

**МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ПОЛЬОВИХ АГРЕГАТІВ НА
ОСНОВІ БАЗ ЗНАНЬ ГАЛУЗЕЙ НАУК, ЯК КОМПОНЕНТ ЦИФРОВОЇ
ЕКОНОМІКИ**

В. О. Борисенко, кандидат економічних наук

НДІ «Украгропромпродуктивність»

E-mail: bva62@i.ua

Анотація. *Мета досліджень – розробка наукових підходів щодо забезпечення функціонування системи моделювання показників роботи польових агрегатів, як необхідної підсистеми цифрової трансформації галузі АПК, на основі баз знань галузей наук.*

Методи дослідження – метод системного аналізу та синтезу для визначення та опису компонентів предметної галузі імітаційної моделі, імітаційне моделювання для визначення техніко-експлуатаційних показників машинних агрегатів, аналітично-розрахунковий метод визначення техніко-економічних показників та витрат ресурсів.

Проведено системний аналіз та синтез підсистеми імітаційного моделювання роботи польових агрегатів, визначено компоненти предметних галузей наук при деталізації процесу моделювання. Розроблено концептуальну схему системи моделювання показників роботи польових агрегатів на основі баз знань галузей наук та наукові підходи щодо забезпечення актуалізації параметрів функціонування системи моделювання у взаємодії знань галузей наук. Проведено аналіз отриманих результатів на прикладі імітаційного моделювання показників роботи машинного агрегату в конкретних виробничих умовах.

Доведено актуальність практичного використання системи моделювання показників роботи польових агрегатів, як необхідної підсистеми цифрової трансформації галузі АПК. Запропоновані наукові підходи щодо забезпечення актуалізації системи моделювання, які уможливають отримання високоїмовірних результатів перебігу реальних виробничих процесів в аграрних підприємствах та відповідно визначення оптимальних управлінських рішень.

Ключові слова: *база знань науки, імітаційне моделювання, польові агрегати, техніко-експлуатаційні показники, цифрова економіка*

Актуальність. *Невід’ємною складовою економічного розвитку суспільства є науково-технічний прогрес, який базується на еволюційних змінах техніки, технології та управління виробничими процесами. Стрімке зростання трансформаційних процесів в аграрному секторі економіки зумовлює зміни аспектів діяльності сільськогосподарських підприємств.*

Цифровізація є однією з базових основ розвитку економіки та виробництва, яка все більше заохочує бізнес та виробничі колективи до використання інформаційних технологій, які дають можливість досягти максимальної ефективності виробничих процесів. Метою цифровізації економіки є цифрова трансформація галузей економіки в більш ефективні й рентабельні.

Цифрову економіку визначають як інноваційно-динамічну економіку, в основі якої лежить впровадження новітніх інформаційно-комунікаційних технологій в усі сфери економічної діяльності країни. Цифрове сільське господарство дозволяє створювати системи, які характеризуються прогнозованістю, високим рівнем продуктивності, здатністю адаптуватися до змін, що забезпечуватиме високий рівень продовольчої безпеки, а також стійкість та дохідність агропідприємств.

Цифрова економіка по суті виступає як науковий напрям, наукові розробки якого використовують сучасні цифрові технології для ефективного управління виробничими системами. Інформаційні технології надають можливості здійснювати моделювання, організацію процесів управління в економіко-виробничих системах, і в результаті докорінно оновити ведення бізнесу та виробництва.

Разом з тим, враховуючи високі темпи впровадження розробок щодо цифрової трансформації агровиробництва, потребу в достатньому інвестуванні процесів використання інноваційних технологій діджіталізації сільськогосподарського виробництва, в умовах кризи постає необхідність проведення теоретичних та практичних досліджень зазначених процесів цифровізації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Напрями формування цифрової української економіки, передусім, пов'язані з питаннями національної безпеки і конкурентоспроможності держави на світовому ринку.

