

<https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-332-82>

УДК 631.11:005.6:004.8

ШИРОКИХ Олександр

ТОВ «Любимівка»

<https://orcid.org/0009-0006-6237-6558>e-mail: kaf_mev@ukr.net

ОРГАНІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ У ЗЕРНОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Зростаюча потреба аграрного сектору України в покращенні управління якістю бізнес-процесів, в підвищенні ефективності зернового виробництва значно актуалізує потреби впровадження інтелектуальних систем управління. Метою дослідження постав розв'язок науково-теоретичних положень та розробка методичних рекомендацій щодо впровадження системи управління якістю бізнес-процесів, орієнтованих на підвищення ефективності зернового виробництва. Для досягнення поставленої мети використано апарат байєсових мереж довіри, реалізований у середовищі Netica. В основі моделі покладено зіставлення експертних знань з переведенням емпіричних даних у дискретні шкали. Розроблено адаптивну байєсову модель із дванадцяти взаємопов'язаних вузлів, орієнтованих на доведення наступної гіпотези дослідження: існує стійкий і формалізований причинно-наслідковий зв'язок між базовими детермінантами зернового виробництва (якість насіння, стан ґрунту, погодні умови, кваліфікація персоналу, технічний стан обладнання, рівень дотримання технологій), проміжними процесами (посів, вегетація, збирання, обробка) та кінцевими показниками (врожайність і якість зерна), який може бути ефективно змодельований за допомогою багаторівневої байєсової мережі довіри. Модель ідентифікує критичні контрольні точки, дозволяє оптимізувати технологічні процеси на основі прогнозу якості зернової продукції. Для навчання моделі та параметризації мережі довіри застосовано методи машинного навчання та валідації результатів. Описано шляхи інтеграції байєсових мереж з системами менеджменту якості для малих та середніх агропідприємств України. Розроблена модель передбачає своє масштабування для впровадження на агропідприємствах з обмеженими ресурсами, що особливо актуально в умовах необхідності підвищення ефективності аграрного сектору України.

Ключові слова: якість бізнес-процесів, байєсові мережі, управління якістю, агропромисловість, зернове виробництво, ризик-менеджмент.

SHYROKYKH Oleksandr

LLC "Lyubymivka"

ORGANIZATION OF INTELLIGENT QUALITY MANAGEMENT OF BUSINESS PROCESSES IN GRAIN PRODUCTION

The increasing demand within Ukraine's agricultural sector for improved business process quality management and enhanced efficiency in grain production highlights the growing importance of implementing intelligent management systems. This study aims to develop the scientific and theoretical foundations and propose methodological recommendations for introducing a business process quality management system tailored to improve the performance of grain production. A Bayesian belief network was constructed and implemented using the Netica environment to achieve this objective. The model is based on integrating expert knowledge and transforming empirical data into discrete scales. An adaptive Bayesian model consisting of twelve interrelated nodes was developed to test the following research hypothesis: there exists a stable and formalized causal relationship between key determinants of grain production (such as seed quality, soil condition, weather, staff qualifications, equipment status, and compliance with technology), intermediate processes (sowing, vegetation, harvesting, processing), and final outputs (yield and grain quality). This relationship can be effectively modeled using a multilevel Bayesian belief network. The model identifies critical control points and optimizes technological processes through predictive grain quality analysis. Machine learning and validation techniques were employed to train the model and calibrate the network parameters. The study also outlines pathways for integrating Bayesian networks with quality management systems in Ukraine's small and medium-sized agricultural enterprises. The proposed model is scalable and adaptable for resource-constrained agrarian operations, which is particularly relevant in enhancing the overall efficiency of Ukraine's agricultural sector.

