

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА ТЕХНІКА ТА ОБЛАДНАННЯ: ПРОГНОЗУВАННЯ, КОНСТРУЮВАННЯ, ВИПРОБУВАННЯ

УДК 33.62.001.57

[https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2025-1-36\(50\)-1](https://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2025-1-36(50)-1)

ВАЛІДАЦІЯ ПОКАЗНИКІВ ТЕЛЕМЕТРИЧНИХ СИСТЕМ З ОЦІНКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ МОБІЛЬНИХ АГРЕГАТІВ

Халін С., канд. екон. наук, доцент,
<https://orcid.org/0000-0002-7510-5056>

Погорілий В.,
<https://orcid.org/0000-0002-6867-8120>

Сербій В., канд. техн. наук, с.н.с.,
<https://orcid.org/0000-0002-1503-4866>

Майданович В., канд. техн. наук,
<https://orcid.org/0009-0007-2972-6461>
ДНУ «УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого»

Анотація

Метою дослідження є оцінка можливості використання даних штатних телеметричних систем (бортових комп'ютерів) для визначення експлуатаційно-технологічних показників машинно-тракторних агрегатів (МТА), зокрема продуктивності та витрат пального, а також порівняння точності цих даних з результатами, отриманими за допомогою класичного хронометражу.

Методи. Польові дослідження проводилися з трьома тракторами – Claas Axion 930, John Deere 8345R та Fendt 936 Vario, які агрегувалися з 8-корпусним оборотним плугом. Роботи виконувались на чорноземі глибокому середньосуглинковому при оранці на глибину 30 см та 35 см. Експлуатаційні показники фіксувалися двома методами: 1) за допомогою штатних бортових комп'ютерів (CEBIS, CommandCenter, Vario); 2) за допомогою контрольного методу суцільного хронометражу, що включав прямі вимірювання часу секундоміром та визначення витрати пального за допомогою зовнішнього тарованого вимірювального пристрою.

Результати. Порівняльний аналіз виявив розбіжності між даними бортових комп'ютерів (БК) та контрольними вимірюваннями. Щодо продуктивності, середнє відхилення даних БК від хронометражу становило приблизно $\pm 8\%$. Найбільше відхилення зафіксовано у системи John Deere (в середньому $\sim 17\%$), тоді як система Fendt виявилася найточнішою (відхилення в межах 0,4–4,5%). Щодо сумарних витрат пального, середнє відхилення було меншим і становило приблизно $\pm 4,4\%$. Найменшу похибку показала система John Deere (1,6%), а найбільшу – Claas (6,8%).

Висновки. Штатні телеметричні системи є важливим інструментом для моніторингу МТА, однак отримані дані можуть мати суттєві відхилення від фактичних показників. Результати підкреслюють критичну необхідність проведення регулярного калібрування та валідації даних БК перед їх використанням для точних наукових випробувань, фінансового обліку чи прийняття відповідальних управлінських рішень. Використання некаліброваних даних може призвести до помилкових висновків та зниження ефективності агровиробництва.

Ключові слова: телеметрія, телематика, точне землеробство, GPS, ISOBUS, бортовий комп'ютер, калібрування, експлуатаційно-технологічний показник, машинно-тракторний агрегат (МТА).

Вступ. Сучасне сільське господарство перебуває на етапі глибокої цифрової трансформації, рушійною силою якої є впровадження передових інформаційно-комунікаційних технологій. Телеметрія, що визначається як технологія дистанційного вимірювання та передачі даних, відіграє ключову роль у цьому процесі, революціонізуючи підходи до управління агротехнічними операціями, аналізу даних та прийняття рішень [Marques et al., 2022; Shrivastava et al., 2023]. Вона стала невід'ємною складовою концепції точного землеробства [Getahun et al., 2024].

Мета телеметрії в аграрному секторі полягає у дистанційному моніторингу та контролі руху й функціонування сільськогосподарської техніки та знарядь шляхом аналізу різноманітних параметрів, таких як географічне положення, швидкість, навантаження на двигун, споживання пального та параметри виконання технологічної операції [Vokoun et al., 2021; Marques et al., 2022; Shrivastava et al., 2023]. Збір та аналіз цих даних дозволяє оптимізувати використання ресурсів (пального, насіння, добрив, засобів захисту рослин), підвищити операційну ефективність МТА та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище [Marcu et al., 2020].

