac 1000 MB-trac 1100	U 1200 T/1400 T U 1000 U 1200 U 1400 T U 1600 U 1600 (214) U 1250 U 1250 L U 1450 L U 1450 U 1650 U 1650 L U 1650 (214) U 1650 L (214)	U 600 U 650 U 650 L	U 2400 TG 4x4	U 1100 T U 800 U 900 U 1150 U 1150 L/34	U 90 U 90 turbo U 100 L U 100 L turbo	U 110 U 130 U 140 U 140 L U 140 T	UX 100 H UX 100 M	U 300 U 400 U 500	U 3000 U 4000 U 5000	U 20	Euro VI: U 216 U 218 U 318 U 323 U 423 U 427 U 430 U 527 U 530	U 4023 U 5023
Кількість модифікацій			8	6	5	6 (BR 404.1), 4 (BR 404.0)	10	20	20	6	10	6	6	6	2		13	6	1	14	4	6	2	8	8	1	7	2
Двигун	U1-U4 з бензиновим двигуном Daimler OM 136 U5 і U6 з дизельним двигуном Daimler OM 636.912 з чотиріступінчастою коробкою передач ZF (ZF) і роздільною коробкою Rep	Daimler OM 636/14U, дизельний двигун з 6-ступінчастою коробкою передач і 2 передачами заднього ходу.	OM 636.914 (1,7-літровий 4-циліндровий дизель)	OM 636 (1,7-літровий 4-циліндровий дизель)	OM 636.914 (1,7-літровий 4-циліндровий дизель)	M 180 (6-циліндровий бензиновий двигун) M 130 (6-циліндровий бензиновий двигун для BR 404.0)	OM 312 (6-цил. передкамерний дизель) OM 352 (6-цил. дизель з прямим уприскуванням)	OM 352 (6-циліндровий дизель з прямим уприскуванням)	OM 621, OM 615, OM 616 (4-циліндровий передкамерний дизель)	OM 314 (4-циліндровий рядний дизельний двигун, безпосереднє вприскування)	OM 314 (4-циліндровий дизельний двигун з безпосереднім вприскуванням) OM 314 A (4-циліндровий дизельний двигун з безпосереднім вприскуванням і турбонадувом)	OM 352 (6-циліндровий дизельний двигун з безпосереднім вприскуванням) OM 352 A (6-циліндровий дизельний двигун, безпосереднє вприскування з турбонагнітачем)	OM 352 (6-циліндровий дизельний двигун з безпосереднім вприскуванням) OM 352 A (6-циліндровий дизельний двигун, безпосереднє вприскування з турбонагнітачем)	OM 352, OM 352 A, OM 366 A, OM 366 LA (6-циліндровий дизельний двигун, безпосереднє вприскування з турбонагнітачем)	OM 352 / OM 366	M 366 A (6-циліндровий дизельний двигун з безпосереднім вприскуванням та турбонагнітачем відпрацьованих газів і інтеркулером)	OM 616 (4-циліндровий передкамерний дизельний двигун)	OM 366 LA	OM 314 (4-циліндровий дизельний двигун) OM 352 (6-циліндровий дизельний двигун з безпосереднім вприскуванням)	OM 602 (5-циліндровий дизельний двигун) OM 602 DE 29 LA (5-циліндровий дизельний двигун з прямим вприскуванням з турбонагнітачем та інтеркулером)	OM 364 A (4-циліндровий дизельний двигун з безпосереднім вприскуванням) OM 364 LA (4-циліндровий дизельний двигун з безпосереднім вприскуванням і турбонагнітачем і проміжним охолоджувачем)	OM 601 D 23 (4-циліндровий передкамерний дизельний двигун) OM 602 DE 29 LA (5-циліндровий дизельний двигун з безпосереднім вприскуванням з турбонагнітачем та інтеркулером)	OM 904 LA (4-циліндровий рядний дизельний двигун з безпосереднім вприскуванням палива з турбонагнітачем і охолодженням наддувочного повітря)	OM 904 LA (4-циліндровий рядний дизельний двигун з безпосереднім вприскуванням палива з турбонагнітачем і охолодженням наддувочного повітря)	OM 904 LA (4-циліндровий рядний дизельний двигун з безпосереднім вприскуванням палива з турбонагнітачем і охолодженням наддувочного повітря)	OM 934 LA (4-циліндровий рядний 4-тактний дизельний двигун з безпосереднім вприскуванням)		
