Міністерство освіти і науки України · Національний університет біоресурсів і природокористування України
Кафедра агрохімії та якості продукції рослинництва ім. О. І. Душечкіна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи:

«Моделювання впровадження агровольтаїки на посівах сої в різних регіонах вирощування»

Виконавець: Самсоненко Іван Сергійович, спеціальність Н1 «Агрономія», ОПП «Агрохімсервіс у прецизійному агровиробництві»
Науковий керівник: к. с.-г. н., доцент Пасічник Наталія Анатоліївна

1. Актуальність теми

- **Соя** стала однією з головних культур України: у 2025 р. – понад 2 млн га, але урожайність лише 22–26 ц/га і помітно коливається через посуху і спеку під час цвітіння та наливу бобів.
- **Конкуренція за землю:** наземні сонячні електростанції на десятиліття виводять ріллю з обробітку. Агровольтаїка поєднує на одній території сільськогосподарське виробництво й отримання енергії.
- **Ефективність:** за розрахунками К. Дюпраза спільне використання поля може підвищити загальну продуктивність землі на 35–73 %; у 2021 р. потужність АФВС у світі становила щонайменше 14 ГВт.
- **Норми:** урожай під АФВС має становити не менше 66 % від контролю в Німеччині (DIN SPEC 91434), 80 % – в Японії, понад 90 % – у Франції. В Україні таких норм немає, а Земельний кодекс не містить поняття агровольтаїки.
- **Енергобезпека:** пошкодження енергосистеми спонукає господарства шукати власні джерела електроенергії, проте польових даних про вплив модулів на урожай сої в Україні майже немає.



Рис. 1. АФВС Fraunhofer ISE у Ґеґґельбаху, Німеччина (фото: Tobi Kellner, CC BY-SA 4.0)

2. Анотація роботи

Мета – за допомогою моделювання (з апробацією моделі затінення на пілотній АФВС) і даних дистанційного моніторингу оцінити, як упровадження АФВС на посівах сої вплине на їх продуктивність і економічну ефективність у різних регіонах вирощування України.

Об'єкт – процеси формування продуктивності сої та овочевих культур за затінення АФВС.

Методи: аналітичний, польовий, дистанційний (Sentinel-2, NDVI, NDRE), статистичний, математичне моделювання (модель затінення, модель SIMPLE), економічний.

3. Характеристика роботи

Лівобережний Лісостеп, Бориспільський р-н Київської обл. Поле сої 145,8 га (2025 р.), погода NASA POWER 2016–2025 рр. для шести областей. Пілотна АФВС 2026 р.: шість панелей по 440 Вт (2,64 кВт), нижня кромка 2,3 м, нахил 25°, огірок і томат.

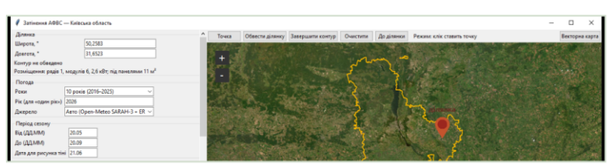

Рис. 2. Програма «Затінення АФВС» (Python) для розрахунку затінення, DLI і урожаю

4. Пілотна АФВС, 2026 р.

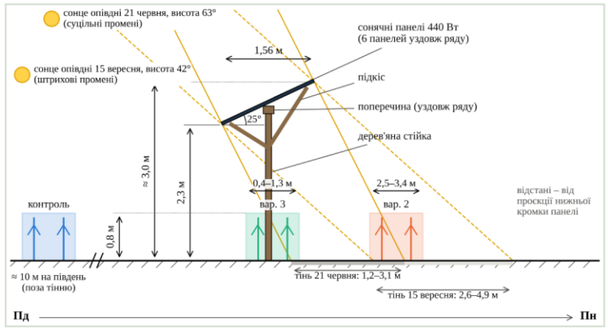

Рис. 3. Схема пілотної АФВС: полуденна тінь у червні та вересні, облікові ділянки

