

УДК 004: 631.1 : 65.011.56

JEL Classification: C61, Q16

DOI: [https://doi.org/10.32515/2663-1636.2026.15\(48\).302-309](https://doi.org/10.32515/2663-1636.2026.15(48).302-309)**В.О. Борисенко**, канд. екон. наук*Український науково-дослідний інститут продуктивності агропромислового комплексу, м. Київ, Україна***Д.В. Борисенко***м. Суми, Україна*

Систематизація знань в інтегративній моделі економічних показників машинних агрегатів у рослинництві

Невпинно стрімко зростає актуальність парадигми цифровізації економіки сільськогосподарських підприємств за сучасних глибоких трансформаційних процесів триваючої четвертої технологічної революції. Забезпечити максимальну економічну ефективність використання технічних засобів у рослинництві уможливить обґрунтування методами моделювання їх техніко-економічних показників для конкретних умов виконання робіт. Важливим завданням постає створення інтегративної моделі, яка систематизує роботу фахівців та експертів різних галузей наук при налаштуванні складних систем моделювання в економіці.

Проаналізовано існуючі методи визначення експлуатаційних показників сільськогосподарських машин. Запропоновано застосування інтегративного підходу щодо моделювання ефективності виконання механізованих польових робіт. Розглянуто інтегративне моделювання економічних показників машинних агрегатів у рослинництві та рівні даної моделі: імітаційне моделювання продуктивності агрегату і витрат палива, аналітичні моделі параметрів процесу, зокрема, витрат палива, ефективної потужності двигуна з урахуванням фізичних навантажень. Запропоновано концепцію систематизації знань експертів галузей наук в інтегративній моделі економічних показників машинних агрегатів. Приведено приклад практичної реалізації інтегративного моделювання порівняльної економічної ефективності польових агрегатів при виконанні технологічної операції внесення добрив.

Запропоновано наукові підходи щодо забезпечення впорядкування знань галузей наук в єдину цифрову систему шляхом визначення рівнів інтегративної моделі економічних показників машинних агрегатів на механізованих польових роботах. Забезпечити ефективність розробки та експертного аналізу функціонування системи моделювання економічних показників польових агрегатів уможливить систематизація розробки об'єктів системи науковими експертами задіяних галузей наук. Перспективами подальших досліджень використання інтегративного моделювання у цифровій системі підтримки прийняття рішень є наукове обґрунтування техніко-економічних показників проектних інноваційних розробок техніки для підприємств АПК.

економічні показники, інтегративне моделювання, імітаційне моделювання, систематизація знань, витрати палива, сільськогосподарський машинний агрегат

Постановка проблеми. В надзвичайно складних умовах, що склалися в Україні для сільськогосподарських виробників, актуальне значення має підвищення ефективності використання ресурсного потенціалу та зниження собівартості виробництва як головних чинників інтенсивного розвитку АПК і виготовлення конкурентоспроможної продукції.

Як свідчить досвід провідних країн, сучасні процеси цифровізації економічної діяльності та інноваційні трансформації є системоутворюючими та забезпечуючими факторами результативності роботи підприємств АПК. Водночас, постає важливе завдання розробки систем прийняття обґрунтованих рішень щодо управління складними економіко-виробничими процесами, впровадження інноваційних цифрових технологій, оновлення ресурсів.

Для ефективного використання комплексів машин у рослинництві необхідно економічно обґрунтовувати планові показники виконання виробничих процесів та вибір техніки з урахуванням параметрів поля і технологічних факторів виконання робіт. Склад сільськогосподарського машинного агрегату (СМА) для конкретних господарчих

