



Механізація, електрифікація

УДК 631.3–182.7

© 2022

АГРЕГАТУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ — ОДНА З СУЧАСНИХ АКТУАЛЬНИХ ПРОБЛЕМ ЗЕМЛЕРОБСЬКОЇ МЕХАНІКИ

В.М. Булгаков¹, В.В. Адамчук², В.Т. Надикто³, М.Я. Ружило⁴

^{1, 2}доктори технічних наук, професори, академіки НААН

³доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НААН

^{1, 4}Національний університет біоресурсів і природокористування України
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

²Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва НААН
вул. Вокзальна, 11, смт Глеваха Фастівського р-ну Київської обл., 08631, Україна

³Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
просп. Б. Хмельницького, 18, м. Мелітополь Запорізької обл., 72312, Україна

e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²vvadamchuk@gmail.com,
³volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua, ⁴masha.ruzhilo@ukr.net
ORCID: ¹0000-0003-3445-3721, ²0000-0003-0358-7946,
³0000-0002-1770-8297, ⁴0000-0002-8794-3495

Надійшла 16.09.2022

Мета. Розкрити внутрішню природу предмета і змісту методів агрегування сучасної сільськогосподарської техніки як окремого розділу дисципліни «землеробська механіка». **Методи.** Застосовано аналітичний аналіз і синтез науково-технічної інформації, яка висвітлює напрями розроблення і предметного оцінювання стану агрегування сільськогосподарських (СГА) та машинно-тракторних (МТА) агрегатів відповідно до змін вимог технологій сільськогосподарського виробництва. **Результати.** Сформульовано сучасне поняття сільськогосподарського та машинно-тракторного агрегатів. Визначено, що предметом агрегування є методи аналізу й оцінки комплексної відповідності параметрів і характеристик СГА/МТА вимогам технологій сільськогосподарського виробництва. Цими методами можуть бути: аналіз конструктивно-технологічних властивостей СГА/МТА; оцінка тягово-енергетичних показників СГА/МТА; агроекологічний аналіз; експлуатаційно-технологічна оцінка роботи СГА/МТА; техніко-економічна ефективність СГА/МТА. **Висновки.** Аналітичний аналіз свідчить, що за своєю суттю і внутрішнім змістом складники процесу агрегування відображають органічне поєднання методів, способів і стратегій дослідження. Це дає підставу стверджувати, що агрегування є методологією забезпечення функціонування сільськогосподарських і машинно-тракторних агрегатів із максимальною ефектив-

ністю і тому може вважатися цілком сформованим самостійним розділом землеробської механіки.

Ключові слова: енергетичний засіб, сільськогосподарський агрегат, машинно-тракторний агрегат, предмет, методи, аналіз, синтез.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202211-07>

На сучасному етапі розвитку аграрного виробництва у світі використання сільськогосподарської техніки належить до точного землеробства. Створення таких умов стало можливим завдяки широкому використанню землеробської механіки, тобто фундаментальної теоретично-прикладної дисципліни, яка утворює основи розробки, створення, випробування та ефективного використання сільськогосподарських машин і засобів їх агрегування для отримання сільськогосподарської продукції. Саме ефективне використання навіть найновішої сільськогосподарської техніки для отримання високоякісної сільськогосподарської продукції з мінімальними витратами неможливе без глибоко досліджених, правильно й точно розрахованих питань агрегування сільськогосподарської техніки.

Ще у 70-ті роки минулого століття вчені намагалися представити «агрегування сільськогосподарської техніки» (далі використовуватимемо термін «агрегування») як окремий розділ дисципліни «землеробська механіка» [1]. Проте це завдання і нині залишається нерозв'язаним. Головна причина, вважаємо, полягає у відсутності чіткого розуміння наукових понять і тоді і нині внутрішньої природи поняття «агрегування».

Практично в усіх енциклопедичних словниках воно наведене як «множина (сукупність) прийомів, які дають змогу функціонально об'єднувати складові частини виробу в єдині елементи (агрегати)». У загальнотехнічному плані це звучить формально правильно, але щодо сільськогосподарського виробництва — абсолютно неконкретно: які прийоми, що за частини та елементи, у чому їх суть тощо?