Keywords: business process quality, Bayesian networks, quality management, agro-industrial sector, grain production, risk management.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ У ЗАГАЛЬНОМУ ВИГЛЯДІ ТА ЇЇ ЗВ'ЯЗОК ІЗ ВАЖЛИВИМИ НАУКОВИМИ ЧИ ПРАКТИЧНИМИ ЗАВДАННЯМИ

Посилення конкуренції на світових ринках та необхідність дотримання доволі суворих стандартів безпеки харчових продуктів актуалізує для сучасних агропромислових підприємств проблему організації управління якістю бізнес-процесів, яка об'єктивно має враховувати сучасні здобутки четвертої промислової революції. Водночас, розширення переліку факторів впливу на вихідні характеристики агропромислової продукції знижує ефективність сучасних методів управління якістю, в основі яких традиційно знаходяться статичні контрольні карти та періодичні перевірки. Ефективність таких методів контролю якості виявляється недостатньою для врахування складних взаємозв'язків між постійно зростаючим переліком факторів впливу. Сільськогосподарська діяльність в цілому, та зернове виробництво зокрема, характеризуються особливою складністю управління якістю бізнес-процесів перш за все через залежність від погодно-кліматичних умов, сильний прояв сезонності та значну кількість контрольних параметрів, які застосовуються на різних етапах технологічного циклу. В основу зниження такої складності доречно

покласти застосування інструменти цифрових технологій і штучного інтелекту, застосування яких формують нові можливості для прогнозування, контролю й оперативного коригування виробничих операцій й тим самим оптимізувати ресурсоспоживання та підвищити загальну ефективність. Якщо ж орієнтуватися на зернові підприємства, то навіть з огляду на цифрові рішення доволі складною виявляється їх інтеграція в існуючі бізнес-процеси через недостатню технічну готовність, невідповідність персоналу до викликів цифровізації та через розрив між стратегією і формами реалізації контролю якості бізнес-процесів. З огляду на описану ситуацію зростає актуальність досліджень у сфері організації інтелектуального управління якістю бізнес-процесів у зерновому виробництві.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Сучасна економічна думка сформуvalи широкий пласт досліджень, пов'язаний з організацією управління бізнес-процесами підприємств і довела ефективність такого підходу в різних галузях економіки. Відомими фахівцями зі сфери процесного менеджменту, такими як Л. Гелей зі співавтором [1], В. Стіхл [11], Дж. Фреунд зі співавтором [8], Н. Міхандієв зі співавтором [9], Н. Шматько [3] та М. Григорак [2] розроблено підходи щодо моделювання, аналізу та оптимізації бізнес-процесів, які знайшли широке застосування в системах управління якістю, ERP-рішеннях та процесному реінжинірингу. Їх розробки також охоплюють концепції процесно-орієнтованого управління, використання формальних нотацій (наприклад, IDEF та BPMN), а також орієнтуються на висвітлення ролі сучасних цифрових інструментів в розвитку бізнес-процесів.

Саме широке залучення аналітичних інструментів до управління бізнес-процесів навіть призвело до появи напрямку інтелектуального аналізу процесів (від англ. «Process mining»), який описаний в роботах Дж. Бруке зі співавтором [6], М. Віла [13], А. Фортіно [7] та спрямований на виявлення реальних закономірностей перебігу процесів. Орієнтація такого аналізу на формування рекомендацій щодо покращення та оптимізації процесів на основі агрегації відомостей з журналів подій (від англ. «event logs»), які генеруються інформаційними системами, виступає відправною точкою для забезпечення заданої якості бізнес-процесів через виявлення відхилень, вузких місць, порушень регламентів або інших проявів низької ефективності. Аспекти управління якістю бізнес-процесів також становили особливу сферу уваги таких дослідників як, наприклад, Х. Зоу зі співавторами [14], А. Ваниччинчай зі співавтором [12] тощо.

Узагальнення їх розробок дозволяє ідентифікувати якість бізнес-процесів як інтегральну характеристику, що відображає ступінь відповідності виконання процесу визначеним стандартам, очікуванням стейкхолдерів та здатності процесу стабільно забезпечувати бажані результати в умовах змінного середовища. Проте слід враховувати, що оскільки якість бізнес-процесів виступає складним поєднанням структурної складової (відповідає за логіку, послідовність та регламентованість операцій в межах процесів) з поведінковою складовою (характеризує надійність, своєчасність та адаптивність бізнес-процесів), то аспекти ідентифікації якості як об'єкта управління бізнес-процесами потребують постійного розвитку та удосконалення.

ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ, КОТРИМ ПРИСВЯЧУЄТЬСЯ СТАТТЯ

Незважаючи на наявність описаних розробок у сфері контролю якості та цифрової їх автоматизації, недостатньо опрацьованими залишаються питання такої їх імплементації до системи управління бізнес-процесами, яка забезпечить здатність в інтегрованому режимі враховувати всі етапи зернового ланцюга. Наявні розробки переважно на високому рівні описують фрагментарні рішення, які зосереджені на окремих технологічних вузлах агровиробництва, а також потребують розширення адаптивності щодо зміни умов господарювання.

ФОРМУЛЮВАННЯ ЦІЛЕЙ СТАТТІ

Метою статті постав розвиток науково-теоретичних положень та розробка методичних рекомендацій щодо впровадження заснованої на байесових мережах довіри системи управління якістю бізнес-процесів, орієнтована на підвищення ефективності зернового виробництва у тому числі за рахунок проактивного визначення якості ще до завершення виробничого циклу.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Забезпечення стабільної якості зернової продукції є важливим завданням загальнодержавного рівня, адже виробництва зерна є однією з ключових галузей аграрного сектору національної економіки. І хоча саме ця галузь створює базис продовольчої безпеки та забезпечує зростання експортного потенціалу країни, її суб'єкти стикаються з значною варіабельністю природних факторів (таких як погода, стан ґрунту тощо), технологічною неоднорідністю агровиробничих процесів у різних суб'єктів (для різних господарств властивий суттєво відмінний стан техніки та якості насіння) та з високою залежністю від людського чинника (суттєве значення в досягненні якості бізнес-процесів має кваліфікація персоналу). Базова гіпотеза дослідження полягає у необхідності одночасного та системного (з урахуванням взаємного впливу один на

одного) врахування впливу описаних факторів-загроз на якість бізнес-процесів. Для подальшого розкриття поставленої мети таку гіпотезу можна визначити наступним чином: існує стійкий причинно-наслідковий зв'язок між вхідними факторами технологічного процесу вирощування зернових (якість насіння, стан ґрунту, погода, агротехнології, техніка та персонал) і кінцевими показниками якості продукції та врожайності, який можна формалізувати за допомогою ієрархічної байесової моделі.

Отже, висунута гіпотеза декларує, що каузальна структура виробничого процесу в зерновій галузі дозволяє використання байесової мережі для надійного прогнозування якості продукції. Реалізація такої гіпотези відкриває можливості для проактивного управління в умовах високої невизначеності, але потребує чіткого обґрунтування вузлових точок моделі та зв'язків між ними. Саме потреба врахування складної системи зв'язків між вузловими точками моделі якості процесів зернового виробництва обумовила застосування мереж Байеса, які базуються на складному поєднанні апіорної та апостеріорної ймовірностей. Тобто враховується ймовірність настання події A за умови прояву події B [4, с.152]:

$$P(A|B) = \frac{P(A \cup B)}{P(B)} \quad (1)$$

Тобто якість бізнес-процесів зернового виробництва за означеного формулою (1) підходу визначатиметься на основі врахування ймовірностей настання попередніх подій. Для ідентифікації таких подій можна, по-перше, орієнтуватися на існуючі розробки щодо використання байесовських мереж в сільському господарстві. Так, наприклад, П. Поббенборг та Т. Коелнер [10] розробили модель управління екосистемою збирання врожаю, яка прогнозує обсяги врожаю, орієнтуючись на вартість виробництва біомаси, рівні ерозії ґрунту тощо. А. Азіс із співавторами [4], в свою чергу, висвітлили особливості застосування мереж Байеса для прогнозування врожайності рисового поля, з урахуванням особливостей конкретної місцевості. По-друге, обираючи перелік ключових факторів моделі доречно орієнтуватися на особливості діяльності національних сільськогосподарських підприємств.