Дослідження впливу цифровізації на функціонування сільськогосподарських підприємств передбачає деталізований аналіз основних трендів цифровізації в сільському господарстві та тенденцій науково-технічного розвитку аграрного виробництва, зокрема, цифрове проектування та моделювання технологічних процесів [1].

Останні десятиліття відзначаються широким впровадження розумних технологій. Певні проекти вже використовуються в роботі вітчизняних аграропідприємств [2]:

– точне землеробство: формуються аналітичні дані для побудови карт завдань; машини оснащуються GPS-трекерами, комбайни – датчиками врожайності, вологості, бортовим комп'ютером; складання карт за допомогою супутникового моніторингу; процесний підхід: накопичення інформації про виконанні технологічних операцій;

– розумне землеробство: передбачає процес застосування технологій Big Data з метою оптимізації складних систем землеробства, точне вимірювання структури полів;

– цифрове землеробство: полягає у оптимізації виробничих процесів у результаті автоматизованого збору та аналізу даних, визначення дій для операційного управління виробництвом.

Цифрову економіку можна розглядати як еволюційний розвиток економіки, у якій «обмін даними між учасниками процесів у режимі онлайн прийшов на зміну аналоговій взаємодії і зачіпає всі галузі економіки, а також сприяє економічному зростанню та масштабізації бізнес-моделі на основі застосування нових технологій» [3].

Вітчизняними науковцями виділено ряд проблем у підприємствах аграрного сектору, пов'язаних з переходом до цифровізації: використання застарілого обладнання й технологій, відсутність необхідних ресурсів для впровадження сучасної техніки, доступ до спеціалізованих інформаційних ресурсів [4]. Ними запропоновано модель цифрової платформи для аграрного сектору з метою залучення до процесу цифрової трансформації підприємств.

Мета дослідження – розробка наукових підходів щодо забезпечення функціонування системи моделювання показників роботи польових агрегатів (СІМПА) на основі комплексного підходу взаємодії баз знань галузей наук з підтримкою актуальності параметрів імітаційних моделей у загальній системі підтримки прийняття рішень.

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.

Для досягнення поставленої мети необхідно: 1) провести системний аналіз та синтез підсистеми імітаційного моделювання польових агрегатів та визначити компоненти предметних галузей (наук); 2) розробити концептуальну схему системи моделювання показників роботи польових агрегатів з використанням баз знань галузей наук; 3) провести аналіз отриманих результатів на прикладі імітаційного моделювання показників роботи машинного агрегату для конкретних виробничих умов.

Матеріали і методи дослідження. Одним з нормативно-правових актів, на якому базується реалізація процесів цифровізації, є «Стратегія розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року» [5], у якому, зокрема, вказано, що в зростанні економіки пріоритетне значення повинно належати аграрному сектору з високим потенціалом у впровадженні сучасних технологій. Необхідною умовою становлення та розвитку цифрової економіки є розвиток автоматизованих інформаційних та інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, основою функціонування яких є бази знань відповідних предметних галузей.

Актуальним є використання в системі підтримки прийняття рішень імітаційного моделювання роботи польових агрегатів для обґрунтування вибору оптимальних комплексів машин та системної оптимізації техніко-технологічних рішень щодо механізованих процесів у рослинництві. [6]. Тому постає завдання розробки науково-обґрунтованих рішень щодо забезпечення функціонування підсистеми імітаційного моделювання роботи польових агрегатів з використанням баз знань для підтримки актуальності параметрів імітаційних моделей в системі підтримки прийняття рішень.

Результати досліджень та їх обговорення. Як відомо, розроблено методику і програмне забезпечення, які дозволяють визначати техніко-експлуатаційні

показники сільськогосподарських машинних агрегатів (СМА) з використанням імітаційного моделювання їх роботи та показники економічної ефективності машин [7].