Ключовими технологіями, що забезпечують функціонування телеметричних систем, є глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS), такі як GPS, та стандартизовані протоколи зв'язку, зокрема ISOBUS (ISO 11783) [Backman et al., 2019]. GNSS забезпечує точне визначення місцезнаходження техніки, що є фундаментом для навігації, автоматичного водіння, картографування та реалізації технологій диференційованого внесення [Man et al., 2020]. Стандарт ISOBUS уніфікує обмін даними між тракторами, навісним обладнанням та програмним забезпеченням від різних виробників, спрощуючи інтеграцію та управління системами [Ladino & Sama, 2024].

Ефективність МТА, що є поєднанням робочої машини та енергетичного засобу, залежить від відповідності агротех-

нічним вимогам та умовам виробництва, таким як розміри та конфігурація полів, довжина гону, рельєф та інші. Характеристики МТА оцінюються за комплексом показників: агротехнологічних, енергетичних, експлуатаційних (прохідність, тягово-зчіпні якості, маневреність тощо), технічних, економічних, ергономічних та екологічних [Puška et al., 2022]. Правильно скомплектований МТА забезпечує високу якість робіт та оптимальні експлуатаційні показники, такі як максимальна продуктивність та мінімальні питомі витрати ресурсів (час, паливо, кошти). Оцінка експлуатаційних показників дозволяє оптимізувати витрати пального, визначити продуктивність та підвищити ефективність сільськогосподарських операцій шляхом вибору оптимальних режимів роботи, контролю навантаження та мінімізації простоїв.

Традиційним методом оцінки роботи МТА є технічні спостереження, зокрема суцільний або вибірковий хронометраж. Суцільний хронометраж забезпечує надійні дані, але є трудомістким. Вибірковий хронометраж застосовують для детальної перевірки окремих показників. Проте, класичний хронометраж має обмеження щодо оперативності отримання даних та обсягу інформації.

Сучасна парадигма проведення випробувань передбачає фундаментальний перехід від аналізу дискретних вимірювань до обробки динамічних потоків даних, що надходять у режимі реального часу. Це висуває нові вимоги до інструментарію, зумовлюючи необхідність застосування складних інформаційно-вимірювальних систем (IVC). Обчислювальним ядром таких систем слугують сучасні комп'ютери, однак їх роль виходить далеко за межі простого накопичення чи прийому інформації. Комп'ютер виступає як апаратна платформа для функціонування спеціалізованого програмного забезпечення. Саме воно реалізує унікальні, розроблені під конкретну задачу випробувань алгоритми, що дає змогу виконувати оперативний розрахунок та поглиблений ана-

ліз даних. Ключовою перевагою такого підходу є можливість отримання не узагальнених, а цільових, специфічних для даного дослідження результатів та оцінок безпосередньо в процесі роботи.

Яскравим прикладом практичної реалізації є інтеграція подібних ІВС у бортові комп'ютери (БК) сільськогосподарської техніки. Використовуючи телеметричні канали для збору та передачі даних, ці системи забезпечують безперервний моніторинг параметрів роботи машинно-тракторного агрегату (МТА). Це дає змогу не лише констатувати фактичні показники, а й оперативно оцінювати ефективність його функціонування, оптимізувати управлінські та логістичні рішення в реальному часі.

Постановка проблеми. Основне призначення телематичних систем – оцінка та підвищення ефективності використання МТА шляхом оптимізації управління, логістики та моніторингу. Системи моніторингу класифікують за технологією роботи (offline/online) та конструкцією (мобільні GPS-трекери/вбудовані контролери – штатні або сторонні виробників). Штатні системи (напр., CLAAS TELEMATICS, JDLink, AFS Connect, VarioGuide) часто інтегровані в єдину екосистему виробника. Системи сторонніх виробників зазвичай включають блок телематики та програмне рішення. Альтернативою зовнішнім датчикам є під-

ключення до CAN-шини енергозасобу для отримання даних зі штатних датчиків.

Незважаючи на широке впровадження БК та телеметрії, виникає питання щодо точності даних, які вони надають, особливо при порівнянні з традиційними методами вимірювань, такими як хронометраж та пряме вимірювання витрат палива. Недостатня точність даних може призвести до помилкових висновків та неефективних управлінських рішень. Відсутність стандартизованих підходів до калібрування та валідації даних БК для таких показників, як продуктивність та витрата пального, є актуальною проблемою.

Мета дослідження – оцінити можливість використання даних штатних телеметричних систем (бортових комп'ютерів) енергозасобів для визначення експлуатаційно-технологічних параметрів МТА (продуктивність, витрати пального) та порівняти точність цих даних з результатами, отриманими методом класичного хронометражу.

