

ТЕХНОЛОГІЧНА АДАПТАЦІЯ ТРАКТОРІВ ЗАГАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДО ПРИРОДНИХ УМОВ ҐРУНТООБРОБКИ

Лебедєв С., канд. техн. наук,

e-mail: hfukrndipvt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3067-5135>

Коробко А., д-р техн. наук, доц., провідний науковий співробітник,

e-mail: ak82andrey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>

Харківська філія УкрНДІПВТ імені Леоніда Погорілого,

Лебедєв А., д-р техн. наук, проф.,

e-mail: tiaxntusg@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1975-3323>

Шуляк М., д-р, техн. наук, проф.,

e-mail: m.l.shulyak@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7286-6602>

Сумський національний аграрний університет

Анотація

Мета дослідження. Метою статті є дослідження способів технологічної адаптації тракторів загального призначення до різних природних умов ґрунтообробки. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: дослідити зміну тягової потужності трактора залежно від вологості ґрунту, що обробляється; дослідити дію колісних рушіїв трактора на ґрунт; вивчити зміну експлуатаційної потужності трактора залежно від довжини гону.

Методи дослідження. Використовувався метод парціальних прикорень, натурних випробувань, статистичної обробки результатів вимірювань.

Результати дослідження. Установлено, що зі збільшенням вологості ґрунту проти середньобагаторічної (у багаторічному циклі за 1990-2022 рр.) на % питомий опір ґрунтообробного агрегату зростає на 1-2%, а тягова потужність трактора зменшується приблизно на 2%. За зменшення вологості ґрунту проти середньобагаторічної на 1% тягові властивості трактора залишаються незмінними. За результатами аналізу значень показника щільності ґрунту в сліду коліс трактора визначено, що колеса заднього мосту на глибині більш інтенсивно ущільнюють ґрунт, перевищуючи цей показник контрольної ділянки на глибині 10 см на 10%, глибше 50 см – на 7,6 см. При цьому твердість ґрунту зростає у 2,23 і 1,35 рази відповідно. На глибині ґрунту 0-50 см щільність ґрунту в сліду коліс заднього мосту зростає в 0,76 рази, а твердість – у 1,35 рази. Цьому сприяє ефект «галоупування» трактора під час руху на гоні, що є наслідком різних за значенням і нестабільністю вертикальних динамічних навантажень і прискорень мостів трактора. Установлено, що в інтервалах робочих швидкостей і тягових режимів трактора потужність двигуна і маса трактора на одинарних колесах змінюються у 1,93 та 1,35 рази відповідно. Збільшення коефіцієнту пристосованості за крутним моментом від 1,2 до 1,4 зменшує номінальну експлуатаційну потужність двигуна в 1,18 рази на відвальній оранці і в 1,15 рази на безвідвальному глибокому й поверхневому обробітку ґрунту. Наведені дані свідчать про суттєві відмінності оптимальних масоенергетичних параметрів тракторів для найбільш ефективного виконання споріднених операцій кожною групою за певної довжини гону. Зміна класу поля за показником довжини гону збільшує чисельність оптимальних типорозмірів тракторів.

Висновок. Технологічна адаптація трактора оцінюється за ступенем його пристосованості до природних умов ґрунтообробки, до яких віднесені вологість, щільність, твердість і геометричні властивості поверхні ґрунтів, а також довжина гону. Експериментально доведено нестабільність властивостей ґрунту під дією колісних рушіїв і зміни глибини ґрунтообробки. Систематизовано вплив довжини гону і виду ґрунтообробки на експлуатаційні властивості ґрунтообробного агрегату.

Ключові слова: трактор, загальне призначення, технологічна адаптація, природні умови, властивості ґрунтів, довжина гону, ґрунтообробка.

Вступ. Трактори загального призначення застосовуються під час виконання енергоємних агротехнічних процесів основного обробітку ґрунту, за рівнем пристосованості яких до технологічного процесу, що виконується, оцінюється їхня технологічна адаптація. При цьому обґрунтовуються залежності швидкісних режимів руху тракторних агрегатів від продуктивності та економічності.

В основу відомих досліджень і публікацій із питань технологічної адаптації тракторів [Білоконь, 2003; Лебедев, 2021] покладена методика оцінювання їхньої швидкості руху щодо продуктивності й економічності без оцінювання умов експлуатації, що характеризуються природними умовами (стан ґрунту поверхні поля, його рельєф, характеристика рослинних решток, довжина гону тощо). На необхідність врахування цих складових під час технологічної адаптації тракторів звертається увага в роботах [Лебедев, 2007]. Особливу актуальність вирішення цієї проблеми визначає насичення аграрного сектору України потужними тракторами загального призначення здебільшого закордонного виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій щодо впливу змін клімату на агросферу України [NIR, 2019; Майданович, 2021; Агрегаты, 2021; Кліматичні зміни, 2022] свідчить про необхідність вирішення проблеми ресурсозбереження агротехнологій за нестабільності клімату. Для зниження погодних ризиків аграріям України необхідно враховувати світову практику ресурсощадних агротехнологій [Kassam et al, 2019].

