

## Дослідження методів фільтрації та обробки даних у сенсорних мережах сільськогосподарського призначення

Н.К. Чумаченко<sup>1</sup>, студентка магістратури

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4150-7051>; e-mail: 6948785@stud.op.edu.ua;

В.С. Ситніков<sup>1</sup>, доктор технічних наук, професор

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3229-5096>; e-mail: sitnikov@op.edu.ua;

Scopus Author ID: 57190377358

<sup>1</sup>Національний університет «Одеська політехніка»

**Анотація.** У статті розглянуто задачу впливу шумів на точність вимірювань у сенсорних системах точного землеробства. Показано, що наявність перешкод, нестабільності сигналів та зовнішніх факторів суттєво знижує достовірність даних, отриманих від сенсорів вологості ґрунту, температури та кислотності. Проаналізовано ефективність поширених методів фільтрації сигналів, зокрема фільтрів низьких частот, медіанної фільтрації, експоненційного згладжування та фільтра Калмана. Визначено їхні переваги, недоліки та особливості застосування в умовах змінного рівня шуму. Запропоновано адаптивний підхід до обробки сигналів, що базується на автоматичному визначенні параметрів, використовуючи математичний зв'язок між коефіцієнтом підсилення Калмана та коефіцієнтом згладжування експоненційного згладжування. Для перевірки ефективності запропонованого підходу розроблено модель адаптивної обробки сенсорних сигналів та проведено дослідження його роботи в умовах впливу шумів. Проведено моделювання роботи системи автоматичного поливу з використанням відфільтрованих сенсорних даних та виконано порівняльний аналіз із класичними методами фільтрації. Результати моделювання показали підвищення точності обробки сенсорних даних, зменшення похибки вимірювання та покращення ефективності керування системою автоматичного поливу. Отримані результати підтверджують доцільність використання адаптивної фільтрації в аграрних сенсорних мережах. Практична цінність роботи полягає у можливості застосування запропонованого методу в робототехнічних системах аграрного призначення та інтелектуальних IoT-платформах точного землеробства.

**Ключові слова:** фільтрація сигналів, точне землеробство, сенсорні мережі, обробка даних, шум у сенсорних системах, адаптивні алгоритми.

Цитування статті: Чумаченко Н. К., Ситніков В. С. (2026). Дослідження методів фільтрації та обробки даних у сенсорних мережах сільськогосподарського призначення. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*, 46(122), с.71-81. doi:<https://doi.org/10.15276/eltecs.46.122.2026.7>

### Вступ

Сприятливі природно-кліматичні умови України створюють передумови для розвитку сільськогосподарства, яке традиційно відіграє важливу роль у забезпеченні економічної стабільності держави.

Проте сучасні технології та економічні зміни суттєво впливають на методи ведення агропромисловості: зростання попиту на продукцію, необхідність ефективного використання ресурсів та посилення конкуренції вимагають перегляду

традиційних підходів. У таких умовах класичні методи управління та організації виробництва вже не завжди забезпечують необхідний результат, у зв'язку з чим виникає потреба у пошуку нових та більш ефективних підходів для підвищення ефективності аграрного виробництва. Одним із найперспективніших рішень є цифровізація аграрного сектору, зокрема через точне землеробство - інтеграцію комп'ютерних систем, сенсорних мереж та автоматизованої техніки для оптимального використання ресурсів і підвищення продуктивності [1].

© Чумаченко Н. К., Ситніков В. С., 2026

Ця стаття відкритої доступу за ліцензією CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.uk>)

Хоча ідея точного землеробства виникла ще наприкінці ХХ століття, сьогодні вона є передовим напрямом у світовій агротехніці. Згідно з сучасними дослідженнями, точне землеробство є не просто новою технологічною тенденцією, а обов'язковим елементом модернізації аграрного сектору [2].

В Україні питання впровадження точного землеробства привертає увагу не лише дослідників і аналітиків, а насамперед самих аграріїв. Значна частина великих агропідприємств вже впровадила окремі елементи точного землеробства. Рівень цифровізації сільського господарства загалом оцінюється в середньому близько 35 %, однак ще є недостатнім для конкуренції з провідними світовими аграрними лідерами. Висока вартість технологій робить ці рішення недоступними для середніх і малих підприємств, а обмежений рівень власних досліджень змушує аграріїв покладатися на закордонні системи, які адаптовані до інших кліматичних умов і не завжди повністю задовольняють потреби навіть великих господарств. Саме тому глибоке вивчення цієї сфери та пошук методів оптимізації існуючих систем є критично важливими для підвищення конкурентоспроможності українського агросектору.

Системи точного землеробства стикаються з низкою критичних викликів, які становлять основу для активних наукових досліджень. На відміну від звичайних комп'ютерних систем, вони працюють у непередбачуваних умовах, де сенсо-

рні вузли піддаються постійному впливу навколишнього середовища. Саме навколишнє середовище стає джерелом значної кількості зовнішніх впливів і перешкод, що спотворюють вимірювальні сигнали [3]. Водночас для систем точного землеробства критично важливою є висока точність отриманих даних. Таке протиріччя обумовлює актуальність розробки ефективних адаптивних методів фільтрації, які дозволяють подолати вплив навколишнього середовища на сигнал [4].

## 1 Аналіз існуючих рішень

Однією з ключових проблем під час обробки даних у смарт-системах є наявність шумів у вимірювальних сигналах. Рівень допустимих шумів та вимоги до їх придушення визначаються функціональним призначенням конкретної системи. Для систем точного землеробства навіть невеликі похибки у даних можуть призвести до некоректних управлінських рішень і, відповідно, до втрат ресурсів.