Для встановлення показників СМА на механізованих польових роботах у рослинництві необхідно знати ступінь впливу чинників на виконання технологічної операції в конкретних організаційно-технічних умовах виконання робіт. Технологічний процес у рослинництві можна розглядати як технологічну систему, на яку впливають групи факторів [7]:

- технологічні: глибина обробітку, норми внесення матеріалу, тощо;
- технічні: швидкість руху, ширини захвату, потужність, маса, тягове зусилля, годинні витрати палива, надійність, тощо;
- природні: різновид ґрунту, кут схилу місцевості, наявність перешкод, кліматичні умови;
- параметри поля: конфігурація, розміри і розміщення оброблюваних полів;
- організаційні: технологія й організація робіт, розстановка машин на робочому місці. тощо.

Організаційні чинники та параметри поля визначають кількість поворотів та відстань переїздів агрегату, що значно змінює продуктивність виконання технологічної операції. Технологічні, технічні та природні фактори формують величини тягового опору і, відповідно, робочої потужності двигуна і швидкості СМА при виконанні технологічної операції, які визначають витрати палива агрегатом та продуктивність.

Математичну модель впливу на потужність двигуна енергозасобу СМА діючих чинників показано на рис.1.

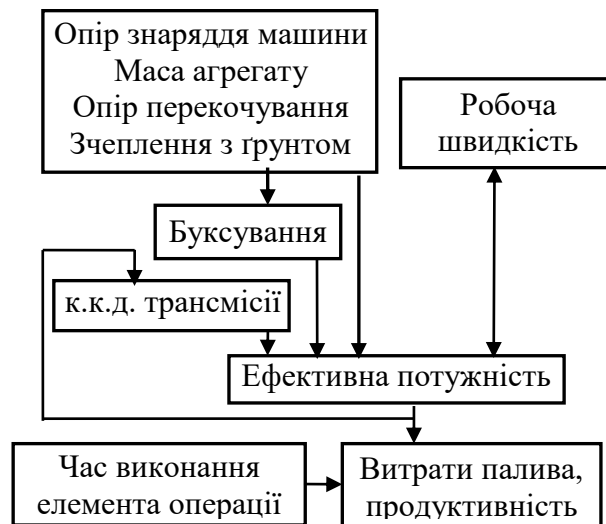


Рис. 1. Математична модель впливу факторів на потужність двигуна

За відомими методичними розробками витрати палива визначаються величиною ефективної (робочої) потужності двигуна, яка розраховується за значеннями чинників: маса СМА та робочого матеріалу; робоча швидкість агрегату; робоча ширина захвату сільськогосподарської машини; коефіцієнт корисної дії трансмісії; питомий опір машини; коефіцієнт буксування коліс; коефіцієнт опору перекочування коліс; коефіцієнт зчеплення з ґрунтом; кут схилу місцевості.

Останні п'ять з вищевказаних чинників є показниками впливу фізико-механічних властивостей ґрунту на переміщення СМА або є показниками фізико-механічних процесів, що відбуваються при роботі агрегату. Аналіз факторів, які впливають на виконання механізованих процесів у рослинництві, формування показників роботи польових агрегатів та функцій системи моделювання, показує, що в системі моделювання показників роботи польових агрегатів використовуються знання декількох галузей наук, крім сільськогосподарських та технічних.

Таким чином, можна стверджувати, що система моделювання показників роботи польових агрегатів базується на методичних положеннях (знаннях) сукупності галузей наук, а саме, це такі науки, відповідні параметри, показники та методи їх розрахунку:

– технічні: витрата палива, продуктивність, потужність двигуна, швидкість, ширина захвату, маса, тягове зусилля, надійність, тощо;

- сільськогосподарські: технології та технологічні карти на виробництво с.-г. культур, технологічні вимоги до технологічних операцій, тощо;
- фізичні (розділ механіки): фізико-механічні властивості ґрунту, показники фізико-механічних процесів при переміщенні агрегату;
- економічні: експлуатаційні витрати, економічна ефективність СМА, витрати на виробництво;
- математичні: моделювання, алгоритми, аналітично-розрахунковий метод;
- комп'ютерні: програмне забезпечення, імітаційне моделювання.