Також акцентується увага на необхідності розробки нових способів і засобів енергозбереження у ході технологічної адаптації тракторів у системі точного землеробства [Лебедев та ін., 2022]. Це можливо лише на базі нових показників і критеріїв оцінювання роботи тракторів із використанням методик, що дають змогу з єдиних позицій оцінити ефективність їхньої технологічної адаптації.

Метою статті є дослідження способів

технологічної адаптації тракторів загального призначення за різних природних умов ґрунтообробки.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- дослідити зміну тягової потужності трактора залежно від вологості ґрунту, що обробляється;
- дослідити дію колісних рушіїв трактора на ґрунт;
- дослідити зміну експлуатаційної потужності трактора залежно від довжини гону.

Методи і матеріали. В аграрному секторі України під час вирощування зернових і кормових культур трактори загального призначення використовуються у традиційній (осіння зяблева оранка зворотним плугом, весняна передпосівна обробка ґрунту ґрунтообробними агрегатами, глибока обробка ґрунту на агрофонах після збирання кукурудзи, соняшника й картоплі) і мінімальній (осіння безвідвальна (глибока або поверхнева) обробка ґрунту під зяб, весняна передпосівна обробка) агротехнологіях ґрунтообробки. Мінімальна агротехнологія ґрунтообробки необхідна для боротьби з бур'янами і виконується вона шляхом агротехнічних впливів.

На якість ґрунтообробки тракторними агрегатами впливають щільність і твердість ґрунту, кількість рослинної маси на одиницю поверхні ґрунту. Стан поверхні поля впливає, в основному, на нестабільність експлуатаційних показників тракторного агрегату. Однак рівень такого впливу суттєво залежить від стану ґрунту: на твердому ґрунті він проявляється інтенсивніше, ніж на м'якому. Стан рослинного покриву поля впливає на показники тракторного агрегата, пов'язаних із оцінкою зміни цього стану (знищення бур'янів, збереження стерні, загортання рослинних решток тощо).

Найважливішим нормоутворювальним фактором на всіх роботах, пов'язаних із обробкою ґрунту, особливо на оранці, є питомий опір ґрунтообробних агрегатів. Зокрема нормуються значення питомого

опору й питомих енерговитрат за видами робіт, типами ґрунтів та агрофонами, що відповідають середньобагаторічній (тут і далі — у багаторічному циклі за 1990–2022 рр.) вологості ґрунту в певні періоди сільськогосподарських робіт. При цьому не враховуються можливі відхилення показників вологості ґрунту, що суттєво впливає на питомий опір ґрунтообробних агрегатів і тягові властивості трактора, які можуть сягати 10% (наприклад, під час підйому зябу) (Лебедев, 2021).

Методичною основою дослідження є метод парціальних прискорень, зокрема натурні випробування машино-тракторних агрегатів із подальшою обробкою експериментальних даних [Артемов та ін., 2012; СОУ-П, 2015]. Метод парціальних прискорень на практиці реалізується шляхом вимірювання прискорень трактора (подовжного, поперечного й вертикального), що виникають під час його руху в ході виконання технологічної операції та подальшого математичного оброблення отриманих результатів за відповідними методиками [Артемов та ін., 2012; СОУ-П, 2015]. Вимірювання здійснювалися мобільним реєстраційно-вимірювальним комплексом, що складається з двох акселерометрів та обчислювального комплексу [Подригало та ін., 2010]. Випробування проводилися в Харківській філії УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого за участі фахівців Сумського національного аграрного університету.

Результати. Для оцінки технологічної адаптації тракторів загального призначення за нестабільності вологості ґрунту, що обробляється, та нестабільності тиску на ґрунт коліс трактора проведено випробування агрегата «ХТЗ-17221» + «ГРУ-2,5» (рис. 1) у ході виконання ним технологічного процесу глибокого обробітку ґрунту в одному з районів Харківської області.

Експериментально встановлено, що зі збільшенням вологості ґрунту проти середньобагаторічної на 1% питомий опір агрегата зростає на 1–2%, а тягова потужність трактора зменшується приблизно на 2%. За зменшення вологості ґрунту проти



Рисунок 1 – Виконання технологічного процесу глибокого обробітку ґрунту агрегатом «ХТЗ-17221» + глибокорозпушувач «ГРУ-2,5» (Франк-2,5) під час випробувань

середньобагаторічної на 1% тягові властивості трактора залишаються незмінними.

Визначався також тиск на ґрунт σ_m коліс переднього та заднього мостів, який залежить від вертикального динамічного навантаження $G(t)$, що діє на колеса і змінюється під час руху трактора:

$$\sigma_{m1} = \frac{G_{\kappa1}}{F_{\kappa1}}; \sigma_{m2} = \frac{G_{\kappa2}}{F_{\kappa2}}, \quad (1)$$

де $G_{\kappa1}$, $G_{\kappa2}$ — динамічні навантаження переднього і заднього мостів, кН;

$F_{\kappa1}$, $F_{\kappa2}$ — контурна площа контакту з ґрунтом шини коліс переднього і заднього мостів відповідно, що визначена на жорсткій поверхні, м².

