

МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ ЯК ЕЛЕМЕНТУ АГРОЛОГІСТИКИ У СИСТЕМАХ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Анікєєв Олександр Іванович

кандидат технічних наук, доцент
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0002-5495-6871
anikeev55@ukr.net

Сировицький Кирило Геннадійович

старший викладач
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0003-0250-8994
gaver89@ukr.net

Артёмов Микола Прокопович

доктор технічних наук, професор
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0002-2947-2664
artiomovprof@ukr.net

Циганенко Михайло Олександрович

кандидат технічних наук, доцент
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0003-3976-6591
cmixail@ukr.net

Панкова Оксана Володимирівна

кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0003-2866-1858
pankova_oksana@ukr.net

Ільїна Наталія Олександрівна

старший викладач
Державний біотехнологічний університет, м. Харків, Україна
ORCID: 0000-0002-2056-1302
ilinaana1984@gmail.com

Вольвач Тетяна Сергіївна

асистент
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна
ORCID: 0000-0002-8890-6901
tashavolvach@ukr.net

На сучасному етапі розвитку науки і техніки актуальним є застосування якісно нових методів керування механічними пристроями в технологічних процесах у рослинництві.

Вченими вирішено науково-технічну проблему, що має значення для підвищення ефективності використання машин у складі комплексів при виробництві продукції рослинництва. Розроблена система критеріїв оцінки комплексів машин, які охоплюють витрати ресурсів під час виконання технологічного процесу, реалізацію біологічного потенціалу рослин та показники впливу функціонування сільськогосподарської техніки на довкілля. За результатами імітаційного моделювання функціонування машинних агрегатів визначаються статистичні характеристики зазначених критеріїв.

Аналізуючи розподіл діючих сільськогосподарських підприємств вищого рівня за розміром більше 10000 га угідь за останні 20 років, тенденція значного збільшення кількості господарств вищого рівня була у період до 2013 року, після чого був незначний спад, але їхня кількість змінилася незначно.

Таким якісно новим методом можна вважати логістику технологічних процесів рослинництва окремо за операціями, з можливістю врахування багатьох критеріїв, які можуть вплинути на кінцевий результат на підприємствах вищого рівня.

Метою статті є досягнення раціональності технологічного процесу, суть якого полягає в тому, щоб врахувати можливі прості агрегати і водночас не допустити перевищення продуктивності однієї з ланок, які виконують роботу в порядку, щоб уникнути простої або перевантаження решти ланок цілісної системи. Тобто використовується принцип потоковості виконання заданого технологічного процесу в задані часові рамки.

Авторами розроблено методику моделювання технологічних процесів вирощування сільськогосподарських культур на прикладі внесення основної дози мінеральних добрив з одночасним їх внесенням у ґрунт.

Оскільки дане питання потребує комплексного та багатофакторного підходу, то розроблена методика вирішення дає можливість розрахувати ККД агрегатів у «експресному» режимі з максимально близьким урахуванням регламентованих простоїв агрегатів, поломок та метеорологічних умов, до умов виробництва.

Розроблений алгоритм дозволяє вводити умови для розрахунків і отримувати додаткові дані, такі як витрата палива на кожну одиницю, трудовитрати, енерговитрати, витрати коштів на виконання робіт, що дасть можливість своєчасно обґрунтовано керувати та ухвалювати інженерні рішення щодо використання машинно-тракторного парку, полегшити роботу відділу матеріально-технічного забезпечення.

Ключові слова: моделювання, системи точного землеробства, мінеральні добрива, ефективність, експлуатація, агрологістика.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.3.1>

Вступ. На сучасному розвитку науки і техніки актуальним є впровадження якісно нових методів управління, що забезпечують механізацію технологічних процесів рослинництва. Таким чином, якісно новий метод дозволяє розглядати логістику технологічних процесів рослинництва окремо за польовими операціями, з урахуванням застосування, що може призвести до кінцевого результату.

У сучасному сільському господарстві ринкова трансформація національної економіки зумовлює необхідність інтенсифікації агропромислового виробництва за рахунок сталого розвитку та повного використання інструментарію логістичної науки.