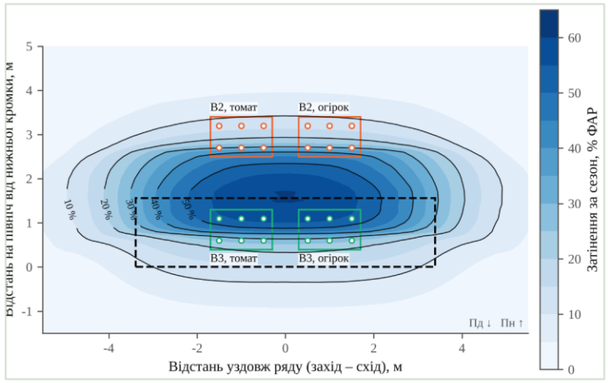

Рис. 4. Розрахункове затінення під пілотною АФВС за 20.05–20.09.2026 р.

Затінення варіантів – 21,6 і 41,1 %; урожайність огірка – 45,9; 34,2 і 27,9 т/га, томата – 70,0; 58,7 і 52,5 т/га (розрахунок).

5. Стан посіву сої (Sentinel-2)

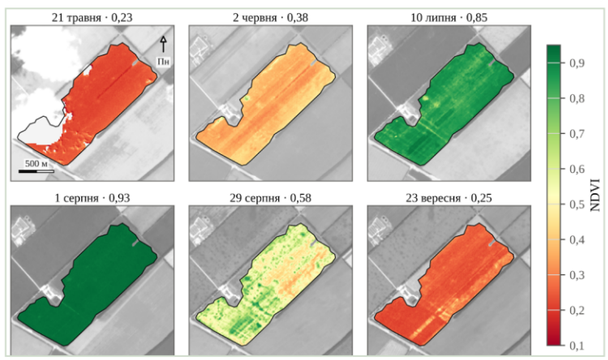

Рис. 5. NDVI поля сої на окремі дати 2025 р. (дата знімка і середнє NDVI поля)

Використано 21 дату знімків Sentinel-2 (квітень – жовтень 2025 р.). До 21 травня NDVI поля було на рівні відкритого ґрунту (0,23–0,25), 30 червня – уже 0,86: рядки зімкнулися.

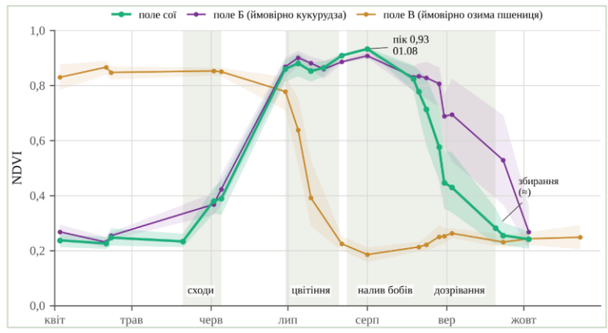

Рис. 6. Сезонний хід NDVI поля сої і двох сусідніх полів у 2025 р.

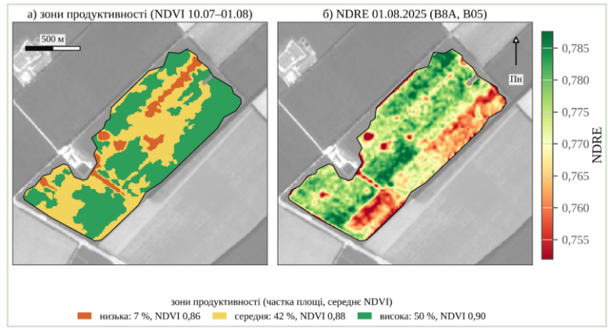

Рис. 7. Зони продуктивності за NDVI піку вегетації (а) і карта NDRE 01.08.2025 (б)

Максимум NDVI (0,93) – 1 серпня, дозрівання – кінець серпня. Виділено три зони управління: 7, 42 і 50 % площі; на піку посів дуже однорідний (коефіцієнт варіації NDVI 0,5 %).