На систему точного землеробства одночасно впливають різні види перешкод, що формують складний шумовий фон. Такий комбінований вплив є типовим для смарт-систем і суттєво ускладнює обробку даних [5]. До основних факторів, що формують шумовий фон у системах точного землеробства та інших смарт-системах, належать природні, технічні та антропогенні фактори (Рис. 1)

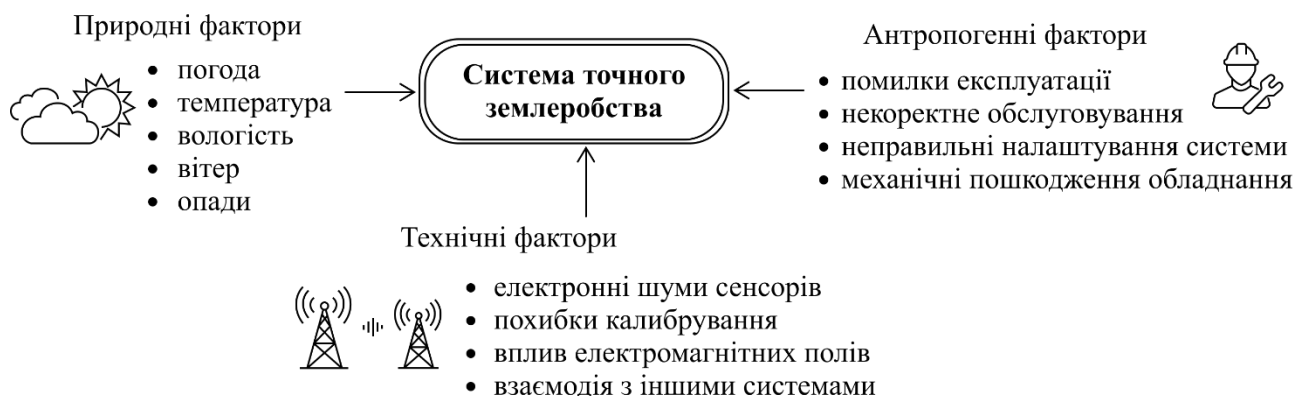


Рис. 1 – Джерела шумів у системах точного землеробства

Серед усіх джерел шумів у системах точного землеробства саме природні фактори мають найсильніший вплив. Це пояснюється розташуванням обладнання безпосередньо на відкритому полі, де воно постійно піддається дії навколишнього середовища. Усунути ці джерела неможливо, оскільки вони є невід'ємною характеристикою функціонування системи, тому забезпечення високої точності вимірювань можливе

лише за рахунок пристосування методів обробки даних до характеру шумів. При цьому природні перешкоди мають детермінований характер і підпорядковуються закономірностям фізики, що дозволяє передбачати їх появу і вплив.

З огляду на специфіку шумів у системах точного землеробства, стає очевидною актуальність пошуку ефективних методів обробки сигналів. Метою дослідження визначено розробку

та обґрунтування таких методів фільтрації, які забезпечують високу точність вимірювань при одночасному ефективному зменшенні шумів різного походження, урахуваючи особливості агросередовища та вимоги до управлінських рішень.

Фільтрація сигналів є однією з базових задач обробки даних, для якої вже розроблено значну кількість методів. У більшості практичних випадків доцільно спочатку звернутись до добре відомих та перевірених підходів, а у випадку їх недостатньої ефективності розглянути можливість їх удосконалення або адаптації до конкретних умов [6]. Саме тому в рамках дослідження були проаналізовані алгоритми фільтрації, які засто-

совуються в інших системах точного землеробства.

Одним із найдешевших і найпростіших у реалізації рішень є використання фільтрів високих та низьких частот. Їх застосовують у багатьох системах завдяки легкій реалізації та зрозумілості принципу роботи [7]. У системах точного землеробства сигнал здебільшого змінюється плавно, тоді як високочастотні коливання зазвичай є шумами. Тому фільтр високих частот у таких задачах використовують рідко і переважно в поєднанні з іншими методами. Натомість фільтри низьких частот добре справляються з придушенням шумів. Результат його роботи наведено на рис. 2

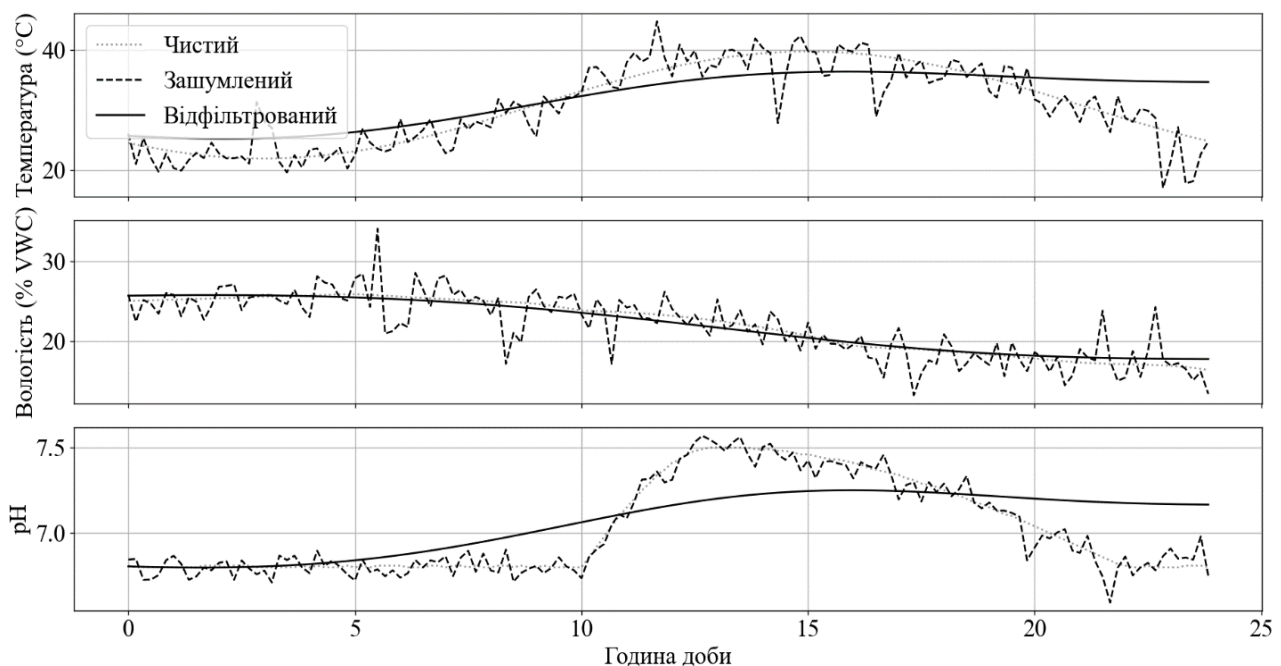


Рис. 2 – Результат фільтрації ФНЧ

З графіку видно, що фільтр низьких частот добре згладжує сигнал і ефективно усуває високочастотні шуми. Однак при цьому можна помітити, що відфільтрований сигнал втрачає частину достовірності даних, при цьому по-різному для різних показників. Наочно це видно на графіку кислотності при симуляції внесення добрив, де значення рН різко зростає — відфільтрований сигнал зрізається приблизно на половину, втрачаючи реальне значення змін.

