

УДК 631.3:004(091)**БАЛИШЕВ Марат,**

доктор історичних наук, старший дослідник,
директор Центрального державного науково-
технічного архіву України (м. Харків, Україна)

m.a.balyshev@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5211-3208>

ВПЛИВ ІНДУСТРІАЛЬНИХ РЕВОЛЮЦІЙ НА РОЗВИТОК АГРАРНОЇ ТЕХНІКИ ТА ЦИФРОВОЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЗЕМЛЕРОБСТВА

Еволюція сільськогосподарської техніки та перехід до цифрової автоматизації у сільському господарстві тісно пов'язані з етапами промислових революцій, які постійно та суттєво змінювали технологічні можливості людства й суспільні потреби. Актуальність цієї теми зумовлена необхідністю вивчення процесів, під час яких історичний розвиток промислових трансформацій вплинув на модернізацію сільськогосподарських практик і сформував сучасний стан «розумного» сільського господарства. У добу динамічних глобальних змін питання продовольчої безпеки, адаптації до кліматичних викликів і сталого використання ресурсів залишаються пріоритетними, що зумовлює активне впровадження новітніх аграрних технологій, витоки яких сягають етапів попередніх промислових революцій.

Це дослідження має на меті простежити і конкретизувати, як кожна хвиля (Першої – Четвертої) промислових революцій впливала на ступінь трансформації сільськогосподарської техніки – від первинної механізації до впровадження цифрових і автоматизованих рішень у сучасному аграрному секторі. Наголошено на досягненнях окремих визначних вчених-аграріїв щодо їх внеску у розвиток та становлення аграрної техніки.

Одним із цінних історичних джерел для відтворення у сукупності широкого спектру проблем і завдань, які вирішувалися у галузі, стали архівні документи з фондів ЦДНТА України. Проведено поетапний аналіз щодо впливу промислових революцій на розвиток сільського господарства. Зокрема, показано, як Перша промислова революція сприяла впровадженню механізованих інструментів для зменшення фізичних зусиль людини; Друга – підвищила ефективність виробництва завдяки використанню двигунів і хімічних інновацій; Третя – започаткувала застосування цифрових технологій і супутникових систем, тоді як Четверта промислова революція створила нові можливості завдяки інтеграції штучного інтелекту, робототехніки та

систем точного управління даними, докорінно змінюючи підходи до аграрного виробництва. За результатами проведеного аналізу було виявлено кумулятивний вплив промислового прогресу на сільськогосподарську практику, де кожен етап не лише сприяв появі нових інструментів, але й змінював виробничі системи та сільське господарство.

У висновках підкреслюється, що історичний контекст промислових революцій формує важливе підґрунтя для усвідомлення сучасної цифрової трансформації сільського господарства, сприяючи більш усвідомленому та цілеспрямованому впровадженню технологій в аграрну практику. Таке розуміння має суттєве значення для формування ефективної політики й інноваційних рішень, спрямованих на забезпечення доступності технологічного прогресу для всіх учасників аграрного сектору.

Ключові слова: сільське господарство, рільнича механіка, сільськогосподарське машинобудування, механізація сільського господарства, цифрова трансформація, цифрові технології, історична еволюція техніки, Томаш Рильський, ЦДНТА України.

THE IMPACT OF INDUSTRIAL REVOLUTIONS ON THE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL MACHINERY AND THE DIGITAL AUTOMATION OF FARMING

The evolution of agricultural machinery and the transition to digital automation in agriculture are closely linked to the stages of industrial revolutions, which have constantly and significantly changed the technological capabilities of humanity and social needs. The relevance of this topic stems from the need to study the processes during which the historical development of industrial transformations influenced the modernization of agricultural practices and shaped the current state of smart agriculture. In an era of dynamic global change, the issues of food security, adaptation to climate challenges and sustainable use of resources remain a priority, which leads to the active introduction of the latest agricultural technologies, the origins of which date back to the stages of previous industrial revolutions.

This study aims to trace and specify how each wave of the industrial revolutions (First to Fourth) influenced the degree of transformation of agricultural machinery – from primary mechanization to the introduction of digital and automated solutions in the modern agricultural sector. The achievements of some prominent agricultural scientists in terms of their contribution to the development and formation of agricultural machinery are emphasized.