У зв'язку з широким впровадженням у виробництво принципово нових видів високопродуктивної сільгосптехніки виникає потреба в науковому обґрунтуванні правильності використовуваних методів у методиці оцінювання експлуатаційних параметрів. При цьому необхідно переглянути можливість зміни методів визначення величин фізико-механічних процесів, що відбуваються при переміщенні агрегату та змінюють його тяговий опір і, відповідно техніко-експлуатаційні показники. Також для визначення показників експлуатації техніки (СМА) необхідно обґрунтувати (підтвердити) як методи визначення параметрів процесів механіки (фізики), так і техніки та інших наук, визначення параметрів яких залежить від параметрів механіки переміщень СМА.

Розроблено концепцію системи моделювання показників роботи польових агрегатів на основі баз знань галузей наук (рис. 2), реалізація якої уможливить оцінювання не тільки нових моделей, а й принципово нових видів техніки для будь-яких виробничих умов.

Розглянемо визначення показників роботи орного агрегату для заданих виробничих умов у системі імітаційного моделювання при виконанні технологічної операції з обробітку ґрунту з використанням технічних засобів: трактор «John Deer 8295», плуг «Діамант-16». Умови виробництва задано такі:

- природно-організаційні: довжина гону – 850 м, ґрунт – чорнозем суглинистий середньої важкості з питомим опором 60 кН/м^2 , агрофон – стерня;

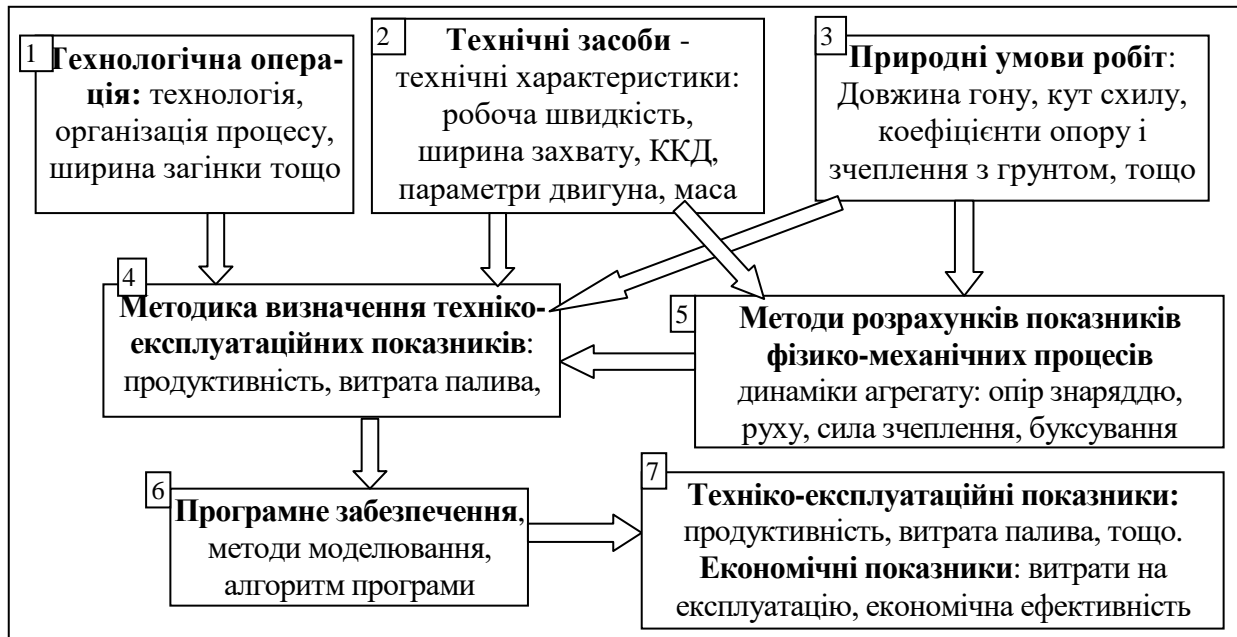


Рис. 2. Концептуальна схема системи моделювання показників роботи польових агрегатів на основі баз знань галузей наук

– техніко-експлуатаційні: ширина захвату – 3,5 м, глибина обробітку – 25 см, робоча швидкість – 15 км/год.

