

## ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КЛАСУ ТОЧНОСТІ ДЛЯ НАВІГАЦІЙНОЇ ГІС ПРЕЦИЗІЙНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

*О. В. Сініцин, аспірант*

*e-mail: [nni.elektrik@gmail.com](mailto:nni.elektrik@gmail.com)*

**Анотація.** *Розглянуто концепцію технології прецизійного землеробства та описано її ключовий елемент – навігаційну геоінформаційну систему. Запропоновано класифікацію точності визначення місцеположення агрегатів та розраховано і обґрунтовано вибір оптимального класу точності для технологічних операцій, що виконуються за допомогою технології паралельного водіння.*

**Ключові слова:** *прецизійне землеробство, точність визначення місцеположення, паралельне водіння, ГІС*

Прецизійне (точне, точкове) землеробство (ПЗ) – новітній прогресивний спосіб ведення сільськогосподарського виробництва, який дає змогу підвищити урожайність культур при одночасному збереженні родючості ґрунту, заощадженні матеріальних і фінансових ресурсів та зменшенні техногенного тиску на навколишнє середовище [1].

ПЗ спрямоване на підвищення продуктивності, зменшення собівартості продукції, зниження трансакційних витрат та збереження навколишнього середовища. Використання технології ПЗ забезпечує 30 % приросту урожаю, економію добрив, гербіцидів тощо.

Традиційне землеробство передбачає однакове проведення агротехнічних прийомів на окремому полі. Кожне поле розглядається як однорідне - елементна одиниця управління. У цьому разі, наприклад, внесення надмірних доз добрив (гербіцидів, інших засобів хімізації) створює реальну загрозу навколишньому середовищу.

В основі наукової концепції прецизійного землеробства лежать уявлення про існування неоднорідностей в межах одного поля. Для оцінки і детектування цих неоднорідностей використовуються новітні технології, такі як системи глобального позиціонування GPS, спеціальні датчики, аерофотознімки і знімки з супутників, а також спеціальні програми для агроменеджменту на базі геоінформаційних систем (ГІС) [2].

Ключовим елементом технології ПЗ є використання системи навігації, яка дозволяє скоротити експлуатаційні витрати, такі як трудовитрати, витрати на добрива і паливо.

**Мета досліджень** – обґрунтування вибору методу визначення точного місцеположення агрегатів та побудова математичної моделі залежності між точністю визначення місцеположення агрегатів та кількістю технологічних операцій, що виконуються за допомогою технології паралельного водіння.

**Матеріали та методика досліджень.** Для реалізації навігаційної ГІС в ПЗ необхідно вирішити комплекс задач (обробіток ґрунту, полив, обприскування, тощо) на різних етапах життєвого циклу посівів. Реалізація цих задач зумовлює вибір методу і точності визначення місцеположення агрегатів.

У статті акцентовано увагу на технологічних аспектах паралельного водіння агрегатів, яке неможливе без точного визначення місцеположення у реальному часі.

**Результати досліджень.** Застосування системи ПЗ стало можливим завдяки наявності технічних засобів із позиціонування агрегатів (тракторів, комбайнів, тракторних засобів з використанням супутникових навігаційних систем, застосування таких систем дозволило також отримувати в сільському господарстві точні дані про місце знаходження про характерні для даної ділянки поля певних параметрів: забезпеченість поживними речовинами, вологість, стан рослин. Для позиціонування об'єктів нині працюють глобальні супутникові навігаційні системи GPS (США), ГЛОНАСС (Росія), Галілео (Євросоюз). Кожна система складається з 24 супутників, що обертаються навколо Землі по кругових орбітах, на висоті близько 19-23 тис. км з частотою 2

обороту на добу, передаючи навігаційні радіосигнали. Спеціальні приймачі, встановлені на агрегатах або на поверхні Землі, приймають ці сигнали і обчислюють місце розташування методом тріангуляції. Приймач порівнює час випромінювання сигналу з часом прийому цього сигналу, різниця між цими величинами дозволяє обчислити відстань до супутника. Знаючи відстань до декількох (3 - 4) супутників, приймач визначає своє місце розташування і відображає його на електронній карті, з точністю від одного - двох метрів до 20 см. Користування послугами систем GPS, ГЛОНАСС і Галілео безкоштовне.

Для збільшення точності визначення місцезнаходження об'єкта до 2,5 см – крім прийому сигналів базових - глобальних супутників, необхідно приймати сигнали диференціальних поправок від спеціальних супутників.

Вартість річного абонементу за прийом сигналів від спеціальних супутників EGNOS і Січ.-1 - 11 тис. грн. Найбільшого поширення в Україні отримали антени і приймачі системи GPS (США) з використанням сигналу SF-1 диференціальної поправки [3].