Першу цілеспрямовану спробу у напрямі розв'язання цієї проблеми здійснив автор наукової дискусійної роботи [1], задекларувавши, що агрегування — це забезпечення працездатності сільськогосподарського

агрегату. А сільськогосподарський агрегат за його визначенням — це складна машина з двигуном, трансмісією і робочими органами, призначена для механізації технологічних процесів сільськогосподарського виробництва.

Натомість загальновідомий стандарт Асоціації випробувачів сільськогосподарської техніки і технологій СТО АИСТ 1.11-2010 визначає, що агрегування — це з'єднання трактора з сільськогосподарською машиною або транспортним засобом за допомогою приєднувальних засобів з метою утворення машинно-тракторного агрегату для виконання технологічних операцій у рослинництві.

Важко не помітити, що обидва визначення принципово відрізняються, оскільки в них фігурують різні механічні об'єкти: у першому — сільськогосподарський (СГА), а у другому — машинно-тракторний (МТА) агрегати. Якщо згідно з [1] СГА — це складна машина, то які визначення існують стосовно МТА?

На думку автора роботи [2], МТА — це сполучення мобільних машин із джерелом енергії, передавальними та іншими пристроями, призначеними для виконання однієї або кількох технологічних операцій. Це формулювання відрізняється від наданого СТО АИСТ 1.11-2010 (див. вище) тим, що трактор — це мобільна машина із джерелом енергії. Проте зернозбиральний комбайн зі своїм двигуном, наприклад, також підпадає під це визначення, але він все-таки не трактор.

За своєю думкою С.А. Іофінова, сукупність (поєднання) мобільних машин з джерелом енергії (енергетичними засобами), передавальними та допоміжними пристроями має назву сільськогосподарського агрегату, а при використанні механічного (або електричного) джерела енергії (двигуна) — машинно-тракторним агрегатом».

Більше того, цей відомий науковець стверджує, що поняття машинно-тракторний агрегат зумовлено словом *traction* — тягнути, переміщувати, а не від слова «трактор», наявність якого не є обов'язковою у складі такого агрегату [3].

З цього постулату напрошується висновок, що енергетичний засіб МТА виконує виключно тягову функцію. Але енергетичний засіб, який призначений для виконання тягового процесу, за визначенням відомого фахівця Г.М. Кутькова, має називатися саме трактором [4]. У його конструкції немає вбудованих робочих органів для здійснення сільськогосподарських технологічних операцій, чим він і відрізняється від інших мобільних енергетичних засобів.

З огляду на це багато науковців одногласно пропонують енергетичним засобом МТА вважати лише трактор [5–7]. Натомість ще у 30-ті роки минулого століття існували визначення, які повністю вилучали такі важливі назви об'єктів, як «трактор» і «машинно-тракторний агрегат». Так, відомий учений-експлуатаційник Б.С. Свірцевський вважав, що агрегат є з'єднанням машин-знарядь із джерелом енергії, що призначене для виконання якоїсь однієї сільськогосподарської операції і водночас кількох у їхній комбінації [8].

Найбільш «лаконічні» визначення основних об'єктів агрегатування сформульовані нині вітчизняними науковцями. На думку авторів підручників [9, 10], машинний агрегат — це сільськогосподарський агрегат з механічним або електричним джерелом енергії.

Як бачимо, із зазначеного вище розмаїття думок і тверджень важко визначитися із поняттям «агрегатування». Тим більше, що спочатку це потрібно зробити стосовно двох його головних об'єктів — СГА і МТА.

Мета досліджень — розкрити внутрішню природу предмета і зміст методів агрегатування сучасної сільськогосподарської техніки як окремого розділу дисципліни «землеробська механіка».

Методи досліджень — аналітичний аналіз і синтез науково-технічної інформації, яка висвітлює напрями розроблення та предметного оцінювання стану агрегатування сільськогосподарських і машинно-

тракторних агрегатів відповідно до змін вимог технологій сільськогосподарського виробництва.

Результати досліджень і їх обговорення. За своєю природою СГА і МТА — це не просто механічне поєднання джерел енергії і робочих машин/знарядь, а досить складні сукупності функціонально взаємопов'язаних засобів технологічного оснащення для виконання в регламентованих умовах виробництва заданих технологічних операцій або процесів. Згідно із енциклопедичними тлумаченнями під таке визначення підпадають *комплекси*. Враховуючи сучасні вимоги аграрного виробництва, вони мають бути абсолютно автономними і мобільними. Деякі з них можуть базуватися за модульним принципом структурної побудови, за яким енергетична частина (або джерело енергії) агрегату — це енергетичний модуль, а технологічна частина (тобто використовувані машини і сільськогосподарські знаряддя) — технологічний модуль або модулі [4, 11].