умов обґрунтовують шляхом визначення економічних показників виконання технологічної операції насамперед продуктивності, витрат палива, експлуатаційних витрат на одиницю роботи (площу обробленої ділянки поля). Оскільки розроблення цих показників агрегатів виконується, як правило, розрахунково-аналітичним методом, то для отримання достатньої точності їх значень з урахуванням складності економіко-виробничих процесів, важливим є розробка системних методів моделювання експлуатаційних показників СМА.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз існуючих положень щодо розвитку підприємства дозволив обґрунтувати процес управління інтегративним розвитком підприємства на базі ефективного використання ресурсів, поєднанні інформаційних технологій та інтелектуального потенціалу. Під економічною парадигмою цифровізації розуміють сукупність концептуальних засад розвитку контенту цифровізації підприємств в просторово-часовому орієнтирі. Інтегративним розвитком передбачається імплементація інтелектуально-технологічної цифрової компоненти у розвиток підприємства з охопленням впровадження інноваційних технологій, впливу чинників ринкового середовища, ресурсів і процесів підприємства [3]. Методологічні засади інтегративного розвитку підприємства полягають в імплементації штучного інтелекту та інтелектуального аналізу бізнес-процесів з врахуванням цифрового середовища, трансформацій підприємства [4].

З метою оптимізації технологічних процесів основного обробітку ґрунту запропоновано методику статистичного імітаційного моделювання за факторами, які впливають на зміну продуктивності агрегату і витрат палива та показано на прикладі технологічного процесу внесення мінеральних добрив [1].

Методичні та практичні засади розробки норм продуктивності і витрат палива на механізовані польові роботи, спеціалізовану техніку та агрегати є результатом виконаної НДР науковцями НДІ «Укراгропромпродуктивність» [5]. Також ними запропоновано методику розробки і впровадження на підприємствах науково обґрунтованих норм продуктивності і витрат палива на сівбі, садінні та догляді за посівами, змінні норми продуктивності та витрат палива на нову сільськогосподарську техніку вітчизняного і зарубіжного виробництва [6].

Проаналізовано можливості застосування обчислювального інтелекту у логістичних системах доставки сільськогосподарської продукції та виявлено необхідність використання алгоритмічних моделей для прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур. Встановлено, що кращий прогноз витрат пального транспортними засобами під час доставки насіння зернових культур до елеватора, виконує модель RF випадкового лісу, яка забезпечує відносну помилку результатів 4,6%. [7].

У дослідженні оцінки рівня економічної ефективності і продуктивності пшениці та ячменю, а також впливу механізації сільського господарства на вказані показники для оцінки економічної ефективності використовувалася стохастична гранична модель, а для оцінки впливу – розширена обернена ймовірнісна зважена модель [9].

Обґрунтування вибору оптимальних машинних комплексів з точки зору техніко-технологічної, економічної та екологічної ефективності відповідно до технічних характеристик машин з урахуванням природно-технологічних умов роботи на базі імітаційного моделювання роботи агрегату висвітлено у роботі [8].

При вирішенні завдання охоплення складних біофізичних та соціально-економічних взаємодій основну увагу було приділено інтеграції та поєднанню моделей, пов'язуючи моделі росту сільськогосподарських культур з гідрологічними, кліматичними, економічними та просторовими моделями, тоді як багатомодельні підходи, включаючи ансамблеві методи, модульні рамки та міжмодельні порівняння,

усувають обмеження окремих моделей, покращують прогностичну надійність та дозволяють проводити сценарний аналіз [10].

Важливим аспектом методологічних досліджень розвитку цифрових систем підтримки прийняття рішень є розробка концептуальних підходів щодо функціонування системи моделювання показників роботи машинних агрегатів на основі баз знань галузей наук та забезпечення актуалізації параметрів моделювання у взаємодії знань галузей наук [2].

Водночас, відповідно стратегії парадигми цифровізації економіки сільськогосподарських підприємств постає необхідність інтегрування процесів моделювання економічних показників машинних агрегатів на основі наукових баз знань в комплексну модель, як цілісної складової системи підтримки прийняття рішень.

Постановка завдання. Метою дослідження є розроблення комплексної інтегративної моделі техніко-економічних показників машинних агрегатів, яка інтегрує аналітичне та імітаційне моделювання динамічних показників витрат палива і продуктивності, що забезпечить адекватність моделей у цифровій цілісній системі підтримки прийняття рішень щодо економіко-виробничих процесів.