Потужність двигуна	25(к.с.)	25(к.с.)	18 кВт (25 к.с.)	18 кВт (25 к.с.)	18 кВт (25 к.с.)	59 кВт (80 к.с.), 60 кВт (82 к.с.) 70 кВт (92 к.с.) 81 кВт (110 к.с.) M130 Бензиновий двигун, 44 кВт (60 к.с.) Dieselmotor OM 615.932	48 кВт (65 к.с.) OM 312, 52 кВт (70 к.с.), 58 кВт (80 к.с.) OM 352, 62/81 кВт (84/110 к.с.)	59 кВт (80 к.с.), 66 кВт (90 к.с.), 74 кВт (100 к.с.), 81 кВт (110 к.с.), 92 кВт (125 к.с.)	29 кВт (40 к.с.), 33 кВт (45 к.с.), 38 кВт (52 к.с.), 44 кВт (60 к.с.)	39 кВт (54 к.с.), 48 кВт (66 к.с.), 53 кВт (72 к.с.)	48 кВт (65 к.с.), 55 кВт (75 к.с.), 63 кВт (85 к.с.), Turbo 63/66 кВт (85/90 к.с.)	96 кВт (130 к.с.), 124 кВт (168 к.с.)	70 кВт (95 к.с.), 81 кВт (110 к.с.), 92 кВт (125 к.с.), 110 кВт (150 к.с.)	81 кВт (110 к.с.) BR 442, 92 кВт (125 к.с.), 110 кВт (150 к.с.), 100 кВт (136 к.с.), 115 кВт (156 к.с.), 132 (180 к.с.) Intercooler	70 кВт (95 к.с.), 74 кВт (100 к.с.), 81 кВт (110 к.с.)	75 кВт (102 к.с.), 92/100 кВт (125/136 к.с.), 92 кВт (125 к.с.), 100 кВт (136 к.с.), 115 кВт (156 к.с.), 157 кВт (214 к.с.)	38 кВт (52 к.с.), 44 кВт (60 к.с.)	177 кВт (240 к.с.)	55 кВт (75 к.с.), 62/81 кВт (84/110 к.с.), 81 кВт (110 к.с.)	64 кВт (87 к.с.), 72 кВт (98 к.с.), 85 кВт (115 к.с.)	75 кВт (102 к.с.), 98 кВт (133 к.с.), 103 кВт (140 к.с.)	54 кВт (73 к.с.), 90 кВт (122 к.с.)	110 кВт (150 к.с.), 130 кВт (177 к.с.), 175 кВт (238 к.с.), 210 кВт (286 к.с.)	130 кВт (177 к.с.), 160 кВт (218 к.с.)	110 кВт (150 к.с.), 130 кВт (177 к.с.)	115 кВт (156 к.с.), 130 кВт (177 к.с.), 170 кВт (231 к.с.), 200 кВт (272 к.с.), 220 кВт (299 к.с.)	170 кВт (231 к.с.)	
Об'єм двигуна	1700 см³	1700 см³	1767 см³	1767 см³	1767 см³	2195 см³, 2778 см³ (M 130)	4580 / 5675 см³	5675 см³	1988 см³ / 2197 см³ / 2456 см³ / 2404 см³	3780 см³	3780 см³	5675 см³	5675 см³	5675 см³	5675 см³ / 5958 см³		5958 см³	2399 см³	5958 см³	3782 см³ / 5675 см³	2874 см³	3972 см³ / 5958 см³	2299 см³ / 2874 см³	4249 см³ / 6374 см³	4249 см³ / 4801 см³	4249 см³	5132 см³ / 7698 см³	5132 см³
Габаритні розміри			3570 x 1630 x 2100 мм	3570 x 1630 x 2100 мм	3800 x 1630 x 2100 мм	5030 x 2150 x 2630 мм	4000 x 2000 x 2250 мм (U 65) 4100 x 2030 x 2300 мм (U 70) 2262 x 2000 x 2250 мм (U 65 T / U 70 T) 2262 x 2000 x 2360 мм (U 80) 2100 x 2000 x 2360 мм (U 80) 4100 x 2160 x 2350 мм (U 84 / U 900)	4650/5100 x 2090 x 2360 мм (U 80, U 90, U 100, U 110, U 1100) 2262 x 2000 x 2360 мм (U 90 T, U 100 T, U 110 T, U 1100 T) 5100 x 2000 x 2360 мм (U 1100L) 5550 x 2000 x 2360 мм (U 1100 L/34) 4765 x 2040 x 2375 мм (U 125, U 1100 L/29	4000 x 1750/1865 x 2100/2180 мм 4020 x 1825 x 2275 мм 4740 x 2160 x 2325 мм Tiekkopf: 2230 x 1875 x 2180/2275 мм	4100 x 2160 x 2350 мм (BR 403) 5100 x 2160 x 2325 мм (BR 413)	4200 x 2040 x 2650 мм (MB-trac 65/70) 4150/4280 x 2000 x 2780 мм (MB-trac 700) 4150 x 2140 x 2810 мм (MB-trac 800) 4150 x 2140 x 2870 мм (MB-trac turbo 900)	5590 x 2300 x 2685 мм (U 1300 L) 6050 x 2300 x 2625 мм (U 1300 L/37) 5210 x 2350 x 2780 мм (U 1700) 5600 x 2750 мм (U 1700 L/38)	4470 x 2100 x 2645 мм (U 1000) 2750 x 2110 x 2645 мм (U 1000 T) 4870 x 2300 x 2685 мм (U 1200) 5070 x 2100 x 2620 мм (U 1250 / U 1550) 5280 x 2100 x 2620 мм (U 1250 L / U 1550 L)	4720 x 2470 x 2900/2930 мм 4680 x 2500 x 2950 мм (Turbo-Tурен)	4450 x 2160 x 2870 мм	4470 x 2110 x 2650 мм 4470 x 2170 x 2755 мм (U 1000, U 1200, U1400, U 1600, U 1600 (214)) 5100/5320 x 2100 x 2620/2655 мм 5100 x 2170 x 2755 мм U 1250, U 1450, U 1650, U 1650 (214) 5110 x 2100 x 2620/2655 мм 5150 x 2170 x 2655/2755 мм (U 1250 L, U 1450 L, U 1650 L, U 1650 L (214)) 2750 x 2100 x 2620 мм (U 1200 T, U 1400 T)	4010 x 1895 x 2450 мм 4375 x 1895 x 2450 мм 4740 x 1895 x 2450 мм	6410 x 2500 x 2970 мм	4010 x 2040 x 2560 мм (U 800 / U 900) 2260 x 2040 x 2560 мм (U 1100 T) 4620 x 2040 x 2560 мм (U 1150 L) 4765 x 2040 x 2560 мм (U 1150 L) 5380 x 2040 x 2560 мм (U 1150 L/34)	4410 x 1910 x 2610 мм 4820 x 1912 x 2640 мм	4550 x 2100 x 2670 мм 4565 x 2100 x 2690 мм 5210 x 2100 x 2670 мм 2610 x 2100 x 2670 мм	4060 x 1600 x 1890 мм 4300 x 1600 x 2015 мм	5100/5620 x 2150 x 2830 мм (U 300) 5100/5620 x 2200 x 2860 мм (U 400) 5380/6120 x 2300 x 2950 мм (U 500)	5410/6010 x 2300 x 2650 мм (U 3000) 5410/6010 x 2300 x 2650 мм (U 4000) 5410/6010 x 2368 x 2740 мм (U 5000)	4970 x 2060 x 2700 мм	4980 x 2200 x 2855 мм 5155 x 2200 x 2845 мм 5150 x 2200 x 2900 мм 5300 x 2200 x 2900 мм 5755 x 2200 x 2900 мм 5440 x 2300 x 2900 мм 6215 x 2300 x 2900 мм	6000 x 2345 x 2797 мм 6000 x 2345 x 2818 мм	
Колісна база	1720 мм	1720 мм	1720 мм	1720 мм	2120 мм	2350 мм, 2670 мм (U 80/82), 2900 мм	2380 мм / 1536 мм / 1602 мм / 1555 мм	2900 мм або 3400 мм	2250 мм і 2605 мм	2380 мм (BR 403) 2900 мм (BR 413)	2400 мм	3250 мм / 3700 мм / 3850 мм	2650 мм / 3250 мм	2650 мм	2600 мм		3250 мм	2250 мм / 2605 мм	4100 мм	2380 мм / 2605 мм / 2900 мм / 3400 мм	2690 мм / 3220 мм	2830 мм / 3470 мм	2150 мм / 2600 мм	3080/3600 мм (U 300, U 400) 3350/3900 мм (U 500)	3250 / 3850 мм (U 3000, U 4000, U 5000)	2700 мм	2800 мм / 3000 мм / 3150 мм / 3350 мм / 3600 мм / 3900 мм	3850 мм
Повна маса, вантажність			3150 кг, 1000 кг	3150 кг, 1000 кг	3350 кг, 1400 кг	4750–5500 кг, 1900–2400 кг, 1750 кг / 2000 кг / 2300 кг	5000 кг (U 65) 5500 кг (U 70) 6000 кг (U 65 T / U 70 T / U 80 T / U 80 / U 84 / U 900), 1750 кг / 2000 кг / 2300 кг	6000 кг (U 80, U 90, U 90 T) 6000–7000 кг (U 100/110, U 1100) 9000–13 750 кг (U 100 T / U 110 T, U 1100 T) 6500–7000 кг (U 100, U 1100 L, U 1100 L/34, U 125, U 1100 L/29), 2200 кг–3150 кг	3700 кг (U 40), 4000 кг (U 45), 4200 кг (U 52) 600, U 60/U600 L, 7500–9000 кг (U 60 T / U 600 T), n: 1250 кг–5690 кг	6000 кг (BR 403 und 413) 2300 кг	6000 кг 6500 кг (MB-trac turbo 900)	7490 кг / 9000 кг, 3320 – 3720 кг	7500 кг / 9000 кг / 10 500 кг, 2350 кг, 3600 кг, 2900 кг	9000 кг (MB-trac 1100), 10 000 кг	7000 кг	— , 7500 кг / 10 000 кг / 13 500 кг	4500 кг, 1800 кг / 1680 кг / 2140 кг	18 000 кг, 10 400–13 400 кг	6500 кг / 9000 кг, 3000 кг	4800 кг / 5500 кг, 1570 кг / 1210 / 2510 кг	7500 кг, 3500 кг, 1320 кг / 1260 кг	7500–10 200 кг (U 300) 11 990–12 500 кг / 13 800 кг (U 5000) Feuerwehr 14 100 кг (U 3000) 5840 кг–6510 кг (U 400) 5070 кг–8180 кг (U 500)	7500 кг / 8500 кг / 9300 кг навантаженнями: 2850 кг / 3850 кг / 4650 кг	7490 кг / 10 000 кг / 12 100 кг / 13 800 кг / 14 000 кг / 16 500 кг	8000 кг / 8800 кг / 9800 кг / 10 300 кг / 12 500 кг / 12 700 кг / 13 000 кг / 14 500 кг			