Мета роботи. Метою статті є досягнення раціональності процесу, суть якого полягає в тому, щоб врахувати можливі прості агрегати і при цьому не допустити перевищення продуктивності однієї з ланок, що виконують роботу, щоб уникнути простої або перевантаження інших ланок цілісної системи, тобто принципу поточності виконання заданого технологічного процесу у встановлений термін.

Основна частина. Теоретичні та методичні засади обґрунтованої агрологістики розглядалися у роботах багатьох учених. У своїх роботах О.М. Сумець обґрунтував проблеми розробки концепції логістичної діяльності підприємств аграрного сектору економіки, розкрив позитивні ефекти від реалізації економічної політики для виробників агропродукції та торкнувся питань концептуального підходу до організації логістичної діяльності на підприємствах з виробництва та переробки сільськогосподарської продукції, а також актуальність впровадження логістики у господарську діяльність підприємств АПК (Sumets, 2014; Sumets 2013). В. Нелеп присвятив свої дослідження оцінці експортних можливостей агропродовольчого комплексу України (Neler, 2011). М. Присяжнюк, П. Саблук та М. Кропивко обґрунтовують необхідність та визначають напрями поглиблення аграрної реформи (Prysiazhniuk et al., 2011). Є.В. Шубравська, Н.А. Рінденко та Є. Прокопенко визначають перспективи модернізації аграрного сектору України (Shubravska et al., 2012; Shubravska et al., 2013, Aleksiiiev et al., 2017).

Авторами було розроблено методику моделювання технологічних процесів рослинництва, застосування

якої дає можливість управлінської участі відділу логістики аграрної компанії при моделюванні заданого технологічного процесу, наближеного до реальних умов. В основу методики покладено застосування блочно-варіантних систем для господарств різних технологічних рівнів. Сучасні технології процесів вирощування сільськогосподарських культур, такі як технологія спільного посіву (Kovtun Yu. I. et al., 2020; Melnyk V. et al., 2021), дуже залежать від своєчасності та поточності виконання операцій.

Результати дозволили встановити сучасний стан технологій та технологічних процесів, у тому числі – внесення основної дози мінеральних добрив за перевалочною технологією з одночасним закладенням їх у ґрунт (Melnyk V. et al., 2015; Melnyk V.I. et al., 2020; Markowska K. et al., 2023).

Так як поставлене питання вимагає багатогранного та багатофакторного підходу авторами була розроблена методика рішення на базі MS Excel, яка дає можливість розраховувати продуктивність агрегатів у режимі «експрес», враховуючи регламентовані прості агрегатів, поломки та метеорологічні умови максимально наближено до виробничих умов.

Авторами розроблено алгоритм вирішення цього питання в наступній послідовності. До програми заносяться марки тракторів та сільгоспмашин, що комплектуються в агрегат, призначений для виконання цього технологічного процесу. База даних методики має як марки техніки, а й технічні характеристики, з допомогою яких вирішуватиметься поставлене завдання.

У таблицю (рис. 1) заносяться терміни виконання роботи, сумарна площа полів, інтервали робочих швидкостей, коефіцієнт використання часу зміни, що відповідають операції (Melnyk V. et al., 2015; Melnyk V.I. et al., 2020; Artiomiiov N. et al., 2022; Zubko V.M. et al., 2024), і норму внесення добрив. Вона задається відділом агрономії, залежно від того, яку кількість добрив необхідно внести в ґрунт для отримання запланованого врожаю.

Вибір марок тракторів для виконання технологічної операції виробляємо з-поміж можливих у базі даних, які заносяться в програму з їх технічними характеристиками автоматично.