Матеріали та методи. Експериментальні дослідження проводились з тракторами Claas Axion 930, John Deere 8345R, Fendt 936 Vario (табл. 1). Усі трактори агрегувалися з оборотним 8-корпусним плугом Lemken Diamant 11. Дослідження проводилися на задискованому полі після збирання ярого ріпаку. Характеристика ділянки (чорнозем глибокий середньосуглинковий, рівний рельєф) наве-

Таблиця 1 – Технічна характеристика тракторів

Трактор, модель	CLAAS Axion 930	JOHN DEERE 8345R	FENDT 936 Vario
1. Двигун	FPT CURSOR 9	JD PowerTech	Deutz TCD 2013
а) робочий об'єм циліндрів, л	8,710	8,984	7,755
б) потужність, кВт (к.с.):	254 (345)	254 (345)	261 (356)
2. Коробка передач	CIMATIC	Powershift 23F/11R	VARIO
3. Комп'ютерна система	CEBIS	CommandCenter	Vario
4. Маса (+баласт), кг	14820	14564	15330
5. Шини: передня (задня) вісь	650/65R34 (710/75R42)	600/65R34 (710/75R42)	650/65R34 (710/75R42)
6. Тиск в шинах, МПа			
а) передня вісь	1	1,5	1,1
г) задня вісь	1,1	0,9	0,8

Таблиця 2 – Характеристика ділянки

Назва показника	Показник
Тип ґрунту і назва за механічним складом	Чорнозем глибокий середньосуглинковий
Рельєф	Рівний
Мікрорельєф	Вирівняний
Попередник	Ріпак
Попередній обробіток	Дискування
Щільність ґрунту, г/см ³ за горизонтами, см 0-10,0 10,1-20,0 20,1-30,0 30,1-40,0	1,11 1,30 1,35 1,41
Вологість ґрунту, % за горизонтами, см 0-10,0 10,1-20,0 20,1-30,0 30,1-40,0	16,5 17,0 15,3 15,4
Засміченість пожнивними рештками, кг/м ²	0,63
Середній розмір часток пожнивних решток, мм	105
Засміченість ділянки камінням, шт./м ²	0,0

дена в таблиці 2, загальний вигляд – на рисунку 1. Ґрунт ділянки був однорідним за типом та попередником. Оранка проводилась на глибину 30 см та 35 см.

Телеметричні системи збирають широкий спектр даних:

- *експлуатаційні параметри*: стан двигуна (оберти, навантаження), рівень та споживання пального, години роботи, швидкість, технічні параметри;

- *геопросторові дані*: координати GPS/GNSS та маршрут руху;

- *агрономічні дані*: оброблена площа, параметри роботи знаряддя (глибина, норма внесення), дані з датчиків урожайності;

- *діагностична інформація*: коди помилок та попередження.

Для збору та передачі даних використовуються:

- *CANBUS* – внутрішній стандарт зв'язку між електронними блоками машини;

- *ISOBUS* (ISO 11783) – стандартизований протокол для зв'язку трактора та знаряддя, що забезпечує сумісність («plug-and-play») та управління через універсаль-



Рисунок 1 – Загальний вигляд поверхні поля, на якому проводились дослідження

- ний термінал (Virtual Terminal, VT);

- *телематичні блоки/дата-логери* – пристрої для зчитування даних з CAN/ISOBUS та передачі через стільникові мережі (GPRS/LTE) або інші канали на сервер чи хмарну платформу;

- *нативні з'єднання* – вбудовані модулі телеметрії.

Точність позиціонування GNSS має такі рівні точності:

- *низька (метри)*: стандартний GPS (5-10 м), для картографування меж;

- *середня (дециметри, < 1 м)*: для внесення добрив, обприскування; досягається за допомогою систем диференціальної

корекції (безкоштовних (WAAS/EGNOS) або платних (Trimble RTX, JD SF2/SF3) сервісів);

— *висока (сантиметри, < 2.5 см):* для сівби, міжрядного обробітку; досягається за допомогою RTK (Real Time Kinematic); RTK використовує локальну базову станцію для передачі поправок в реальному часі.

На точність GPS впливають: геометрія супутників, видимість супутників/блокування сигналу, атмосферні умови, багатопроменевість, помилки супутників, якість приймача/антени та ПЗ [Thin et al., 2016].

Для отримання контрольних даних використовувався метод суцільного хронометражу. Хронометражист фіксував усі елементи часу роботи та простоїв агрегату, вимірював довжину робочого шляху (L , км) крокоміром, час робочого ходу (T_p , год) секундоміром. Дійсну ширину захвату агрегату визначали вимірюванням ширини обробленої ділянки після щонайменше 15 проходів. Витрату палива (Q , л) визначали за допомогою зовнішнього тарованого вимірювального пристрою (рис. 2), фіксуючи рівень палива до і після роботи.