Динамічні навантаження $G_{\kappa1}$ і $G_{\kappa2}$ оцінювалися за вертикальним прискоренням переднього і заднього мостів трактора методом парціальних прискорень із застосуванням вимірювального комплексу на основі акселерометрів [Артемов та ін., 2012].

У таблиці 1 наведено результати оцінювання тиску на ґрунт σ_m коліс переднього і заднього мостів трактора «ХТЗ-17221» у складі з глибокорозпушувачем «ГРУ-2,5» (Франк-2,5) (рис. 1). Зміна зазначеного показника в ході виконання технологічного процесу призводить до зміни щільності (об'ємної маси) й твердості ґрунту. Дія колісних рушіїв на ґрунт визначалася в сліду коліс трактора на ділянці поля між бортами (контрольна ділянка) до проходу глибокорозпушувача. Повторність

Таблиця 1 – Зміна щільності й твердості ґрунту під дією колісних рушіїв трактора «ХТЗ-17221» у складі з глибокорозпушувачем «ГРУ-2,5» у літній період

Глибина, см	Контроль		Щільність за мостами, г/см ³		Твердість за мостами, МПа	
	щільність, г/см ³	твердість, МПа	передній	задній	передній	задній
0-10	1,04	0,76	1,20	1,24	1,50	1,70
10-20	1,16	1,26	1,28	1,30	1,95	2,15
20-30	1,24	1,54	1,32	1,36	2,20	2,44
30-40	1,28	1,80	1,36	1,39	2,48	2,61
40-50	1,31	2,05	1,39	1,41	2,74	2,76

експерименту — трикратна на довжині гону 100 м.

Результати аналізу значень показника щільності ґрунту в сліду коліс трактора свідчать про те, що колеса заднього мосту на глибині більш інтенсивно ущільнюють ґрунт, перевищуючи цей показник контрольної ділянки на глибині 10 см на 10%, глибше 50 см — на 7,6 см. При цьому твердість ґрунту зростає в 2,23 і 1,35 рази відповідно. На глибині ґрунту 0-50 см щільність ґрунту в сліду коліс заднього мосту зростає в 0,76 рази, а твердість — у 1,35 рази. Це зумовлює ущільнення ґрунту підорного горизонту на глибині більше, ніж 0,5 м. Цьому сприяє також ефект «галоупування» трактора під час руху на гоні, що є наслідком різних за значенням і нестабільністю вертикальних динамічних навантажень і прискорень мостів трактора. Можна вважати, що в цьому випадку трактор функціонує як трамбувальник ґрунту.

З метою оцінювання якості виконання технологічного процесу ґрунтообробки агрегатом в складі трактора загального призначення закордонного виробництва у складі з вітчизняним ґрунтообробним агрегатом були проведені випробування агрегату трактор «New Holland T8.390» + агрегат ґрунтообробний «ДЛМ-8» (рис. 2).

Агрегат «ДЛМ-8» призначений для лущення стерні, основного й передпосівного дрібного й середнього обробітку ґрунту під зернові, технічні та кормові культури; він здійснює подрібнення та загортання пожнивних решток попередніх культур і бур'янів і застосовується під час поліп-



Рисунок 2 – Виконання технологічного процесу ґрунтообробки агрегатом трактор «New Holland T8.390» + агрегат ґрунтообробний «ДЛМ-8» у ході випробувань

шення лугів і пасовищ, а також для підготовки ґрунту під посів озимих.

Проведеними випробуваннями встановлено, що агрегат ґрунтообробний у складі «New Holland T8.390» + «ДЛМ-8» забезпечує виконання вимог нормативних документів технологічного процесу ґрунтообробки (табл. 2).

Під час випробувань встановлено таке: реалізація потужності двигуна (250 кВт) під час виконання технологічної операції — 93,84-140,69 кВт; швидкість руху, за якої можливо досягти максимальної тягової потужності, — 6,27 км/год; раціональна швидкість роботи агрегата — 10,32 км/год; необхідна потужність для роботи агрегата з раціональною швидкістю — 168,7 кВт.

Вирішення проблеми зниження рівня дії колісних рушіїв трактора на ґрунт у напрямку забезпечення нормативних значень його щільності й твердості може

Таблиця 2 – Показники якості виконання технологічного процесу ґрунтообробки агрегатом «New Holland T8.390» + «ДЛМ-8»

Показник	Значення показника за даними	
	проекту ТУ	випробувань
Гребенистість поверхні ґрунту, см	3, не більше	3
Якість кришення ґрунту: грудки за фракцією до 25 мм, %	85, не менше	88
Щільність обробленого шару ґрунту, г/см ³	від 1,0 до 1,3	1,25
Знищення бур'янів, %	85, не менше	95
Загортання рослинних решток, %	від 3 до 14	12
Глибина обробітку, см	60, не менше	75
Середньоквадратичне відхилення глибини обробки, см	±2	2

бути досягнуто за рахунок використання у ході роботи тракторного агрегата реєстраційно-вимірювального комплексу на основі акселерометрів [Коробко, 2013], що має функціональну можливість оцінювати максимальні вертикальні прискорення трактора і його мостів у ході виконання технологічного процесу. Коригування швидкісного режиму роботи тракторного агрегата дає змогу виконувати технологічний процес із мінімально допустимими вертикальними динамічним навантаженнями на ґрунт рушіїв трактора.