Завдання по блоку основної підготовки поля на виконання технологічного процесу внесення основної дози мінеральних добрив і заробки їх в ґрунт важкими дисковими боронами.						
Умови роботи:						
1. Зона:	Степ					
2. На полі виконано:	лушення ґрунту після збирання ранніх зернових культур.					
2.1. Дати виконання:	20.07...02.08					
3. Підготувати поле для посіву озимих культур на площі, га:	1464					
4. Строки виконання роботи:	03.08...16.08					
5. Інтервал допустимих робочих швидкостей, км/год.:						
Внесення мінеральних добрив	10					
Важкі дискові борони	10					
Транспортування	60					
6. Коефіцієнт використання часу зміни:						
Внесення мінеральних добрив	0,65					
Важкі дискові борони	0,85					
Транспортування	0,9					
7. Доза внесення, л, т/га:	0,35					
8. Технічні характеристики тракторів						
Марка трактора	Операція	Кількість, шт.	Клас тяги трактору	Маса, кг	Потужність двигуна, кВт	Потужність двигуна, к.с.
Беларус-922	внесення мінеральних добрив	1	1,4	4300	65	88,7
Беларус-922	внесення мінеральних добрив	1	1,4	4300	65	88,7
Беларус-1021	внесення мінеральних добрив	1	0	0	0	0
Беларус-1025	внесення мінеральних добрив	1	0	0	0	0
Беларус-1221,2	Дискування	1	0	10190	221	300
Беларус-1222	Дискування	1	0	10190	221	300
Беларус-3022,3	Дискування	1	0	10190	221	300
Беларус-5522ДВ	Дискування	1	0	10190	221	300
Т-70С	Дискування	1	0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0

Рис. 1. Вибір марок тракторів із числа можливих та занесення необхідного до програми

У цій таблиці нижче вводимо в програму марку тракторів, які виконуватимуть закладання мінеральних добрив у ґрунт, кількість тракторів, які були попередньо визначені без урахування форс-мажорних ситуацій та погодних умов, тобто 2 трактори Білорус-922 задіяні на внесенні добрив, та 3 трактори FENDT 900 VARIO 920 задіяні на закладенні добрив.

Аналогічно вибираються марки сільськогосподарських машин, які можуть агрегатуватися з вибраними тракторами, та його характеристики (рис. 2).

Технічні характеристики агрегатів необхідні визначення продуктивності і витрати палива агрегатом під час виконання заданого технологічного процесу.

У програмі наведено інформацію щодо визначення потрібної кількості мінеральних добрив по полях сівозмін (рис. 3).

Основне завдання цієї частини методики – обґрунтування кількісного складу засобів механізації ланок, що забезпечують виконання процесу внесення мінеральних добрив з урахуванням форс-мажорних ситуацій у встановлений час його виконання.

При обґрунтуванні швидкості руху агрегату підбираємо ту передачу, яка має найбільшу величину в межах агротехнічно-допустимих швидкостей (Melnyk V.I. et al., 2020), коли ці умови витримані, програма дозволяє продовжувати розрахунки (рис. 4).

Робота виконується в такий спосіб. У програму MS Excel у розділі «Продуктивність агрегатів для внесення добрив» та «Продуктивність агрегатів для закладання добрив у ґрунт» вже автоматично занесені, як фізичні, так і кількісні агрегати, які виконуватимуть ці операції.

Беларус-922	Внесення мінеральних добрив	1	1,4	4300	65	88,7
Беларус-922	Внесення мінеральних добрив	1	1,4	4300	65	88,7
			0	0	0	0
FENDT 900 VARIO 930	Дискування	1	0	10190	221	300
FENDT 900 VARIO 930	Дискування	1	0	10190	221	300
FENDT 900 VARIO 930	Дискування	1	0	10190	221	300
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0
9. Технічні характеристики розкидачів для внесення мінеральних добрив:						
Марка	Агрегується з тракторами тягового класу	Кількість, шт.	Тип	Маса, кг	Ширина захвату, м	Кінематична довжина, м
МВД-1000	1,4	1	Навісна	320	16	1,6
МВД-1000	1,4	1	Навісна	320	16	1,6
	0		0	0	0	0
10. Технічні характеристики важких дискових борін:						
Марка	Агрегується з тракторами тягового класу	Кількість, шт.	Тип	Маса, кг	Ширина захвату, м	Кінематична довжина, м
БПС-6-3В	5	1	прічипна	5297	6,3	9,27
БПС-6-3В	5	1	прічипна	5297	6,3	9,27
БДБ-7,0	5	1	прічипна	5297	6,3	9,27
БДБ-7К	5	1	прічипна	5297	6,3	9,27
БДБ-6,3						
БДБ-7А						
ДМТ-6 «Демерта»						
БП-6						
БДБ-6,5						
Марка	Агрегується з тракторами тягового класу	Кількість, шт.	Тип з'єднання	Вантажопідйомність, кг	Об'єм кузова, м ³	Маса, кг
			0	0	0	0
			0	0	0	0
			0	0	0	0