Основні експлуатаційні показники МТА розраховували за формулами:

— Коефіцієнт використання змінного часу (τ):

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^n T_{pi}}{T_{зм}},$$

де $\sum_{i=1}^n T_{pi}$ — сума часів робочих ходів, заміряних хронометражистом, год.;

$T_{зм}$ — час зміни, год.

— Питомі витрати пального (q , л/га):

$$q = \frac{Q}{S},$$

де Q — витрата палива, заміряна хронометражистом, кг;

S — оброблена площа поля, га.

— Робоча швидкість (v_p , км/год):

$$v_p = \frac{L}{T_p},$$

де L — довжина робочого шляху, виміряна крокоміром, км;



Рисунок 2 – Встановлення пристрою для вимірювання витрат палива на МТА

T_p — час робочого ходу, виміряний на секундомірі, год;

— Продуктивність (W , га/год):

$$W = 0,1 \cdot B \cdot v_p \cdot \tau,$$

де B — ширина с.г. машини, м;

v_p — робоча швидкість;

τ — коефіцієнт використання змінного часу.

Для збору даних використовувалися штатні бортові комп'ютери тракторів: CEBIS (Claas), CommandCenter (John Deere), Vario (Fendt). Огляд функцій БК наведено в таблиці 3. БК забезпечують моніторинг параметрів машини, облік статистичних даних (продуктивність, витрати пального, оброблена площа) з використанням штатних навігаційних систем та датчиків. Дані про продуктивність (га/год) та сумарні витрати пального (л) за період роботи фіксувалися безпосередньо з інтерфейсів БК.

Результати. Випробування МТА проведені в оптимальних агротехнічних умовах. Якість виконання технологічного процесу (оранки) була високою у всіх варіантах. Загальний вигляд роботи агрегатів та агрофон після їх проходження представлено на рисунках 3 і 4 відповідно.

Відхилення фактичної глибини обробітку від заданих значень (30 см і 35 см) становили: плюс-мінус 2 см та плюс-

Таблиця 3 – Огляд технічної інформації БК тракторів з офіційних джерел

CEBIS (CLAAS)	CommandCenter (J. DEERE)	Vario (FENDT)
 1. Сенсорний дисплей високої чіткості Моделі дисплеїв: • CEBIS Mobile • CEBIS Touch	 1. Сенсорний дисплей високої роздільної здатності Типи дисплеїв: • Gen 4 CommandCenter • Gen 3 CommandCenter	 1. Сенсорний дисплей VarioTerminal Моделі дисплеїв: • VarioTerminal 7» • VarioTerminal 10.4»
2. Управління всіма ключовими функціями техніки Контроль двигуна та трансмісії: • Моніторинг витрат, автоматична оптимізація швидкості та потужності пального. Контроль обертів двигуна та трансмісії. Гідравлічна система: • Налаштування потоку масла для гідросистеми. • Управління навісним обладнанням.		
3. Збереження та аналіз даних • Автоматичне водіння по заданому маршруту, аналіз продуктивності за зміну, витрат пального, день або сезон. • Автоматичний збір інформації про виконані роботи, можливість інтеграції з хмарними сервісами (CLAAS TELEMATICS, John Deere Operations, Center FendtONE), обмін інформацією між машинами та агроменеджментом.		
4. Система ISOBUS CEBIS, CommandCenter, VarioTerminal підтримує стандарт ISOBUS, що дозволяє керувати навісним обладнанням різних виробників без необхідності встановлення додаткових терміналів.		



John Deere 8345R



Fendt 936 Vario



Claas Axion 930

Рисунок 3 – Робота орних агрегатів у загінці

мінус 1.2 см для Claas Axion 930; плюс-мінус 3.2 см та плюс-мінус 3.3 см для John Deere 8345R; плюс-мінус 2.4 см та плюс-мінус 1.4 см для Fendt 936 Vario.

Профіль обробітку наведено на рисунку 5.

Результати експлуатаційно-технологічних показників, отримані методом кла-

сичного хронометражу, наведені в таблиці 4. Дані, зафіксовані за допомогою бортових комп'ютерів тракторів, представлені в таблиці 5.