Archival documents from the funds of the Central State Scientific and Technical Archive of Ukraine have become a valuable historical source for reconstructing a wide range of problems and tasks that were solved in the industry. A step-by-step analysis of the impact of industrial revolutions on the development of agriculture was carried out. In particular, it is shown how the First Industrial

Revolution contributed to the introduction of mechanized tools to reduce human physical effort; the Second Industrial Revolution increased production efficiency through the use of engines and chemical innovations; the Third Industrial Revolution pioneered the use of digital technologies and satellite systems, while the Fourth Industrial Revolution created new opportunities through the integration of artificial intelligence, robotics and precision data management systems, radically changing approaches to agricultural production. The analysis reveals the cumulative impact of industrial progress on agricultural practices, where each stage not only contributed to the emergence of new tools but also changed production systems and agriculture.

The conclusions emphasize that the historical context of the industrial revolutions forms an important basis for understanding the current digital transformation of agriculture, contributing to a more informed and targeted introduction of technology into agricultural practice. This understanding is essential for the development of effective policies and innovative solutions aimed at ensuring that technological progress is accessible to all stakeholders in the agricultural sector.

Keywords: *agricultural engineering, agriculture, Central State Scientific and Technical Archive of Ukraine, digital technologies, digital transformation, historical evolution of technology, mechanization of agriculture, tillage mechanics, Tomasz Rylski.*

Постановка проблеми. Сільське господарство в Україні, як і в низці інших країн світу, демонструє сталий динамічний розвиток, що зумовлює актуальність і наукову цінність дослідження зазначеної теми [1; 2].

Хвилі промислових революцій, одна за одною, суттєво впливали на розвиток сільськогосподарських технологій, змінюючи при цьому підходи у бік прогресу: від використання ручної праці до високомеханізованих та автоматизованих систем ведення сільського господарства. Перша промислова революція започаткувала базову механізацію, таку як сівалка та механічна жатка, що значно підвищило продуктивність та зменшило фізичну залежність людини від ручної праці. Друга промислова революція сприяла подальшому розвитку сільського господарства завдяки розробці хімічних добрив, систем зрошення та удосконалення процесів механізації – від поширення у застосуванні двигунів внутрішнього згоряння до появи тракторів та іншої

механізованої техніки. Третя промислова революція ознаменувала цифрову епоху, коли впровадження електроніки, інформаційних технологій та перших інструментів точного землеробства, таких як обладнання з GPS-навігацією, дозволило більш точно висаджувати рослини, вносити добрива та збирати врожай. Кожна промислова хвиля змін не лише підвищувала врожайність і ефективність, але й революційно змінювала баланс у застосуванні робочої сили та економічну структуру сільських громад.

В епоху Четвертої промислової революції сільське господарство ще перебуває на стадії до шляху тотальної цифрової автоматизації, використовуючи такі технології, як штучний інтелект, робототехніка, Інтернет речей (далі – IoT) та аналітика значних обсягів даних. Ці інновації допомагають фахівцям ухвалювати рішення в режимі реального часу на основі сукупності даних, оптимізувати використання ресурсів та підвищити сталість виробничих процесів. «Розумна» сільськогосподарська техніка, зокрема автономні трактори, безпілотні літальні апарати, сенсорні системи управління ґрунтом та врожаєм, – є прикладом конвергенції цифрових технологій та сільського господарства. Актуальність вивчення еволюції цих процесів полягає в осмисленні того, як історичний промисловий прогрес відкрив шлях до сучасних тенденцій і забезпечення майбутнього потенціалу в галузі продовольчої безпеки, збереження довкілля та економічної стійкості. Дослідження сукупного впливу промислових революцій на прогрес галузі надає змогу фахівцям сільськогосподарської сфери розробляти більш цілісні стратегії розвитку інклюзивних і високотехнологічних аграрних систем як для розвинених регіонів, так і тих, що ще розвиваються.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У контексті дослідження впливу промислових (індустріальних) революцій на рівень розвитку аграрної техніки та цифрової автоматизації землеробства актуальними є сучасні наукові

праці, які висвітлюють як історичну динаміку технологічного прогресу, так і сучасні тенденції впровадження новачій в агросекторі, наприклад інструментів цифровізації.