Гарантований диференційний сервіс - платна послуга. Є можливість використовувати європейський Omnistar. Залежно від типу підписки Omnistar забезпечує кілька рівнів точності: VBS і HP, XP. Підписка на VBS коштує до 1 тис. євро на рік, або 3 євро за годину (при замовленні не менше 150 годин). HP, XP забезпечує точність в 5-10 см. Річна підписка на HP, XP коштує на порядок дорожче. Щоб скористатися сервісом VBS і HP, XP, треба мати GPS-приймач, що підтримує такі послуги, або модернізувати GPS-приймач початкового рівня, додавши до нього спеціальну антену і програмне забезпечення [4].

Точність визначення місцезнаходження об'єкта залежить від класу приймача та сигналу диференціальної поправки, що використовує навігаційна ГІС (SF-1, SF-2, або RTK ).

Проаналізувавши і узагальнивши класифікацію, запропоновану компаніями ЗАО КБ «Панорама», John Deere, Case IH [4,5,6], що займаються розробкою і впровадженням програмно-апаратних засобів із застосуванням геоінформаційних систем і технологій, які використовуються як в народному

господарстві, так і в інтересах оборони країни, пропонуються такі класи точності:

1 клас (автономний режим системи точного водіння) - точність від проходу до проходу агрегату +/- 1 м (100 см) і більше;

2 клас (сигнал диференціальної поправки SF-1) - точність від проходу до проходу агрегату +/- 25 см;

3 клас (сигнал диференціальної поправки SF-2) - точність від проходу до проходу агрегату +/- 10 см;

4 клас (застосування базових станцій RTK)- точність від проходу до проходу агрегату +/- 2,5 см.

Аналіз існуючих досягнень показав, що 1 клас точності підходить для контролю за швидкістю переміщення техніки при виконанні польових робіт.

2 клас точності підходить для реалізації таких операцій:

- контролю за швидкістю переміщення техніки при виконанні польових робіт;

- обробітку ґрунту;

- обприскування;

- внесення добрив.

3 клас точності підходить для реалізації таких операцій:

- контролю за швидкістю переміщення техніки при виконанні польових робіт, обробітку ґрунту, обприскування, внесення добрив;

- збиральних робіт;

- посіву;

- скошування.

4 клас точності підходить для реалізації таких операцій:

- контролю за швидкістю переміщення техніки при виконанні польових робіт, обробітку ґрунту, обприскування, внесення добрив, збиральних робіт, посіву, скошування;

- полосного обробітку ґрунту;

- зрошування;

- підготовки ґрунту до посіву.

Для обґрунтування доцільності визначення точного місцеположення агрегатів та виявлення ефективності паралельного водіння побудуємо математичну модель залежності між точністю визначення місцеположення агрегатів та кількістю технологічних операцій, що виконуються за допомогою технології паралельного водіння (табл. 1).

Побудова кореляційних моделей [7,8,9] дає можливість вивчати залежність показників, що не зв'язані між собою функціонально. Кореляційний зв'язок на відміну від функціонального проявляється лише взагалі та в середньому і тільки в масі спостережень.

**1. Математична залежність між точністю визначення місцеположення агрегатів та кількістю технологічних операцій, що виконуються за допомогою технології паралельного водіння**

Клас точності	1	2	3	4	$\Sigma$	Середнє значення
$x$	100	25	10	2,5	137,5	34,375
$y$	1	4	7	10	22	5,5
$x - \bar{x}$	65,625	-9,375	-24,375	-31,875	0	0
$y - \bar{y}$	-4,5	-1,5	1,5	4,5	0	0
$(x - \bar{x}) \times (y - \bar{y})$	-295,31	14,06	-36,56	-143,44	-461,25	-115,31
$(x - \bar{x})^2$	4306,64	87,89	594,14	1016,01	6004,69	1501,17
$(y - \bar{y})^2$	20,25	2,25	2,25	20,25	45	11,25
$\bar{x}$	0,14	6,14	7,34	7,94	21,56	5,39
$y - \bar{x}$	0,86	-2,14	-0,34	2,06	0,44	0,11
$(y - \bar{x})^2$	0,74	4,58	0,11	4,24	9,68	2,42

Для оцінки кореляційного зв'язку між двома ознаками, використовують коефіцієнт кореляції, який визначають за формулою:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

де  $x$  – точність визначення місцеположення агрегатів, см;  $y$  – кількість технологічних операцій, що виконуються за допомогою технології паралельного водіння.

$$r = - 461,25 / \sqrt{6004,69 \cdot 45} \approx - 0,89.$$

Коефіцієнт кореляції знаходиться в межах від 0 до  $\pm 1$ . Якщо коефіцієнт кореляції дорівнює нулю, то зв'язок відсутній, а якщо одиниці, то зв'язок функціональний. Знак при коефіцієнті кореляції вказує на напрям зв'язку ("+" - прямий, "-" - обернений). Чим ближче коефіцієнт кореляції до одиниці, тим зв'язок між ознаками тісніший.