У процесі імітаційного моделювання прораховуються значення параметрів механічних процесів, що відбуваються при роботі агрегату протягом зміни, і в результаті – потужності двигуна, витрат часу, палива. Фрагмент проміжних результатів моделювання роботи трактора «John Deere 8295» з плугом «Діамант-16» з обробітку ґрунту (при заданій довжині елементарної оброблюваної ділянки переміщень агрегату 300 м) наведено в табл. 1. Зі збільшенням довжини обробленої ділянки агрегатом у більшості технологічних операцій (сівба, збирання, внесення добрив, тощо) змінюється маса агрегату і, відповідно, коефіцієнти буксування, трансмісії, та технічні показники.

1. Моделювання витрат часу, палива і значень параметрів механічних процесів, що обумовлюють енергоспоживання агрегату (фрагмент)

Назва елемента операції	Коефіцієнт буксування	ККД трансмісії	Потужність двигуна, кВт	Паливо, кг/год	Відстань, м	Тривалість	Витрата палива, л
Робочий хід 1 прямий	5.27	0.91	99.67	32.33	300	72 с	0.78
Робочий хід 1 прямий	5.27	0.91	99.67	32.33	300	72 с	0.78
Робочий хід 1 прямий	5.27	0.91	99.67	32.33	243	58 с	0.64
Поворот	4.48	0.79	37.92	21.49	23	14 с	0.10
Робочий хід 2 зворотний	5.27	0.91	99.67	32.33	300	72 с	0.78
Робочий хід 2 зворотний	5.27	0.91	99.67	32.33	300	72 с	0.78
Робочий хід 2 зворотний	5.27	0.91	99.67	32.33	243	58 с	0.64
Поворот	4.48	0.79	37.92	21.49	23	14 с	0.10
Робочий хід 3 прямий	5.27	0.91	99.67	32.33	300	72 с	0.78
...

У результаті імітаційного моделювання роботи вищенаведеного СМА з оранки стерні визначено показники:

– техніко-експлуатаційні: продуктивність агрегату 25,88 га за зміну, витрата палива 8,24 л/га;

– економічні: прямі експлуатаційні витрати склали 920.63 грн/га, сукупні витрати – 1310.73 грн/га.

Для визначення ефективності застосування СМА виконано моделювання аналогічного машинного агрегату на базі трактора «ХТЗ-17021» і плуга «ПЛН-5-35». При порівнянні результатів моделювання роботи агрегатів виявлено, що з урахуванням коефіцієнта надійності та технологічно допустимої робочої швидкості при використанні плуга «Діамант» експлуатаційна продуктивність становить 2,98 га/год, що в 1,65 рази вище, ніж при використанні плуга «ПЛН-5-35». Проте, економічна ефективність експлуатації агрегату трактора «John Deer 8295» з плугом «Діамант» значно нижча, ніж агрегату на базі трактора «ХТЗ-17021» і плуга «ПЛН-5-35», оскільки сукупні витрати становлять відповідно 1233 і 466 грн/га, на що вплинула вартість техніки.

Наукові підходи щодо теорії й практики реалізації баз знань в системах підтримки прийняття рішень пропонувались, зокрема, вченими Національного університету «Львівська політехніка». Ними зроблено висновок, що прийняття рішень для задач можливе на підставі знань про предметну область, тобто використовуються бази знань, тому виникає проблема розроблення методів та засобів підтримки прийняття рішень на основі баз знань [8].

В НДІ «Укראгропромпродуктивність» методом спостережень розробляють таблиці норми продуктивності і витрати палива для СМА [7]. Проте метод спостережень потребує значних трудовитрат, а при закупівлі нової техніки його неможливо застосувати. Система імітаційного моделювання надає можливість без проведення спостережень отримати з мінімальними витратами часу та з достатньою точністю таблиці норм продуктивності і витрати палива для діапазонів значень впливових факторів, тобто будь-яких технологічних та природних умов виконання робіт.