Технічну здійсненність цього принципу (рис. 1) уже доведено сучасною практикою конструювання сільськогосподарських машин/знарядь [12].

На основі зазначеного вище пропонуємо базові визначення, які у подальшому аналізі візьмемо за основу. Отже, СГА — це автономний мобільний енерготехнологічний комплекс, призначений для виконання однієї чи одночасно кількох технологічних операцій сільськогосподарського виробництва із заданими агротехнічними вимогами. Якщо енергетичною базою (модулем) цього комплексу є трактор, то він (комплекс) називається МТА.

Важко не погодитися, що для забезпечення ефективного функціонування таких комплексів потрібно мати відповідну систему знань, умінь і навичок. І здобувати їх слід не інакше як вивченням спеціальної дисципліни, назва якій — «агрегатування».

Предмет агрегатування — це методи аналізу і оцінки комплексної відповідності параметрів і характеристик СГА/МТА вимогам технологій сільськогосподарського виробництва.

Такими методами можуть бути:

1) аналіз конструктивно-технологічних властивостей СГА/МТА;

2) оцінка тягово-енергетичних показників СГА/МТА;

3) агроекологічний аналіз;

4) експлуатаційно-технологічна оцінка роботи СГА/МТА;

5) техніко-економічна ефективність СГА/МТА.

Детально розглянемо ці методи на предмет їхньої практичної реалізації.

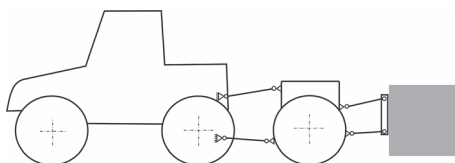
1) Аналіз конструктивно-технологічних властивостей СГА/МТА включає оцінку можливості забезпечення механічного поєднання енергетичної і технологічної частин агрегатів у один технологічний комплекс із взаємозумовленим їх розміщенням один відносно одного. Особливо це стосується таких перспективних комбінованих МТА, які побудовані за схемою «push-pull» [13]. Наявність фронтальних машин/знарядь потребує розроблення системи узгодження їхніх конструктивних параметрів із параметрами переднього навісного механізму енергетичного засобу. Якщо цього не зробити, то можуть виникнути проблеми з керуванням, стійкістю і плавністю руху нових агрегатів.

Оскільки останнім часом все більше використовуються машини із активним приводом робочих органів, то енергетичні засоби СГА/МТА повинні мати обґрунтовано достатню кількість гідрофікованих ліній або валів відбору потужності (ВВП) двигуна. І дуже важливо, щоб характеристики цих ліній і ВВП відповідали вимогам агрегованих машин/знарядь. Повнота використання тракторів сімейства ХТЗ-160, наприклад, обмежена відсутністю у їх конструкції фронтальних ВВП з режимом обертання 540 об./хв. А відсутність у цих і інших енергетичних засобах Харківського тракторного заводу синхронних ВВП лишає можливості створити на їх базі дуже потрібні сільськогосподарському виробництву України вітчизняні модульні енергетичні засоби перемінного тягового класу 3–5 [11, 12].

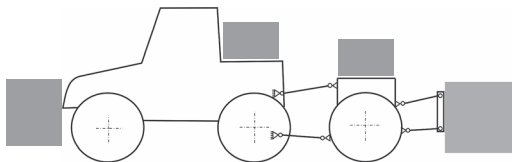
Аналіз конструктивно-технологічних властивостей СГА/МТА передбачає оцінку технологічних просторів для розміщення на енергетичних або технологічних їх частинах обладнання у вигляді ємностей для мінеральних добрив, пестицидів, води. До таких просторів належать передній, задній



а



б



в

Рис. 1. Модульний енергетичний засіб і варіанти його агрегування: а — загальний вигляд; б — схема задньоначепленої сільськогосподарської машини; в — схема фронтально та задньоначеплених сільськогосподарських машин і баластування ведучих мостів

і бокові навісні механізми енергетичного засобу, монтажні майданчики спереду або ззаду його кабіни (див. рис. 1), а також міжколісна (як у самохідного шасі) технологічна зона.