Рис. 2. Вибір марок сільськогосподарських машин з-поміж можливих та занесення необхідних до програми

A	B	C	D	E
– перша сівозмiна розташована на пiвнiч вiд базової територiї.				
Номер поля	Вiдстань до БТ, км	Вiдстань до МЗД, км	Площа поля, га	Кiлькiсть добрив, т
1.1	17	15	105	36,75
1.2	16	14	125	43,75
1.3	18	16	128	44,80
1.4	19	17	122	42,70
		Разом:	480	168,00
– друга сівозмiна розташована на пiвденний схiд вiд базової територiї.				
Номер поля	Вiдстань до БТ, км	Вiдстань до МЗД, км	Площа поля, га	Кiлькiсть добрив, т
2.1	24	26	98	34,30
2.2	22	24	108	37,80
2.3	21	23	112	39,20
2.4	24	26	106	37,10
2.5	25	27	133	46,55
		Разом:	557	194,95
– третя сівозмiна розташована захiднiше вiд базової територiї.				
Номер поля	Вiдстань до БТ, км	Вiдстань до МЗД, км	Площа поля, га	Кiлькiсть добрив, т
3.1	7	9	110	38,50
3.2	6	8	102	35,70
3.3	8	10	116	40,60
3.4	9	11	99	34,65
		Разом:	427	149,45

Рис. 3. Обґрунтування необхідної кількості мінеральних добрив по полях сівозмiни

<i>Ур.Беларус-922+МВД-1000=</i>	9,20	Допустимо	Внесення добрив
<i>Ур.Беларус-922+МВД-1000=</i>	9,20	Допустимо	
<i>Ур.+ =</i>		Допустимо	
<i>Ур.FENDT 900 VARIO 920+БГР-4,2 «Солоха»=</i>	9,30	Допустимо	Дискування (заробка добрив)
<i>Ур.FENDT 900 VARIO 920+БГР-4,2 «Солоха»=</i>	9,30	Допустимо	
<i>Ур.FENDT 900 VARIO 920+БГР-4,2 «Солоха»=</i>	9,30	Допустимо	
	<i>Ур.+ =</i> 50,00	Допустимо	Транспортування
	<i>Ур.+ =</i> 0,00	Допустимо	

Рис. 4. Обґрунтування швидкості руху агрегату

У програмі відображається час виконання роботи відміткою в межах 0 і 1, залежно від того, повний або не повний час виконується робота протягом години, відображається і регламентований час, наприклад, час обідньої перерви 0,5 години, і час простою агрегатів пов'язаним з відмовою його роботи або за погодними умовами та інше, це відображається позначкою «0» у графі «Використання часу» (рис. 5).

На прикладі цього рисунка продемонструємо ці позначення: у колонці А кількість годин роботи на добу, у нашому випадку 14 годин. У колонках, D, F продуктивність кожного агрегату в годину змінного часу. У колонках С, Е, G – використання часу агрегатом. У колонках H, і відповідно сумарна годинна продуктивність агрегатів, га, і сумарна продуктивність роботи агрегатів наростаючим результатом.

Для визначення продуктивності агрегату за 1 годину змінного часу використовуємо формулу:

$$W_{\text{год.зм}} = 0,1 \cdot B_p \cdot V_p \cdot \tau, \text{ га/год.} \quad (1)$$

де B_p – робоча ширина захвату агрегату, м; V_p – робоча швидкість агрегату, км/год.; τ – коефіцієнт використання часу зміни.

Робочу ширину захвату агрегатів визначали за такою формулою:

$$B_p = B_k \cdot \beta, \text{ м} \quad (2)$$

де B_k – конструктивна ширина захвату агрегатів, м; β – коефіцієнт використання конструктивної ширини захвату (при внесенні мінеральних добрив $\beta = 0,75$, дискових борін $\beta = 0,96$).