До природних умов ґрунтообробки відносяться геометричні властивості поверхні ґрунтів, що чинять великий вплив на динамічні й тягові властивості, стійкість і керованість трактора. Поверхню ґрунту можна уявити у вигляді площини з нерівностями різної висоти й форми. Якщо висота й форма нерівностей поверхні ґрунту пропорційні розмірам трактора або перевищують їх, то таку поверхню можна назвати макропрофілем. Наприклад, підйоми, схили, улоговини й пагорби становлять макрорельєф поверхні. За висоти і форми часто повторюваних нерівностей неспівмірно менших розмірів трактора поверхня поля відноситься до мікропрофілю. Наприклад, після оранки навіть виключно рівної ділянки залишаються поздовжні борозни, поперечний профіль яких утворює більш-менш правильну геометричну форму. Аналогічний мікропрофіль формується за міжрядної обробки і збирання просапних культур,

від слідів комбайнів у ході збирання зернових тощо.

Під час виконання тракторним агрегатом технологічного процесу, наприклад оранки, мікропрофіль поля чинить суттєвий вплив на щільність і твердість ґрунту поля, що обробляється. При цьому необхідно виконати апроксимацію величин нерівностей шляху, що полягає у визначенні щільностей розподілу довжини і висоти нерівностей і відстані між їхніми вершинами. За відомих даних мікропрофілю на одному агрофоні, використовуючи поняття відносної шкідливості фону, визначаються дані іншого фону. При цьому розраховується, за певної швидкості агрегату, відношення середнього квадратичного вертикального прискорення будь-якого агрофону до прискорення для агрофону, прийнятого за основний. Це відношення практично залишається постійним за різних швидкостей руху тракторного агрегата. При цьому середнє значення зазначеного відношення є показником відносної шкідливості агрофону P_n (табл. 3).

Основним агрофоном прийнято стерню озимої пшениці в поперечному напрямку відносно ділянки збирання. Для вказаного агрофону $P_n=1$.

Найкращий агрофон – виконаний тракторним агрегатом у ході його руху стернею озимої пшениці вздовж напрямку збирання, найгірший агрофон – дворічний поклад.

Технологічна адаптація тракторів загального призначення до природних умов

Таблиця 3 – Показники відносної шкідливості агрофону P_n

Агрофон	P_n
Стерня озимої пшениці (рух упоперек напрямку збирання)	1,0
Стерня озимої пшениці (рух уздовж напрямку збирання)	0,6
Зораний луг	0,9
Дворічний поклад	1,6
Стерня кукурудзи після збирання на силос (рух уздовж напрямку збирання)	0,8
Парове поле	1,2

грунтообробки передбачає підвищення їхньої пристосованості до різної довжини гону й технологічних процесів, що виконуються.

Вплив довжини гону й виду обробки ґрунту на експлуатаційну потужність N_{ee} і масу m_e трактора визначається величиною чистої продуктивності W_i^* , характеристиками питомого опору агрегату K_o і $\mu_k = 1 + \Delta K V_n^2 - V_o^2$, номінальною робочою швидкістю V_n^* , показниками номінального тягового режиму $\eta_{тн}$ і $\varphi_{крп}$, значеннями коефіцієнту використання потужності двигуна ξ_N і зчіпної ваги трактора $\varphi_{кр}$ [Лебедев, 2007]:

$$N_{eeji} = W_i^* K_{oi} \mu_{ki} \eta_{тнj} \xi_{Nj}; \quad (2)$$

$$m_{eji} = W_i^* K_{oi} \mu_{ki} V_{ni}^* \varphi_{крпj} q. \quad (3)$$

Технологічна адаптація трактора оцінюється за параметром експлуатаційної потужності двигуна N_{ee} за його різно пристосованості за крутним моментом K_m у діапазоні робочих швидкостей від V_{opt}^* і до V_{max}^* на довжині гону $l_g = 600 \div 1000$ м, найбільш характерному для аграрного сектору України (табл. 4).

Значення номінальної експлуатаційної потужності отримані з урахуванням зміни коефіцієнту використання потужності двигуна ξ_N за різної пристосованості двигуна за крутним моментом $K_{m1} - 1,2$ і $K_{m2} - 1,4$. Значення K_{m2} характерні для тракторів закордонного виробництва, які ефективно застосовуються в аграрному секторі України: запас крутного моменту двигуна тракторів «John Deere 8335R» – 41,4 %, «Case IH Magnum 340» – 45,7 %, «New Holland T8.390» – 41,9 %.

Мінімальні $m_{e\ min}$ і максимальні $m_{e\ max}$ значення експлуатаційної маси відповідають коефіцієнтам використання зчіпної ваги $\varphi_{кр}$ і $\varphi_{кр\ opt}$.