2) Оцінка тягово-енергетичних показників СГА/МТА є вкрай важливою під час розв'язання проблеми підвищення продуктивності їхньої роботи. У технічному плані здійснювати це можна, як відомо, двома способами: підвищенням робочої швидкості з відповідним ростом потужності двигуна і збільшенням робочої ширини захвату завдяки зростанню експлуатаційної маси енергетичного засобу.

Практична реалізація першого напряму передбачає контроль ступеня завантаженості двигуна за потужністю. Цей чинник дуже важливий на сучасному етапі упровадження

тягово-енергетичної концепції розвитку тракторів, згідно з якою у тяговому режимі їх роботи можна реалізувати енергонасиченість на рівні $14-15 \text{ кВт} \cdot \text{т}^{-1}$ [14]. Найближча ж перспектива передбачає широке застосування енергетичних засобів із енергонасиченістю не менше $25 \text{ кВт} \cdot \text{т}^{-1}$. Проте наявність при цьому так званої «зайвої потужності» двигуна потребує розроблення й оцінки відповідної системи агрегатування енергетичних засобів нового покоління.

Це саме можна стверджувати і щодо експлуатації у складі того чи іншого МТА тракторів із двигуном постійної потужності (ДПП). Як свідчить практика, ефективність ДПП має місце в режимі його роботи на коректорній гілці, що можливе для енергетичних засобів загального призначення і мало ймовірно для універсально-просапних тракторів. Тому обладнання останніх двигунами постійної потужності без урахування законів агрегатування може призвести до негативних наслідків.

Збільшення ширини захвату СГА/МТА зі зростанням експлуатаційної маси енергетичних засобів органічно пов'язане з їх буксуванням, що не тільки потребує витрат пального та зумовлює знос шин, а й руйнує структуру ґрунту. Нашими теоретичними дослідженнями, побудованими на новому рівні розгляду процесу деформації ґрунту рушієм, установлено, що для екологічно безпечного впливу на ґрунт максимально допустиме буксування $\delta_{\max}$ колісних тракторів не має перевищувати 15% [15, 16]. Обмежувальним чинником при цьому є норма допустимого тиску рушія на ґрунт $[Q_{\max}]$, регламентована державним стандартом ДСТУ 4521:2006 «Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунт»:

$$\delta_{\max} = \frac{[Q_{\max}]}{k_o \cdot R_k \cdot \left(\arctan \frac{f_k \cdot \sqrt{1-f_k^2}}{0,5-f_k^2} + 2 \cdot f_k^2 \right)}, \quad (1)$$

де k_o — коефіцієнт об'ємної деформації ґрунту, $\text{Н} \cdot \text{м}^{-3}$; R_k — радіус колісного рушія, м; f_k — коефіцієнт опору коченню.

Обмеження буксування енергетичних засобів на рівні 15% дає змогу виразити його залежність від тягового зусилля лінійною

функцією, а це потребує принципового перегляду методики розроблення тягових характеристик колісних енергетичних засобів, потрібних під час розроблення й аналізу нових технологічних карт вирощування сільськогосподарських культур.

Водночас слід мати на увазі, що колісні трактори тягового класу 3–5, обладнані одинарними штатними шинами, можна використовувати на польових роботах тільки в осінньо-літній період. Для експлуатації навесні їх бажано обладнати подвоєними або потроєними шинами. Застосування цього конструктивного рішення доцільне для усіх колісних енергетичних засобів за такої умови:

$$(U_o - U_{k-2}) \cdot (k-2) > (U_o - U_{k-1}) \cdot (k-1) > (U_o - U_k) \cdot k > 0, \quad (2)$$

де U_o — урожайність сільськогосподарської культури на недеформованому (неущільненому) ґрунті, $\text{ц} \cdot \text{га}^{-1}$; U_k — урожайність сільськогосподарської культури у зоні проходу одинарного $k=1$, подвоєного $k=2$ чи потроєного $k=3$ рушія.