Порівняльний аналіз даних (рисунок 6) виявив наступні відмінності між результатами БК та хронометражу:

- *продуктивність*: БК John Deere по-

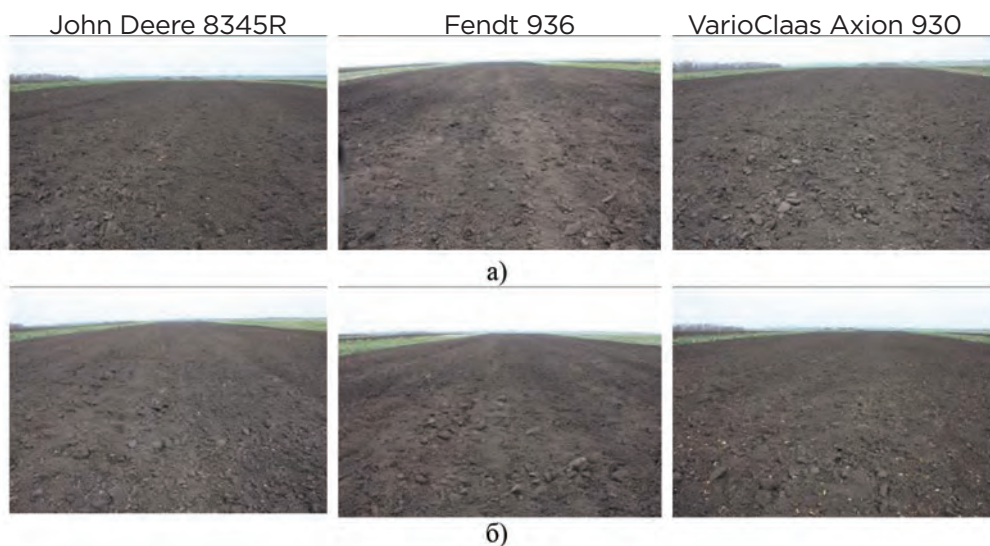


Рисунок 4 – Вид поверхні поля після проходу агрегату з налаштуваннями на глибину:
а) 30 см; б) 35 см