На основі врахування означених двох напрямків розробки моделей пропонується в основу реалізації процедури прогнозування якості продукції з використанням формули (1) покласти тривимірну мережу довіри Байеса. На першому рівні виділяться 6 вузлів (вхідних змінних). Першою змінною для включення пропонується обрати «Якість насіння» (QualSeed). Включення цієї змінної обґрунтовується емпіричними даними, які засвідчують, що генетичний потенціал культури визначає максимально можливі показники якості продукції. В рамках змінної пропонується виділення трьох рівнів («Високоякісне», «Стандартне», «Низькоякісне»), що відображає реальну практику закупівельної роботи національних агропідприємств. В основу включення наступної змінної покладемо принцип агрометеорологічного детермінізму в рослинництві, який стверджує, що погодні умови впливають на всі етапи вегетації та післязбиральної обробки зерна, визначаючи біохімічний склад, фізичні властивості та стійкість продукції при зберіганні. Для врахування погодних умов вводиться змінна «Погодні умови» (Weather). Трирівнева градація («Сприятливі», «Помірні», «Несприятливі») відображає інтегральну оцінку комплексу метеорологічних параметрів (температура, опади, вологість повітря) протягом вегетаційного періоду. Ґрунтово-агрохімічний фактор стану ґрунту (SoilCondition) включено на основі теорії родючості ґрунтів та її впливу на накопичення поживних речовин у зерні. Градація на три категорії («Відмінний», «Задовільний» та «Поганий») базується на комплексній оцінці агрохімічних показників та врахуванні такої специфіки чорноземних ґрунтів, як поступова деградація органічної речовини.

Цілком зрозуміло, що оскільки дотримання технологічних вимог при вирощуванні культур суттєво впливають на якість (зокрема в рамках концепції точного землеробства) доречним є введення вхідного фактору «Агротехнологія» (AgroTech), який інтегрує оцінку дотримання технологічних карт, своєчасності проведення операцій, дозування добрив та засобів захисту рослин. Трирівнева структура («Повне дотримання», «Часткові порушення», «Грубі порушення») відображає реальні можливості контролю технологічної дисципліни. Реалізація технології значно залежить від технічного стану обладнання. Відповідно пропонується введення змінної «Стан техніки» (Equipment), яка визначає якість виконання технологічних операцій, рівень механічних пошкоджень зерна та також ґрунтується на трирівневій градації («Справна», «Потребує ремонту», «Несправна»). З огляду на те, що застосування техніки залежить від людського фактору, пропонується введення змінної «Кваліфікація персоналу» (StaffQual), також з трирівневою структурою («Висока», «Середня», «Низька»).

Наступний рівень моделі визначатиметься на основі комбінування значень попередніх характеристик. На даному рівні пропонується введення, по-перше, змінної «Якість посіву» (SowingQual), як інтегральної оцінки посівних робіт як критичного етапу формування врожаю з рівнями: {Відмінна, Хороша, Задовільна, Погана}. Для оцінювання вегетаційних процесів протягом періоду вирощування вводиться фактор-змінна «Розвиток рослин» (PlantDevelop) з рівнями: {Оптимальний, Нормальний, Повільний}. Оцінювання рівня якості організації та проведення збиральних робіт реалізується через змінну «Збирання врожаю» (Harvesting) із рівнями: {Своєчасне, Із затримкою, Із втратами}. Введені змінні відповідають перебігу робіт процесу вирощування зерна. Відповідно доречним є введення змінної «Первинна обробка»

(Processing), яка охоплює комплекс операцій післязбиральної обробки зерна та передбачає виділення рівнів {Якісна, Стандартна, Неякісна}.