Витрата палива на одиницю виконаної роботи визначали за такою формулою:

$$g_{\text{за}} = \frac{N_{\text{ен}} g_{\text{ен}}}{W_{\text{год.зм}}}, \quad (3)$$

де $N_{\text{ен}}$ – номінальна потужність двигуна трактора, кВт; $g_{\text{ен}}$ – питома витрата палива двигуна трактора, г/кВт/год.

Час переїзду агрегату від базової територіи до поля та переїзду агрегатів з поля на поле, з однієї сівозмiни на іншу визначали за формулою:

$$T_{\text{пер}} = \frac{S}{V_{\text{тр}}}, \quad (4)$$

де S – відстань від базової територіи, між полями сівозмiни та між сівозмiнами, км; $V_{\text{тр}}$ – транспортна швидкість руху агрегатів, км/год.

Кількість добрив на задану площу визначали за такою формулою:

Таблиця продуктивності агрегатів для внесення мінеральних добрив								
Години зміни	Продуктивність Беларус-922+МВД-1000, га	Використання часу Беларус-922+МВД-1000, год.	Продуктивність Беларус-922+МВД-1000, га	Використання часу Беларус-922+МВД-1000, га	Продуктивність +, га	Використання часу +, га	Сумарна годинна продуктивність розкидачів, га	Сумарна продуктивність розкидачів, га
Перший день (03.10)								
1	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0,00
2	6,71	0,73	6,71	0,73	0,00	0	13,41	13,41
3	6,71	0,73	6,71	0,73	0,00	0	13,41	26,82
4	1,29	0,14	1,29	0,14	0,00	0	2,57	29,39
5	6,71	0,73	6,71	0,73	0,00	0	13,41	42,80
6	6,71	0,73	6,71	0,73	0,00	0	13,41	56,21
7	5,97	0,65	5,97	0,65	0,00	0	11,94	68,15
8	6,71	0,73	6,71	0,73	0,00	0	13,41	81,57
9	5,79	0,63	5,79	0,63	0,00	0	11,57	93,14
10	6,71	0,73	6,71	0,73	0,00	0	13,41	106,55
11	1,29	0,14	1,29	0,14	0,00	0	2,57	109,12
12	6,71	0,73	6,71	0,73	0,00	0	13,41	122,53
13	6,71	0,73	6,71	0,73	0,00	0	13,41	135,94
14	3,03	0,33	3,03	0,33	0,00	0	6,06	142,00
Другий день (04.10)								
1	2,11	0,23	2,11	0,23	0,00	0	4,23	146,23
2	6,71	0,73	6,71	0,73	0,00	0	13,41	159,64
3	6,71	0,73	6,71	0,73	0,00	0	13,41	173,05
4	1,29	0,14	1,29	0,14	0,00	0	2,57	175,62
5	6,71	0,73	6,71	0,73	0,00	0	13,41	189,03