Як система підтримки прийняття рішень, розглянута в цій статті система моделювання показників роботи польових агрегатів дозволяє виконувати системну оптимізацію ресурсів на виробництві, яка передбачає проведення трирівневої оптимізації механізованих процесів у рослинництві, а саме: 1) вибір режимів роботи агрегатів та параметрів виконання процесу за критерієм максимуму продуктивності та мінімуму витрати палива; 2) оптимальний варіант виконання технологічних операцій та склад польових агрегатів визначається за мінімумом прямих експлуатаційних витрат та показниками порівняльної економічної ефективності; 3) оптимальний варіант виробничого процесу визначається за значеннями показників економічної ефективності виробництва продукції.

Висновки і перспективи. Запропоновано наукові підходи щодо забезпечення функціонування системи моделювання показників роботи польових агрегатів на основі взаємодії баз знань галузей наук з підтримкою актуальності параметрів моделей у загальній системі підтримки прийняття рішень.

Використання системи моделювання показників роботи машинних агрегатів уможливить науково обґрунтоване визначення показників роботи не тільки нових

моделей техніки, а й принципово нових видів техніки для будь-яких виробничих умов.

Запропонована система моделювання, як важливий компонент цифровізації, забезпечує підвищення ефективності використання комплексів машин на механізованих польових роботах за рахунок комп'ютеризованого обґрунтування оптимальних рішень при управлінні виробничим процесом, закупівлі техніки, плануванні та контролі шляхом найбільш точного та автоматизованого визначення продуктивності, витрати палива та економічних показників роботи польових агрегатів.

Список використаних джерел

1. Руденко М. В. Особливості впливу цифровізації на функціонування сільськогосподарських підприємств. Збірник наукових праць «Вісник ХНАУ ім. В.В. Докучаєва». Серія «Економічні науки». Харків: ХНАУ, 2019. №1. С. 202-212.
2. Горобець Н. М., Хомякова Д. О., Стариковська Д. О. Перспективи використання цифрових технологій в діяльності аграрних підприємств. Ефективна економіка. 2021. № 1. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8521>
3. Вишневецький В. П., Гаркушенко О. М., Князев С. І., Липницький Д. В., Чекіна В. Д. Цифровізація економіки України: трансформаційний потенціал: монографія. Київ: Академперіодика, 2020. 188 с.
4. Водянка Л. Д., Юрій Т. П. Цифровізація та цифрова платформа в економічному розвитку аграрного сектору. Економіка АПК. 2020. №12. С. 67-73.
5. Стратегія розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року. База даних «Законодавство України». ВР України. URL : <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/526-2019-%D1%80#Text>.
6. Демчак І. М., Борисенко В. О., Риженко Ю. Є. Методика системної оптимізації витрат живої і уречевленої праці на виробництво зернових, технічних, кормових і овочевих культур. Київ: НДІ «Укראгропромпродуктивність», 2014. 40 с.
7. Борисенко В. О., Босий М. А. Основи методології і методики імітаційного моделювання роботи польових агрегатів для обґрунтування їх ефективного використання. Київ: НДІ «Укראгропромпродуктивність», 2010. 87 с.
8. Висоцька В. А., Досин Д. Г., Микіч Х. І., Завушак І. І., Рибчак З. Л. Методи та засоби функціонування систем підтримки прийняття рішень на основі онтологій. Львів. «Новий світ – 2000», 2019. 334 с.

References

1. Rudenko M.V. (2019). Osoblyvosti vplyvu tsyfrovizatsii na funktsionuvannia silskohospodarskykh pidpriemstv. [Peculiarities of the impact of digitalization on the functioning of agricultural enterprises]. Zbirnyk naukovykh prats «Visnyk KhNAU im. V.V. Dokuchaieva». Serii «Ekonomichni nauky». Kharkiv: KhNAU, 1, 202-212.