Таблиця А.3 – Універсальні колісні тягово-транспортні засоби – аналоги Mercedes-Benz Unimog

Параметри	Назва моделі																					
	Reform Muli T6	Reform Muli T8 X	Reform Muli T15 V	Linder Unitrac 72 P5	Linder Unitrac 92 P5	Linder Unitrac 112 LDrive	HAKO Multicar M 31 T	HAKO Multicar M 31 B	HAKO Multicar M 31 C	HAKO Multicar M 31 Hydrostat	Max Holder S 100	Caron CT Series	Caron AR Series	Bonetti FX100X	Bremach T Rex 60	HANSA APZ 1003 K	HANSA APZ 1003 XL	Aebi MT 760	Aebi VT450 Vario	Shacman Shaanxi SX2108S	Schiltrac Eurotrans 6150	Schiltrac Eurotrans CVT
Країна виробник	Австрія						Німеччина					Італія				Німеччина		Швейцарія		Китай	Швейцарія	
Потужність двигуна к.с./ (кВт)	74.8(55)	109( 80)	143(105)	75(55)	101(74,4)	107(79)	150(110)		147(108)		100(74)	75(55)	85(63)	150(110)	170(125)	150(110)		114(155)	109(80)	336(247)	175(129)	
Робочий об'єм двигуна, см³	2 970	2 970	3 600	3 600		2970	2,998		2998		3600	3000	3,200	3000	3000	3000		4555	2970	9726	6100	6000
Крутний момент двигуна, Нм при об./хв	310/1100	420/1100	550/1600	350/1400	430/1500	420/1100-1400	320/1200		370/1320		400/1500	300/1800	320/1800	370/1600	400/1500	370/1400		500/1400	310/1100	1500,1500	750/1450	
Номінальна частота обертання двигуна (об./хв)	2600		2000	2200		2300	3500				2200-2300	1800	1800	2000	1500	2800		2600	1100	1900	2000	
Вантажність, кг	4540	5000-6000		4150	4000	5000	5,6т		5,7т		1800	3000	3500	3500	3500-6500	4150	3750	3800	6000	25000	до 14000	
Максимальна висота, мм	2190 / 2470	2 303	2385	2478	2470-2484	2480-2493	2 200				2 230	2300	2400	2230	2500	2250		2360	2300	3450	2600	2390
Ширина, мм	2 380	2120	2540	2078	2115	2115	1630				1360	1800	1900	1750	1770	1250	1470	1700	2110	2490	2500	2000
Колісна база, мм	2725/3100	2805/3180	2805/3180	3165	2600-3100	2750-3250	2450				1580	2000	2200	2550	2600-3700	1950	2200	2950	3250	3800	3000	2950