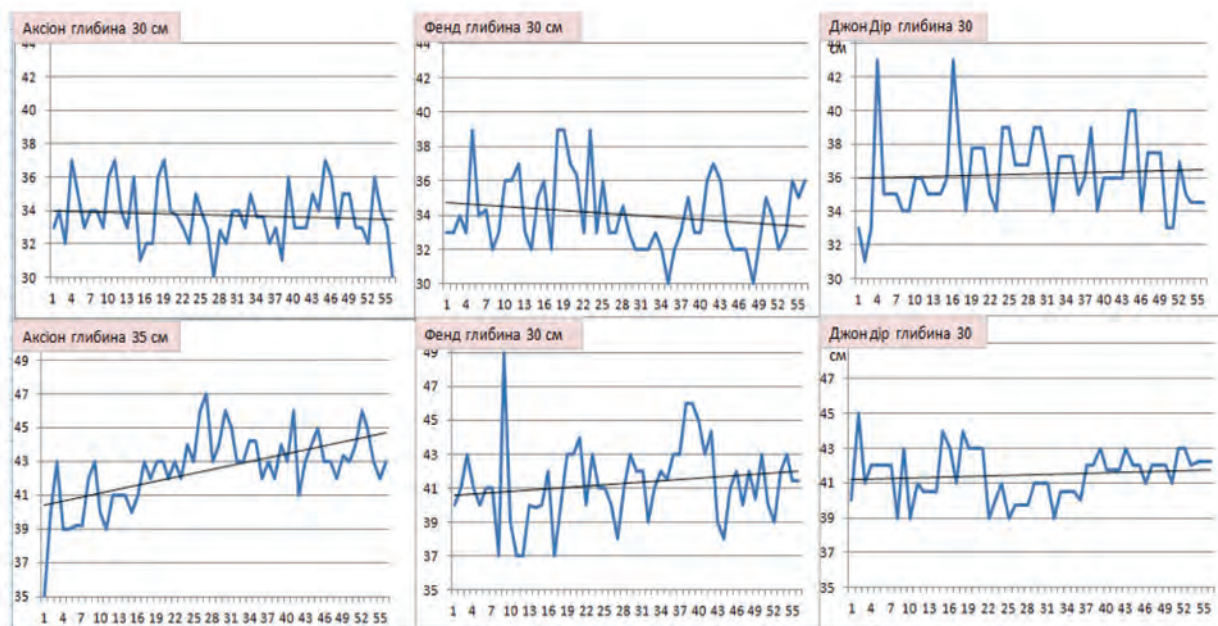


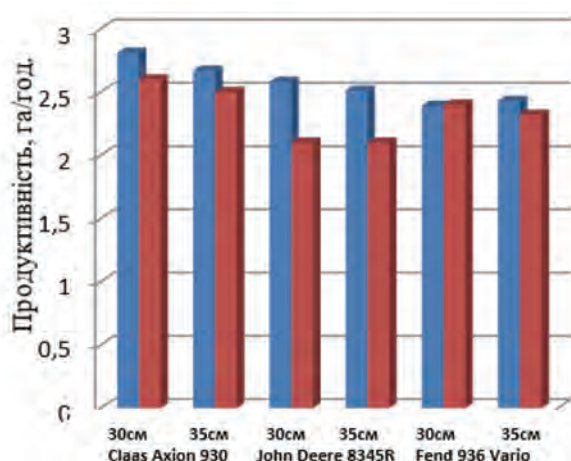
Рисунок 5 – Профіль спущеного шару ґрунту по ширині облікової ділянки (8 проходів)

Таблиця 4 – Експлуатаційно-технологічні характеристики (дані хронометражу)

Трактор	Claas Axion 930		John Deere 8345R		Fend 936 Vario	
С.-г. машина	Плуг Lemken Diamant 11 (8 корпусів)					
Встановлена глибина, см	30	35	30	35	30	35
Продуктивність агрегату за час основної роботи, га/год.	3,46	3,17	3,26	3,07	3,13	3,03
Продуктивність агрегату за 1 год. техно-логічного часу, га/год.	2,81	2,67	2,58	2,51	2,39	2,43
- відхилення продуктивності від серед-нього значення трьох агрегатів (в розрі-зі глибини обробітку), %	5,4	2,6	-0,7	-0,7	-4,7	-1,9
Питомі витрати палива, л/га	17,46		20,55		18,39	
Обліковані фактичні сумарні витрати палива, л	33,46		39,62		34,16	

Таблиця 5 – Експлуатаційно-технологічні характеристики (дані БК тракторів)

Дані з бортових комп'ютерів	CLAAS Axion 930		JOHN DEERE 8345R		FENDT 936 Vario	
Встановлена глибина, см	30	35	30	35	30	35
Продуктивність, га/год.	2,6	2,5	2,1	2,1	2,4	2,32
Витрати пального, л	31,2		39		32,5	
Відхилення від факту, % (л/га)	6,8		1,6		4,9	
Відхилення від факту, % (га/год.)	-7,47	-6,37	-18,60	-16,33	0,42	-4,53



а)



б)

Рисунок 6 – Діаграми продуктивності (а) та витрат пального (б) за даними фактичного хронометражу (синій колір) та БК (червоний колір)

казав найбільше відхилення від хронометражу (в середньому приблизно 17%). БК Fendt був найточнішим (відхилення коливалося в межах 0,4-4,5%). БК Claas показав середнє відхилення $\sim 7\%$. Середнє відхилення по трьох тракторах становило приблизно плюс-мінус 8%.

- *витрати пального*: БК John Deere показав найменше відхилення (приблизно 1,6%). БК Fendt мав відхилення приблизно 4,9%. БК Claas - приблизно 6,8%. Середнє відхилення по трьох тракторах становило приблизно $\pm 4,4\%$.

Обговорення. Результати проведеного дослідження підтверджують наявність неістотних розбіжностей між даними штатних БК та контрольних вимірювань. Проте виявлені середні відхилення ($\pm 8\%$ для продуктивності та $\pm 4,4\%$ для витрат пального) вказують на те, що необроблені дані БК можуть бути недостатньо точними для прецизійних випробувань або фінансового обліку без попереднього калібрування.

Можливі причини відхилень включають:

- *точність розрахунку площі*: БК розраховують площу на основі даних GNSS та заданої ширини знаряддя. Похибки GNSS [Karaim et al., 2018], неточне налаштування ширини знаряддя або неврахування перекриттів можуть призводити до помилок у визначенні продуктивності.

- *точність вимірювання витрат пального*: дані про витрату пального БК отримують з датчиків паливної системи (наприклад витратомірів або розрахунково за часом відкриття форсунок). Ці датчики мають власну похибку і можуть бути чутливими до якості палива, режиму роботи двигуна та інших факторів [Pavlovic et al., 2021].

- *алгоритми БК*: внутрішні алгоритми усереднення, фільтрації та розрахунку, що використовуються різними виробниками БК, можуть відрізнятися, що пояснює різну точність для різних моделей тракторів.