Похибка коефіцієнта кореляції визначають за формулою:

$$\Delta r = \sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}, \quad (2)$$

де  $n$  – кількість класів точності.

$$\Delta r = \sqrt{1-0,792 / 4-2} = 0,1.$$

Коефіцієнт кореляції, як вибіркова характеристика, перевіряється на значущість за допомогою  $t$ -критерію Стьюдента:

$$t = \frac{|r|}{\Delta r}, \quad (3)$$

де  $r$  – коефіцієнт кореляції;  $\Delta r$  – похибка коефіцієнта кореляції.

$$t = 0,89 / 0,1 = 8,9.$$

При ступені свободи  $k=n-1=4-1=3$  і рівні значущості ( $\alpha$ ) найбільш наближеним буде значення - 7,4.

Далі необхідно визначити значення суми (абсолютно значимих похибок) регресивного коефіцієнта:

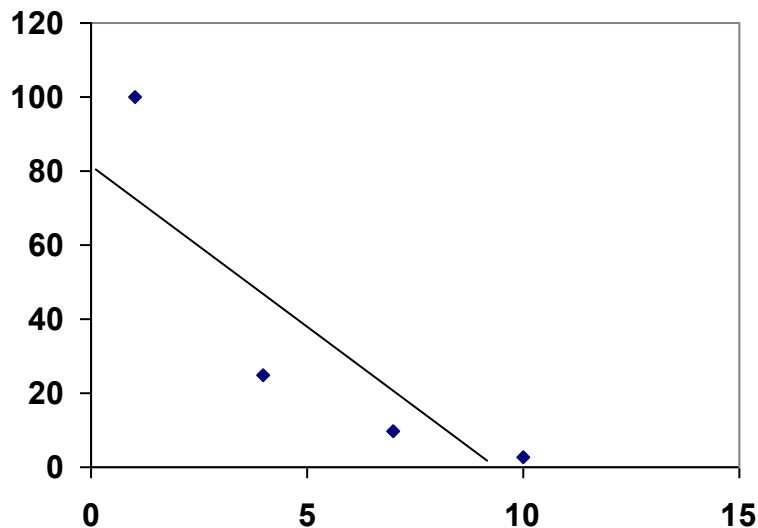
$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \times (y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; \quad (4)$$

$$\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \times \bar{x}; \quad (5)$$

$$\hat{\beta}_1 = - 461,25 / 6004,69 = - 0,08;$$

$$\hat{\beta}_0 = 5,5 + 2,64 = 8,14.$$

На рис. 1 представлено графічне зображення математичної моделі, яка має вигляд лінійного оберненого взаємозв'язку між ознаками (лінійна залежність).



**Рис.1 . Графічне зображення математичної моделі побудованої на основі лінійної функції**

Також необхідно визначити стандартну похибку (міру відхилення від моделі лінійної залежності):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - 2}}; \quad (6)$$

$$\hat{y}_n = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \times x_n; \quad (7)$$

$$\sigma = \sqrt{2,42/2}=1,21.$$

Похибка регресійного коефіцієнта визначається за формулою:

$$\Delta\beta_1 = \frac{\sigma}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}; \quad (8)$$

$$\Delta\beta_1 = 1,21 / \sqrt{6004,69} = 0,015$$

$$t_0 = \frac{|\hat{\beta}_1|}{\Delta\beta_1}, \quad (9)$$

$t_0 = 0,08 / 0,015 = 5,3$ . Виходячи з отриманих розрахунків, за таблицею критичних точок Стьюдента - нульову гіпотезу відхиляємо.

Далі розрахуємо коефіцієнт еластичності, який показує ступінь кількісної зміни одного чинника при зміні іншого на 1 %, за формулою:

$$E_x = \hat{\beta}_1 \times \frac{\bar{x}}{\bar{y}}, \quad (10)$$

$$E_x = -0,08 * 34,375 / 5,5 = -0,0128 \%$$

Отже, при збільшенні кількості технологічних операцій, що виконуються за допомогою технології паралельного водіння на 1 %, визначення місцеположення агрегату стає точніше на 0,0128 % (або на 0,08 см).