Виклад основного матеріалу. Комп'ютерна система імітаційного моделювання роботи польових агрегатів надає можливості отримати з достатньою точністю та з мінімальними витратами часу значення експлуатаційних та економічних показників (продуктивність, витрати палива, експлуатаційні витрати) СМА для будь-яких технологічних та природних умов виконання робіт [8]. Аналітичне моделювання використовується для визначення впливу чинників техніко-технологічних процесів на витрати ресурсів, або інші показники виробничих процесів.

Показники СМА на механізованих польових роботах встановлюються залежно від ступеня впливу на процес виконання технологічної операції організаційно-технічних умов виконання робіт. У рослинництві технологічний процес являє собою технологічну систему, у якій взаємодіють групи факторів [8]: технологічні (глибина обробітку ґрунту, норми внесення матеріалу та ін.), технічні (швидкість руху, ширина захвату, потужність двигуна, маса агрегату), природні (тип ґрунту, кут схилу місцевості), організаційні (технологія і організація робіт). Вказані групи факторів формують величини робочої потужності двигуна і швидкості СМА при виконанні технологічної операції, які в свою чергу визначають витрати палива та продуктивність. Для підвищення точності розрахунків витрат палива застосовують аналітичне моделювання годинних витрат палива від потужності двигуна та аналітичні моделі параметрів фізичних навантажень.

Згідно стратегії парадигми цифровізації економіки сільськогосподарських підприємств постає необхідність інтегрування процесів моделювання показників роботи СМА на основі баз знань галузей наук в комплексну модель, як складової системи підтримки прийняття рішень. При розробці моделей складних систем використовують інтегративне моделювання – це підхід, який інтегрує дані, знання, методи та моделі з різних джерел або дисциплін для створення комплексної моделі процесу [3]. Основними характеристиками інтегративного моделювання є мультидисциплінарність (поєднання знань з різних наукових галузей), системність (врахування взаємозв'язків між елементами системи), гнучкість (використання різних типів моделей (математичні, логічні, імітаційні тощо), ітеративність (моделі уточнюються на основі нових даних і знань), комбінування джерел (інтегрування емпіричних даних, теоретичних підходів) [4].

Оскільки система імітаційного моделювання показників роботи СМА інтегрує моделі та знання різних наукових галузей, таких як економічні, сільськогосподарські, технічні, математичні, комп'ютерні та ін. [2], то відповідно вищенаведеному

визначенню до інтегративного моделювання можна віднести систему імітаційного моделювання показників роботи СМА.

Розроблено рівні інтегративного моделювання економічних показників машинних агрегатів у рослинництві, які показано на рис. 1.