Ефективність фільтрації сигналу низькочастотним фільтром визначається обранням значення частоти зрізу. Проблема в тому, що неможливо підібрати таку частоту, яка б одночасно задовольняла всі показники. У симуляції можна контролювати умови і прогнозувати вплив фільтра, однак у реальному житті погодні фактори непередбачувані. Тому низькочастотний фільтр

підходить для домашніх меліоративних систем, де точність не є критичною, тоді як для систем точного землеробства необхідно застосовувати більш гнучкі методи обробки сигналів.

Іншим поширеним методом, до якого звертаються у вже існуючих системах смарт-полів, є медіанний фільтр. Він працює, орієнтуючись на середнє значення сигналу у вікні спостереження, що дозволяє ефективно усувати різкі сплески та імпульсні шуми [8]. На графіку, наведеному на рисунку 3, бачимо, що медіанний фільтр ефективно подавляє імпульсні шуми, проте не справляється з плавними коливаннями сигналу. Навіть при великому розмірі вікна буде зберігатися гаусівський шум, при цьому це призведе до уповільненої реакції фільтра та втрати важливих різких змін.

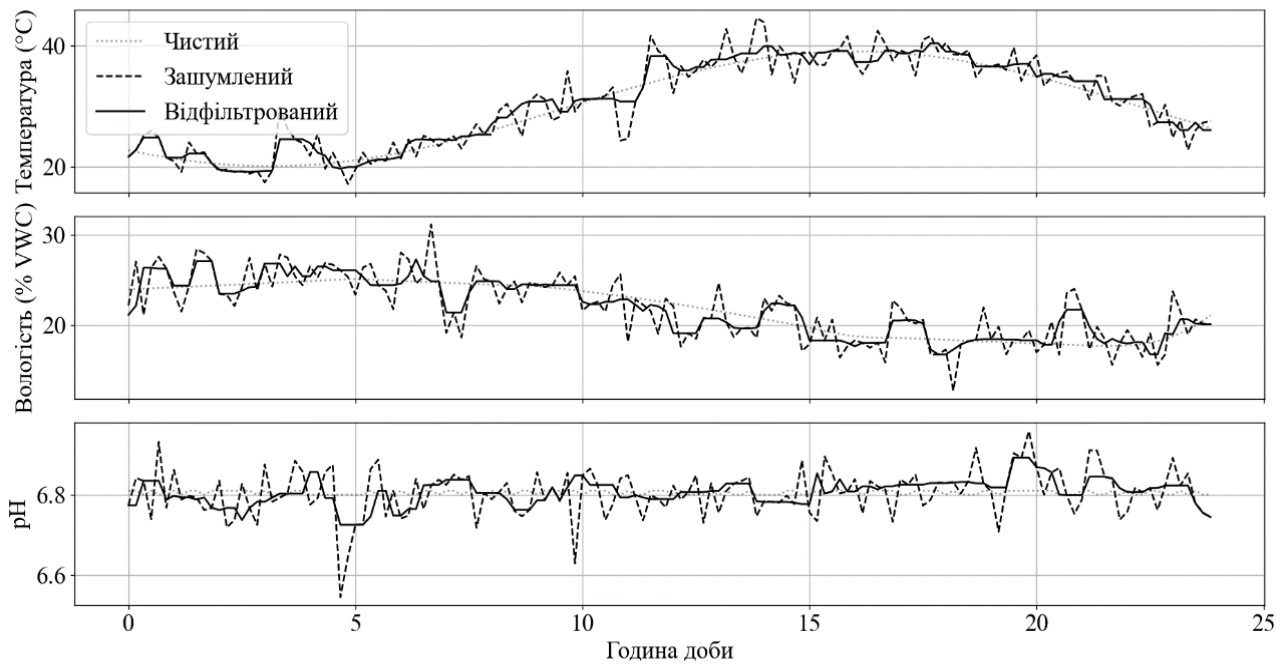


Рис. 3 – Результат обробки сигналу медіанним фільтром

Попри це, медіанний фільтр залишається корисним інструментом, особливо на етапі передфільтрації сигналу.

Одним із методів фільтрації, який має просту математичну реалізацію, але дозволяє цінити наступне значення сигналу на основі останніх даних, є метод експоненційного згладжування. Його принцип роботи полягає в тому, що кожне нове згладжене значення сигналу обчислюється як зважена сума поточного вимірювання та попереднього згладженого значення [9]. Таким чином, нові дані враховуються, але водночас зберігається вплив попередніх значень. Алгоритм експоненційного згладжування описується рівнянням:

$$\hat{y}[n] = (1 - \alpha)\hat{y}[n-1] + \alpha x[n], \quad (1)$$

де  $\hat{y}$  - відфільтроване (згладжене) значення;  
 $\alpha$  - коефіцієнт згладжування;  
 $x$  - значення вхідного сигналу;  
 $n$  - дискретний момент часу.

Основний недолік експоненційного згладжування полягає в тому, що оцінка нового значення напряму залежить від коефіцієнта  $\alpha$  та минулих значень. На графіку, наведеному на рисунку 4, видно, що шум зменшився, проте відзначається затримка відгуку на різкі зміни сигналу. Затримка в експоненційному згладжуванні залежить від  $\alpha$ , оскільки він визначає наскільки нові значення підпорядковуються минулим. Збільшення  $\alpha$  покращує швидкість реакції, але при цьому фільтр пропускає більше шуму і сигнал стає менш плавним. Коефіцієнт  $\alpha$  в ек-

споненційному згладжуванні зазвичай розраховується математично на основі властивостей сигналу, тому при великій кількості шуму у сигналі значення  $\alpha$  буде малим [10].