Найменші значення N_{ee} і m_e характерні для відвальної оранки й глибокого рихлення за $V_{opt\ 1}^* = 1,8$ м/с. Найвища потужність двигуна потрібна для поверхневого

Таблиця 4 – Середні параметри колісних тракторів для групи споріднених операцій основного обробітку ґрунту на довжині гону $l_g = 600 \div 1000$ м

Група споріднених операцій	V_{opt}^*, V_{max}^* м/с	K_m	4к46, (4к4а.)	
			N_{ee} , кВт	m_e , т
1-а група Оранка відвальна і глибоке рихлення $K_o = 13,65$ кНм $\Delta K = 0,15$ с ² м ²	1,8	1,2	157,8	11,9-13,2
		1,4	133,3	
	2,1	1,2	181,4	11,8-13,0
		1,4	153,1	
2-а група Безвідвальна комбінована обробка і суцільна культивування $K_o = 4,8$ кНм $\Delta K = 0,10$ с ² м ²	2,1	1,2	196,6	14,0-15,5
		1,4	171,3	
	2,8	1,2	254,8	13,3-14,8
		1,4	221,1	
3-а група Поверхнева обробка і сівба $K_o = 3,9$ кНм $\Delta K = 0,06$ с ² м ²	2,8	1,2	231,2	12,1-13,4
		1,4	201,6	
	3,8	1,2	303,7	11,5-12,8
		1,4	264,8	

обробітку ґрунту і сівби за нульовою технологією на швидкості $V_{max3}^* = 3,8$ м/с, а максимальна маса трактора для суцільної культивування на швидкості $V_{max2}^* = 2,8$ м/с. Підвищення робочої швидкості від V_{opt}^* до V_{max}^* призводить до випереджального росту потужності двигуна, обумовленого збільшенням m_e і зниженням тягового коефіцієнту корисної дії η_t . В інтервалах робочих швидкостей і тягових режимів, що розглядаються, потужність двигуна і маса трактора на одинарних колесах змінюються в 1,93 та 1,35 рази. Збільшення коефіцієнту пристосованості K_m від 1,2 до 1,4 зменшує номінальну експлуатаційну потужність двигуна в 1,18 рази на відвальній оранці і в 1,15 рази на безвідвальному глибокому й поверхневому обробітку ґрунту.

Наведені дані свідчать про суттєві відмінності оптимальних масо-енергетичних параметрів тракторів для найбільш ефективного виконання споріднених операцій кожною групою за певної довжини гону.

Зміна класу довжини гону збільшує чисельність оптимальних типорозмірів тракторів.

З урахуванням перспективності технології основного обробітку ґрунту при баластуванні трактора масою m_b оптимальні значення $m_e + m_b$, N_{ee} , n_n , K_m для операцій другої групи можна прийняти за базові для всіх типів тракторів. При баластуванні трактора $m_{bmax} = (0,75 - 0,98)m_e$ з двигуном постійної потужності при $n_n = 2100$ хв⁻¹, інтервал робочих швидкостей 2,1-2,8 м/с забезпечується трьома передачами основного діапазону (I, II, III) за $q = 1,15$.

При відборі потужності через вал відбору потужності і виконанні операцій третьої групи двигун постійної потужності переводиться в режим «Boost» шляхом однократного або ступінчастого підвищення його потужності на 11–16%.

Обговорення. Дослідження, викладені у цій роботі, мають значне теоретичне підґрунтя [Артемов та ін., 2012; Лебедєв та ін., 2018]. У роботах дослідників інших наукових шкіл висвітлено результати оцінки впливу типу системи приводу

трактора на ущільнення ґрунту за допомогою різних методів, що є вхідними даними для адаптації тракторів залежно від ряду факторів [Timene et al, 2021; Moifar et al 2022; Shahgholi, et al, 2023]. Дослідження проводилися за схожою із представленою авторами цієї статті методикою. Проведено серію експериментів, у ході яких досліджувався вплив систем приводу трактора на різних швидкостях руху, вологість ґрунту, кількість проходів і структура ґрунту на різній глибині. На відміну від авторської методики в означених роботах не здійснювалося вимірювання вертикальних прискорень, що виникають під час руху трактора, що, у свою чергу, дещо ускладнило модель експериментальних досліджень. Також алгоритм, запропонований у статті, може використовуватися у ході дослідження витрат палива трактором за різних деформацій ґрунту та шин [Damanauskas et al, 2017], що спростить методику і дасть інформаційний пул для адаптації трактора залежно від означених факторів.

Також слід акцентувати увагу на роботах, які стосуються технологічної адаптації в точному землеробстві [Patel, 2018; Agricultural ..., 2019; Nugroho et al, 2019; Bayer, 2022; Ivaniuta et al, 2023]. Ці дослідження спрямовані на синтез систем адаптивного керування обробітком ґрунту шляхом створення комплексної технологічної системи. Доцільно було б у такій системі враховувати вплив дії колісних рушіїв на ґрунт за методикою, запропонованою у цій статті.

Окрім цього, серед відомих напрямків щодо адаптації тракторів до умов використання можна також виділити роботи з дослідження експлуатаційних характеристик тракторів [Tihanov & Hristova, 2021; Janulevičius, 2019]. Зокрема в роботі [Tihanov & Hristova, 2021] розглянуто експлуатаційні показники машинно-тракторного агрегату у ході прямої сівби ячменю на полях із різною довжиною гону. Результати, отримані в цьому дослідженні (на меншому гоні продуктивність на 20% нижча, а витрати пального на 7,2%

більші), опосередковано підтверджують доцільність продовження досліджень пристосованості трактора до умов виконання технологічного процесу. Аналогічні результати отримані і в роботі [Janulevičius, 2019].

