

УДК 338.43

М. О. Мікуліна,

к. е. н., доцент, доцент кафедри Агроінжинірингу, Сумський національний аграрний університет
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6918-5192>

А. Д. Поливаний,

бакалавр спец. "Транспортні технології", Сумський національний аграрний університет

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8363-7186>

DOI: 10.32702/2306-6792.2023.14.70

СИСТЕМА ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА (СТЗ) ЯК ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ РЕЛЬЄФУ ПОЛЯ

M. Mikulina,

PhD in Economics, Associate Professor of the Department of Agricultural Engineering, Sumy National Agrarian University (Ukraine)

A. Polyvaniy,

Applicant for higher education specialty, Sumy National Agrarian University

PRECISION FARMING SYSTEMS AS F TOOL FOR DETERMINING FIELD RELIEF

У даній науковій статті досліджується використання систем точного землеробства (СТЗ) для визначення рельєфу сільсько-господарського поля.

Для проведення досліджень впливу кута нахилу поверхні поля на техніко-економічні показники було обрано п'ять машинних агрегатів, зокрема сучасні трактори виробництва компанії "John Deere" та дискові борони Дукач виробництва української компанії "Lozova machinery". Зібрані дані були використані для створення графічних моделей і порівняльних таблиць.

Аналіз отриманих даних показав, що рельєф поля чинить як прямий, так і опосередкований вплив на більшість техніко-економічних показників роботи агрегату. Особливо значний вплив спостерігається саме в енергетичній ефективності. Поле з більшим кутом нахилу, в першу чергу, спричиняє перевитрату палива та паливно-мастильних матеріалів (ПММ), а також помірно погіршення інших показників роботи машинного агрегату.

This scientific article examines the use of precision agriculture systems (PAS) to determine the topography of an agricultural field and assess its economic effect. The work describes modern methods and ways of determining the relief, which include the use of the global positioning system (GPS): with the help of satellite navigation, it is possible to establish an exact position in real time and collect data on the height of points on the field, this data can be used to determine the angle of inclination of the surface; laser scanning: laser scanners that scan the surface of the field and create an accurate three-dimensional model of the relief, which will, among other things, contain information about the angles of inclination of the surface in different parts of the field can be used in PAS; differential geodesy: with the help of special geodetic tools, you can determine the angle of inclination and create a digital model of the terrain; and remote sensing: remote sensing, such as satellite imagery or aerial photography, can also be used in PASs to analyze field topography. With the help of special software, you can process these images and determine the angle of inclination of different sections of the field.

Five machine units (MU) were chosen to conduct studies of the influence of the angle of inclination of the field surface on technical and economic indicators, in particular, modern tractors manufactured by "John Deere" and disk harrows Dukat manufactured by the Ukrainian company "Lozova machinery". The collected data were used to create graphical models and comparative tables.

The analysis of the obtained data showed that the topography of the field has both a direct and an indirect effect on most of the technical and economic indicators of the unit's operation. A particularly significant impact is observed in energy efficiency. A field with a greater angle of inclination, first of all, causes excessive consumption of fuel and fuel-lubricating materials, as well as a moderate deterioration of other performance indicators of the machine unit.

Ключові слова: системи точного землеробства (СТЗ), глобальна позиційна система, рельєф, машинний агрегат.

Key words: precision agriculture systems (PAS), global positioning system (GPS), direct operating costs, relief, machine unit (MU).

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

У сільському господарстві ефективно використовують машинний парк та оптимальна організація сільськогосподарських робіт мають

вирішальне значення для досягнення високих врожаїв та підвищення економічної ефективності. Один із факторів, який може впливати на техніко-економічні показники роботи машин-

ного агрегату, є рельєф сільськогосподарського поля.

Традиційно визначення рельєфу поля виконувалося шляхом проведення геодезичних вимірювань та використання топографічних карт. Однак, ці методи мають свої обмеження, такі як обсяг робіт, тривалість вимірювань та висока вірогідність появи помилок.

У зв'язку з цим, актуальним є використання систем точного землеробства для визначення рельєфу сільськогосподарського поля.