Одним із способів зменшення буксування рушіїв енергетичних засобів є їх баластування. Водночас принципи агрегатування СГА/МТА потребують виваженого підходу під час упровадження такого рішення. Поряд зі зменшенням буксування з'являються проблеми ущільнення ґрунту, підвищення питомої матеріаломісткості агрегату та ін. Нині нами запропоновано новий методичний підхід у розв'язанні цієї проблеми. Його базисом є здійснення баластування колісних енергетичних засобів із суворим дотриманням умови «екофільності» шини [17].

Важливим моментом під час оцінювання тягово-енергетичних показників СГА/МТА є правильний вибір коефіцієнта кінематичної невідповідності у приводі рушіїв колісного енергетичного засобу. За даними робіт [18, 19], у трактора з однаковими передніми і задніми рушіями співвідношення тиску повітря у шинах задніх коліс p_b і тиску повітря у передніх p_a має бути таким самим, як і співвідношення вертикального навантаження на задній міст N_b і вертикального навантаження, яке припадає на передній міст N_a енергетичного засобу:

$$\rho_b \cdot (\rho_a)^{-1} = N_b \cdot (N_a)^{-1}. \quad (3)$$

Практична реалізація цієї вимоги потребує попереднього розгляду умов рівноваги СГА/МТА у поздовжньо-вертикальній площині.

Зрештою повноформатне оцінювання тягово-енергетичних показників СГА/МТА неможливе без оперативного визначення тягового опору їхніх технологічних частин, а також потрібних при цьому витрат пального. Знання цих показників дає змогу оцінити ступінь завантаження енергетичного засобу за тяговим зусиллям і економічність роботи усього агрегату.

3) Агроекологічний аналіз спрямований на оцінку можливості функціонування СГА/МТА з урахуванням обмежень агротехнічних і екологічних вимог. Насамперед на вирощуванні просапних культур, де колеса чи гусениці енергетичних засобів мають рухатись у міжряддях, не пошкоджуючи при цьому культурні рослини і не переуцільнюючи ґрунт. Тобто, з одного боку, рушій має бути досить вузьким, а з іншого — не створювати високого питомого тиску на опорну поверхню. Уся складність полягає в тому, що ці вимоги альтернативні [4] і обмежені нормами. До них, як відомо, належать: ширина захисної зони, питомий тиск рушіїв на ґрунт, допустиме вертикальне навантаження на колісний рушій і максимальна експлуатаційна маса енергетичного засобу.

Для забезпечення виконання того чи іншого технологічного процесу з рівномірною швидкістю руху, стабільним значенням глибини обробітку ґрунту і ширини захвату, мінімальним рівнем пошкодження культурних рослин тощо СГА/МТА повинні мати задовільну керованість і стійкість руху у горизонтальній площині, а також плавність — у поздовжньо-вертикальній. Методи обґрунтованого вибору оптимальних (раціональних) схем, конструктивних параметрів і режимів роботи СГА/МТА при розв'язанні цих проблем є невід'ємним складником процесу їх агрегування.

4) Експлуатаційно-технологічна оцінка функціонування СГА/МТА включає визначення трудомісткості його складання, переведення із транспортного положення в робоче і навпаки. За недосконалої конструкції агрегат може характеризуватися значними

невиробничими витратами часу, що відповідним чином позначиться на його попиті серед сільгоспвиробників.

Важливим етапом експлуатаційно-технологічної оцінки СГА/МТА є визначення їх повороткості. Серед виробників і навіть науковців поширена думка, що чим менший мінімальний радіус повороту має енергетичний засіб, тим краще. Водночас поза їх увагою залишається те, що енергетичний засіб функціонує не самостійно, а у поєднанні з технологічною частиною агрегату. А остання, особливо причіпна, за певних умов може істотно обмежувати власну поворотність енергетичного засобу [11, 12]. У цьому разі тільки правильне комплектування агрегату може забезпечити йому задовільну поворотність, навіть тоді, коли трактор має відносно велике значення мінімального радіусу повороту [12].

Насамкінець, експлуатаційно-технологічна оцінка СГА/МТА дає змогу визначити продуктивність їх роботи, питомі витрати пального і такі важливі експлуатаційно-технологічні коефіцієнти, як коефіцієнт робочих ходів, надійність технологічного процесу, наробіток на 1 технічну і технологічну відмови та ін.

5) Кінцевим етапом аналізу і оцінки комплексної відповідності параметрів і характеристик СГА/МТА вимогам технологій сільськогосподарського виробництва є визначення їх (агрегатів) *техніко-економічної ефективності*. Суть останньої можна навести у вигляді комплексного показника (рис. 2).