2. Gorobets, N., Khomyakova, D., Starykovska, D. (2021), Perspektyvy vykorystannia tsyfrovyykh tekhnolohii v diialnosti ahrarnykh pidpriemstv [Prospects of using digital technologies in the activities of agricultural enterprises]. Efektyvna ekonomika, 1, URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=8521>

3. Vyshnevskiy, V. P., Harkushenko, O. M., Knyazev, S. I., Lipnytskyi, D. V., Chekina, V. D. (2020). Tsyfrovizatsiia ekonomiky Ukrainy: transformatsiinyi potentsial [Digitization of the economy of Ukraine: transformational potential]. NAS of Ukraine, Institute of Industrial Economics. 188.

4. Vodyanka, L. D., Yuriy, T. P. (2020). Tsyfrovizatsiia ta tsyfrova platforma v ekonomichnomu rozvytku ahrarnoho sektoru [Digitization and digital platform in the economic development of the agricultural sector]. Ekonomika APK, 12, 67-73.

5. Stratehiia rozvytku sfery innovatsiinoi diialnosti na period do 2030 roku. Baza danykh «Zakonodavstvo Ukrainy» (2020). [Strategy for the development of the sphere of innovative activity for the period up to 2030]. Database "Legislation of Ukraine". Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/526-2019-%D1%80#Text>.

6. Demchak, I. M., Borysenko, V. O., Ryzhenko, Y. E. (2014). Metodyka systemnoi optymizatsii vytrat zhyvoi i urechevlenoi pratsi na vyrobnytstvo zernovykh, tekhnichnykh, kormovykh i ovochevykh kultur [The method of systematic optimization of costs of living and embodied labor for the production of grain, technical, fodder and vegetable crops]. Kyiv: Research Institute «Ukrainian Industrial Productivity», 40.

7. Borysenko, V. O., Bosiy, M. A. (2010). Osnovy metodolohii i metodyky imitatsiinoho modeliuвання roboty polovykh ahrehativ dlia obgruntuvannya yikh efektyvnoho vykorystannia [The basics of the methodology and methods of simulation modeling of the operation of field units to substantiate their effective use]. Kyiv: Research Institute «Ukrainian Industrial Productivity», 87.

8. Vysotska, V. A., Dosyn, D. G., Mykich, H. I., Zavushchak, I. I., Rybchak, Z. L. (2019). Metody ta zasoby funktsionuvannya system pidtrymky pryiniattia rishen na osnovi ontolohii [Methods and means of operation of decision support systems based on ontologies]. Lviv: «New World – 2000», 334.

SIMULATION OF PERFORMANCE INDICATORS OF FIELD UNITS ON THE BASE OF KNOWLEDGE BASES OF THE FIELDS OF SCIENCES AS A COMPONENT OF THE DIGITAL ECONOMY

V. Borysenko

Abstract. *The purpose of research is the development of scientific approaches to ensure the functioning of the system of modeling the performance of field units, as a necessary subsystem of the digital transformation of the agricultural industry, based on the knowledge bases of the branches of science.*

Research methods – the method of system analysis and synthesis, simulation modeling, analytical and calculation method.

The system analysis and synthesis of the subsystem of simulation modeling of the operation of field units was carried out, the components of the subject branches of science were determined. A conceptual scheme of the system for modeling performance indicators of field units has been developed on the basis of the knowledge bases of the branches of

science and scientific approaches to ensure the actualization of the parameters of the functioning of the modeling system.

The relevance of the practical use of the system for modeling performance indicators of field units as a necessary subsystem of the digital transformation of the agricultural sector has been proven. Proposed scientific approaches to ensure the actualization of the modeling system, which will enable obtaining highly probable results of the course of real production processes in agricultural enterprises and, accordingly, determining optimal management solutions.

Key words: *knowledge base of science, simulation modeling, field units, technical and operational indicators, digital economy*