

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>

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

DOI: 10.32702/2306-6792.2023.14.70

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 A TOOL FOR DETERMINING FIELD RELIEF

Анотація. У даній науковій статті досліджується використання систем точного землеробства (СТЗ) для визначення рельєфу сільськогосподарського поля та оцінка його економічного ефекту. В роботі описані сучасні методи та способи визначення рельєфу, які включають використання глобальної позиційної системи (GPS): 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 поверхні; лазерного сканування: в СТЗ можуть використовуватися лазерні сканери, які сканують поверхню поля і створюють точну тривимірну модель рельєфу, що буде, крім іншого, містити інформацію про кути нахилу поверхні в різних частинах поля; диференційної геодезії: допомогою спеціальних геодезичних інструментів можна визначити кут нахилу і створити цифрову модель рельєфу; та дистанційного зондування: в СТЗ також 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.

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 Дукат 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 помірне 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 PAS 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 (GPS), прямі експлуатаційні витрати, рельєф, машинний агрегат (МА).

Постановка проблеми. У сільському господарстві ефективне використання машинного парку 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 машинного 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. Крім того, на сьогоднішній день існує потреба в оцінці економічного ефекту використання СТЗ для визначення рельєфу поля. Які саме переваги та вплив на техніко-економічні показники роботи машинного агрегату надає використання СТЗ для визначення рельєфу? Які є конкретні показники економічної ефективності та які зміни відбуваються в роботі машинного агрегату при різних кутах нахилу поверхні 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.

Аналіз останніх досліджень на тему визначення рельєфу сільськогосподарського поля за допомогою новітніх систем точного землеробства та оцінка його економічного впливу показав, що дана проблематика є актуальною, але малодослідженою, особливо зі сторони українських науковців, а тому вимагає детального вивчення.

Дослідники, такі як В.Є. Данкевич (Dankevych, 2013), О.П. Копішинська (Korishynska 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.

Головною метою цієї наукової статті є дослідження використання систем точного землеробства для визначення рельєфу сільськогосподарського поля та оцінка впливу цього показника на техніко-економічні показники роботи машинного агрегату. Дослідження включає опис сучасних методів і способів визначення рельєфу, оцінка впливу кута нахилу поверхні поля на техніко-економічні показники роботи машинного агрегату, встановлення залежностей між кутом нахилу поверхні поля та збільшенням прямих експлуатаційних витрат машинного агрегату на обробку одного гектару поля за інших рівних умов.

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 ресурси, 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, малопродатної для вирощування сільськогосподарських культур,

території, що дозволить більш ефективно використовувати земельні ресурси країни (Mikulina & Polyvani, 2022).

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 (Pánková 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.

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

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

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

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

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

l – відстань між точками 1 та 2, м.

Кут нахилу сільськогосподарського поля може бути різним і варіюватися від плоского до досить крутого. Ось деякі загальні категорії рельєфу поля та їх опис (West & Kovacs, 2017):

1. Плоский рельєф (нахил 0-2%): цей тип рельєфу характеризується майже повністю рівною поверхнею без помітних нахилів або схилів. Він дозволяє легке проведення механізованого обробітку ґрунту.

2. Рельєф з помірним нахилом (нахил 2-8%): такий рельєф може мати помірні нахили або схили. Він вимагає застосування деяких конструктивних рішень, щоб запобігти ерозії ґрунту.

3. Крутий рельєф (нахил 8-15%): крутий рельєф вимагає спеціальних заходів для запобігання ерозії і руйнування ґрунту. Такі поля можуть вимагати терасування або інших інженерних рішень для забезпечення стабільності.

4. Дуже крутий рельєф (нахил >15%): цей тип рельєфу відноситься до дуже крутих схилів або гірських територій. Вирощування сільськогосподарських культур на такому рельєфі може бути складним і вимагати спеціальних методів, таких як терасування або спеціальні системи поливу. Проведення механізованого обробітку ґрунту на полі з таким нахилом значно ускладнене.