Рис. 5. Графік продуктивності та витрата палива агрегатів за перший день

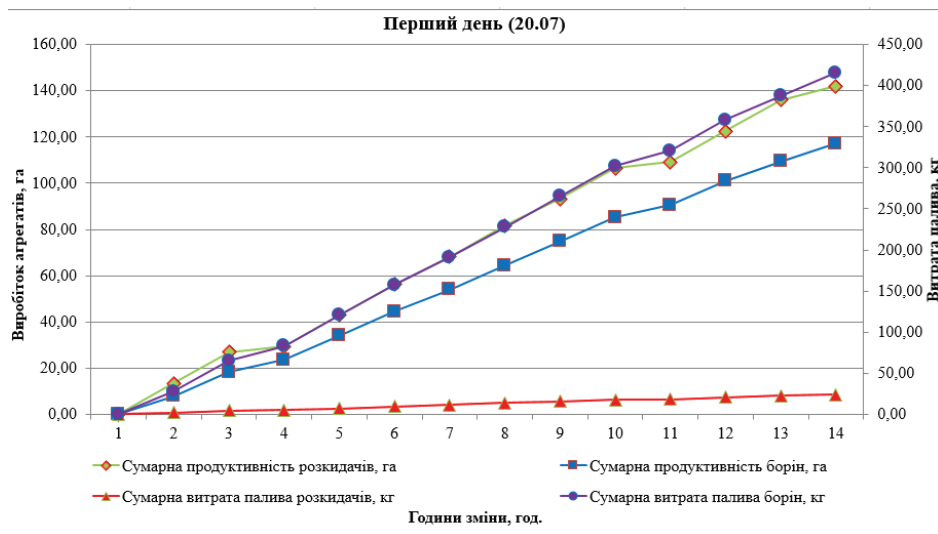


Рис. 6. Графік темпу зростання сумарної продуктивності та витрати палива

$$Q = W_{\text{в.л.}} \cdot h, \text{ т} \quad (5)$$

де h – норма внесення мінеральних добрив на гектар, т/га.

Головною ознакою правильності виконання роботи є поточність роботи. Сумарна продуктивність агрегатів щодо внесення добрив у ґрунт протягом робочого дня повинна бути більшою або рівною сумарній продуктивності агрегатів щодо їх загортання у ґрунт.

Для забезпечення системної цілісності заданого технологічного процесу у циклі взаємозалежних операцій виконується умова його поточності за рівнянням:

$$W_{\text{зв.д.}} \cdot n_{\text{в.д.}} \cdot H_{\text{д}} = W_{\text{тр.д.}} \cdot n_{\text{тр.д.}} \cdot H_{\text{д}} = W_{\text{зм.з.д.}} \cdot n_{\text{з.д.}}, \text{ т} \quad (6)$$

де $W_{\text{зв.д.}}$ – продуктивність агрегатів для внесення добрив, га/зміна; $W_{\text{тр.д.}}$ – продуктивність транспортного засобу для підвезення добрив до поля, т/зміна; $W_{\text{зм.з.д.}}$ – продуктивність агрегатів для закладення добрив у ґрунт, га/зміна; $n_{\text{в.д.}}$ – кількість агрегатів для внесення добрив у ґрунт, шт.; $n_{\text{тр.д.}}$ – кількість транспортних засобів для підвезення добрив до поля, шт.; $n_{\text{з.д.}}$ – кількість агрегатів для закладення добрив у ґрунт, шт.; $H_{\text{д}}$ – норма внесення добрив у ґрунт, т/га.

Візуальне відображення поточності виконання заданого технологічного процесу контролюється за допомогою графіка темпу зростання сумарної продуктивності агрегатів щодо внесення мінеральних добрив та агрегатів із закладення їх у ґрунт (рис. 6).

Всі ці ланки залежать від багатьох факторів, які можуть змінити продуктивність, на жаль, у бік зменшення. Це погодні умови, переїзди із поля на поле, просте на ремонт агрегатів.

Розроблена методика дозволяє також побудувати графіки завантаження агрегатів на кожну годину робочого часу за робочий день та сумарний графік за весь період, що дає можливість наочно продемонструвати темп зміни вироблення машин, час простоїв та відмов агрегатів під час виконання робіт, поточність виконання заданого технологічного процесу.

Розроблений алгоритм дозволяє ввести умови для розрахунків та отримання додаткових даних, таких як витрата палива по кожному агрегату, витрати праці, витрати енергії, витрати на виконання операцій, що дозволить своєчасно приймати обґрунтовані керуючі та інженерні рішення щодо використання машинно-тракторного

парку господарства та полегшить роботу логістичного відділу.

Апробацію моделювання процесу внесення мінеральних добрив з одночасним закладенням їх у ґрунт було проведено у ПСП «Володимирівське» Лозівського району Близнюківської територіальної громади Харківської області. У процесі розрахунків було отримано результати зміни продуктивності агрегатів, оптимальний склад засобів механізації кожної з технологічних операцій. За результатами для виконання внесення добрив необхідно два агрегати, для закладення добрив у ґрунт – три агрегати та два транспортні засоби для підвезення добрив на край поля. При цьому отримана фактична їх продуктивність, відповідно, при внесенні добрив вона склала 4,02 га/год, що на 1,68 га/год менше ніж розрахункова, для закладення їх у ґрунт фактична продуктивність склала 2,08 га/год, що на 0,41 га/годину менше ніж розрахункова.