## Додаток Б

## Технічні характеристики агрегатів силового приводу

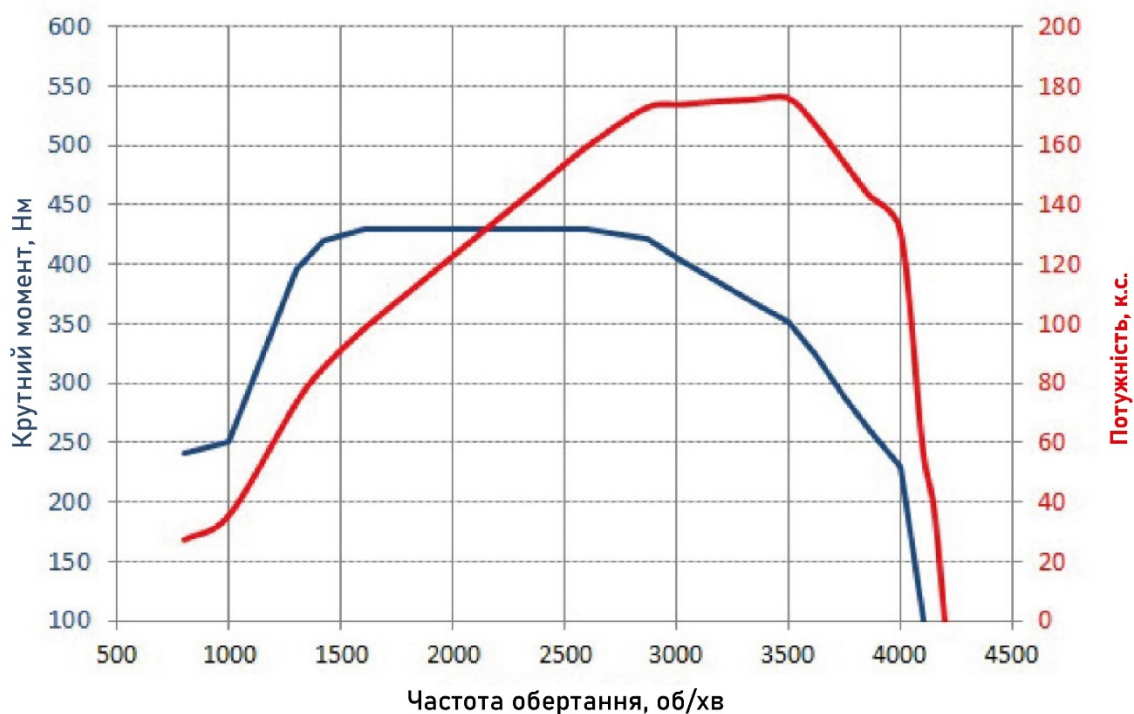
Таблиця Б.1 – Базові технічні характеристики дизельних двигунів.

Назва двигуна	Об'єм (л)	Потужність (к.с.)	Макс. крутний момент (Н·м)	Система впорскування	Конфігурація циліндрів	Екостандарт	Країна виробництва
IVECO F1C (F1CFL411 B)	3.0	146–170	до 400	Common Rail	Рядний, 4 циліндри	EURO 5	Італія
Mercedes-Benz OM651 DE 30 LA	2.15	136–163	до 360	Common Rail	Рядний, 4 циліндри	EURO 5	Німеччина
Ford Duratorq 3.2 TDCi	3.2	200	470	Common Rail	Рядний, 5 циліндрів	EURO 5	США
Renault ZD30	3.0	150–160	350	Common Rail	Рядний, 4 циліндри	EURO 5	Франція/ Японія
Peugeot/Citroën 3.0 HDi (F1C)	3.0	157	400	Common Rail	Рядний, 4 циліндри	EURO 5	Франція/ Італія
Volkswagen CFCA / CECA (BiTDI)	2.0	163–180	400	Common Rail, BiTurbo	Рядний, 4 циліндри	EURO 5	Німеччина
6ДТНА2	3.0	175	367	Електронна (Common Rail або аналог)	Рядний, 6 циліндрів	Euro-3/Euro-4	Україна
JMC JX4D24A5 L	2.4	138	350	Електронне впорскування (HPCR)	Рядний, 4 циліндри	Euro 4	Китай

Таблиця Б.2 Технічні характеристики двигуна Iveco F1C (F1CFL411B)

