МОДУЛЬНА ІНТЕГРАЦІЯ AGROTECH ТА БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ РІШЕНЬ ЯК ЧИННИК ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ТА ПІДВИЩЕННЯ АВТОНОМНОСТІ РЕГІОНАЛЬНОГО КЛАСТЕРА

Д. В. Вербицький, аспірант
Одеський національний університет імені І. І. Мечникова, м. Одеса

Сучасне відновлення аграрного сектору України потребує переходу від відокремленого впровадження окремих інновацій до формування взаємопов'язаних організаційно-економічних систем, у яких виробничі, технологічні, енергетичні, логістичні та цифрові рішення створюють сукупний економічний ефект. Такий підхід є особливо актуальним в

умовах обмеженості ресурсів, енергетичної нестабільності, порушення традиційних логістичних зв'язків і необхідності декарбонізації агровиробництва. Інтеграція органічного виробництва та гідропонних технологій у межах регіонального кластера може розглядатися як поєднання економічного контуру зростання та технологічного контуру стабілізації, що дає змогу підвищувати додану вартість, ефективність використання ресурсів та стійкість виробництва [1, 2].

Запропонована модель передбачає не створення єдиного технологічно складного комплексу, а модульну інтеграцію рішень залежно від критичних дефіцитів конкретної території. Такий принцип відповідає логіці Індексу автономності кластеру (ІАК), який має відкриту модульну архітектуру та може враховувати енергетичну, продовольчу, економічну, соціальну, інституційну й екологічну складові з можливістю підключення додаткових модулів [3]. Загальну структуру запропонованої моделі наведено на рисунку.

Відтак кластер доцільно розглядати одночасно як виробничу систему, об'єкт управління та платформу для концентрації інвестицій і технологічних рішень [3; 4].Ключовим напрямом такої інтеграції є формування енергетичного та циркулярного контурів. Органічні відходи рослинного і тваринного походження, побічні продукти виробництва та інші доступні біоенергетичні потоки можуть розглядатися як ресурс для анаеробного зброджування та виробництва біогазу. Отриманий біогаз, своєю чергою, може використовуватися для комбінованого виробництва електроенергії та тепла, насамперед для забезпечення власних потреб аграрного кластера, а надлишкова енергія – реалізовуватися зовнішнім споживачам. Практична результативність такого підходу підтверджується функціонуванням повномасштабних біогазових установок: на фермі Greenwood Dairy біогаз використовується установкою когенерації потужністю 400 кВт, а вироблена електроенергія та тепло інтегровані у господарський цикл [6]. В іншому повномасштабному об'єкті в Греції потужністю 500 кВт використання суміші різних органічних субстратів забезпечувало середній вихід метану близько 55 %, а вироблена електроенергія доповнювалася повторним використанням дигестату сусідніми господарствами [7].