Застосування у господарствах логістичного підходу з організацією виконання технологічних процесів у рослинництві дає можливість заздалегідь отримати інформацію достатності чи недостатності засобів механізації

щодо польових робіт у термін, або заздалегідь запланувати їх оренду чи лізинг.

Висновки

1. Розроблено алгоритм та методику вирішення питань логістики технологічних процесів рослинництва, застосування якої дає можливість управлінській участі відділу логістики аграрної компанії при моделюванні заданого технологічного процесу, наближеного до реальних умов оптимізувати засоби механізації для виконання заданого технологічного процесу у тимчасовому просторі, з якістю межах агротехнічних вимог

2. Для дотримання поточності виконання заданого технологічного процесу в строк необхідно мати два агрегати для внесення добрив, три агрегати – для закладення їхнього ґрунту та два транспортні засоби для підвезення добрив на край поля.

3. Фактична їх продуктивність, відповідно, при внесенні добрив вона склала 4,02 га/год, що на 1.68 га/год менше ніж розрахункова, для закладення їх у ґрунт фактична продуктивність склала 2,08 га/год, що на 0,41 га/годину менше ніж розрахункова.

Бібліографічні посилання:

1. Aleksiev O.P., Aleksiev V.O., Klets D.M., Artiymov M.P., Kurenko O.B., Rohozin I.V., Novychonok S.M., Khabarov V.O., Kruk B.M. (2017). Development of automotive computer systems based on the virtualization of transportation processes management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. vol. 6/3(90), pp. 14-25.
2. Artiymov N., Anikeev A., Kaluzhnyj A., Sirovitskiy K., & Kolodiazhnyi I. (2022). Investigation of agricultural unit loads in non-established mode of motion when performing technological operations. *Engineering for rural development*. Jelgava, 675-681. DOI: 10.22616/ERDev.2022.21.TF216.
3. Kovtun Yu. I. et al. (2020). Tekhnolohichna blochno-variantna systema mashynovykorystannia v zemlerobstvi Ukrainy: monohrafiia. Chastyna 1 [Technological block-variant system of machine use in agriculture of Ukraine: monograph. Part 1] – Kh.: TOV «Planeta-Print» – 204 s. (in Ukrainian).
4. Markowska K., Sekala A., Stecula K., Kawka T., Sirovitskiy K., Pankova O., Vnukova N., Shulyak M., Kharchenko S. & Shchur T. (2023) Comparison of the Sustainability and Economic Efficiency of an Electric Car and an Aircraft—A Case Study. *Sustainability*, 15, 1238.
5. Melnyk V., Artiymov M., Tsyganenko O., Romanashenko O. & Anikeev O. (2021). Test results of co-seeding technology for forage production in Mix-Cropp farming system. *Engineering for rural development*. Jelgava, 451-456. DOI: 10.22616/ERDev.2021.20.TF095.
6. Melnyk V., Tsyhanenko M., Anikieiev A., Syrovitskiy K. (2015). Ekonomichna efektyvnist elementiv systemy tochnoho zemlerobstva. [Economic efficiency of precision farming system elements] MOTROL. Komisii z Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 17. No 7. 61-66. (in Ukrainian).
7. Melnyk V.I., Chyhryn A.H., Anikieiev O.I., Chyhryna S.A. (2020). Zbirnyk metodyk z vykorystannia mashyn v zemlerobstvi. [A collection of techniques for using machines in agriculture] –Kh.: «Planeta-Print», 257s. (in Ukrainian).
8. Nelep V. (2011). Otsinka eksportnykh mozhlyvostei ahroprodovolchoho kompleksu Ukrainy [Evaluation of export opportunities of the agro-food complex of Ukraine]. *Economy of Ukraine*. №9. 54-63. (in Ukrainian).
9. Prysiazhniuk N., Sabluk P., Kropyvko M. (2011). Pro neobkhdnist ta napriamky pohlyblennia ahraanoi reformy. [On the necessity and directions of deepening the agrarian reform]. *Economy of Ukraine* №6. 4-16. (in Ukrainian).
10. Shubravskaya Ye.V., Prokopenko Ye.A. (2013). Perspektyvy modernizatsii ahraanoi sektoru Ukrainy *Ekonomika Ukrainy*. [Prospects of modernization of the agricultural sector of Ukraine]. *Economy of Ukraine* №8. 64-76. (in Ukrainian).
11. Shubravskaya Ye.V., Ryndenko N.A. (2012). Optovi rynky silskohospodarskoi produktsii: yevropeyskiy dosvid ta ukraïnski perspektyvy. [Wholesale markets of agricultural products: European experience and Ukrainian perspectives]. *Economy of Ukraine* №8. 77-85. (in Ukrainian).
12. Sumets O.M. (2013). Aktualnist zaprovadzhennia lohistyky u hospodarsku diialnist pidpriemstv APK. [The urgency of introducing logistics into the economic activity of agro-industrial complex enterprises]. *Logistics: problems and solutions*. №4. 38-44. (in Ukrainian).
13. Sumets O.M. (2014). Kontseptualnyi pidkhid do orhanizatsii lohistychnoi diialnosti na pidpriemstvakh z vyrobnytstva ta pererobky silskohospodarskoi produktsii. [A conceptual approach to the organization of logistics activities at enterprises for the production and processing of agricultural products]. *Kherson State University Herald. Series "Legal Sciences"*. №14. 123-127. (in Ukrainian).