<b>Характеристика</b>	<b>Значення</b>
<b>Компонування</b>	Поздовжнє
<b>Цикл</b>	Дизель
<b>Тип наддуву</b>	Турбонаддув + Проміжне охолодження
<b>Тип впорскування</b>	CRI2.20
<b>Робочий цикл</b>	4-тактний
<b>Кількість циліндрів</b>	4
<b>Розташування циліндрів</b>	Рядний
<b>Діаметр циліндра</b>	95,8 мм
<b>Хід поршня</b>	104 мм
<b>Загальний об'єм</b>	2998 см <sup>3</sup>
<b>Система обробки вихлопних газів</b>	EGR з байпасом / DOC+SCRoF+SCRuF
<b>Тип холодного запуску</b>	Термостартер
<b>Система охолодження</b>	Водяне охолодження
<b>Тип вентилятора</b>	Електромагнітний
<b>Тип фільтра</b>	Сухий

Рисунок Б.1 – Зовнішня швидкісна характеристика дизельного двигуна IVECO F1C (F1CFL411B)





Таблиця Б.3 Технічні характеристики коробки перемикання передач  
FT50.6M

Параметр	Значення
Модель коробки передач	FT50.6M
Тип коробки передач	Синхронізована
Установка	Фланцеве кріплення до двигуна
Матеріал корпусу	Алюміній
Суха вага (кг)	57
Макс. вхідний крутний момент (Нм)	500
Кількість передач вперед	6
Кількість передач назад	1
Кількість синхронізованих передач	6
Передавальні числа	
1-ша передача	5.375
2-ша передача	3.154
3-ша передача	2.041
4-ша передача	1.365
5-ша передача	1
6-ша передача	0.791
задня передача	4.838

Додаток В  
ТУР-ВТ-04 «Автотрак»