Точність є основою точного землеробства, і дані, отримані з телеметричних

систем та БК, потребують ретельної перевірки. Калібрування — процес налаштування датчиків відповідно до еталонних значень — є необхідним для забезпечення достовірності показників. Принципи калібрування, що успішно застосовуються для моніторів урожайності (перевірка датчиків, використання еталонних вимірювань, калібрування для конкретних умов), є цілком застосовними і для даних БК щодо продуктивності та витрат пального. Наприклад, точність розрахунку площі БК можна валідувати порівнянням з даними, отриманими за допомогою високоточного GNSS-приймача (RTK), а витрати пального — шляхом порівняння з даними зовнішнього повіреного витратоміра або методом контрольних заправок.

Валідація даних у польових умовах, включаючи порівняння з іншими джерелами та польові випробування, допомагає переконатися в надійності інформації перед прийняттям управлінських рішень. Роль незалежних випробувальних установ, таких як УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, є важливою для об'єктивної оцінки точності та надійності телеметричних систем.

Споживання пального є комплексним параметром, що залежить від багатьох факторів: параметрів роботи трактора (швидкість, оберти, навантаження), характеристик знаряддя (тип, ширина, налаштування), умов експлуатації (тип ґрунту, рельєф, пробуксовка) та кваліфікації оператора. Технології точного землеробства можуть впливати на споживання пального неоднозначно [1]. Велика кількість взаємопов'язаних факторів ускладнює оптимізацію, а точність даних БК потребує перевірки.

Стандарт ISOBUS, хоч і є значним кроком до уніфікації, має обмеження за пропускною здатністю (250 кбіт/с) та затримкою передачі даних, що може впливати на точність виконання складних операцій та інтеграцію нових технологій [Sharipov et al., 2023]. Розробка High-Speed ISOBUS на базі Ethernet має на меті подолати ці обмеження.

Висновки. Телеметрія та бортові

комп'ютери є невід'ємною частиною сучасного точного землеробства, надаючи цінні дані для управління МТА та оптимізації виробничих процесів. Проведені дослідження штатних БК тракторів Claas, John Deere та Fendt виявили відхилення у вимірюванні продуктивності (в середньому приблизно $\pm 8\%$) та сумарної витрати пального (в середньому приблизно $\pm 4,4\%$) порівняно з класичним хронометражем.

Результати підкреслюють критичну важливість калібрування та валідації даних, отриманих за допомогою телеметричних систем та БК, перед їх використанням для точних випробувань, наукових досліджень або прийняття відповідальних управлінських та економічних рішень. Некалібровані дані можуть призвести до помилкових висновків.

Для забезпечення високої точності в системах точного землеробства необхідно вибирати технології відповідно до вимог конкретної операції та проводити регулярне калібрування всіх вимірювальних компонентів системи.

Майбутній розвиток точного землеробства пов'язаний з впровадженням високошвидкісних стандартів передачі даних, вдосконаленням аналітики даних та ширшим застосуванням штучного інтелекту, при цьому важливу роль у тестуванні та валідації технологій відіграватимуть незалежні випробувальні установи.

Перелік літератури (References)

1. Backman, J., Linkolehto, R., Koistinen, M., Nikander, J., Ronkainen, A., Kainvosoja, J., ... & Pesonen, L. (2019). Cropin-fra research data collection platform for ISO 11783 compatible and retrofit farm equipment. *Computers and Electronics in Agriculture*, 166, 105008. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105008>
2. Getahun, S., Kefale, H., & Gelaye, Y. (2024). Application of precision agriculture technologies for sustainable crop production and environmental sustainability: A systematic review. *The Scientific World*