Підсумковий, третій, рівень байесової мережі оцінювання якості бізнес-процесів оперує двома змінними. По-перше, це змінна «Врожайність» (Yield) (з рівнями «Висока», «Середня», «Низька»), яка хоча і не виступає прямою характеристикою якості бізнес-процесів, але все ж таки корелює з якістю через спільні фактори формування. Другою змінною є безпосередньо «Якість продукції» (FinalQuality, з рівнями «Преміум», «1-й клас», «2-й клас», «3-й клас», «Брак»). П'ятирівнева градація підсумкової змінної відповідає реальній практиці товарної класифікації зерна та ціновим категоріям на ринку.

Врахування формули (1) для побудови мережі довіри в основі визначення рівня якості бізнес-процесів передбачає визначення системи каузальних зв'язків між переліченими змінними. Відображення таких зв'язків повною мірою буде ґрунтуватися на наведеному вище обґрунтуванні введених змінних, адже відразу наводилися пояснення впливу факторів між рівнями. Для безпосереднього обчислення рівнів ймовірності використано програмне середовище Netica [5] (академічна версія з обмеженням на кількість вузлів та кейсів для навчання моделі). Відповідна реалізація моделі наведена на рис. 1 (програма не має української локалізації, тому на рис. 1 використано англійські значення введених факторів та їх станів). Для її побудови збиралася фактична інформація щодо діяльності ТОВ «Любимівка», яку було переведено в дискретну шкалу та використано для навчання моделі. Для отримання наведених на рис. 1 значень розподілу ймовірностей було використано градієнтний спуск («Learn Using Gradient» в меню Netica) для навчання параметрів байесової мережі (для встановлення умовних ймовірностей у вузлах моделі). Цей метод було обрано, оскільки він орієнтується на знаходження найкращих значень ймовірностей, які максимально узгоджуються з навчальними даними.

Перевірка адекватності моделі реалізована через проведення серії тестів. Так, перевірку невірної класифікованих кейсів показала відсоток помилкових кейсів на рівні 17% (Error rate = 17%), що засвідчує достатньо високу адекватність моделі, що виконана в обмеженій функціональності програмного забезпечення. З точки зору вироблення керівних рішень більш показовими є наведені у табл. 1 результати оцінювання чутливості моделі до зміни її параметрів. За результатами поданих у табл. 1 відомостей можна стверджувати, що найбільший вплив на ключові результуючі показники виробництва мають операційні процеси післязбирального етапу, а не базові виробничі фактори.