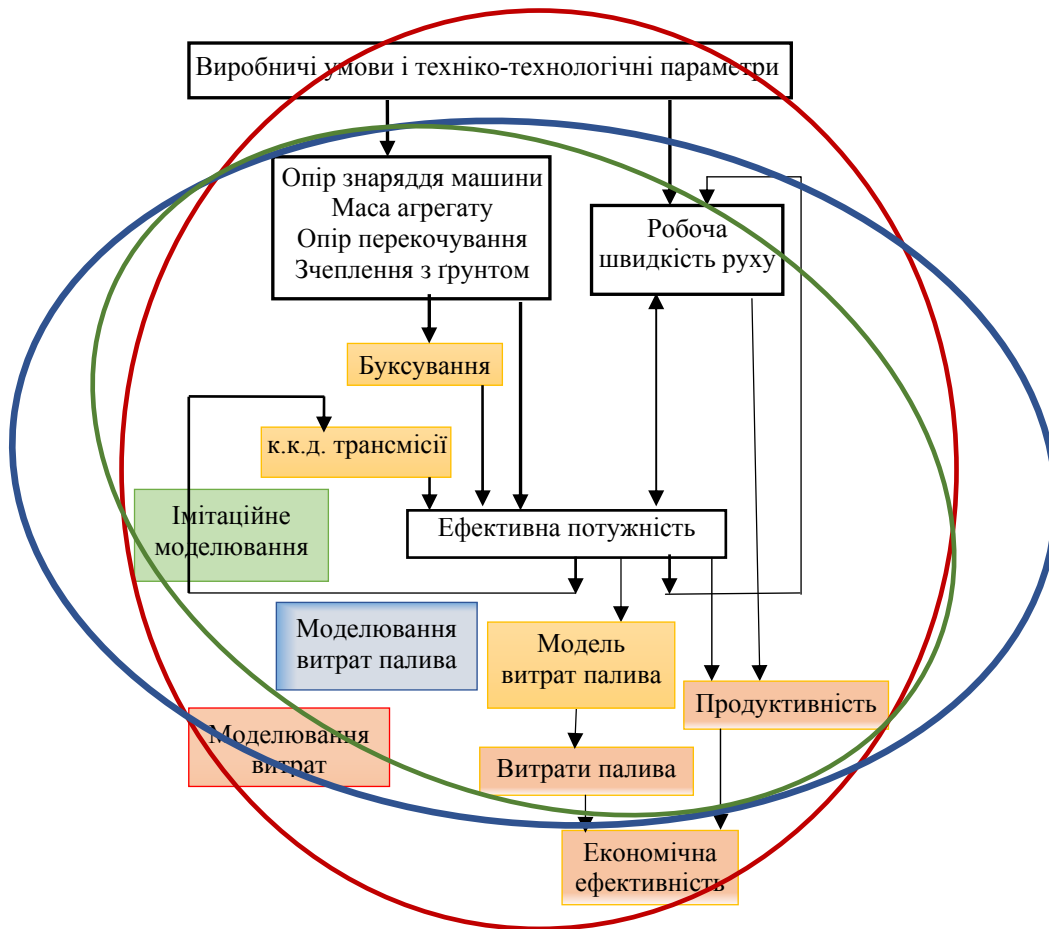


Рисунок 1 – Рівні інтегративного моделювання економічних показників машинних агрегатів
Джерело: розроблено авторами на підставі [2]

На приведеній схемі виокремлено підсистеми (рівні) моделювання економічних показників СМА: техніко-експлуатаційні (моделювання продуктивності агрегату і витрат палива), аналітичні моделі потужності двигуна та параметрів фізичних навантажень, показники економічної ефективності. Рівень моделювання витрат палива за величиною ефективною потужністю двигуна базується як на технічних показниках сільгоспмашин так і на фізико-механічних показниках переміщення СМА (коефіцієнт корисної дії трансмісії; питомий опір машини; коефіцієнти буксування, перекочування коліс, зчеплення з ґрунтом).

В приведеній інтегративній моделі показників польових агрегатів використовуються знання фахівців як економічних, сільськогосподарських так й інших галузей наук. Інноваційні трансформації супроводжуються впровадженням у виробництво принципово нових видів високопродуктивної сільгосптехніки і виникає потреба в науковому обґрунтуванні правильності використовуваних методів оцінювання експлуатаційних витрат. Постає необхідність у верифікації та можливому коригуванні методів визначення параметрів механічних процесів при роботі агрегату, що формують техніко-експлуатаційні показники. Тому методика розрахунку показників економічної ефективності нової техніки потребує обґрунтування

застосовуваних методів визначення величин, пов'язаних зі знаннями техніки, економіки та інших наук.

Розроблено концепцію систематизації знань експертів галузей наук інтегративного моделювання економічних показників машинних агрегатів у рослинництві, схему якої приведено на рис. 2.