14. Zubko V.M., Khvorost T.V., Teslenko O.V., Barabash G.I., Omelchenko E.M. & Romanovsky M.O. (2024). Research of the organization and implementation of mechanized technological operations in plant production. Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Mechanization and Automation of Production Processes, (1 (55), 37-45. <https://doi.org/10.32782/msnau.2024.1.5>.

Anikeev O.I., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

Sirovitskiy K.G., Senior Lecturer, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Artiomov M.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

Tsyganenko M.O., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

Pankova O.V., Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

Ilina N.O., Senior Lecturer, State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

Volvach T. S., Assistant, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

Methodology and results of simulation of the technological process of mineral fertilizer application as an element of agrolistics in precision farming systems

At the current stage of the development of science and technology, the application of qualitatively new methods of controlling mechanical devices in technological processes in crop production is relevant.

Scientists have solved a scientific and technical problem, which is important for increasing the efficiency of the use of machines as part of complexes in the production of plant products. A system of criteria for the evaluation of machine complexes has been developed, which cover the consumption of resources during the implementation of the technological process, the realization of the biological potential of plants, and indicators of the impact of the functioning of agricultural machinery on the environment. According to the results of simulation modeling of the functioning of machine units, the statistical characteristics of the specified criteria are determined.

Analyzing the distribution of active agricultural enterprises of the highest level by the size of more than 10,000 hectares of land over the past 20 years, the trend of a significant increase in the number of farms of the highest level was in the period until 2013, after which there was a slight decline, but their number changed slightly.

Such a qualitatively new method can be considered the logistics of technological processes of crop production separately by operations, with the possibility of taking into account many criteria that can affect the final result at higher-level enterprises.

The purpose of the article is to achieve the rationality of the technological process, the essence of which is to take into account the possible downtime of the unit and at the same time prevent the excess of productivity of one of the links that perform the work in order. to avoid downtime or overloading of the remaining links of the integrated system. That is, the principle of flow of execution of a given technological process in a given time frame is used.

The authors have developed a methodology for modeling the technological processes of growing agricultural crops using the example of applying the main dose of mineral fertilizers with their simultaneous application to the soil.

Since this issue requires a complex and multifactorial approach, the developed solution method makes it possible to calculate the efficiency of aggregates in the «express» mode with as close consideration as possible of regulated downtimes of aggregates, breakdowns and meteorological conditions, to production conditions.

The developed algorithm allows you to enter conditions for calculations and receive additional data, such as fuel consumption for each unit, labor costs, energy costs, costs of funds for the performance of work, which will make it possible to make reasonable and timely management and engineering decisions regarding the use of the machine-tractor fleet, facilitate work department of material and technical support.

Key words: modeling, precision farming systems, mineral fertilizers, efficiency, operation, agrolistics.