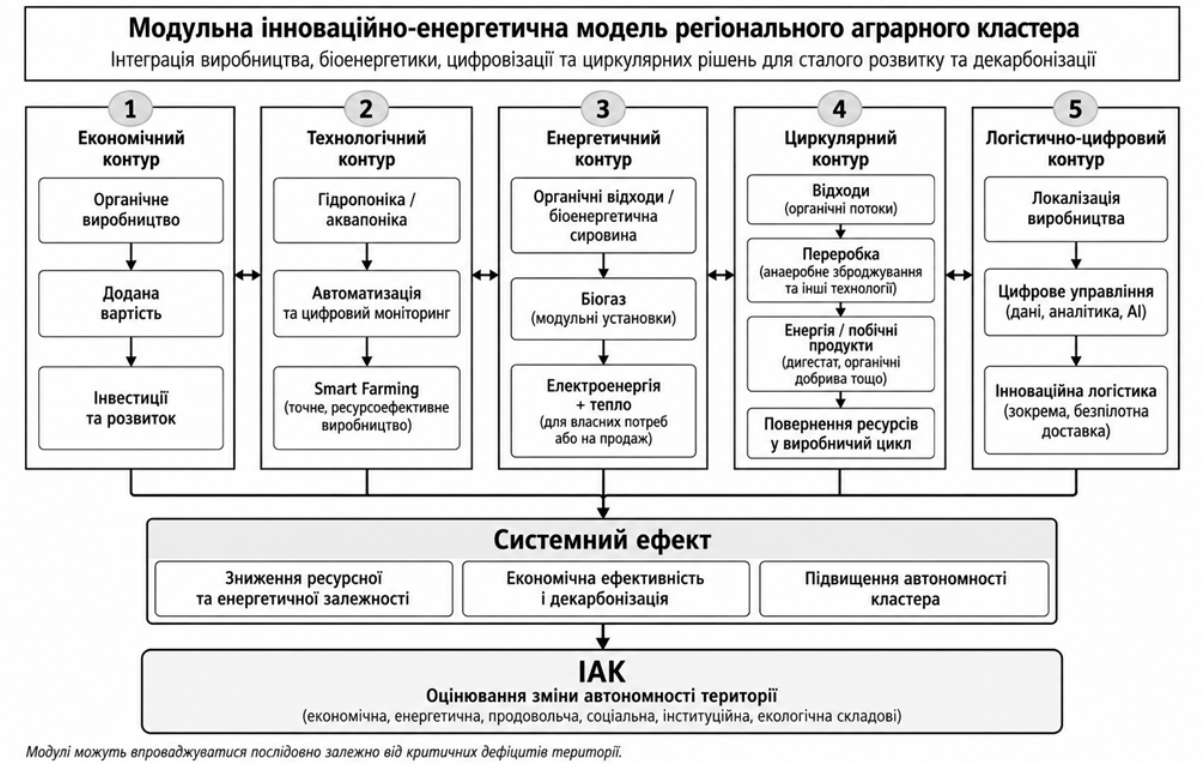


Рис. Модульна інноваційно-енергетична модель регіонального аграрного кластера

Таким чином, відходи перестають бути лише витратним або екологічним компонентом і трансформуються на ресурс енергетичної та економічної автономізації. У межах запропонованої моделі органічне виробництво формує додану вартість і ресурсну базу, гідропоніка та аквапоніка забезпечують стабілізацію виробництва і підвищення ресурсо-ефективності, а біоенергетичні модулі створюють додатковий енергетичний контур [1; 2; 3]. Автоматизація, цифровий моніторинг, Smart Farming та аналітичні інструменти дозволяють координувати ці процеси, зменшуючи втрати ресурсів і підвищуючи керованість виробничої системи [2; 4].

Окремого значення набуває логістично-цифровий контур, оскільки локалізація виробництва має супроводжуватися скороченням зайвих транспортних операцій, цифровим плануванням потоків та використанням інноваційних моделей доставки. Поєднання локалізованого виробництва, цифрового управління та безпілотних логістичних рішень створює передумови для подальшого скорочення витрат і підвищення швидкості переміщення продукції [5]. У результаті окремі інновації перестають розглядатися як самостійні проєкти та формують взаємопідсилюючу систему.

Системний ефект запропонованої моделі полягає у зниженні ресурсної та енергетичної залежності кластера, підвищенні економічної ефективності, формуванні замкнених ресурсних потоків та скороченні вуглецевого навантаження. При цьому ІАК доцільно використовувати не лише як інструмент фіксації поточного стану, а і як механізм сценарного оцінювання: зміна окремого модуля – наприклад, введення біогазової установки, розширення гідропонного виробництва або модернізація логістики – має відображатися у зміні відповідних складових автономності [3]. Це створює основу для порівняння альтернативних інвестиційних рішень та визначення послідовності їх реалізації.

Отже, модульна інтеграція AgroTech і біоенергетичних рішень може розглядатися як організаційно-економічний механізм регіонального відновлення, у якому виробництво, енергія, переробка відходів, цифровізація та логістика формують єдину систему підвищення автономності. Принциповою перевагою є можливість поетапного впровадження модулів відповідно до найбільш критичних дефіцитів території, що знижує інвестиційні бар'єри та дозволяє спрямовувати ресурси на рішення з найбільшим очікуваним ефектом [3; 4].

Список літератури

1. Вербицький Д. В. Стратегічна важливість інноваційно-інвестиційних рішень для аграрного відновлення регіонів : (органічне виробництво та гідропоніка). *Грааль науки*. 2025. № 56. С. 64–76. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.19.09.2025.007.

2. Вербицький Д. В. Резильєнтна модель інвестиційно-інноваційного розвитку органічного гідропонного виробництва на регіональному рівні в умовах турбулентності. *Grail of Science*. 2026. № 67. С. 240–260. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.01.05.2026.

3. Вербицький Д. В. Індекс автономності кластеру. *Грааль науки*. 2026. № 62. С. 241–258. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.20.02.2026.023.

4. Вербицький Д. В. Організаційно-економічні механізми в агросекторі в умовах економічної турбулентності : балансування органічного виробництва та гідропоніки як інноваційних драйверів регіону. *Grail of Science*. 2026. № 69. С. 358–374. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.29.05.2026.035.

5. Вербицький Д. В. Економічні ефекти трансформації логістичних ланцюгів у агропродовольчому секторі на основі інноваційних моделей виробництва та доставки. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Євроінтеграційний вектор сталого розвитку України, як напрям забезпечення економічної безпеки держави в контексті геополітичної ситуації». Дніпро, 29–30 травня 2026 р.

6. George A. Anaerobic Digestion at Greenwood Dairy : Case Study. Ithaca : Cornell University, Dairy Environmental Systems Program, 2022. URL: https://ecommons.cornell.edu/bitstreams/a32b9c19-03f5-4714-b72b-5f5e5816b982/download

7. Spyridonidis A., Vasiliadou I. A., Akratos C. S., Stamatelatou K. Performance of a Full-Scale Biogas Plant Operation in Greece and Its Impact on the Circular Economy. *Water*. 2020. Vol. 12, no. 11. Article 3074. https://doi.org/10.3390/w12113074