Поряд з коефіцієнтом кореляції використовується ще один критерій, за допомогою якого також вимірюється щільність зв'язку між двома або більше показниками та перевіряється адекватність (відповідність) побудованої регресійної моделі реальній. Тобто дається відповідь на запитання, чи дійсно зміна значення у лінійно залежить саме від зміни значення  $x$ , а не відбувається під впливом різних випадкових факторів. Таким критерієм є коефіцієнт детермінації.

Коефіцієнт детермінації розраховується за формулою:

$$r^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (11)$$

$$r^2 = 1 - 9,68 / 45 = 1 - 0,21 = 0,79.$$



$r^2$  вказує на те, що 79 % варіації технологічних операцій, що виконуються за допомогою технології паралельного водіння, зумовлено варіацією точністю визначення місцеположення агрегатів. Коефіцієнт залишкової детермінації (1-0,79) вказує на те, що 21 % варіації технологічних операцій, що виконуються за допомогою технології паралельного водіння, обумовлені дією інших причин.

### **Висновки**

Можна зробити висновок, що коефіцієнт кореляції достовірний (значущий), а зв'язок між залежною змінною та незалежними факторами суттєвий.

В статті запропоновано класифікацію точності визначення місцеположення агрегатів та розраховано і обґрунтовано вибір оптимального класу точності для технологічних операцій, що виконуються за допомогою технології паралельного водіння.

Виходячи з вищезазначеного – навігаційна ГІС 4 класу точності визначення місцезнаходження об'єкта є найефективнішим інструментом для впровадження технології ПЗ.

### **Список літератури**

1. Аніскевич, Л. В. Системи керування нормами внесення матеріалів в технологіях точного землеробства: автореферат дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук: спец. 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / Л. В. Аніскевич. – К., 2005. – 36 с.

2. Тітова О.П. Ефективність впровадження технологій точного землеробства в аграрних підприємствах України [Електронний ресурс] / О.П. Тітова, О.М. Бородіна. – Режим доступу: <http://intkonf.org/titova-o-p-den-borodina-o-m-efektivnist-vprovadzhennya-tehnologiy-tochnogo-zemlerobstva-v-agrarnih-pidpriemstvah-ukrayini/>

3. Беренштейн И.Б. Применение элементов системы точного земледелия в Крыму / И. Б. Беренштейн // Наукові праці Південного філіалу Національного

університету біоресурсів і природокористування України "Кримський агротехнологічний університет". Технічні науки. – 2013. – Вип. 153. – С. 13–20.

4. Офіційний веб – сайт ЗАО КБ «Панорама» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.gisinfo.ru/spread/spread.htm#about>.

5. Офіційний веб – сайт компанії John Deere [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.deere.ru/ru\\_RU/our\\_company/about\\_us/about\\_us.page](http://www.deere.ru/ru_RU/our_company/about_us/about_us.page)

6. Офіційний веб – сайт компанії Case IH [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.caseih.com/emea/ua-ua/pages/products.aspx>

7. Мармоза А.Т. Теорія статистики. : навч. посібник. - К.: Центр навчальної літератури, 2013 - 592с.

8. Руденко В. М. Математична статистика: навч. посіб. / В.М. Руденко. – К.: Центр учбової літератури, 2012. – 304 с.

9. Адамень Ф.Ф. Основы математического моделирования агробиопроцессов / Ф.Ф. Адамень, В.А. Вергунов, И.Н. Вергунова – К.: Нора-Прінт, 2005. – 372 с.

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КЛАССА ТОЧНОСТИ ДЛЯ НАВИГАЦИОННОЙ ГИС ПРЕЦИЗИОННОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

***А. В. Сеницын***

**Аннотация.** *Рассмотрена концепция технологии прецизионного земледелия и описано ее ключевой элемент – навигационную геоинформационную систему. Предложена классификация точности определения местоположения агрегатов, рассчитан и обоснован выбор оптимального класса точности для технологических операций, выполняемых с помощью технологии параллельного вождения.*

**Ключевые слова:** *прецизионное земледелие, точность определения местоположения, параллельное вождение, ГИС*

## JUSTIFICATION OF THE CHOICE CLASS OF ACCURACY FOR NAVIGATION, GIS, PRECISION AGRICULTURE

*A. Sinitsyn*

**Annotation.** *The concept of technologies of precision agriculture are described and its key element – navigation geographic information system. The classification accuracy of determining the location of units and calculated and the choice of optimal accuracy class for process operations performed using the technology of parallel driving.*

**Key words:** *precision agriculture, precision location, parallel navigation, GIS*