Висновки. Технологічна адаптація трактора оцінюється за рівнем його пристосованості до природних умов ґрунтообробки, до яких відноситься вологість, щільність, твердість і геометричні властивості поверхні ґрунтів, а також довжина гону. Експериментально доведено нестабільність властивостей ґрунту під дією колісних рушіїв і зміни глибини ґрунтообробки. Систематизовано вплив довжини гону й виду ґрунтообробки на експлуатаційні властивості ґрунтообробного агрегата.

Перелік літератури

- Агрегаты KUHN: технологическая адаптация аграриев к изменениям климата. (2021). AgroPortal: веб-сайт. URL: <https://goo.su/tqvJ3D>. (дата звернення: 22.05.2023).
- Артемов, Н. П., Лебедев, А. Т., Подригало, М. А. и др. (2012). Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / Под ред. Подригало М.А. Харьков: Міськдрук. 219 с.
- Білоконь, Я. Ю., Окоча, А. І., & Войцехівський, С. О. (2003). Трактори та автомобілі: підручник. К.: Вища освіта, 560 с.
- Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти: збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції, 15 листопада 2022 р. Науково-методичний центр ВФПО. Київ, 2022. 170 с.
- Коробко, А. І. (2013). Удосконалення методів та метрологічного забезпечення проведення динамічних випробувань автомобілів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.01.02 «Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення». Харків, 20 с.
- Лебедев, А. Т. (2007). Наука про трактори: проблеми та рішення. Тракторна енергетика в рослинництві. 60. 5-15.
- Лебедев, А. & Лебедев, С. (2021). Технологічна адаптація тракторів загального призначення. Техніка і технології АПК. 4 (121). 19-21.
- Лебедев, А. Т., Лебедев, С. А., Коробко, А. І. (2018). Кваліметрія та метрологічне забезпечення випробувань тракторів / Під ред. А.Т. Лебедева. Харків : Вид-во «Міськдрук». 394 с.
- Лебедев, А. Т., Шуляк, М. Л., & Рапунта, В. В. (2022). Енергозбереження тракторів в умовах адаптації до систем точного землеробства : Автомобільний транспорт в аграрному секторі: проектування, дизайн та технологічна експлуатація : Міжнародна науково-практична конференція: матеріали: 1-2 грудня 2022 р. Х. : ДБТУ. С. 179.
- Майданович, Н. (2021). Агросфера України в умовах кліматичних змін. Техніка і технології АПК. 1 (118). 25-29.
- Подригало, М., Коробко, А., Клец Д., Назарько, О., & Гацько, В. (2010). Підвищення точності вимірювання параметрів руху автомобіля у процесі динамічних випробувань. Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал. 3. 49-52.
- СОУ-П УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого 71.2-37-046043090-017:2015. Сільськогосподарська техніка. Визначення тягових показників тракторів. Метод парціальних прискорень. Дослідницьке : УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2015. III, 9 с. (Стандарт організації України).
- Agricultural manufacturers rely on technology to adapt to precision farming (2019). Hexagon: веб-сайт. URL : <https://goo.su/M2FxiBd>. (дата звернення: 22.05.2023).
- Bayer, M. (2022). Wie Traktoren sehen lernen. Computerwoche Voice of Digital: веб-сайт. URL : <https://goo.su/igrSSpi>. (дата звернення: 22.05.2023).
- Damanauskas, V., Velykis, A., & Satkus, A. (2017). Dependence of fuel consumption of medium power tractor on different soil and tire deformations. Engineering for Rural Development; Latvia University of Agriculture: Jelgava, Latvia, 16, 515-520. DOI: 10.22616/ERDev2017.16.N102.
- Ivaniuta, M., Kravchuk, V. & Ramus,

M. (2023). Forecast for the Adaptive Tillage System. *International Journal of Life Science and Agriculture Research*. Vol. 02. Is. 07. July. 193-199. DOI: 10.55677/ijlsar/V02I07Y2023-06.

Janulevičius, A. (2019). Estimation of farm tractor performance as a function of time efficiency during ploughing in fields of different sizes. *Biosystems Engineering*. 179, Marc. 80-93 DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2019.01.004

Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R. (2019). Global spread of Conservation Agriculture. *International Journal of Environmental Studies*, Volume 76, Issue 1. P. 29-51. DOI: 10.1080/00207233.2018.1494927.

Moinfar, A., Shahgholi, G., Gilandeh, Y. A., Kaveh, M., & Szymanek, M. (2022). Investigating the effect of the tractor driving system type on soil compaction using different methods of ANN, ANFIS and step wise regression. *Soil and Tillage Research*, 222, 105444. DOI: 10.1016/j.still.2022.105444.