Використання СТЗ для швидкого та максимально точного визначення рельєфу та кута нахилу поверхні поля для вибору найбільш економічно ефективного варіанту перед його придбанням, взяттям в лізинг або просто для якомога більш приближеного планування майбутніх видатків, у випадку з вже наявним полем, здатне значно знизити використання енергетичних ресурсів агрегатами на виконання агроробіт та підвищити їх продуктивність.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідники, такі як В.Є. Данкевич (Dankevych, 2013), О.П. Копішинська (Kopishynska et al., 2019), С.Р. Трускавецький (Truskavetskyi et al., 2017) та інші, звернули увагу на важливість та способи використання даних супутникової зйомки в СТЗ для дослідження рельєфу полів, економічну та виробничу ефективність впровадження СТЗ в український агробізнес. Результати цих досліджень свідчать про необхідність більш детального розкриття теми використання новітніх технологій саме для дослідження рельєфу полів та надання оцінки його впливу на техніко-економічні показники роботи машинного агрегату.

МЕТА СТАТТІ

Метою статті є дослідити використання систем точного землеробства для визначення рельєфу сільськогосподарського поля та оцінка впливу цього показника на техніко-економічні показники роботи машинного агрегату.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Визначення та врахування рельєфу та кута нахилу поверхні поля перед його придбанням або взяттям у лізинг, зокрема, є одним із способів досягнення більшої економічності агроробіт. Правильна оцінка рельєфу дозволяє зрозуміти особливості території, що має прямий вплив на ефективність сільськогосподарського виробництва.

По-перше, визначення рельєфу та кута нахилу поля допомагає оптимізувати використання сільськогосподарської техніки та ресурсів. Знання рельєфу дозволяє визначити оптимальну технологію обробки поля, розміщення поливних систем, дозування добрив та захисних засобів. Це сприяє зниженню витрат на паливо, добрива та інші ре-

сурси, оскільки робота машини або системи буде адаптована до конкретних особливостей рельєфу. Таким чином, оптимізація використання ресурсів призводить до зменшення прямих експлуатаційних витрат та підвищення економічної ефективності (Mikulina et al., 2023; Maloku et al., 2020).

По-друге, врахування рельєфу та кута нахилу поля перед його придбанням або взяттям у лізинг сприяє попередженню можливих проблем із експлуатацією машинно-тракторного парку. Неправильне оцінювання рельєфу може призвести до вибору невідповідної сільськогосподарської техніки, яка не зможе ефективно працювати на полях зі значним нахилом. Це може призвести до перевитрати палива, збільшення зносу техніки та погіршення якості обробки ґрунту. Врахування рельєфу перед придбанням або взяттям у лізинг допомагає обрати оптимальну техніку, яка буде пристосована до особливостей поля, що сприяє зменшенню витрат на ремонт та збільшенню тривалості служби машинного парку. Крім того, дослідження рельєфу з використанням СТЗ може запобігти обранню підприємством певної, мало-придатної для вирощування сільськогосподарських культур, території, що дозволить більш ефективно використовувати земельні ресурси країни (Mikulina & Polyvanyi, 2022) [5].

В рамках СТЗ можуть використовуватись кілька методів для визначення кута нахилу або рельєфу сільськогосподарського поля. Основні методи включають в себе:

1. Глобальна позиційна система (GPS): СТЗ можуть використовувати GPS для вимірювання висоти на різних ділянках поля. За допомогою супутникової навігації можна встановити точне положення в реальному часі і збирати дані про висоту точок на полі. Ці дані можуть бути використані для визначення кута нахилу.

2. Лазерне сканування: СТЗ можуть використовувати лазерні сканери, які сканують поверхню поля і створюють точну тривимірну модель рельєфу. Ці дані можуть бути використані для визначення кута нахилу в різних частинах поля (Pankova et al., 2020).

3. Диференційна геодезія: Використання диференційної геодезії дозволяє виміряти висоту на різних точках поля з високою точністю. За допомогою спеціальних геодезичних інструментів можна визначити кут нахилу і створити цифрову модель рельєфу.

4. Дистанційне зондування: СТЗ можуть використовувати дистанційне зондування, таке як супутникові зображення або аерофотознімки, для аналізу рельєфу поля. За допомогою спеціального програмного забезпечення можна обробити ці зображення і визначити кут нахилу різних ділянок поля [1].

Всі ці методи можуть бути поєднані для отримання більш точної і повної інформації про кут нахилу сільськогосподарського поля.