Чим більш технологічно універсальною є сільськогосподарська техніка, тим більше



Рис. 2. Ієрархія комплексного показника техніко-економічної ефективності СГА/МТА

річного часу її використовують за прямим призначенням і тим більшим є показник її зонального річного завантаження (T_z , год). Останній так само може залежати від низки первинних $A_1, A_2, \dots, A_n$ чинників, номенклатура і природа яких є і має бути предметом постійного наукового обґрунтування.

Досить важливим (якщо не визначальним) елементом комплексного показника техніко-економічної ефективності СГА/МТА є власне економічний S_z у вигляді сукупних витрат, внутрішній зміст яких репрезентований ДСТУ 4397:2005 «Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування»:

$$S_z = \frac{\sum_{i=1}^6 K_i}{W_{ek}}. \quad (4)$$

У виразі (4) відповідний елемент K відтворює залежність сукупних витрат на зас-

тосування сільськогосподарської техніки від: 1) заробітної платні; 2) амортизаційних витрат; 3) витрат на ремонти і технічне обслуговування техніки; 4) витрат на паливно-мастильні та інші технологічні матеріали; 5) зберігання, монтування і страхування техніки; 6) інвестиційних вкладень. Кожний із цих елементів є функцією експлуатаційної продуктивності роботи СГА/МТА W_{ek} , постійне підвищення якої також залежить від методики правильного вибору первинних чинників $B_1, B_2, \dots, B_n$ (див. рис. 2).

У роботі [20] підкреслюється, що на сучасному етапі розвитку землеробська механіка — це фундаментальна теоретико-прикладна дисципліна, де викладаються основи розробки, створення і випробування сільськогосподарських машин та їх засобів агрегування для отримання сільськогосподарської продукції. З таким постулатом важко не погодитися.

Висновки

За своєю суттю і внутрішнім змістом складники процесу агрегування відображають органічне поєднання методів, способів і стратегій дослідження. На підставі цього можна сформулювати визначення, що агрегування — це методологія забезпечення функціонування сільськогосподарських машинно-тракторних агрегатів із максимальною ефективністю.

Агрегування сільськогосподарської техніки — це цілком сформований самостійний розділ землеробської механіки. І чим скоріше він буде виокремлений як спеціальна дисципліна в аграрних закладах вищої освіти, тим більш підготовленими будуть ті фахівці, яким розв'язувати поточні та майбутні проблеми ефективної експлуатації нових технічних і технологічних рішень аграрного спрямування.

Bulgakov V.¹, Adamchuk V.², Nadykto V.³, Ruzhylo M.⁴

¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine, 03041; ²Institute of Mechanics and Automation of Agricultural Production of NAAS, 11 Vokzalna Str., vil. Hlevakha, Fastiv district, Kyiv oblast, Ukraine, 08631; ³Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University, 18 B. Khmelnytsky Ave., Melitopol, Zaporizhzhia oblast, Ukraine, 72310; e-mail: ¹vbulgakov@meta.ua, ²vvadamchuk@gmail.com, ³volodymyr.nadykto@tsatu.edu.ua, ⁴masha.ruzhilo@ukr.net; ORCID: ¹0000-0003-3445-3721, ²0000-0003-0358-7946, ³0000-0002-1770-8297, ⁴0000-0002-8794-3495

Aggregation of agricultural equipment is one of the current problems of agricultural mechanics

Goal. To reveal the inner nature of the subject and the content of methods of aggregating modern agricultural machinery as a separate section of the discipline “agricultural mechanics”. **Methods.** Analytical analysis and synthesis of scientific and technical information are applied, which highlights the directions of development and objective evaluation of the state of aggregation of agricultural (AAA) and machine-tractor (MTA) aggregates under changes in the requirements of agricultural production technologies. **Results.** The modern concept of agricultural and machine-tractor aggregates was formulated. It was determined that the subjects of aggregation are the methods of analysis and assessment of the comprehensive compliance of parameters and characteristics of AAA/MTA with the requirements of agricultural production technologies. These methods can be analysis of structural

and technological properties of AAA/MTA; assessment of traction energy indicators of AAA/MTA; agroecological analysis; operational-technological assessment of the work of AAA/MTA; techno-economic efficiency of AAA/MTA. **Conclusions.** Analytical analysis shows that in their essence and internal content, the components of the aggregation process reflect an organic combination of research methods, techniques, and strategies. This gives

reason to assert that aggregation is a methodology for ensuring the functioning of agricultural and machine-tractor aggregates with maximum efficiency and therefore can be considered a fully formed independent section of agricultural mechanics.