NIR: National Inventory Report (2019). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://unfccc.int/documents/195605>

Nugroho, A. P., Sutiarso, L. & Okayasu, T. (2019). Appropriate adaptation of precision agriculture technology in open field cultivation in tropics. *Earth and Environmental Science : The 3rd International Symposium on Agricultural and Biosystem Engineering*, 6-8 August 2019, South Sulawesi, Indonesia. 355 012028. DOI: 10.1088/1755-1315/355/1/012028/

Patel, S. (2018). The Adoption of New Technology in Farming and Precision Agriculture. *Challenge Advisory*: веб-сайт. URL : <https://goo.su/tmFzA>. (дата звернення: 22.05.2023).

Shahgholi, G., Moinfar, A., Khoramifar, A., Maciej, S., & Szymanek, M. (2023). Investigating the Effect of Tractor's Tire Parameters on Soil Compaction Using Statistical and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Methods. *Agriculture*, 13(2), 259. DOI: 10.3390/agriculture13020259.

Tihanov, G. & Hristova, G. (2021). Operational characteristics of a machine-tractor unit for direct sowing of barley using the JD

LINK telematics system. *Agricultural Science and Technology*. 13. 276-279. doi: 10.15547/ast.2021.03.044.

Timene, A., Ngasop, N., & Djalo, H. (2021). Tractor-Implement Tillage Depth Control Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). *Proceedings of Engineering and Technology Innovation*, 19, 53. DOI: 10.46604/peti.2021.7522.

References

Agricultural manufacturers rely on technology to adapt to precision farming (2019). Hexagon: URL: <https://goo.su/M2FxIBd>. (Access date: 22.05.2023).

Artemov, N. P. (2012). The method of partial accelerations and its applications in the dynamics of mobile machines / Artemov N.P., Lebedev A.T., Podrigalo M.A. and others. Ed. Podrigalo M.A. Kharkov: Miskdruk. 219 p.

Bayer, M. (2022). Wie Traktoren sehen lernen. *Computerwoche Voice of Digital*: веб-сайт. URL: <https://goo.su/igrSSpi>. (Access date: 22.05.2023).

Bilokon, Y. Yu., Okocha, A. I., Voitsekhivskiy, S. O. (2003). *Tractors and cars: a textbook*. K.: Higher education, 560 p.

Climate change and agriculture. Challenges for agricultural science and education: collection of materials of the 5th International Scientific and Practical Conference, November 15, 2022, Scientific and Methodological Center of VFPO. Kyiv. 170 p.

Damanauskas, V., Velykis, A., & Satkus, A. (2017). Dependence of fuel consumption of medium power tractor on different soil and tire deformations. *Engineering for Rural Development*; Latvia University of Agriculture: Jelgava, Latvia, 16, 515-520. DOI: 10.22616/ERDev2017.16.N102.

Ivaniuta, M., Kravchuk, V. & Ramus, M. (2023). Forecast for the Adaptive Tillage System. *International Journal of Life Science and Agriculture Research*. Vol. 02. Is. 07. July. 193-199. DOI: 10.55677/ijlsar/V02I07Y2023-06.

Janulevičius, A. (2019). Estimation of farm tractor performance as a function of

time efficiency during ploughing in fields of different sizes. *Biosystems Engineering*. 179, Marc. 80-93 DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2019.01.004

Kassam, A., Friedrich, T., Derpsch, R. (2019). Global spread of Conservation Agriculture. *International Journal of Environmental Studies*, Volume 76, Issue 1. P. 29-51. DOI: 10.1080/00207233.2018.1494927.

Korobko, A. (2013). Improve methods and metrological support of dynamic testing vehicles: abstract dis. for competition of the academic degree of candidate of engineering sciences: specialty 05.01.02 «Standardization, certification, metrological support». Kharkiv, 20 p.

KUHN units: technological adaptation of farmers to climate change. (2021). Agro-Portal: website. URL: <https://goo.su/tqvJ3D>. (Access date: 05/22/2023).

Lebedev, A. T., Lebedev, S. A., & Korobko, A. I. (2018). Qualimetry and metrological support of tractor tests. Kharkiv: "Miskdruk". 394 p.

Lebedev, A. T., Shulyak, M. L., & Raputa, V. V. (2022). Energy saving of tractors in conditions of adaptation to precision farming systems: Motor transport in the agricultural sector: planning, design and technological operation: International scientific and practical conference: materials: December 1-2, 2022. Kh.: DBTU. P. 179.

Lebedev, A., Lebedev, S. (2021). Technological adaptation of general purpose tractors. machinery and technologies of agriculture. No. 4 (121). P. 17-21.

Lebedev, A.T. (2007). Tractor Science: Problems and Solutions. Tractor energy in crop production. 60. P. 5-15.

Maidanovych, N. (2021). The agrosphere of Ukraine under conditions of climate change. *Agricultural machinery and technologies*. 1 (118). P. 25–29.

Moinfar, A., Shahgholi, G., Gilandeh, Y. A., Kaveh, M., & Szymanek, M. (2022). Investigating the effect of the tractor driving system type on soil compaction using different methods of ANN, ANFIS and step wise regression. *Soil and Tillage Research*, 222, 105444. DOI: 10.1016/j.still.2022.105444.