Таблиця 1. Основні характеристики обраних машинних агрегатів для виконання механізованих технологічних операцій з розпушення, полегшення та вирівнювання поверхні ґрунту

№ п/п	Склад МА	Потужність двигуна ЕЗ, кВт	Питома витрата палива ЕЗ, гр*кВт/год	Експлуатаційна маса ЕЗ, т	Балансова вартість ЕЗ, \$	Макс. ширина захвату АМ, м	Експлуатаційна маса АМ, т	Коеф. забезпечення агропримог АМ	Балансова вартість АМ, \$
1	John Deere 6135B + Дукат 3	99	209	5,5	54915	3	1,39	0,9	5464
2	John Deere 6920 + Дукат 4	110	226	5,88	36612	4	1,59	0,9	9426
3	John Deere 8400 + Дукат 5	177	221	9,4	54644	5,25	3,82	0,9	17213
4	John Deere 8430 + Дукат 6	217	221	10,35	93191	6,25	4,49	0,9	21857
5	John Deere 8335R + Дукат 8	271	233	13	184371	8,25	6,61	0,9	33420

Джерело: складено авторами на основі [3, 7].

Кут нахилу може бути виражений як відношення висоти підйому до горизонтальної відстані, помноженої на 100%. Наприклад, кут нахилу 10% означає, що кожні 100 одиниць горизонтальної відстані відбувається підйом на 10 одиниць по вертикалі [2].

Нахил сільськогосподарського поля у відсотках можна визначити, скориставшись наступною формулою [4]:

$$\theta = \frac{h}{l} \times 100 \quad (1),$$

де h — висота підйому точки 2 по відношенню до точки 1, м;

l — відстань від між точками 1 та 2, м.

Кут нахилу поверхні поля напряму впливає на декілька важливих показників роботи машинного агрегату, серед них:

Сила зчеплення енергетичного засобу (ЕЗ) з ґрунтом під час польових робіт ($F_{зч}$, кН).

Якщо ЕЗ — це трактор з колісною формулою 4к2, то [3]:

$$F_{зч} = \mu \times G_{ЕЗ} \times 9,81 \times (1 - \theta \times 0,01) \times 0,67 \quad (2).$$

Якщо будь-який інший тип ЕЗ, то [3]:

$$F_{зч} = \mu \times G_{ЕЗ} \times 9,81 \times (1 - \theta \times 0,01) \quad (3),$$

де μ — коефіцієнт зчеплення коліс ведучого транспортного засобу, од.;

$G_{ЕЗ}$ — експлуатаційна маса ЕЗ, т;

Сила опору підйому енергетичного засобу, кН [4]:

$$F_{п1} = \frac{G_{ЕЗ} \times \theta}{10} \quad (4).$$

Сила опору підйому агромашини (АМ), кН [3]:

$$F_{п2} = \frac{G_{АМ} \times \theta}{10} \quad (5),$$

$G_{АМ}$ — експлуатаційна маса АМ, т;

В свою чергу, ці показники чинять значний вплив на експлуатаційні, техніко-економічні та інші параметри МА, тобто нахил рельєфу напряму та опосередковано впливає майже на всі показники роботи агрегату.