Зокрема, ґрунтовне дослідження процесу формування смартпромисловості в аграрному секторі на основі цифрової трансформації представлено у праці С. Коляденко, Д. Саулка та В. Мазура [3]. Науковці відзначають, що в умовах Четвертої промислової революції цифровий розвиток аграрної галузі є стратегічним вектором розвитку економіки. У статті приділено увагу ролі кіберфізичних систем, Інтернету речей та штучного інтелекту у трансформації моделей агровиробництва. Йдеться про те, що сільськогосподарська техніка перестає виконувати функцію виключно інструмента праці, інтегруючись вже до складової частини комплексної цифрової інфраструктури. Зазначене дослідження є важливим підґрунтям для усвідомлення того, як інноваційні технології безпосередньо змінюють сутність сільськогосподарських процесів.

Питання трансформації аграрного виробництва у глобальному контексті його історії розглядає С. Біла [4]. Дослідниця здійснює порівняльний аналіз стратегій виробництва аграрної продукції у різних країнах світу, акцентуючи, що модернізація техніки та технологій є неодмінним етапом у забезпеченні продовольчої безпеки та ефективності сільгоспвиробництва. Наприклад, у практиці інноваційного землеробства, зокрема точного землеробства, де поєднуються дані від супутникових систем та сенсорів до аналітики при ухваленні рішень. Праця С. Білої дозволяє дослідити національні тенденції розвитку галузі у тренді глобальних викликів процесів технологізації.

У публікації Ю. Дубей [5] звертається увага на роль техніки та технологій у системі соціально-економічних детермінант. Представлений дослідницею аналіз аргументовано доводить, що технічний прогрес, зокрема в аграрному

виробництві, є не лише фактором економічного зростання, а й соціокультурним чинником, який змінює характер структури зайнятості, впливає на традиційний стиль життя у сільській місцевості та характер соціально-економічних відносин. Подібний підхід розширює усвідомлення впливу промислових революцій, виходячи за межі суто виробничих змін, які вони демонструють.

Вагомий внесок у розвиток теми дослідження зробили М. Копитко та Д. Заверуха [6], які аналізують основні аспекти впливу Індустрії 4.0 на економічну безпеку держави. Дослідники розкривають механізми, за допомогою яких цифровізація, зокрема в аграрному секторі, впливає на макроекономічні показники, конкурентоспроможність національного господарства та його технологічну незалежність. Окрему увагу приділено ризикам кіберзагроз та необхідності поширення цифрової грамотності серед учасників аграрного виробництва.

Питанням еволюції у напрямі землекористування в Україні та його ролі у просторовому плануванні присвятила свою працю М. Маркіна [7]. Зокрема, авторка простежує зв'язок між історичними етапами трансформації існуючих землеробських практик та сучасними викликами темпів цифровізації аграрного сектору. На думку науковиці, індустриальні революції змінювали не лише технічне оснащення, а й логіку землекористування, що набуває особливої актуальності в умовах запровадження сучасних геоінформаційних систем, безпілотних літальних апаратів та інших інновацій у сільському господарстві.

У дослідженні О. Остапчука та В. Миколайчука [8] наголошується, що технологічні інновації є одним із важливих факторів конкурентоспроможності на глобальному аграрному ринку. Автори доводять, як цифрові рішення, зокрема автоматизовані агросистеми, платформи моніторингу стану посівів, прогнозні алгоритми урожайності, – трансформують аграрну економіку, роблячи її більш гнучкішою до викликів ринку та змін клімату.

Також необхідно відзначити публікацію М. Негрея та Н. Клименка [9], присвячену аналізу впливу процесу цифрової трансформації на зміни в українському сільському господарстві завдяки інтеграції технологій Індустрії 4.0. Автори наголошують на важливості запровадження: урядових ініціатив, зокрема програми «Цифрова Європа», спрямованої на розвиток передових цифрових навичок, впровадження технологій, розбудову інфраструктури та підвищення доступності цифрових послуг; підкреслюють роль Державного аграрного реєстру та Національної інфраструктури геопросторових даних у процесах забезпечення прозорого розподілу підтримки та ефективного використання геопросторової інформації.