Кут нахилу поверхні поля на пряму 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:

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

Якщо будь-який інший тип ЕЗ, то:

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

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

$G_{ез}$ – експлуатаційна маса ЕЗ, т;

Сила опору підйому енергетичного засобу, кН:

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

Сила опору підйому агромашини (АМ), кН:

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

$G_{ам}$ – експлуатаційна маса АМ, т;

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

Для визначення економічного впливу кута нахилу поля на прямі експлуатаційні витрати агрегату, необхідно, спершу, знайти всі складові прямих експлуатаційних витрат та визначити вплив на них рельєфу.

Витрати на пальне МА для обробітку одного га поля знаходимо за формулою (6). Підвищення сил опору підйому значно збільшує ефективну потужність агрегату, що, в свою чергу, впливає на його витрату палива та мастил, збільшуючи витрати на пальне та ПММ для обробітку 1 га поля:

$$C_{п} = \frac{ВП * V_{д}}{П} \quad (6)$$

де, $C_{п}$ – витрати на паливо, грн/га;

ВП – витрата палива ЕЗ, кг/га;

$V_{д}$ – вартість дизельного палива, прийняли за 49 грн/л;

П – продуктивність МА, га/год.

Витрати на паливо-мастильні матеріали для ЕЗ та АМ знаходимо за формулою (7):

$$C_{ПММ} = \frac{0,04 * ВП * V_{ПММ}}{П} \quad (7)$$

де, $C_{ПММ}$ – витрати на паливо-мастильні матеріали, грн/га;

$V_{ПММ}$ – комплексна вартість паливо-мастильних матеріалів, прийняли за 280 грн/кг.

Прямі експлуатаційні витрати на виконання агроробіт розраховується за формулою (8). Вплив кута нахилу поля на амортизацію, витрати на ТО й ремонт та оплату праці водіїв вкрай незначний, це буде доведено далі, тому детально принципи їх знаходження у даній роботі не розглядалися.

$$Q = C_{п} + C_{ПММ} + C_{в} + A + C_{ТО} \quad (8)$$

де, Q – собівартість виконання агроробіт, грн/га;

А – амортизаційні відрахування, грн/га;

С_{ТО} - витрати на ТО та ремонт, грн/га;

С_В – витрати на оплату праці водіїв, грн/га.

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 6135В 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.

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

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 агровимог АМ	Балансова вартість АМ, \$
1	John Deere 6135В + 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

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.