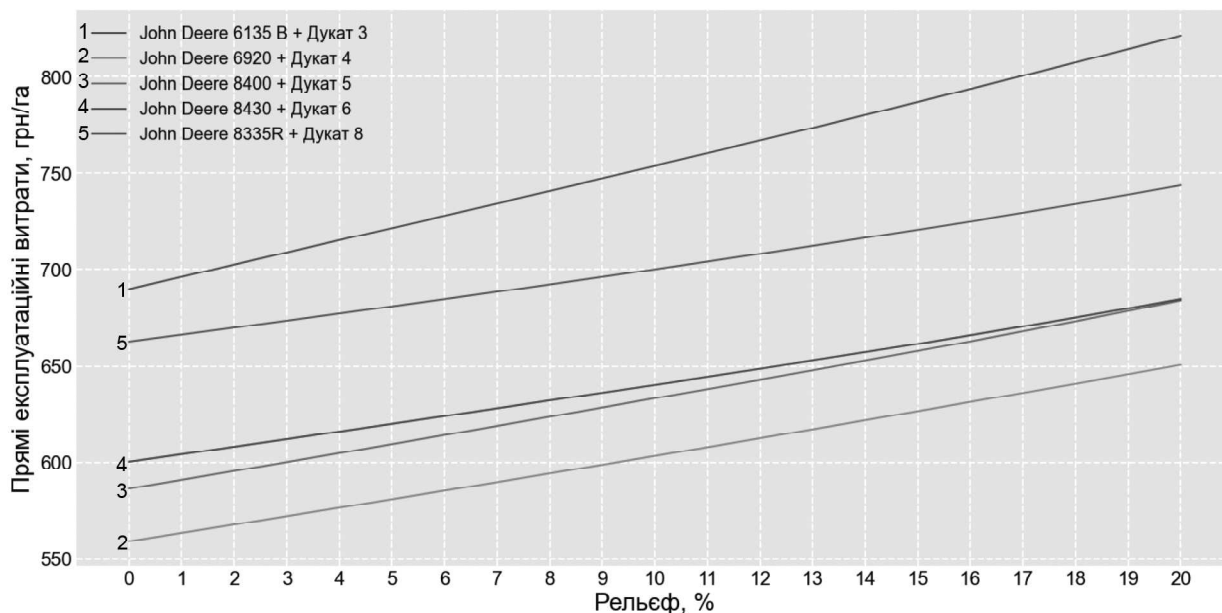


Рис. 1. Вплив кута нахилу поверхні поля на прямі експлуатаційні витрати на обробку одного гектару даного поля

Джерело: розроблено автором.

Таблиця 2. Основні техніко-економічні показники роботи машинних агрегатів на полі з плоским ($\theta = 2\%$) рельєфом

Склад МА	Продуктивність агрегату, га/год	Затрати праці, люд-год/га	Витрата палива, кг/га	Амортизація, грн/га	Вартість палива, грн/га	Оплата праці, грн/га	Витрати на ТО та ПР, грн/га	Коефіцієнт робочих годин	Коеф. викорис-тання часу зміни
John Deere 6135B + Дукат 3	2,21	0,45	6,26	163,19	31,73	275,15	102,61	0,83	0,66
John Deere 6920 + Дукат 4	2,93	0,34	6,1	142,67	23,29	207,29	100,49	0,82	0,67
John Deere 8400 + Дукат 5	3,83	0,26	6,78	195,83	19,83	158,89	140,14	0,82	0,66
John Deere 8430 + Дукат 6	4,52	0,22	6,79	234,44	16,84	134,64	153,95	0,81	0,65
John Deere 8335R + Дукат 8	5,77	0,17	7,21	286,25	14	105,38	208,36	0,79	0,63

Джерело: розраховано автором.

Для проведення досліджень впливу кута нахилу поверхні поля на техніко-економічні показники роботи агрегату, було обрано п'ять машинних агрегатів, зокрема, сучасні трактори виробництва компанії "John Deere" та дискові борони Дукат виробництва української компанії "Lozova machinery". Склад обраних агрегатів наступний:

МА 1 — трактор John Deere 6135B з дисковою бороною Дукат 3;

МА 2 — трактор John Deere 6920 з дисковою бороною Дукат 4;

МА 3 — трактор John Deere 8400 з дисковою бороною Дукат 5;

МА 4 — трактор John Deere 8430 з дисковою бороною Дукат 6;

МА 5 — трактор John Deere 8335R з дисковою бороною Дукат 8 [6].

Основні параметри цих машинних агрегатів можна побачити в табл. 1.

Зібрані під час проведення досліджень дані були використані для створення графічної моделі, що відображає вплив кута нахилу поверхні поля на прямі експлуатаційні витрати на обробіток одного гектару даного поля кожним з п'яти обраних машинних агрегатів (рис. 1) та порівняльних таблиць, в яких відображені основні техніко-економічні показники кожного машинного агрегату у випадку його роботи на полі з плоским рельєфом (2%, табл. 2) і на полі з крутим рельєфом (15%, табл. 3) та їх зміна за інших рівних умов.