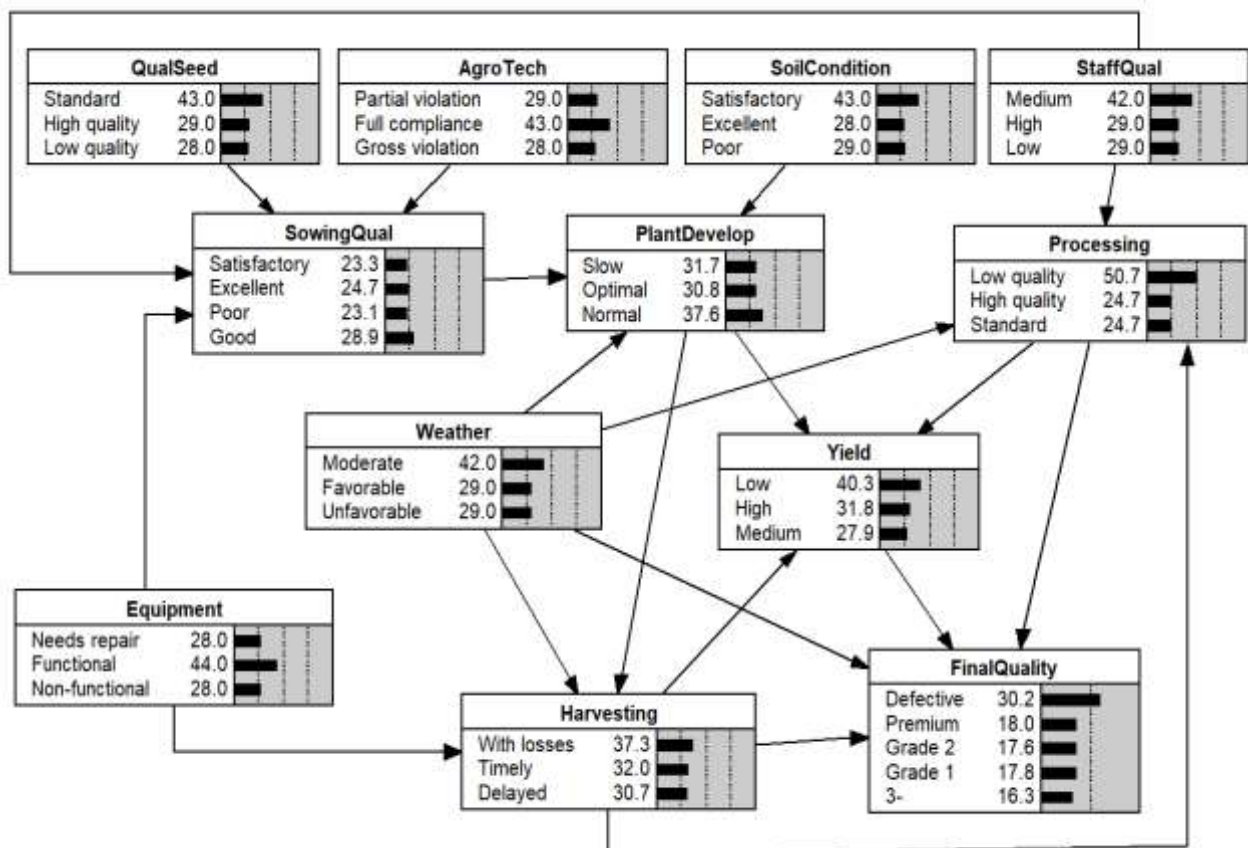


Рис. 1. Агрегована модель визначення якості бізнес-процесів у зерновому виробництві (авторська розробка)

Таблиця 1

Оцінювання чутливості вузлів басової моделі на зміну характеристик виконання бізнес-процесів у зерновому виробництві

Назва вузла, зміни у якому впливають на чутливість	Параметри оцінювання чутливості вузла					
	Якість продукції (FinalQuality)			Врожайність (Yield)		
	Взаємна інформація	Відсоток	Дисперсія переконань	Взаємна інформація	Відсоток	Дисперсія переконань
Якість продукції (Final Quality)	2,28227	100	0,6242278	0,15353	9,72	0,0352501
Врожайність (Yield)	0,15405	6,75	0,0180798	1,57875	100	0,4415803
Первинна обробка (Processing)	0,15388	6,74	0,0179876	0,16311	10,3	0,0365092
Якість посіву (Harvesting)	0,15370	6,73	0,0179813	0,16110	10,2	0,0358811
Погодні умови (Weather)	0,07533	3,3	0,0050728	0,03583	2,27	0,0062217
Розвиток рослин PlantDevelop	0,03732	1,64	0,0036195	0,05217	3,3	0,0104207
Стан техніки (Equipment)	0,02920	1,28	0,0028376	0,02493	1,58	0,0043832
Кваліфікація персоналу (StaffQual)	0,01294	0,567	0,0008513	0,00894	0,566	0,0014783
Якість посіву (SowingQual)	0,00477	0,209	0,0004106	0,00483	0,306	0,0008060
Стану ґрунту (SoilCondition)	0,00028	0,0121	0,0000217	0,00033	0,0208	0,0000530
Якість насіння (QualSeed)	0,00007	0,00308	0,0000050	0,00007	0,00434	0,0000100
Агротехнологія (AgroTech)	0,00006	0,00242	0,0000043	0,00006	0,00368	0,0000091