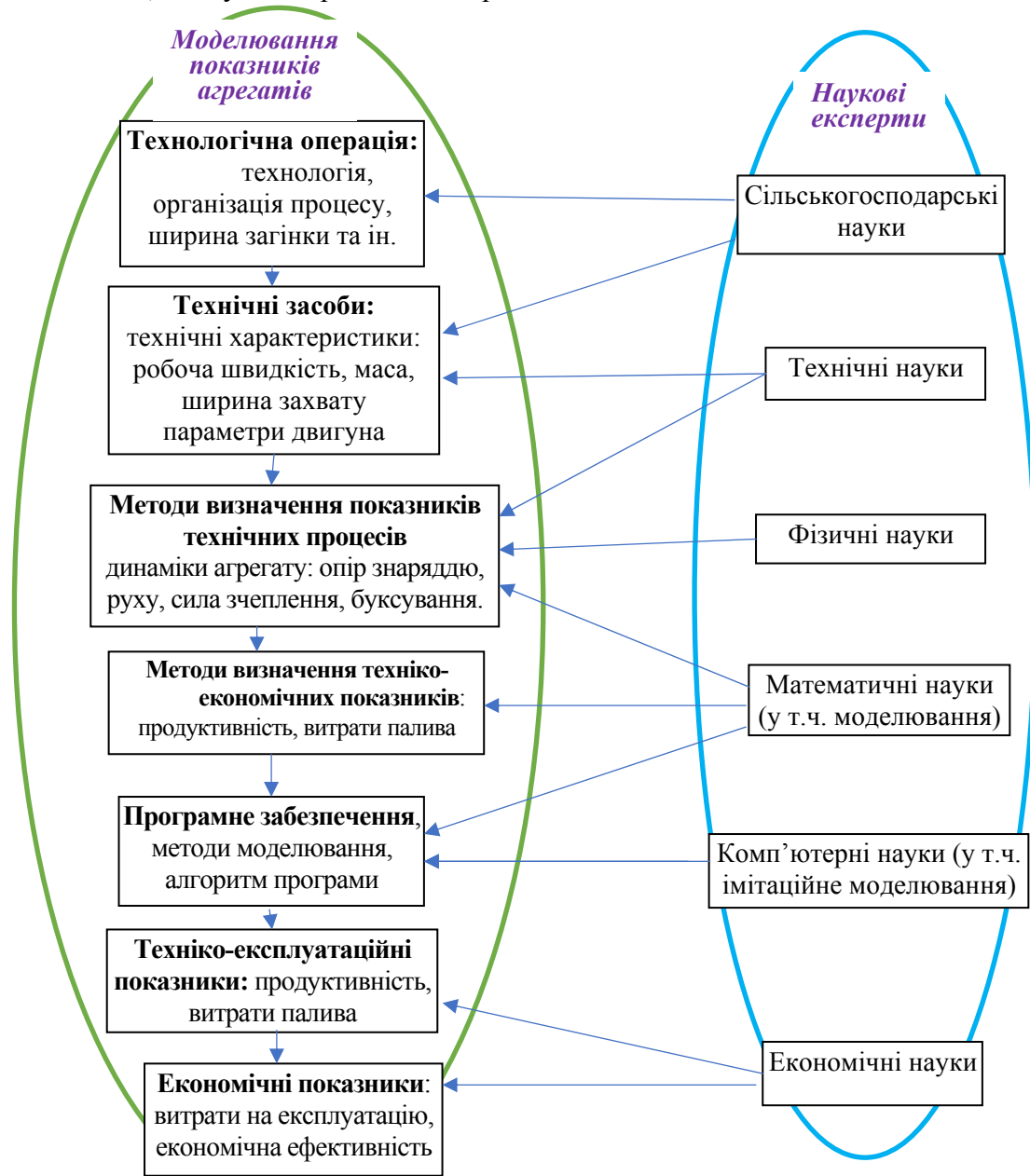


Рисунок 2 – Концептуальна схема систематизації знань експертів галузей наук інтегративного моделювання економічних показників машинних агрегатів

Джерело: розроблено авторами на підставі [2]

Як видно зі вказаної схеми, для розробки та експертного аналізу функціонування системи моделювання показників машинних агрегатів необхідним є участь групи наукових експертів різних галузей наук для налаштувань відповідних об'єктів системи:

- сільськогосподарські науки: технології виробництва, технічні засоби;
- технічні науки: технічні засоби, визначення показників технічних процесів;
- фізичні науки: методи визначення показники технічних процесів;

- математичні науки: методи визначення техніко-економічних показників, моделі;
- комп'ютерні: програмне забезпечення, імітаційне моделювання;
- економічні: експлуатаційні витрати, економічна ефективність, витрати палива.