6. Моделювання АФВС на полі сої

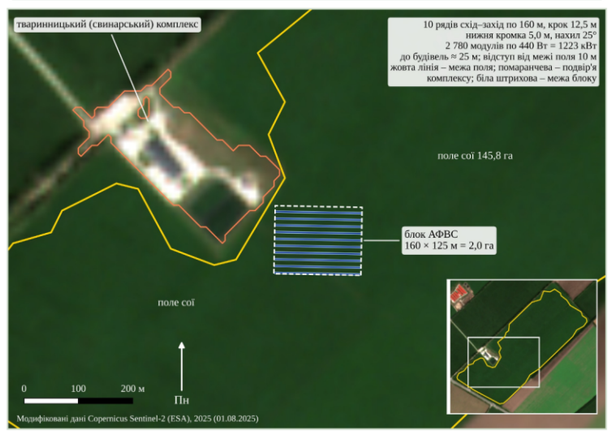

Рис. 8. Умовна АФВС на 2 га поля сої біля свинарського комплексу: 10 рядів, 2780 панелей, 1223 кВт, кромка 5 м, крок 12,5 м

Ділянку вибрано біля свинарського комплексу, щоб вироблену електроенергію (близько 1359 МВт·год на рік) використовувати на місці без довгих мереж; опори займають близько 1,6 % площі.

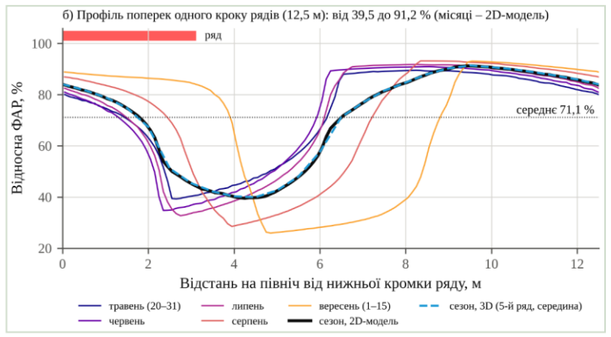

Рис. 9. Відносна ФАР поперек одного кроку рядів (12,5 м) по місяцях і за сезон 2025 р.

Затінення посіву – 27–29 %, DLI – з 42,3 до 30,1 моль/(м²·доба); ділянка дала б 3,08–3,90 т сої замість 4,40 т.

7. Соя під АФВС у шести областях

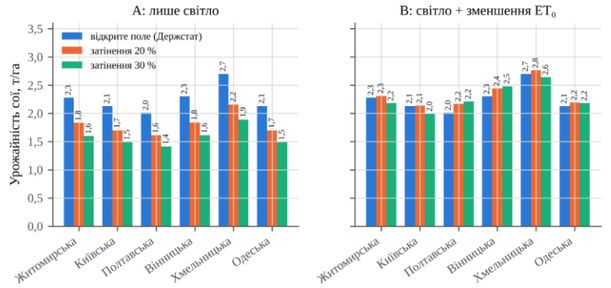

Рис. 10. Урожайність сої у відкритому полі (Держстат, 2016–2025 рр.) і під АФВС, т/га: А – лише світло, В – з урахуванням меншої посухи

Табл. 1. Прибуток від сої, тис. грн/га (ціни і витрати 2025 р.)

Область	Відкрите поле	20 % тіні (A)	30 % тіні (B)
Житомирська	8,2	1,5	6,4
Київська	11,6	5,0	9,2
Полтавська	7,5	1,6	9,9
Вінницька	10,3	3,5	12,5
Хмельницька	14,9	6,5	13,5
Одеська	3,7	−2,1	4,1

Висновки

1. За консервативною оцінкою соя втрачає стільки ж урожаю, скільки світла: 80 % урожаю зберігається до затінення 20 %, 66 % – до 34 %.
2. З урахуванням меншої посухи затінення 20 % майже не змінює урожаю, а в Полтавській і Вінницькій областях за 20–30 % урожай може зрости на 6–10 %.
3. Прибуток від сої на відкритому полі – 3,7–14,9 тис. грн/га; затінення 20 % зберігає його в усіх областях, крім Одеської. LER за 20 % – 1,33–1,61.
4. АФВС на 2 га дала б близько 1359 МВт·год на рік – стільки витрачається на вирощування 47–77 тис. свиней.

Рекомендації: для сої – затінення не більше 20 %, нижня кромка не менше 5 м, навігація техніки з постійною колією, моніторинг за NDVI і NDRE; для огірка – 10–20 %, томата – 20–30 %.