Дійсно, як видно з табл. 1, процеси первинної обробки (Processing) та збирання врожаю (Harvesting) характеризуються найвищими показниками взаємної інформації щодо якості продукції (6,74% та 6,73% відповідно) та врожайності (10,3% та 10,2%), що вказує на їх критичну роль у формуванні кінцевих результатів виробництва. По-друге, традиційно важливі базові фактори – якість насіння (QualSeed), агротехнологія (AgroTech) та стан ґрунту (SoilCondition) – демонструють мінімальний прямий вплив на цільові змінні (менше 0,05% для кожного), що свідчить про опосередкований характер їх впливу через ланцюг проміжних процесів. По-третє, погодні умови (Weather) займають проміжну позицію за силою впливу (3,3% на якість продукції та 2,27% на врожайність), підтверджуючи їх роль як неконтрольованого, але значущого фактора ризику. Ці результати обґрунтовують доцільність концентрації управлінських зусиль на оптимізації операційних процесів збирання та післязбиральної обробки як найбільш ефективного шляху підвищення якості продукції та врожайності в умовах ТОВ «Любимівка».

ВИСНОВКИ З ДАНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ РОЗВІДОК У ДАНОМУ НАПРЯМІ

Отже, інтелектуалізація управління якістю в агровиробництві є ключовим напрямом для підвищення ефективності бізнес-процесів зернового виробництва в умовах зростаючої складності та нестабільності зовнішнього середовища. Проведене дослідження орієнтовано на доведення гіпотези щодо існування стійкого і формалізованого причинно-наслідкового зв'язку між базовими детермінантами зернового виробництва (якість насіння, стан ґрунту, погодні умови, кваліфікація персоналу, технічний стан обладнання, рівень дотримання технологій), проміжними процесами (посів, вегетація, збирання, обробка) та кінцевими показниками (врожайність і якість зерна), який може бути ефективно змодельований за допомогою багаторівневої байєсової мережі довіри.

Запропонована багаторівнева байєсова модель довіри дозволяє формалізувати причинно-наслідкові зв'язки між факторами, що впливають на якість та врожайність зерна, забезпечуючи проактивне прийняття управлінських рішень. Аналіз чутливості моделі підтвердив провідну роль післязбиральних процесів (обробки та збирання) у формуванні кінцевих результатів, на відміну від традиційно акцентованих початкових факторів (насіння, стан ґрунту, агротехнології). Модель, реалізована в середовищі Netica, демонструє достатній рівень точності (похибка 17%) і може бути масштабована для аграрних підприємств з обмеженими ресурсами, сприяючи цифровій трансформації малого та середнього агробізнесу. Інтеграція байєсових мереж у систему управління якістю створює передумови для адаптивного контролю, скорочення втрат, підвищення прогнозованості та посилення конкурентоспроможності українського зернового сектору. Проте така інтеграція потребує розробки детальних референтних моделей якісної трансформації бізнес-процесів, обґрунтування яких становитиме перспективи подальших розробок автора.