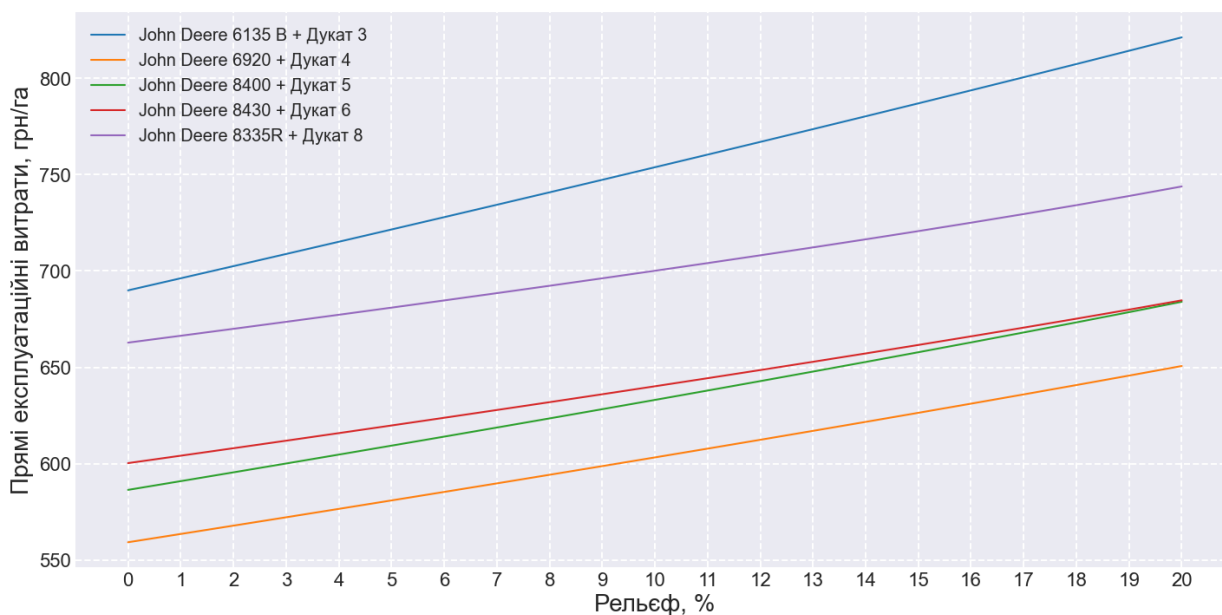


Рисунок 1. Вплив кута нахилу поверхні поля на прямі експлуатаційні витрати на обробку одного гектара даного поля

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 олів, грн/га	Оплата праці, грн/га	Витрати на ТО та ПР, грн/га	Коефіцієнт робочих ходів	Коеф. використання 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

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	Заграти праці, люд-год/га	Витрата палива, кг/га	Амортизація, грн/га	Вартість олів, грн/га	Оплата праці, грн/га	Витрати на ТО та ПР, грн/га	Коеф. використання 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%

Проаналізувавши таблиці 2 та 3 можемо дійти висновку, що зміна кута нахилу поверхні поля чинить найбільший вплив саме на показники енергетичної ефективності 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 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, ми встановили, 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%;

Загальний рівень зростання витрат на обробіток 1 га поля при збільшенні кута нахилу його поверхні з 2 до 15% для 5 МА, що розглядалися, наступний:

МА 1: при $\theta = 2\%$: 703 грн/га, при $\theta = 15\%$: 783 грн/га, ріст на 11,38%;

МА 2: при $\theta = 2\%$: 572 грн/га, при $\theta = 15\%$: 626 грн/га, ріст на 9,44%;

МА 3: при $\theta = 2\%$: 595 грн/га, при $\theta = 15\%$: 659 грн/га, ріст на 10,76%;

МА 4: при $\theta = 2\%$: 610 грн/га, при $\theta = 15\%$: 662 грн/га, ріст на 8,52%;

МА 5: при $\theta = 2\%$: 671 грн/га, при $\theta = 15\%$: 722 грн/га, ріст на 7,6%;

В середньому зростання на 9,52%: з 630 грн/га до 690 грн/га.

Аналізуючи отримані результати досліджень, можемо констатувати, що зміна кута нахилу поверхні поля має значний вплив на економічні показники роботи машинних агрегатів. Особливо великий вплив спостерігається на показники енергетичної ефективності. Зростання кута нахилу поверхні поля в діапазоні від 0% до 20% призводить до помірної збільшення прямих експлуатаційних витрат, в середньому на 0,766% для кожного наступного відсотка нахилу. Загальний рівень зростання витрат на обробіток 1 га поля при збільшенні нахилу з 2 до 15% варіюється від 7,6% до 11,38%, в залежності від машинного агрегату.

Висновок

У даній роботі нами було обґрунтовано важливість використання систем точного землеробства для визначення рельєфу поверхні поля. Результати дослідження підтверджують, що зміна кута нахилу поверхні поля має значний вплив на економічні показники роботи машинних агрегатів. Використання СТЗ дозволяє точно та швидко виміряти цей параметр і забезпечує більш ефективне планування та управління земельними ресурсами. Застосування СТЗ для визначення рельєфу допомагає зменшити витрати палива та паливно-мастильних матеріалів, а також покращує загальну економічну продуктивність обробки поля.

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, а також помірно погіршення інших показників роботи машинного агрегату.

Згідно отриманих даних, обробка поля з рельєфом 15%, відносно поля з рельєфом 2%, призводить до зростання витрати палива та паливно-мастильних матеріалів в середньому, для 5 агрегатів різного складу, на 45,5 та 48% відповідно. Інші показники погіршуються в середньому на 1,66 – 3,88%. Все це, в результаті, призводить до суттєвого збільшення прямих експлуатаційних витрат машинного агрегату на обробку одного гектару поля.