Проаналізувавши таблиці 2 та 3 можемо дійти висновку, що зміна кута нахилу поверхні поля чинить найбільший вплив саме на показники енергетичної ефектив-

ності машинних агрегатів. Обробка поля з рельєфом 15%, відносно поля з рельєфом 2%, призводить до зростання витрати палива та паливо-мастильних матеріалів в середньому, для 5 обраних агрегатів, на 45,5 та 48% відповідно. Інші показники, що досліджувалися, крім коефіцієнту використання часу зміни, погіршуються незначно, в середньому на 1,66 — 3,88%. Щодо самого цього коефіцієнта, то він не змінюється зі зміною рельєфу у діапазоні, що розглядається, це означає, що

розподілення часу зміни робітників залишається сталим.

На графіку (рис. 1) можемо бачити, як саме всі ці параметри в комплексі впливають на прямі експлуатаційні витрати для кожного агрегату при зміні кута нахилу рельєфу в діапазоні від 0% до 20% за інших рівних умов. Проаналізувавши його, було встановлено, що кожний наступний відсоток нахилу поверхні поля в діапазоні, що розглядається для обраних агрегатів в середньому підвищує прямі експлуатаційні витрати на 0,766% відносно поля, з кутом нахилу поверхні на 1% меншим. Для кожного з 5-ти агрегатів цей відсоток наступний: МА 1 — 1,02%; МА 2 — 0,75%; МА 3 — 0,85%; МА 4 — 0,67%; МА 5 — 0,54%;

ВИСНОВКИ

Аналіз отриманих даних показав, що рельєф поля чинить як прямий, так і опосередкований вплив на більшість техніко-економічних показників роботи агрегату. Особливо значний вплив спостерігається саме в енергетичній ефективності. Поле з більшим кутом нахилу, в першу чер-

Таблиця 3. Основні техніко-економічні показники роботи машинних агрегатів на полі з крутим ($\theta = 15\%$) рельєфом та їх зміна відносно поля з плоским рельєфом

Склад МА	Продуктивність агрегату, га/год	Затрати праці, люд-год/га	Витрата палива, кг/га	Амортизація, грн/га	Вартість оливи, грн/га	Оплата праці, грн/га	Витрати на ТО та ПР, грн/га	Коеф. викорис-тання часу зміни
John Deere 6135B + Дукат 3	2,18 (-1,36%)	0,46 (+2,2%)	9,04 (+44,4%)	165,14 (+1,19%)	46,37 (+46,1%)	278,44 (+1,2%)	103,84 (+1,22%)	0,66 (-0%)
John Deere 6920 + Дукат 4	2,89 (-1,37%)	0,35 (+2,94%)	8,56 (+40,3%)	144,69 (+1,42%)	33,14 (+42,3%)	210,22 (+1,41%)	101,91 (+1,39%)	0,67 (-0%)
John Deere 8400 + Дукат 5	3,76 (-1,83%)	0,27 (+3,85%)	10,07 (+48,5%)	199,13 (+1,69%)	29,97 (+51,1%)	161,57 (+1,7%)	142,5 (+1,71%)	0,66 (-0%)
John Deere 8430 + Дукат 6	4,43 (-2%)	0,23 (+4,55%)	9,95 (+46,5%)	238,75 (+1,84%)	25,12 (+49,2%)	137,12 (+1,84%)	156,79 (+1,85%)	0,65 (-0%)
John Deere 8335R + Дукат 8	5,65 (-2,08%)	0,18 (+5,88%)	10,67 (+48%)	292,43 (+2,16%)	21,16 (+51,1%)	107,65 (+2,15%)	212,86 (+2,16%)	0,63 (-0%)
Середня зміна	-1,73%	+3,88%	+45,5%	+1,66%	+48%	+1,66%	+1,67%	0%

Джерело: розраховано авторами.

гу, спричиняє перевитрату палива та паливно-мастильних матеріалів, а також помірне погіршення інших показників роботи машинного агрегату.

Отримані результати досліджень свідчать про необхідність уважного врахування рельєфу та кута нахилу поверхні поля перед його придбанням або взяттям у лізинг, адже цей фактор може суттєво вплинути на майбутні прибутки з ділянки сільськогосподарських угідь, що розглядається підприємством. Ці результати також свідчать про значні перспективи використання СТЗ в сільському господарстві України та необхідність їх впровадження для досягнення оптимальних результатів у вирощуванні сільськогосподарських культур та забезпечення сталого економічного розвитку аграрних підприємств нашої країни.

Література:

1. Данкевич В. Є. Економічна ефективність технологій точного землеробства / В. Є. Данкевич // Вісник ХНАУ. Серія: Економічні науки. — 2013. № 6. С. 102—109. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhnau_ekon_2013_6_17.