NIR: National Inventory Report. (2019). URL: <https://unfccc.int/documents/195605>

Nugroho, A. P., Sutiarso, L. & Okayasu, T. (2019). Appropriate adaptation of precision agriculture technology in open field cultivation in tropics. *Earth and Environmental Science : The 3rd International Symposium on Agricultural and Biosystem Engineering*, 6-8 August 2019, South Sulawesi, Indonesia. 355 012028. DOI: 10.1088/1755-1315/355/1/012028/

Patel, S. (2018). The Adoption of New Technology in Farming and Precision Agriculture. Challenge Advisory: веб-сайт. URL : <https://goo.su/tmFzA>. (Access date: 22.05.2023).

Podrigalo, M., Korobko, A., Klets, D., Nazarko, O., & Hatsko, V. (2010). Measurement assurance of motor dynamic test. *Metrology and instruments. Scientific and production journal*. 3. 49-52.

Shahgholi, G., Moinfar, A., Khoramifar, A., Maciej, S., & Szymanek, M. (2023). Investigating the Effect of Tractor's Tire Parameters on Soil Compaction Using Statistical and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) Methods. *Agriculture*, 13(2), 259. DOI: 10.3390/agriculture13020259.

SOU-P Leonid Pogorilyy UkrNDIPVT 71.2-37-046043090-017:2015. Agricultural machinery. Determination of traction parameters of tractors. Method of partial accelerations. Doslidnytske: Leonid Pogorilyi UkrNDIPVT, 2015. III, 9 c. (Standard of organization of Ukraine).

Tihanov. G. & Hristova, G. (2021). Operational characteristics of a machine-tractor unit for direct sowing of barley using the JD LINK telematics system. *Agricultural Science and Technology*. 13. 276-279. doi: 10.15547/ast.2021.03.044.

Timene, A., Ngasop, N., & Djalo, H. (2021). Tractor-Implement Tillage Depth Control Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS). *Proceedings of Engineering and Technology Innovation*, 19, 53. DOI: 10.46604/peti.2021.7522.

UDC 631.27

TECHNOLOGICAL ADAPTATION OF THE GENERAL-PURPOSE TRACTORS TO THE NATURAL CONDITIONS OF SOIL TILLAGE

Lebedev S., Ph. D,

e-mail: hfukrndipvt@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3067-5135>

Korobko A., Dr. of Eng. Sc., Ass. Prof., Leading Researcher,

e-mail: ak82andrey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6618-7790>

Kharkiv branch of L. Pogorilyy UkrNDIPVT

Lebedev A., Dr. of Eng. Sc., Prof.,

e-mail: tiaxntusg@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1975-3323>

Shulyak M., Dr. of Eng. Sc., Prof.,

e-mail: m.l.shulyak@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7286-6602>

Sumy National Agrarian University

Summary

Purpose of the study. The purpose of the article is to research methods of technological adaptation of general-purpose tractors under different natural tillage conditions. In order to achieve the set goal, the following tasks must be solved: the change in traction power of the tractor depending on the humidity of the soil being cultivated was investigated; the effect of tractor wheel drives on the soil was studied; the change of the operational power of the tractor depending on the length of the run was investigated.

Research methods. The method of partial tests, field tests, and statistical processing of measurement results was used.

The results of the study. It was established that with a 1% increase in soil moisture against the long-term average, the specific resistance of the tillage unit increases by 1-2 %, and the traction power of the tractor decreases by approximately 2%. With a 1% decrease in soil moisture compared to the long-term average, the traction properties of the tractor remain unchanged. According to the results of the analysis of the values of the soil density indicator in the track of the tractor wheels, it is shown that the wheels of the rear axle compact the soil more intensively at depth, exceeding this indicator of the control section at a depth of 10 cm by 10%, and at a depth of 50 cm – by 7,6 cm. thus, soil hardness increases by 2,23 and 1,35 times, respectively. At a soil depth of 0-50 cm, the density of the soil in the track of the wheels of the rear axle increases by 0,76 times, and the hardness by 1,35 times. This is facilitated by the "galloping" effect of the tractor during the race, which is a consequence of the vertical dynamic loads and accelerations of the tractor axles, which differ in value and instability. It was established that in the intervals of working speeds and traction modes of the tractor, engine power and weight of the tractor on single wheels change by 1,93 and 1,35 times, respectively. An increase in the torque adaptability factor from 1.2 to 1.4 reduces the engine's nominal operating power by 1,18 times on plowing and 1,15 times on plowless deep and surface tillage. The given data indicate significant differences in the optimal mass-energy parameters of tractors for each group's most effective performance of related operations for a certain length of the run. Changing the drive length class increases the number of optimal tractor sizes.

Conclusion. The technological adaptation of the tractor is evaluated by its adaptability to the natural conditions of tillage, which include moisture, density, hardness, and geometric properties of the soil surface, as well as the length of the furrow. The instability of soil properties under the influence of wheel drives and changes in tillage depth has been experimentally proven. The influence of the furrow length and the type of tillage on the operational properties of the tillage unit is systematized.

Keywords: tractor, general purpose, technological adaptation, natural conditions, soil properties, furrow length, soil treatment.