Метод не моделює структуру сигналу, не враховує його тренди або різкі зміни, і тому не забезпечує прогнозування для сигналів зі складною динамікою. Експоненційне згладжування підходить для систем, де затримка не впливає на результат або де сигнал має відносно стабільну і повторювану форму, як наприклад значення кислотності.

Однак у системах точного землеробства затримка безпосередньо впливає на управлінські рішення, і тому метод не завжди задовольняє потреби таких систем.

Найбільшу популярність у сучасних смарт-системах здобув фільтр Калмана. Його часто використовують і в системах точного землеробства, оскільки він дозволяє зменшувати вплив шумів та підвищувати точність вимірювань навіть у складних умовах. Це потужний інструмент, що поєднує попереднє прогнозування стану системи з новими вимірюваннями, поступово уточнюючи оцінки та відкидаючи шум [11].

Результат обробки сигналу фільтром Калмана зображений на рисунку 5.

Алгоритм роботи фільтра Калмана складається з двох основних етапів: прогнозування стану системи та його подальшого уточнення на основі нових вимірювань.

Етап прогнозування описується рівняннями (2):

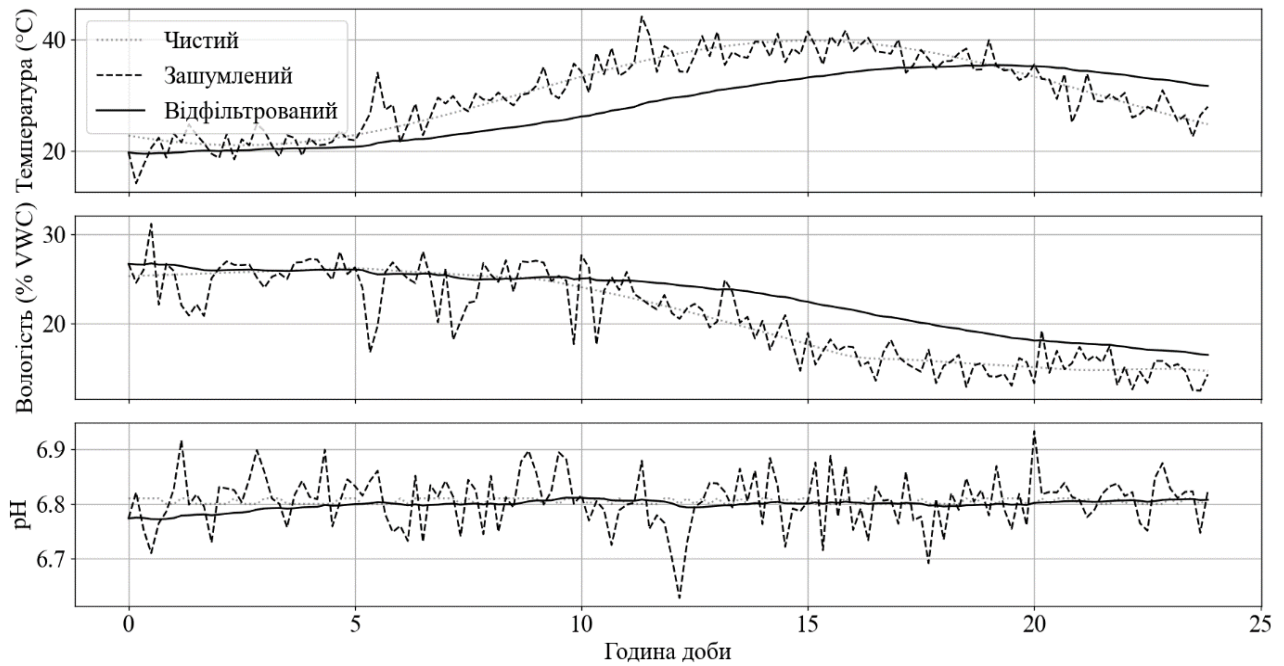


Рис. 4 – Результат обробки сигналу методом експоненційного згладжування

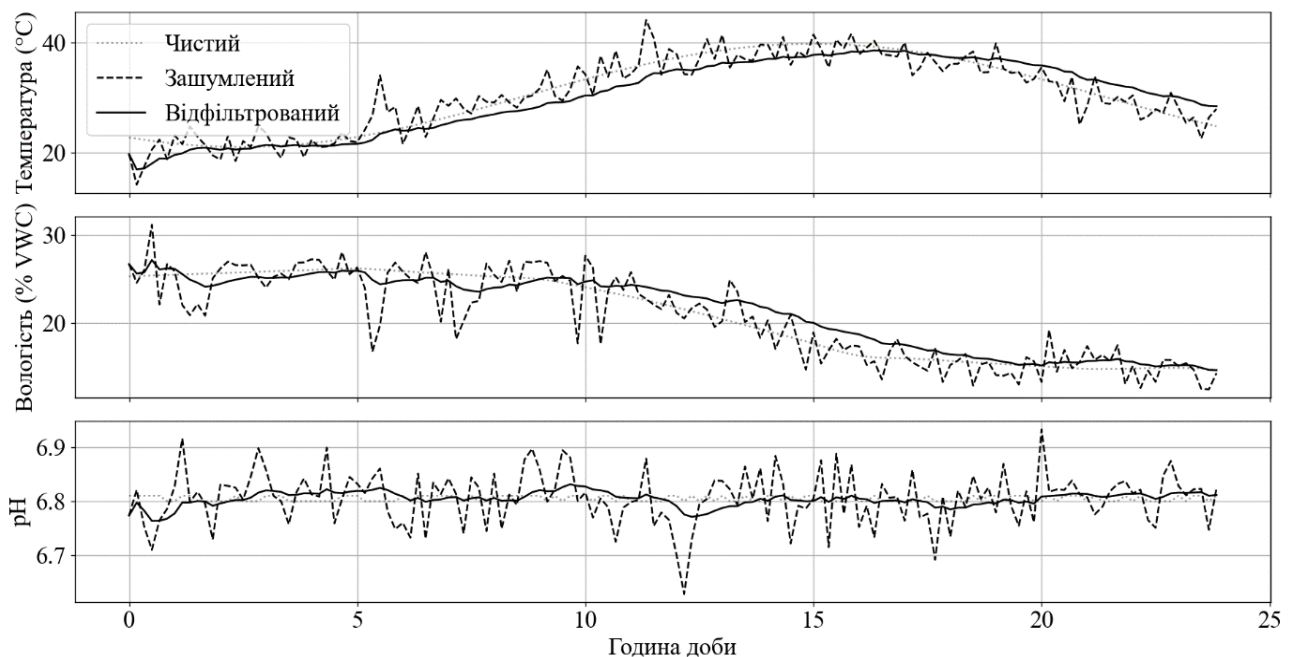


Рис. 5 – Результат обробки сигналу фільтром Калмана

$$\begin{aligned} \hat{x}_{k|k-1} &= \hat{x}_{k-1|k-1} \\ P_{k|k-1} &= P_{k-1|k-1} + Q, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\hat{x}$  - оцінка вектора стану системи;  
 $k$  - дискретний момент часу;  
 $P_{k|k-1}$  - прогнозована коваріація похибки на кроці  $k$ ;  
 $P_{k-1|k-1}$  - коваріація похибки після оновлення на попередньому кроці;  
 $Q$  - коваріація шуму процесу.

Після отримання нового вимірювання виконується етап корекції, під час якого обчислюється коефіцієнт Калмана  $K_k$ . Він визначає, наскільки новому вимірюванню слід довіряти під час оновлення оцінки сигналу. Коефіцієнт Калмана розраховується за формулою:

$$K_k = \frac{P_{k|k-1}}{P_{k|k-1} + R} \quad (3)$$

де  $K_k$  - коефіцієнт Калмана;  
 $R$  - коваріація шуму вимірювань.

Після цього оцінка стану і дисперсії похибки оновлюється за формулами:

$$\hat{x}_k = \hat{x}_{k|k-1} + K_k (z_k - \hat{x}_{k|k-1}) \quad (4)$$

$$P_k = (1 - K_k) P_{k|k-1}, \quad (5)$$

де  $z_k$  - виміряне значення в момент часу  $k$ .

З графіку, наведеному на рис. 5, видно, що фільтр добре справляється з завданням подавлення шуму, проте спостерігається ефект затримки, який характерний для класичного фільтра Калмана.

У періоди відносно стабільного сигналу фільтр працює добре, проте при посиленні шуму або швидких змінах показника він надто довго враховує попередні дані. Це відбувається через те, що базовий фільтр Калмана працює з фіксованими параметрами  $Q$  (шумом процесу) та  $R$  (шумом вимірювань), що не дозволяє йому швидко адаптуватися до різких змін сигналу. До того ж вибір цих значень часто здійснюється розробником на основі досвіду, а не точного розрахунку, і неправильне встановлення  $Q$  та  $R$  суттєво впливає на кінцевий результат. У підсумку ми отримуємо фільтр, який виконує своє основне завдання, але не повністю відповідає умовам самої системи. Для забезпечення більшої точності та мінімізації помилок необхідна адаптація методів фільтрації до змінних умов агросередовища [12].