Загальний рівень зростання витрат на обробіток 1 га поля при збільшенні нахилу з 2 до 15% варіюється від 7,6% до 11,38%, в залежності від машинного агрегату. Зростання кута нахилу поверхні поля в діапазоні від 0% до 20% призводить до помірної збільшення прямих експлуатаційних витрат, в середньому на 0,766%, для кожного наступного відсотка нахилу.

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.

Список використаних джерел.

1. Dankevych V.E. (2013) Ekonomichna efektyvnist tekhnolohii tochnoho zemlerobstva. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu im. V.V. Dokuchaieva. Seriiia "Ekonomichni nauky" № 6., S. 102. (in Ukrainian)
2. Kopishynska, O. P., Marenych, M. M., & Utkin, Y. V. (2019). Efektyvnist uprovdzhennia system tochnoho zemlerobstva v ahrarnykh pidpriemstvakh. Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu. Seriiia «Ekonomichni nauky», (34), 157-163. (in Ukrainian) DOI: <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2019-34-34>
3. Truskavetskyi, S. R., Byndych, T. Yu., Koliada, L. P., Viatkin, K. V., & Sherstiuk, O. I. (2017). Vykorystannia danykh suputnykovoii ziomky v systemakh tochnoho zemlerobstva. Naukovyi zhurnal «Inzheneriia pryrodokorystuvannia», (1 (7)), 29-35. (in Ukrainian)
4. Mikulina, M. O., & Polyvanyi, A. D. (2023). METODYChNI PIDKhODY STOSOVNO VYVChENNIa VPLYVU TYPU KhODOVOI SYSTEMY TRAKTORIV NA TEKhNIKO-EKONOMICHNI POKAZNYKY. 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. (p. 185). (in Ukrainian)
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 29-31, 2023) CPN Publishing Group, Boston, USA* (pp. 186-190).
6. Mikulina M., Polyvanyi A., Bondarenko V. (2023) Tekhniko-ekonomichna otsinka vykorystannia system i tekhnolohii v roslynnystvi / M. Mikulina // Science and technology: problems, prospects and innovations. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Osaka, Japan. 2023. Pp. 18-22. (in Ukrainian)
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>
8. Mikulina M. (2022) Economic security of the development of agrarian formations [Electronic resource] / M. Mikulina, A. Polyvanyi // Sustainable Development in Wartime Ukraine and the World : multidisciplinary conference for young researchers, (November 25, 2022). – Prague, 2022. – P. 22-24. DOI: <https://doi.org/10.25140/978-80-213-3242-3-2022>
9. Pánková, L., Aulová, R., & Jarolímek, J. (2020). Economic aspects of precision agriculture systems. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics*, 12 (665-2022-412), 59-67. DOI: <https://doi.org/10.7160/aol.2020.120306>
10. West, G. H. and Kovacs, K. (2017) "Addressing Groundwater Declines with Precision Agriculture: An Economic Comparison of Monitoring Methods for Variable-Rate Irrigation", *Water*, Vol. 9, No. 1. ISSN 2073-4441. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9010028>

Mikulina M.O., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

Polyvanyi A.D., Sumy National Agrarian University (Ukraine)

PRECISION FARMING SYSTEMS AS A TOOL FOR DETERMINING FIELD RELIEF: ASSESSMENT OF THE ECONOMIC EFFECT

Abstract. 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.

According to the obtained data, processing a field with a relief of 15%, relative to a field with a relief of 2%, leads to an increase in the consumption of fuel and fuel-lubricating materials on average, for 5 MU of different composition, by 45.5 and 48%, respectively. Other indicators deteriorate by an average of 1.66 - 3.88%. All this, as a result, leads to a significant increase in the direct operating costs of the machine unit for processing one hectare of field.

The general level of growth of costs for cultivation of 1 hectare of field when relief increases from 2 to 15% varies from 7.6% to 11.38%, depending on the machine unit. An increase in field relief between 0% and 20% leads to a moderate increase in direct operating costs, on average by 0.766%, for each successive percentage of relief.

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