З використанням комп'ютерної системи виконано інтегративне моделювання порівняльної економічної ефективності машини для внесення добрив «РМД-8» при агрегуванні її з трактором «New Holland T60» та «МТЗ-1221.2» для наступних виробничих умов технологічної операції внесення мінеральних добрив:

- природно-організаційні: довжина гону поля – 800 м, агрофон поля – стерня;
- техніко-експлуатаційні: ширина захвату – 12 м, норма внесення добрив – 200 кг/га; робоча швидкість – 10 км/год.

В процесі моделювання розраховано витрати палива та оброблена площа поля з врахуванням виконання поворотів та інших переміщень протягом робочої зміни. В результаті інтегративного моделювання ефективності машини для внесення добрив «РМД-8» визначено показники:

- техніко-експлуатаційні: продуктивність 45,8 га за зміну і витрати палива 1,94 л/га – при агрегуванні з трактором «МТЗ-1221.2»; продуктивність агрегату 45,7 га за зміну і витрати палива 1,9 л/га – при агрегуванні з «New Holland T60»;
- економічні: прямі експлуатаційні витрати 351,7 грн/га, сукупні витрати 460,4 грн/га – при агрегуванні з трактором «МТЗ-1221.2»; прямі експлуатаційні витрати 347,7 грн/га, сукупні витрати 470,3 грн/га – при агрегуванні з «New Holland».

За результатами моделювання обґрунтовано більш ефективний склад агрегату для внесення добрив. При агрегуванні розкидача міндобрив «РМД-8» з трактором «New Holland T60» експлуатаційна продуктивність становить 5,47 га/год., що більше на 4,4%, ніж при використанні трактора «МТЗ-1221.2», а експлуатаційні витрати, відповідно, менші. Економічна ефективність за сукупними витратами на експлуатацію розкидача міндобрив «РМД-8» в агрегаті з трактором «New Holland T60» нижча, ніж при агрегуванні з трактором «МТЗ-1221.2», за рахунок вартості тракторів і відповідно питомих капіталовкладень.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Отже, використання у цифровій системі визначення показників ефективності машинних агрегатів на рівні інтегративного моделювання уможливорює системну функціональність складових підсистем, які формують економічні, технологічні та технічні показники. Рівні інтегративної моделі систематизують та інтегрують роботу фахівців і експертів різних галузей наук при налаштуванні системи моделювання в економіці.

Розроблено концептуальні підходи щодо систематизації знань галузей наук в системі інтегративного моделювання показників ефективності сільськогосподарських машин у рослинництві. Наукові підходи процесів розробки та експертного аналізу функцій системи моделювання економічних показників виконання механізованих польових робіт організовують налаштування об'єктів системи науковими експертами галузей наук відповідного напрямку.

Запропоновані наукові підходи мають практичну цінність щодо реалізації цифрових систем підтримки прийняття рішень в економіці, управлінні та аналізу діяльності підприємств. Використання системи моделювання показників польових агрегатів в аграрних підприємствах дасть змогу проводити аналіз змодельованих результатів виконання виробничих процесів та ухвалювати обґрунтовані рішення, які будуть сприяти мінімізації витрат та підвищенню конкурентоздатності

сільськогосподарського виробництва. Обґрунтування показників роботи, як нових моделей техніки, так і принципово нових видів техніки для будь-яких виробничих умов, уможливорює моделювання показників машинних агрегатів на основі наукових баз знань. Запропоновані наукові підходи щодо моделювання показників польових агрегатів уможливлюють забезпечення ефективного використання сільськогосподарської техніки шляхом обґрунтування технологічних рішень, закупівлі техніки та планування.