Результати дослідження методів фільтрації показали, що існуючі підходи, хоч і є ефективними, мають обмеження, які не дозволяють повністю застосовувати їх у системах точного землеробства. Це підкреслює доцільність розробки нових, більш адаптивних методів фільтрації сигналів.

### 3 Теоретичне дослідження адаптивного методу фільтрації

З огляду на аналіз існуючих методів фільтрації можна зробити висновок, що найбільш перспективним для систем точного землеробства є підхід, подібний до фільтра Калмана. Однак важливим є мінімізація впливу людського фактора під час налаштування параметрів. Якщо ключові параметри методу визначатимуться на основі математичних залежностей, тобто розраховуватимуться автоматично, така система може забезпечити вищу точність та стабільність результатів.

Погодні параметри у сільському господарстві, як правило, змінюються повільно. Через повільну динаміку сигналу та сталість параметрів  $Q$  і

$R$  прогноз дисперсії похибки  $P$  поступово наближається до сталого значення. У результаті коефіцієнт Калмана також швидко збігається до майже постійного значення  $K$ . Враховуючи це, з рівняння коефіцієнта Калмана (3) можна вивести вираз сталої дисперсії помилки оцінки стану сигналу:

$$P = \frac{K}{1 - K} R \quad (6)$$

Також, на основі стабілізації фільтра можна також вивести значення дисперсії шуму процесу, підставивши значення прогнозу похибки (2) в формулу оновлення дисперсії:

$$Q = \frac{K}{1 - K} P \quad (7)$$

Маючи вираз для стаціонарної дисперсії (6), його можна підставити у формулу оновлення дисперсії (7) та отримати вираз для розрахунку дисперсії шуму процесу  $Q$ . Кінцева формула має вигляд:

$$Q = \frac{RK^2}{(1 - K)^2}$$

Отримана формула для розрахунку дисперсії шуму процесу є корисною для аналізу, проте в ній усе ще присутні параметри, які або доводиться підбирати вручну, або обчислюються на основі значень, що потребують попереднього вибору. Тобто повністю проблему усунення людського фактору на цьому етапі ще не вирішено, а отже необхідно знайти спосіб замінити ці значення на такі, які можна розрахувати математично.

Для пошуку способу усунення емпіричних коефіцієнтів доцільно розглянути рівняння оновлення стану фільтра Калмана та розкрити його скобки:

$$\hat{x}_k = (1 - K) \hat{x}_{k|k-1} + K z_k$$

З отриманого рівняння видно, що математична модель фільтра Калмана є еквівалентною до моделі експоненційного згладжування. Це означає, що коефіцієнт Калмана  $K$  можна розглядати як аналог коефіцієнта згладжування  $\alpha$  у експоненційному методі, що дозволяє замінювати один на інший у відповідних формулах. Отже, формула оновлення дисперсії буде мати вигляд:

$$Q = \frac{Ra^2}{(1 - a)^2}$$

Таким чином, виявлена математична подібність між фільтром Калмана та експоненційним згладжуванням дозволяє відмовитися від ручного підбору параметрів, при цьому зберігається здатність фільтра Калмана до адаптивного врахування змін сигналу та мінімізації впливу шумів, що відрізняє його від інших методів фільтрації.