Key words: power tool, agricultural unit, machine-tractor unit, subject, methods, analysis, synthesis.

DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202211-07>

Бібліографія

1. Орлов Н.М. Развитие агрегатирования с.-х. техники. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1977. № 10. С. 13–15.
2. Луговська Е.М. Експлуатація машин і обладнання агропромислового виробництва. Кам'янець-Подільський, 2013. <http://emiorv.ho.ua>
3. Иофинов С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка. москва: Колос, 1974. 480 с.
4. Кутыков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. москва: Колос, 2004. 504 с.
5. Фере Н.Э., Бубнов В.З., Эленев А.В., Пильщиков Л.М. Пособие по эксплуатации машинно-тракторного парка. москва: Колос, 1971. 245 с.
6. Бубнов В.З., Кузьмин М.В. Эксплуатация машинно-тракторного парка. москва: Колос, 1980. 231 с.
7. Корсун Н.А. Агрегатирование тракторов Т-150 и Т-150К с сельскохозяйственными машинами. москва: Машиностроение, 1975. 276 с.
8. Свищевский Б.С. Эксплуатация машинно-тракторного парка. москва: ОГИЗ-СЕЛЬХОЗГИЗ, 1937. 324 с.
9. Ильченко В.Ю., Нагірний Ю.П., Джолос П.А. та ін. Машиновикористання в землеробстві. Київ: Урожай, 1996. 384 с.
10. Бендера І.М., Грубий В.П., Роздорожнюк П.І. та ін. Експлуатація машин та обладнання; за ред. І.М. Бендера, В.П. Грубого, П.І. Роздорожнюка. Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин Я.І., 2013. 576 с.
11. Надикто В.Т. Основы агрегатирования модульных энергетических средств. Мелитополь: КП «ММД», 2003. 240 с.
12. Надикто В.Т., Крижачківський М.Л., Кюрчев В.М. та ін. Нові мобільні енергетичні засоби України. Теоретичні основи використання в землеробстві. Мелитополь: ТОВ «Видавничий будинок «ММД», 2005. 337 с.
13. Лебедев А.Т., Писаренко А.Е. Основы анализа и синтеза энерготехнологических агрегатов блочно-модульного построения: сб. науч. тр. ХГТУСХ: Тракторная энергетика в растениеводстве. 1999. С. 248–256.
14. Надикто В. Енергонасиченість тракторів та шляхи її реалізації. *Техніка і технології АПК*. 2011. № 9. С. 8–11.
15. Nadykto V., Arak M., Olt J. Theoretical research into the frictional slipping of wheel-type undercarriage taking into account the limitation of their impact on the soil. *Agronomy Research*. 2015. V. 13. P. 148–157.
16. Bulgakov V., Aboltins A., Beloev H. et al. Maximum Admissible Slip of Tractor Wheels Without Disturbing the Soil Structure. *Applied Sciences*. 2021. V. 11. P. 6893. doi: 10.3390/app11156893
17. Bulgakov V., Nadykto V., Kyurchev S. et al. Theoretical background for increasing grip properties of wheeled tractors based on their rational ballasting. *Agraarteadus*. 2019. V. 30. P. 78–84. doi: 10.15159/jas.19.07
18. Bulgakov V., Adamchuk V., Nadykto V., Kyurchev V. Influence of machine-tractor set constructoral parameters on kinematic discrepancy in tractor wheels. *Trends in Agricultural Engineering*. 2019. P. 81–86.
19. Bulgakov V., Pascuzzi S., Ivanovs S. et al. Kinematic discrepancy between driving wheels evaluated for a modular traction device. *Biosystem Engineering*. 2020. V. 196. P. 88–96. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2020.05.017
20. Жалнин Э.В. Современные научные проблемы земледельческой механики. URL: www.ras.ru/digest/showdnews.aspx?id=b6f8e122-2168-4e06-988f-ce65ffc48193