Подальші дослідження систематизації знань галузей наук та інтегративного моделювання забезпечать процеси впорядкування та зведення розрізнених знань і об'єктів в єдину систему шляхом встановлення зав'язків між ними, формування єдиної наукової системи, яка відображає єдність її складових і надає структуру знанням. Використання в системі підтримки прийняття рішень інтегративного моделювання уможливить вирішення завдань обґрунтування вибору оптимальних машинних комплексів і системної оптимізації техніко-технологічних рішень у рослинництві.

Список літератури

1. Анікеєв, А., Артьомов, М., Сировицький, К. і Чигрина, С. Моделювання технологічних процесів основного обробітку ґрунту. *Науковий журнал «Інженерія природокористування»*. 2021. 1(19), 90-96. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6903007>.
2. Борисенко В. О. Моделювання показників роботи польових агрегатів на основі баз знань галузей наук, як компонент цифрової економіки. *Енергетика і автоматика*. 2022. №4. С. 94-106.
3. Голобородько А.Ю. Управління інтегративним розвитком підприємств у сучасній економічній парадигмі цифровізації: дис. ... доктора економ. наук: 08.00.04. Київ, 2023. 523 с.
4. Голобородько А.Ю. Роль цифрових технологій в управлінні інтегративним розвитком підприємств в умовах цифрової економіки. *Проблеми економіки*. 2023. №3. С. 174-179. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2023-3-174-179>
5. Івченко В.М., Зірнзак О. С., Солошонок А. Л., та ін. Методика надання послуг з розробки норм продуктивності та витрат палива при створенні науково-технічної продукції. / Київ: НДІ «Укראгропромпродуктивність», 2024. 93 с.
6. Івченко В.М., Зірнзак О. С., Пивовар В. С., та ін. Методичні положення та норми продуктивності і витрат палива на сівбі, садінні та догляді за посівами. Київ: НДІ «Укראгропромпродуктивність», 2023. 164 с.
7. Котенко В. І. Алгоритмічні моделі машинного навчання для прогнозування витрат пального транспортними засобами під час доставки зернових культур. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*: зб. наук. пр. Кропивницький: ЦНТУ. 2022. Вип. 6(37). Ч. 1. С. 173-182.
8. Borisenko V. O. Substantiation of choice of optimal machine complexes according to indicators of technical-technological, economic and ecological efficiency. *Machinery & Energetics*. 2021. 12(3), DOI: <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.03>.
9. Gebiso T, Ketema M, Shumetie A and Feye GL. Impact of farm mechanization on crop productivity and economic efficiency in central and southern Oromia, Ethiopia. *Front. Sustain. Food Syst.* 2024. 8:1414912. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1414912>.
10. Mgana, Adam Shaaban & Huo, Aidi & Zhao, Yilu & Joshi, Padam Raj & Firaouni, Abderrahim. Advancing crop growth modeling: Challenges, model integration, and pathways for improved decision support. *Ecological Modelling*. 2026. Elsevier, vol. 512. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2025.111415>.

References

1. Anikeev, A., Artyomov, M., Syrovitskyi, K., & Chyhryna, S. (2021). Modeling of technological processes of basic soil cultivation. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia*, 1(19), 90-96 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6903007>.
2. Borysenko, V. (2022). Modeling performance indicators of field units on the basis of knowledge bases of the branches of science, as a component of the digital economy. *Enerhetyka I avtomatyka*, 4, 94-106 [in Ukrainian].
3. Holoborodko A.Yu. (2023). *Management of integrative development of enterprises in the modern economic paradigm of digitalization*. Doctor's thesis. Kyiv [in Ukrainian].