Література

1. Гелей Л.О., Редченко К.І. Управління бізнес-процесами підприємств роздрібної торгівлі. Львів: СПОЛОМ, 2015. 224 с.
2. Григорак М.Ю. Інтелектуалізація ринку логістичних послуг: концепція, методологія, компетентність : монографія. К.: Сік Груп Україна, 2017. 513 с.
3. Шматко Н.М. Проектно-процесний підхід до забезпечення стійкості розвитку великомасштабної економіко-виробничої системи. *Економічний вісник Запорізької державної інженерної академії*. 2018. № 2(14). С. 93-98.
4. Aziz A., Ariyanto D.W. Rice yield prediction using Bayesian analysis on rainfed lands in the Sumbing-Sindoro Toposequence, Indonesia. *Scientific Horizons*. 2023. № 26(7). P. 149-159.
5. Bayesian network development software, Netica. URL: <https://www.norsys.com/index.html>.
6. Brocke J., Mendling J. Business Process Management Cases: Digital Innovation and Business Transformation in Practice. Switzerland: Springer, 2017. 605 p.
7. Fortino A. Data mining and predictive analytics for business decisions. Boston: Mercury Learning and Information, 2023. 291 p.
8. Freund J., Rücker B. Real-Life BPMN with introductions to CMMN and DMN. Analyze, improve and automate business processes in your company. USA: Comunda, 2016. 300 p.
9. Mehandjiev N., Grefen P. Dynamic Business Process Formation for Instant Virtual Enterprises. New York: Springer, 2010. 266 p.
10. Poppenborg P., Koellner T. A Bayesian network approach to model farmers' crop choice using socio-psychological measurements of expected benefits of ecosystem services. *Environmental Modelling & Software*. 2014. № 57. P. 227-234.
11. Stiehl V. Process-Driven Applications with BPMN. Springer International Publishing, 2014. 345 p.
12. Vanichchinchai A., Igel B. The impact of total quality management on supply chain management and firm's supply performance. *International Journal of Production Research*. 2011. № 49(11). P. 3405-3424.
13. Wil M.P. Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes. Berlin: Springer, 2014. 352 p.
14. Zhou X., Zhu Q., Xu Z. The mediating role of supply chain quality management for traceability and performance improvement: Evidence among Chinese food firms. *International Journal of Production Economics*. 2022. № 254. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527322002122>

References

1. Geley L. O., Redchenko K. I. (2015) Upravlinnia biznes-protsesamy pidpriemstv rozdribnoi torhivli [Business process management of retail enterprises]. Lviv: SPOLOM. (in Ukrainian)
2. Hryhorak M. Yu. (2017) Intelektualizatsiia rynku lohystychnykh posluh: kontseptsii, metodolohiia, kompetentnist: monohrafiia [Intellectualization of the logistics services market: concept, methodology, competence: monograph]. Kyiv: Sik Hrup Ukraina. (in Ukrainian)
3. Shmatko N. M. (2018) Proektno-protsesnyi pidkhid do zabezpechennia stiikosti rozvytku velykomasshtabnoi ekonomiko-vyrobnychoi systemy [Project-process approach to ensuring the sustainability of the development of a large-scale economic and production system]. *Ekonomichnyi visnyk Zaporizkoi derzhavnoi inzhenernoi akademii*, no. 2(14), pp. 93–98. (in Ukrainian)
4. Aziz A., Ariyanto D. W. (2023) Rice yield prediction using Bayesian analysis on rainfed lands in the Sumbing-Sindoro Toposequence, Indonesia. *Scientific Horizons*, no. 26(7), pp. 149–159 (in English)
5. Bayesian network development software, Netica. URL: <https://www.norsys.com/index.html>.
6. Brocke J., Mendling J. (2017) Business Process Management Cases: Digital Innovation and Business Transformation in Practice. Switzerland: Springer. (in English)
7. Fortino A. (2023) Data mining and predictive analytics for business decisions. Boston: Mercury Learning and Information. (in English)
8. Freund J., Rücker B. (2016) Real-Life BPMN with introductions to CMMN and DMN. Analyze, improve and automate business processes in your company. USA: Comunda. (in English)
9. Mehandjiev N., Grefen P. (2010) Dynamic Business Process Formation for Instant Virtual Enterprises. New York: Springer. (in English)
10. Poppenborg P., Koellner T. A. (2014) Bayesian network approach to model farmers' crop choice using socio-psychological measurements of expected benefits of ecosystem services. *Environmental Modelling & Software*, no. 57, pp. 227-234 (in English)
11. Stiehl V. (2014) Process-Driven Applications with BPMN. Springer International Publishing. (in English)
12. Vanichchinchai A., Igel B. (2011) The impact of total quality management on supply chain management and firm's supply performance. *International Journal of Production Research*, no. 49(11), pp. 3405–3424 (in English)
13. Wil M. P. (2014) Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes. Berlin: Springer. (in English)
14. Zhou X., Zhu Q., Xu Z. (2022) The mediating role of supply chain quality management for traceability and performance improvement: Evidence among Chinese food firms. *International Journal of Production Economics*, no. 254. (in English)