### 3 Експериментальна перевірка запропонованого методу

Для розуміння ефективності результату теоретичних досліджень, розглянутий метод доцільно перевірити експериментально. Оскільки неможливо встановити повноцінну смарт-сенсорну мережу для збору реальних даних без поля, на етапі дослідження виправдано проводити тестування на штучно згенерованих сигналах, що вра-

ховують природні закономірності зміни температури та вологості ґрунту. Такий підхід дозволяє оцінити перспективи застосування методу без значних витрат ресурсів.

Результат роботи адаптивного фільтра Калмана наведено на рис. 6. З графіку видно, що метод ефективно відстежує динаміку сигналів температури, вологості та рН ґрунту, зберігаючи реалістичну форму добового ходу параметрів і відокремлюючи корисний сигнал від шумів. Фільтр стабільно реагує на різкі зміни, не створюючи зайвих сплесків, і в той же час ігнорує короточасні аномалії, які не відповідають реальним фізичним процесам. Таким чином, метод забезпечує надійну обробку сигналів для автоматизації систем поливу та демонструє перспективність застосування у практичних агросистемах.

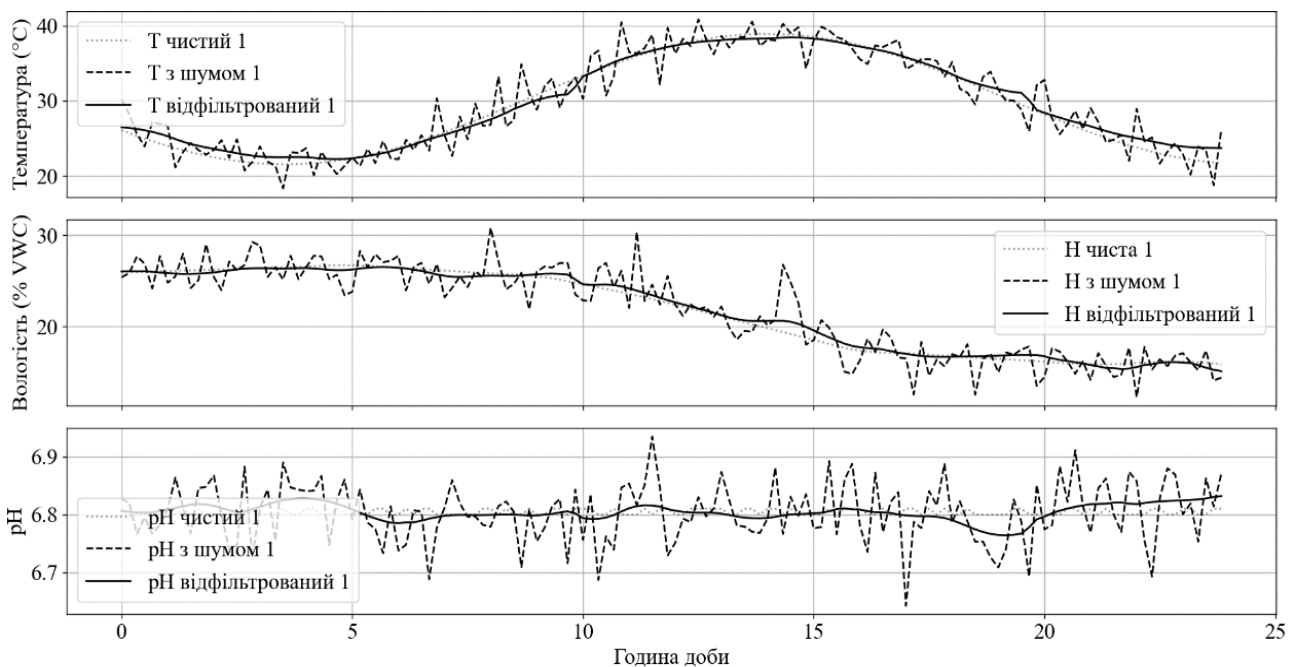


Рис. 6 – Результат роботи досліджуваного методу фільтрації

Додатково, для підтвердження ефективності розробленого методу, була проведена симуляція системи поливу з використанням штучно згенерованих сигналів температури та вологості ґрунту. Це дозволило оцінити, наскільки точно система реагує на зміну умов і визначити фактичну витрату води, а також виконати порівняння витрати води при використанні різних методів фільтрації сигналів.

Результати наведені в таблиці 1. З аналізу отриманої таблиці витрат видно, що розроблений метод працює значно точніше порівняно з класичним фільтром Калмана. У середньому правильно налаштований Калман недоливає близько 10 % необхідної кількості води через

затримки в обробці сигналу, тоді як адаптивний метод, що враховує особливості сигналу, забезпечує відхилення лише близько 2 %. При цьому, у разі неправильно підібраних значень параметрів Q та R для фільтра Калмана, недолив води може збільшитися ще більше, що підкреслює перевагу запропонованого підходу для точного керування поливом.

Проведена симуляція наочно продемонструвала ефективність розробленого методу обробки сенсорних даних. Отримані результати показали, що запропонований підхід дозволяє більш точно відтворювати реальні значення параметрів середовища та забезпечує коректніше керування системою автоматичного поливу.

Таблиця 1 - Порівняння витрати води при використанні різних методів фільтрації сигналів

День	Чистий сигнал (л)	Фільтр Калмана (л)	Відхилення (%)	Досліджуваний метод (л)	Відхилення (%)
1	20.68	19.83	-4.1%	21.10	+2.0%
2	18.98	15.30	-19.4%	18.10	-4.6%
3	22.67	19.83	-12.5%	23.20	+2.3%
4	20.12	19.27	-4.2%	20.80	+3.4%
5	26.92	24.37	-9.5%	26.60	-1.2%
6	19.55	18.70	-4.3%	20.10	+2.8%
7	18.70	16.43	-12.1%	18.90	+1.1%
8	26.35	23.80	-9.7%	26.10	-1.0%
9	26.63	24.93	-6.4%	26.90	+1.0%
10	25.22	22.67	-10.1%	24.70	-2.1%

Отримані результати підтверджують доцільність застосування запропонованого підходу для обробки даних у сенсорних мережах точного землеробства.