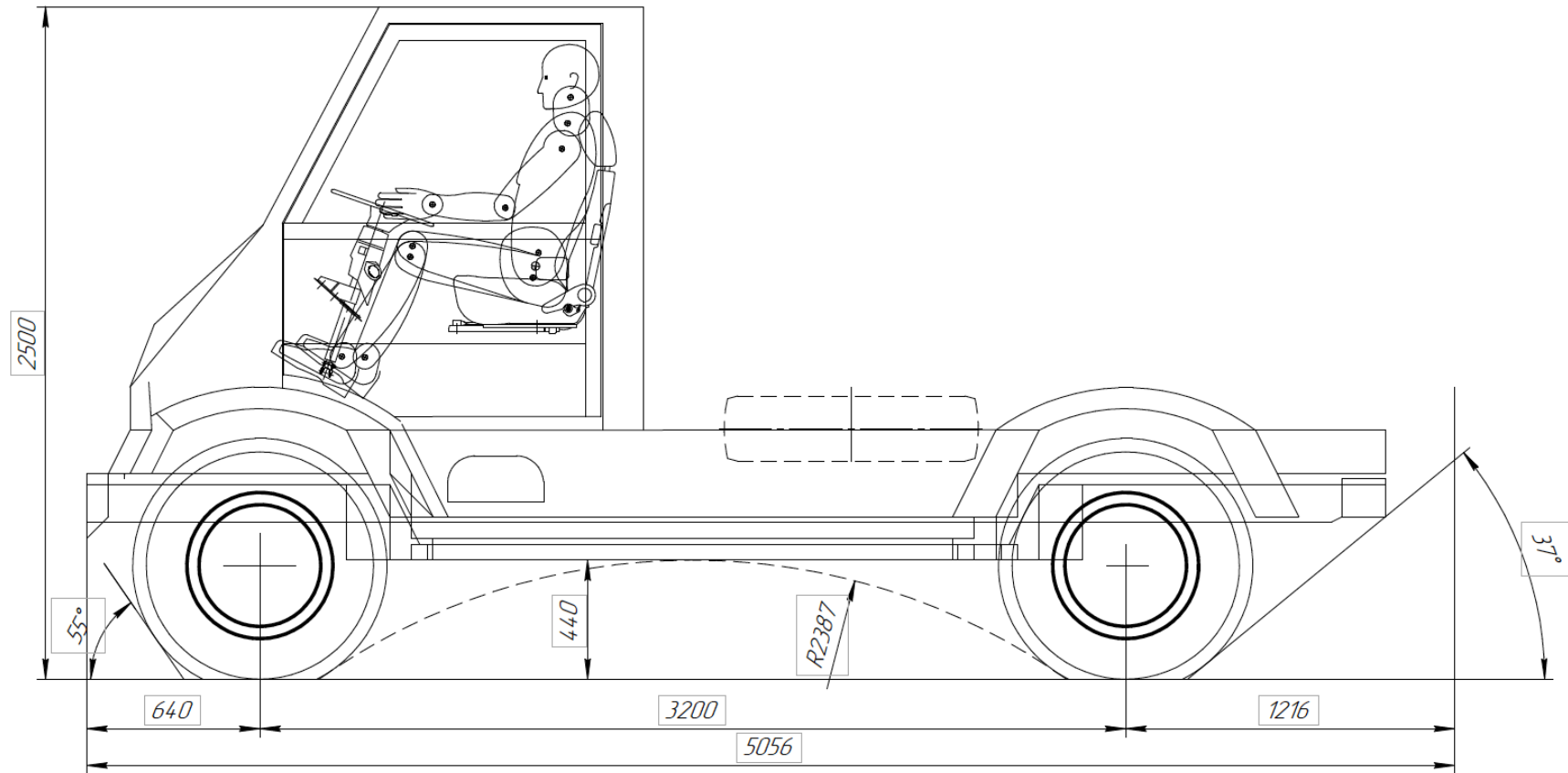


Рисунок В.1 – Габаритне креслення універсального тягово-транспортного засобу ТУР-ВТ-04 «Автотрак»  
(проект ВАТ «Укравтобуспром»)

## Додаток Г

### Акти впровадження результатів досліджень

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ  
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ СТЕПАНА ГЖИЦЬКОГО

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з наукової роботи  
Львівського національного  
університету ветеринарної  
медицини та біотехнологій імені  
С.З. Гжицького



О. М. Федєць  
2025 року

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи у навчальний процес

Ми, що нижче підписалися, декан факультету механіки, енергетики та інформаційних технологій Ковалишин С.Й., керівник навчально-методичного відділу забезпечення якості вищої освіти Микула О. Я., завідувач кафедри автомобілів і тракторів Сукач О.М. даним актом засвідчуємо використання результатів дисертаційної роботи на тему «Обґрунтування параметрів силового приводу універсальних тягово-транспортних засобів в АПК» аспіранта Худавердяна Г.А. у навчальному процесі при викладанні дисципліни «Автомобілі» (Тема – «Аналіз співвідношень системи «трактор (автомобіль) – опорна поверхня – навколишнє середовище»).

Декан факультету механіки,  
енергетики та інформаційних  
технологій, к.т.н., проф.

Степан КОВАЛИШИН

Керівник навчально-методичного  
відділу забезпечення якості вищої  
освіти, к.е.н., доц.

Олег МИКУЛА

Завідувач кафедри автомобілів і  
тракторів, к.т.н., доц.

Олег СУКАЧ

**«ЗАТВЕРДЖУЮ»**

Виконавчий директор ВАТ  
«Український інститут автобусо-  
тролейбусобудування»

Т.Л. Крайник,  
м. Львів

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 року

**АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ**

в Українському інституті автобусо-тролейбусобудування  
результатів дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня доктора  
філософії зі спеціальності 133 - Галузеве машинобудування

**Худавердяна Георгія Ашотовича**

на тему «Обґрунтування параметрів силового приводу універсальних тягово-  
транспортних засобів в АПК».

Комісія у складі: заступника головного конструктора Христинича Б.І., начальника виробництва Дзьоби В.В. та зав. відділом Федака Б.М. склали Акт про те, що результати наукових досліджень Худавердяна Г.А. стосовно методики розрахунку передавального діапазону силового приводу ( у т.ч. передавальних чисел головної передачі, роздавальної коробки передач і базової механічної коробки передач – з врахуванням підбору параметрів шин) універсальних колісних тягово-транспортних засобів типу «Унімог/Авторак» були прийняті для практичного використання на підприємстві при проектуванні і дослідно-конструкторських роботах по проекту ТУР ВТ 04 «Автотрак» та виготовлення дослідного зразка і сертифікації.

Акт складений для представлення у Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького / Північний кампус і не є підставою для одержання премій та інших винагород.

Заступник головного конструктора

Христинич Б.І.

Зав. відділом

Федак Б.М.

Нач. виробництва

Дзьоба В.В.