- Journal, 2024(1), 2126734. <https://doi.org/10.1155/2024/2126734>
3. Karaim, M., Elsheikh, M., & Noureldin, A. (2018). GNSS error sources. In Multifunctional operation and application of GPS. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.75493>
 4. Ladino, K. S., & Sama, M. P. (2024). A method for evaluating global navigation satellite system position accuracy in small unmanned aircraft systems. *Journal of the ASABE*, 67(2), 385-399. <https://doi.org/10.13031/ja.15890>
 5. Man, Z., Yuhan, J. I., Shichao, L. I., Ruyue, C. A. O., Hongzhen, X. U., & Zhenqian, Z. H. A. N. G. (2020). Research progress of agricultural machinery navigation technology. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery*, 51(4). <https://nyjxxb.net/index.php/journal/article/view/974>
 6. Marcu, I., Drăgulescu, A. M., Florea, C., Bălăceanu, C., Dobrea, M. A., & Suci, G. (2020). Agricultural data fusion for smartagro telemetry system. *Adv. sci. technol. eng. syst J*, 5, 1266-1272. <https://doi.org/10.25046/aj0505152>
 7. Marques, L. S., Ferraz, G. A. E. S., Moreira Neto, J., Magalhães, R. R., de Lima, D. A., Tsuchida, J. E., & Fuzatto, D. C. (2022). Agricultural machinery telemetry: A bibliometric analysis. *AgriEngineering*, 4(4), 939-950. <https://doi.org/10.3390/agriengineering4040060>
 8. Pavlovic, J., Fontaras, G., Broekaert, S., Ciuffo, B., Ktistakis, M. A., & Grigoratos, T. (2021). How accurately can we measure vehicle fuel consumption in real world operation?. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 90, 102666. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2020.102666>
 9. Puška, A., Nedeljković, M., Jbarkočević, Ž., Golubović, Z., Ristić, V., & Stojanović, I. (2022). Evaluation of agricultural machinery using multi-criteria analysis methods. *Sustainability*, 14(14), 8675. <https://doi.org/10.3390/su14148675>
 10. Sharipov, G. M., HeiЯ, A., Bresilla, T., Nieuwenhuizen, A. T., Hemming, J., van Evert, F. K., ... & Paraforos, D. S. (2023). Smart implements by leveraging ISO-BUS: Development and evaluation of field applications. *Smart Agricultural Technology*, 6, 100341. <https://doi.org/10.1016/j.at-ech.2023.100341>
 11. Shrivastava, P., Tewari, V. K., Gupta, C., & Singh, G. (2023). IoT and radio telemetry based wireless engine control and real-time position tracking system for an agricultural tractor. *Discover Internet of Things*, 3(1), 6. <https://doi.org/10.1007/s43926-023-00035-4>
 12. Thin, L. N., Ting, L. Y., Husna, N. A., & Husin, M. H. (2016). GPS systems literature: inaccuracy factors and effective solutions. *International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC)*, 8(2), 123-131. <https://doi.org/10.5121/ijcnc.2016.8211>
 13. Vokoun, T., Masner, J., Vaněk, J., Šimek, P., & Havránek, M. (2021). Evaluation of Frequencies for the IoT Telemetry in Smart Agriculture. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics*, 13(4), 119-126. <https://doi.org/10.7160/aol.2021.130410>

UDC 33.62.001.57

VALIDATION OF TELEMETRY SYSTEM INDICATORS FOR ASSESSING THE OPERATIONAL PARAMETERS OF MOBILE AGGREGATES

Khalin S., PhD in Econ. Sc., Associate Professor,

<https://orcid.org/0000-0002-7510-5056>

Pohorilyy V.,

<https://orcid.org/0000-0002-6867-8120>

Serbiy V., PhD in Techn. Sc., Senior Research Scientist,

<https://orcid.org/0000-0002-1503-4866>

Maidanovych V., PhD in Techn. Sc.,

<https://orcid.org/0009-0007-2972-6461>

L. Pogorilyy UkrNDIPVT

Summary

The purpose of the study is to evaluate the use of data from standard telemetry systems (onboard computers) to determine the operational and technological parameters of machine-tractor aggregates (MTAs), specifically productivity and fuel consumption, as well as to compare the accuracy of this data with results obtained through classical chronometry.

Methods. Field studies were conducted with three tractors – a Claas Axion 930, a John Deere 8345R, and a Fendt 936 Vario – which were aggregated with an 8-furrow reversible plow. The work was performed on deep medium-loam chernozem soil while plowing at a depth of 30 cm and 35 cm. Operational parameters were recorded using two methods: 1) using the standard onboard computers (CEBIS, CommandCenter, Vario); 2) using a control method of continuous chronometry, which included direct time measurements with a stopwatch and determination of fuel consumption using an external calibrated measuring device.

Results. A comparative analysis revealed discrepancies between the data from the onboard computers (OBCs) and the control measurements. Regarding productivity, the average deviation of the OBC data from the chronometry data was approximately $\pm 8\%$. The largest deviation was recorded for the John Deere system (on average $\sim 17\%$), while the Fendt system proved to be the most accurate (with deviations in the range of 0.4-4.5%). Regarding total fuel consumption, the average deviation was smaller, at approximately $\pm 4.4\%$. The John Deere system showed the lowest error (1.6%), while the Claas system had the highest (6.8%). **Conclusions.** Standard telemetry systems are an important tool for monitoring MTAs; however, the data obtained can have significant deviations from actual values. The results highlight the critical need for regular calibration and validation of OBC data before it is used for precise scientific tests, financial accounting, or making critical management decisions. The use of uncalibrated data can lead to erroneous conclusions and a decrease in agricultural production efficiency.

Keywords: telemetry, telematics, precision agriculture, GPS, ISOBUS, on-board computer, calibration, operational and technological indicator, machine-tractor aggregate (MTA).