### Висновки

У статті представлено та дослідження ефективного методу підвищення точності вимірювань у сенсорних системах точного землеробства. Розглянуто особливості виникнення шумів та завад у сенсорних системах моніторингу параметрів навколишнього середовища, зокрема температури, вологості ґрунту та кислотності. Встановлено, що ключовою проблемою при застосуванні стандартних методів фільтрації є динамічна зміна характеристик шуму.

Проаналізовано ефективність класичних методів обробки даних, таких як фільтри низьких частот, медіанна фільтрація та експоненційне згладжування. Виявлено, що ці методи демонструють суттєві обмеження. Доведено, що використання базового фільтра Кальмана з фіксованими параметрами коваріації шумів призводить до втрати точності під час різких змін стану системи.

Запропоновано перехід до адаптивного алгоритму фільтрації, який дозволяє ефективніше відокремлювати корисний сигнал від шумів і забезпечує більш стабільну роботу систем автоматичного керування. Проведене моделювання та симуляція роботи системи поливу показали, що розроблений метод забезпечує меншу похибку визначення необхідного обсягу води порівняно з класичним фільтром Калмана.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на тестування запропонованого підходу на більш складних симуляціях і реальних даних сенсорних

мереж, а також на розширення адаптивного алгоритму для роботи з більшим набором аграрних параметрів та різними типами шумів у польових умовах.

### Конфлікти інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів стосовно цього дослідження, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, представлені в цій статті.

### Фінансування

Дослідження проводилося без фінансової підтримки.

### Наявність даних

Усі дані доступні в числовій або графічній формі в основному тексті рукопису.

### Використання штучного інтелекту

Автори заявляють про використання інструменту штучного інтелекту OpenAI GPT-5.3, який було застосовано для створення анотації та підбору ключових слів, перекладу з української на англійську мову, а також перевірки орфографії та пунктуації.

### Внесок авторів

*Чумаченко Н. К.*: дослідження, обробка даних, інтерпретація результатів, візуалізація, написання тексту;

*Ситніков В. С.*: наукове керівництво, концептуалізація, управління проєктом, редагування тексту.

### Список використаної літератури

1. Yuan, Y. and Sun, Y. (2024). Practices, Challenges, and Future of Digital Transformation in Smallholder Agriculture: Insights from a Literature Review. *Agriculture*, 14(12), pp.2193–2193. doi:<https://doi.org/10.3390/agriculture14122193>.
2. Mulla, D.J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), pp.358–371. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009>.
3. Musa, P., Sugeru, H. and Wibowo, E.P. (2024). Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review of NPK Sensor Implementations. *Sensors*, [online] 24(1), p.51. doi:<https://doi.org/10.3390/s24010051>.
4. Narinder Panotra, Rajula Bheemannagari Deepika, Roy, P., Singh, Y., Sinha, S., Choudhary, N., Choudhary, B., Anshu Gangwar, Mohanty, L.K. and Gopal, R. (2025). Advances in Precision Agriculture: A Review of Technologies, Applications and Future Prospects. *Archives of Current Research International*, 25(8), pp.722–737. doi:<https://doi.org/10.9734/acri/2025/v25i81454>.
5. Rajak, P., Ganguly, A., Adhikary, S. and Bhattacharya, S. (2023). Internet of Things and smart sensors in agriculture: Scopes and challenges. *Journal of Agriculture and Food Research*, [online] 14(14), p.100776. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100776>.
6. Proakis, J. G. (1992). *Digital signal processing: Principles, algorithms, and applications*. 2nd ed. New York : Macmillan, p.969.
7. Smith, S.W. (1999). *The scientist and engineer's guide to digital signal processing*. 2nd ed. San Diego, Calif : California Technical Pub., p.650.
8. Villar, S.A., Torcida, S. and Acosta, G.G. (2016). Median Filtering: A New Insight. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 58(1), pp.130–146. doi:<https://doi.org/10.1007/s10851-016-0694-0>.
9. Litterman, R.B., Makridakis, S., Andersen, A., Carbone, R., Fildes, R., Hibon, M., Lewandowski, R., Newton, J., Parzen, E. and Winkler, R. (1986). The Forecasting Accuracy of Major Time Series Methods. *Journal of the American Statistical Association*, 81(393), p.262. doi:<https://doi.org/10.2307/2288019>.
10. Брус О. О., Дікусар Є. В., Ситніков В. С. та Яценко, Т. П. (2012). Частотний аналіз пристрою, що реалізує алгоритм експоненціального згладжування. *Управляючі системи та машини*, [online] 1, pp.45–48. Доступно за адресою: <http://usim.org.ua/arch/2012/1/9> [Доступ отримано 07 травня 2026].
11. Welch, G. and Bishop, G. (2004). *An Introduction to the Kalman Filter*. [online] Available at: <https://techreports.cs.unc.edu/papers/95-041.pdf> [Accessed 07 May 2026].
12. Cui, B., Zhang, J., Wei, X., Cui, X., Sun, Z., Zhao, Y. and Liu, Y. (2024). Improved Information Fusion for Agricultural Machinery Navigation Based on Context-Constrained Kalman Filter and Dual-Antenna RTK. *Actuators*, 13(5), pp.160–160. doi:<https://doi.org/10.3390/act13050160>.

### References

1. Yuan, Y. and Sun, Y. (2024). Practices, Challenges, and Future of Digital Transformation in Smallholder Agriculture: Insights from a Literature Review. *Agriculture*, 14(12), pp.2193–2193. doi:<https://doi.org/10.3390/agriculture14122193>.
2. Mulla, D.J. (2013). Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. *Biosystems Engineering*, 114(4), pp.358–371. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2012.08.009>.
3. Musa, P., Sugeru, H. and Wibowo, E.P. (2024). Wireless Sensor Networks for Precision Agriculture: A Review of NPK Sensor Implementations. *Sensors*, [online] 24(1), p.51. doi:<https://doi.org/10.3390/s24010051>.
4. Narinder Panotra, Rajula Bheemannagari Deepika, Roy, P., Singh, Y., Sinha, S., Choudhary, N., Choudhary, B., Anshu Gangwar, Mohanty, L.K. and Gopal, R. (2025). Advances in Precision Agriculture: A Review of Technologies, Applications and Future Prospects. *Archives of Current Research International*, 25(8), pp.722–737. doi:<https://doi.org/10.9734/acri/2025/v25i81454>.