2. Копішинська О. П. Ефективність упровадження систем точного землеробства в аграрних підприємствах / О. П. Копішинська, М. М. Мареніч, Ю. В. Уткін // Науковий вісник Херсонського державного університету. Сер.: Економічні науки. — 2019. — Вип. 34. — С. 157—163. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvkhdu_en_2019_34_36.

3. Трускавецький С. Р. Використання даних супутникової зйомки в системах точного землеробства / С. Р. Трускавецький, Т. Ю. Биндич, А. П. Коляда, К. В. Вяткін, О. І. Шерстюк // Інженерія природокористування. — 2017. — № 1. — С. 29—35. — Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Iprk_2017_1_7.

4. Мікуліна, М. О.; Поливаний, А. Д. Методичні підходи стосовно вивчення впливу типу ходової системи тракторів на техніко-економічні показники. In: The 5 th International scientific and practical conference "Science and innovation of modern world" (January 25—27, 2023) Cognum Publishing House, London, United Kingdom. 2023. 672 p. 2023. p. 185.

5. Mikulina, M. A., Polyvanyi, A. D., Kliesch, O. V., Tymchenko, V. O., & Klymenko, D. V. (2023). Current trends in cooperation between ukrainian and american transport systems. In The 7th International scientific and practical conference "PROGRESSIVE RESEARCH IN THE MODERN WORLD" (March 29—1, 2023) CPN Publishing Group, Boston, USA (pp. 186—190).

6. Мікуліна, М. О.; Поливаний, А. Д.; Бондаренко, В. В.. Техніко-економічна оцінка використання систем і технологій в рослинництві. In: The 8 th International scientific and practical

conference "Science and technology: problems, prospects and innovations" (May 11—13, 2023) CPN Publishing Group, Osaka, Japan. 2023. 522 p. 2023. p. 18—22.

7. Maloku, D., Balogh, P., Bai, A., Gabnai, Z., & Lengyel, P. (2020). Trends in scientific research on precision farming in agriculture using science mapping method. International Review of Applied Sciences and Engineering, 11(3), 232—242. DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/1848.2020.00086>

References:

1. Dankevych, V. (2013), "Economic efficiency of precision farming technologies", Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu im. V.V. Dokuchaieva. Seriiia "Ekonomichni nauky", vol. 6, pp. 102.

2. Kopishynska, O., Marenych, M. and Utkin, Y. (2019), "Effectiveness of implementation of precision farming systems in agricultural enterprises", Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Seriiia "Ekonomichni nauky", vol. 34, pp. 157—163, DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2019-34-34>

3. Truskavetskyi, S., Byndych, T., Koliada, L., Viatkin, K. and Sherstiuk, O. (2017), "Use of satellite survey data in precision farming systems", Naukovyi zhurnal "Inzheneriia pryrodokorystuvannia", vol. 1 (7), pp. 29—35.

4. Mikulina, M. and Polyvanyi, A. (2023), "Methodical approaches to the study of the influence of the type of tractor running system on technical and economic indicators", The 5 th International scientific and practical conference "Science and innovation of modern world" (January 25—27), Cognum Publishing House, London, United Kingdom, 672 p., pp. 185.

5. Mikulina, M., Polyvanyi, A., Kliesch, O., Tymchenko, V. and Klymenko, D. (2023). "Current trends in cooperation between ukrainian and american transport systems", The 7th International scientific and practical conference "PROGRESSIVE RESEARCH IN THE MODERN WORLD" (March 29—31), CPN Publishing Group, Boston, USA, pp. 186—190.

6. Mikulina M., Polyvanyi A. and Bondarenko V. (2023), "Technical and economic evaluation of the use of systems and technology in crop production", In: The 8 th International scientific and practical conference "Science and technology: problems, prospects and innovations" (May 11—13), CPN Publishing Group, Osaka, Japan., pp. 18—22.

7. Maloku, D., Balogh, P., Bai, A., Gabnai, Z. and Lengyel, P. (2020), "Trends in scientific research on precision farming in agriculture using science mapping method", International Review of Applied Sciences and Engineering, vol. 11 (3), pp. 232—242. DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/1848.2020.00086>

Стаття надійшла до редакції 07.07.2023 р.