## Додаток Г

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

**Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

1. Шевчук В.В., Сукач О.М., Габрієль Ю.І., Худавердян Г.А. Підвищення ефективності діагностики електронної системи керування сівалкою Horsch Pronto DC *Сільськогосподарські машини. Вип. 46.* ЛНТУ, Луцьк, 2021. 134с <https://doi.org/10.36910/acm.vi46.499> . (Дисертантом проведено аналіз взаємодії трактора з технологічним обладнанням, зокрема принципу роботи електронних систем керування)
2. Худавердян, Г. ., Хома, В. ., & Крайник, Л. . (2023). Імітаційне моделювання руху полем повнопривідної колісної техніки у програмному середовищі MATLAB Simulink. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження*, (26), 164–170. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2022.26.164> .(Дисертантом розроблена та представлена динамічна еквівалентна схема руху колісних машин у процесі обробітку ґрунту).
3. Худавердян , Г. (2024). Формування технологічного обладнання тягово-транспортної машини категорії T1/N1 в АПК. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження*, (27), 18–21. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.018> . (Дисертантом представлено доопрацьовану модель руху універсальних повнопривідних колісних тягово-транспортних засобів типу Mercedes-Benz Unimog по поверхні, що деформується в програмному середовищі MATLAB Simulink, а саме програмний модуль для визначення максимального тягового зусилля, яке може бути реалізоване на тій чи іншій опорній поверхні, здійснено підбір технологічного на базі проєкту ВАТ «Укравтобуспром» – ТУР ВТ-041 «Автомобіль»).

4. Худавердян , Г., & Сукач , О. (2024). Оцінка адекватності імітаційної моделі руху універсальних тягово-транспортних засобів. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія Агроінженерні дослідження*, (28), 227–232. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2024.28.227> .  
(Дисертантом проведено організацію експериментального дослідження, а саме підготовку колісних машин до експлуатації, контрольно-вимірювального обладнання, опрацювання результатів для подальшої перевірки імітаційної комп'ютерної моделі на адекватність).

#### **Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

5. Крайник Л.В., Худавердян Г.А. Концепція та формування вітчизняного універсального автомобіля типу Автотрак/Унімог для фермерських та комунальних господарств. *Матеріали X-ої міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2022 року: збірник наукових праць* [Електронний ресурс] Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2022. – (PDF 331 с.). (Дисертантом проведено аналіз розвитку конструкції універсальних тягово-транспортних засобів) .

6. Худавердян Г.А., Хома В.В. Технологічні процеси обробітку ґрунту: комп'ютерне моделювання. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали III Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції 19-20 жовтня 2022р. Рівне : НУВГП, 2022. 301с. Електронне видання. (Дисертантом проведено аналіз методики підбору передавальних чесел трансмісії для транспортних та технологічних операцій, яка в подальшому була закладена в імітаційну комп'ютерну модель руху колісних машин поверхню що деформується, за результатами моделювання підібрано роздавальну коробку передач на базі проєкту ВАТ «Укравтобуспром» – ТУР ВТ-041 «Автотрак»).*

7. Худавердян Г.А. Обґрунтування розмірності шин універсального колісного тягово-транспортного засобу. *Актуальні проблеми сучасної науки: теоретичні та практичні дослідження молодих учених: Матеріали I Всеукраїнської науково-практичної конференції*. м. Полтава, 26 – 27 квітня 2023 р. Полтава, 2023. 360 с.

8. Крайник Т.Л., Худавердян Г.А., Крайник Л.В. Концепція та формування силового приводу універсального тягово-транспортного засобу типу Унімог/Автотрак. *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «AutoTRAK-2024»*. – Київ: НУБіП України, 2024. – 213 с. (Дисертанту належить аналіз конструкції автомобілів Mercedes-Benz Unimog та їх аналогів).

9. Худавердян Г.А. Визначення тягового зусилля колісних машин за допомогою імітаційного комп'ютерного моделювання. *Наукове видання ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА РОЗВИТКУ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ ТА СІЛЬСЬКИХ ТЕРИТОРІЙ: матеріали XXV Міжнародного науково-практичного форуму, 02–04 жовтня 2024 року м. Дубляни*

10. Крайник Л.В., Худавердян Г.А. Формування передавального діапазону трансмісії універсальної машини типу «Автотрак/Унімог». *Збірка тез Четвертої міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури 10, 11 і 12 грудня 2024 року. м. Київ (Дисертанту належить аналіз методик формування передавального діапазону трансмісії універсальних тягово-транспортних засобів)*.

#### **Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації**

11. Krainyk L. V., Syvulka P. M., Khudaverdian H. A., Gabriel Y. I. AGRICULTURAL TRANSPORT – THE TYPE AND STRUCTURE FORMATION OF THE WHEELED VEHICLES FLEET» в міжнародному журналі *TEKA. QUARTERLY JOURNAL OF AGRI-FOOD INDUSTRY – 2021, Vol. 21, No. 1, 51-58* (Дисертантом проведено структури парку колісних транспортних засобів у сільському господарстві).