5. Rajak, P., Ganguly, A., Adhikary, S. and Bhattacharya, S. (2023). Internet of Things and smart sensors in agriculture: Scopes and challenges. *Journal of Agriculture and Food Research*, [online] 14(14), p.100776. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100776>.
6. Proakis, J. G. (1992). *Digital signal processing: Principles, algorithms, and applications*. 2nd ed. New York : Macmillan, p.969.
7. Smith, S.W. (1999). *The scientist and engineer's guide to digital signal processing*. 2nd ed. San Diego, Calif : California Technical Pub., p.650.
8. Villar, S.A., Torcida, S. and Acosta, G.G. (2016). Median Filtering: A New Insight. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 58(1), pp.130–146. doi:<https://doi.org/10.1007/s10851-016-0694-0>.
9. Litterman, R.B., Makridakis, S., Andersen, A., Carbone, R., Fildes, R., Hibon, M., Lewandowski, R., Newton, J., Parzen, E. and Winkler, R. (1986). The Forecasting Accuracy of Major Time Series Methods. *Journal of the American Statistical Association*, 81(393), p.262. doi:<https://doi.org/10.2307/2288019>.
10. Brus, O. O., Dikusar, Ye. V., Sytnikov, V. S. and Yatsenko, T. P. (2012). Frequency analysis of a device implementing an exponential smoothing algorithm [Chastotnyy analiz prystroyu, shcho realizuye alhorytm eksponentsial'noho z'hladzhuвання]. *Control systems and machines [Upravlyayuchi systemy ta mashyny]*, [online] 1, pp.45–48. Available at: <http://usim.org.ua/arch/2012/1/9> [Accessed 07 May 2026].
11. Welch, G. and Bishop, G. (2004). *An Introduction to the Kalman Filter*. [online] Available at: <https://techreports.cs.unc.edu/papers/95-041.pdf> [Accessed 07 May 2026].
12. Cui, B., Zhang, J., Wei, X., Cui, X., Sun, Z., Zhao, Y. and Liu, Y. (2024). Improved Information Fusion for Agricultural Machinery Navigation Based on Context-Constrained Kalman Filter and Dual-Antenna RTK. *Actuators*, 13(5), pp.160–160. doi:<https://doi.org/10.3390/act13050160>.

Отримано (Received) 27.04.2026

Отримано після доопрацювання (Received after revision) 05.05.2026

Прийнято (Accepted) 07.05.2026

Опубліковано (Published) 31.05.2026

## A study of data filtering and processing methods in agricultural sensor networks

N. K Chumachenko <sup>1</sup>, *Master's Student*

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4150-7051>; e-mail: [6948785@stud.op.edu.ua](mailto:6948785@stud.op.edu.ua)

V. S. Sytnikov <sup>1</sup>, *Dr. of Technical Science, Professor*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3229-5096>; e-mail: [sitnikov@op.edu.ua](mailto:sitnikov@op.edu.ua);

Scopus Author ID: 57190377358

<sup>1</sup>*Національний університет «Одеська політехніка»*

**Abstract.** *The article considers the problem of noise influence on measurement accuracy in sensor systems for precision agriculture. It is shown that the presence of interference, signal instability, and external factors significantly reduces the reliability of data obtained from soil moisture, temperature, and pH sensors. The efficiency of common signal filtering methods, including low-pass filters, median filtering, exponential smoothing, and the Kalman filter, is analyzed. Their advantages, disadvantages, and application features under conditions of varying noise levels are determined. An adaptive approach to signal processing based on automatic parameter estimation is proposed, using the mathematical relationship between the Kalman gain coefficient and the smoothing coefficient of exponential smoothing. To verify the effectiveness of the proposed approach, a model of adaptive sensor signal processing was developed and its operation under noise influence conditions was investigated. The operation of an automatic irrigation system using filtered sensor data was simulated, and a comparative analysis with classical filtering methods was performed. The simulation results demonstrated an increase in the accuracy of sensor data processing, a reduction in measurement error, and an improvement in the efficiency of automatic irrigation system control. The obtained*

*results confirm the feasibility of using adaptive filtering in agricultural sensor networks. The practical value of the work lies in the possibility of applying the proposed method in robotic agricultural systems.*

**Keywords:** *signal filtering, precision agriculture, sensor networks, data processing, noise in sensor systems, adaptive algorithms.*

*Article citation:* Chumachenko N. K., V.S. Sytnikov V. S. (2026). A Study of Data Filtering and Processing Methods in Agricultural Sensor Networks. *Electrotechnic and Computer Systems*, 2026, 46(122), pp.71-81. doi:<https://doi.org/10.15276/eltecs.46.122.2026.7>

#### Про авторів (About the authors)



**Чумаченко Надія Костянтинівна** здобувачка другого (магістерського) рівня вищої освіти», кафедра комп'ютерних систем, Національний університет «Одеська політехніка»; просп. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна.

E-mail: [6948785@stud.op.edu.ua](mailto:6948785@stud.op.edu.ua); тел. +380-96-250-5598

**Nadiia K. Chumachenko**, Master's student, Department of Computer Systems, Odesa Polytechnic National University; 1, Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine.

E-mail: [6948785@stud.op.edu.ua](mailto:6948785@stud.op.edu.ua), ph: +380-96-250-5598

**ORCID:** <http://orcid.org/0009-0003-4150-7051>



**Ситніков Валерій Степанович**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем, Навчально-науковий інститут штучного інтелекту та робототехніки, Національний університет «Одеська політехніка»; проспект Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна. E-mail: [sitnikov@op.edu.ua](mailto:sitnikov@op.edu.ua)

**Valerii Sytnikov**, Dr. of Technical Science, Professor, Head of the Department of Computer Systems, Institute of Artificial Intelligence and Robotics, Odesa Polytechnic National University; 1, Shevchenko Ave., Odesa, 65044, Ukraine. E-mail: [sitnikov@op.edu.ua](mailto:sitnikov@op.edu.ua)

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3229-5096>

Scopus Author ID: 57190377358