4. Holoborodko, A. Yu. (2023). The Role of Digital Technologies in Managing the Integrative Development of Enterprises in the Conditions of Digital Economy. *Problemy ekonomiky*, 3, 174–179 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32983/2222-0712-2023-3-174-17>
5. Ivchenko V. M., Zirnzak O. S., Soloshonok A. L. et. el. (2024). *Methodology for providing services for developing productivity standards and fuel consumption when creating scientific and technical products*. Kyiv: Research Institute «Ukragropromproduktivnist» [in Ukrainian].
6. Ivchenko V.M., Zirnzak O. S., Pyvovar V. S., et el. (2023). *Methodological provisions and norms of productivity and fuel consumption in sowing, planting and caring for crops*. Kyiv: Research Institute «Ukragropromproduktivnist» [in Ukrainian].
7. Kotenko V. I. (2022). Algorithmic machine learning models for predicting fuel consumption by vehicles during grain crop delivery. *Tsentrlnoukraiński naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*. Kropyvnytskyi: TsNTU. 6(37). 1. 173-182 [in Ukrainian].
8. Borisenko V. O. (2021). Substantiation of choice of optimal machine complexes according to indicators of technical-technological, economic and ecological efficiency. *Machinery & Energetics*, 12(3), 47-53 [in English]. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.03>.
9. Gebiso T, Ketema M, Shumetie A & Feye GL (2024). Impact of farm mechanization on crop productivity and economic efficiency in central and southern Oromia, Ethiopia. *Front. Sustain. Food Syst.* 8:1414912. [In English]. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1414912>.
10. Mgana, Adam Shaaban & Huo, Aidi & Zhao, Yilu & Joshi, Padam Raj & Firaouni, Abderrahim. (2026). Advancing crop growth modeling: Challenges, model integration, and pathways for improved decision support. *Ecological Modelling*. Elsevier, 512 [in English] <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2025.111415>.

Volodymyr Borysenko, PhD in Economics (Candidate of Economic Sciences)

Ukrainian Research Institute of Agro-Industrial Complex Productivity, Kyiv, Ukraine

Dmytro Borysenko

Sumy, Ukraine

Systematization of Knowledge in an Integrative Model of Economic Indicators of Machine Units in Crop Production

The relevance of the paradigm of digitalization of the economy of agricultural enterprises is constantly growing rapidly in the current deep transformation processes of the ongoing fourth technological revolution. Ensuring maximum economic efficiency of the use of technical means in crop production will enable substantiation by modeling methods of their technical and economic indicators for specific conditions of work. An important task is the creation of an integrative model that systematizes the work of specialists and experts from various fields of science when setting up complex modeling systems in the economy.

The existing methods for determining the operational indicators of agricultural machines are analyzed. The use of an integrative approach to modeling the efficiency of mechanized field work is proposed. The integrative modeling of economic indicators of machine units in crop production and the levels of this model are considered: simulation modeling of unit productivity and fuel consumption, analytical models of process parameters, in particular, fuel consumption, effective engine power taking into account physical loads. The concept of systematizing the knowledge of experts in the fields of science in the integrative model of economic indicators of machine units is proposed. An example of the practical implementation of integrative modeling of comparative economic efficiency of field units when performing the technological operation of fertilizer application is given.

Scientific approaches are proposed to ensure the organization of knowledge of fields of science into a single digital system by determining the levels of the integrative model of economic indicators of machine units in mechanized field work. Ensuring the effectiveness of the development and expert analysis of the functioning of the system for modeling economic indicators of field units will be possible by systematization of the development of system objects by scientific experts of the involved fields of science. Prospects for further research into the use of integrative modeling in a digital decision support system are scientific substantiation of technical and economic indicators of project innovative developments of equipment for agro-industrial enterprises.

economic indicators, integrative modeling, simulation modeling, systematization of knowledge, fuel consumption, agricultural machine unit

Одержано (Received) 26.12.2025

Прорецензовано (Reviewed) 15.01.2026

Прийнято до друку (Approved) 25.05.2026