Джерельну базу статті складають документи Центрального державного науково-технічного архіву України (далі – ЦДНТА України), фонди якого являють собою повноцінну документальну базу з історії науки і техніки, у якій представлено усі основні галузі національної економіки: будівництво, енергетику, металургію, вугільну, газову, нафтову, хімічну промисловості, автомобільне, тракторне, сільськогосподарське, важке і середнє машинобудування тощо [10]. Станом на 01.01.2025 р. у ЦДНТА України сконцентровано 265 фондів, 1377 комплексів документів, загальною кількістю понад 678 тисяч одиниць зберігання за період 1851–2021 рр.

Методологія дослідження базується на принципах об'єктивності, історизму, системності та всебічності аналізу проблеми; застосовано комплекс загальнонаукових і спеціально-історичних методів дослідження.

Метою статті є узагальнення результатів дослідження впливу кожної промислової революції на рівень розвитку сільськогосподарської техніки, починаючи з переходу від ручної праці до механізованих процесів і завершуючи сучасним етапом розвитку цифрових та автоматизованих систем.

Виклад основного матеріалу. Промислові (індустріальні) революції охоплюють послідовність радикальних технологічних та економічних трансформацій, які змінили світові виробничі системи, соціальні структури та економічні парадигми. Історичний поступ промислового прогресу, зазвичай, поділяють на чотири окремі етапи, кожен з яких характеризується революційними технологічними досягненнями, що суттєво змінили засоби виробництва та організацію праці.

Перша промислова революція, що відбулася наприкінці XVIII – на початку XIX ст., характеризувалася механізацією процесів виробництва, здебільшого зумовленою розвитком парового двигуна. Перехід від ручної праці до машинного виробництва спричинив швидкий розвиток текстильної галузі, збільшення кількості металургійних заводів і активного видобутку вугілля. Фабрики (лат. *Fabrica* – майстерня) стали провідними центрами у промисловому виробництві, витіснивши традиційні ремісничі майстерні. Розповсюджене промислове використання парової енергії сприяло підвищенню продуктивності праці, посиленню процесів урбанізації та прискоренню темпів економічного зростання. Залізниці та пароплави, що також виникли та поширилися завдяки цим технологічним досягненням, сприяли швидкій глобалізації торгівельних мереж та встановленню високого рівня економічної взаємопов’язаності [11]. На теренах України машинобудування, орієнтоване на сільське господарство, розпочалося у 1840-х рр. з облаштування на Чернігівщині заводу сільськогосподарського устаткування, який виробляв кінні плуги, борони тощо. Лише через двадцять років тут працювало вже близько 20 машинобудівних підприємств, а наприкінці XIX ст. – налічувалося уже близько 300 підприємств машинобудування [12, с. 107].

Друга промислова революція, що тривала з середини XIX до початку XX ст., характеризується використанням електричної енергії у виробництві,

впровадженням технологічних інновацій у хімічній та металургійній галузях. Вживання електрики як основного джерела енергії здійснило кардинальну революцію у виробництві, позначившись на розвитку конвеєрних ліній та великомасштабному промисловому виробництві. Водночас, впровадження інновацій у сталеливарній галузі (зокрема, застосування Бесемєрівського процесу), дозволило активізувати будівництво хмарочосів, залізниць, створення нових машин. Значного розвитку набула хімічна промисловість, яка виробляла синтетичні барвники, добрива та фармацевтичні препарати, що сприяло розвитку сільського господарства й медицини. У цей період також отримали широке розповсюдження двигуни внутрішнього згоряння. Це вплинуло на розвиток автомобільної промисловості й загальний рівень механізації транспорту, прискорюючи процеси трансформації індустріальної та економічної сфер.

У першій половині XX ст. у галузі сільського машинобудування Україна зайняла лідерські позиції: тут вироблялося до 50% землеобробних машин і сівалок, 100% бурякозбиральних і кукурудзозбиральних комбайнів, а також не менше третини тракторів (від загальної кількості техніки, яка випускалася у колишньому СРСР).

Наприкінці 1920–х рр. внаслідок процесів колективізації аграрного сектору в УСРР розпочалася масова ліквідація дрібних одноосібних господарств на тлі створення багатоземельних колгоспів та радгоспів, що спонукало до суттєвих перемін у роботі підприємств сільгоспмашинобудування. Зокрема, змінилася номенклатура продукції заводів сільгоспінвентарю: його значна більшість була виключена з основної спеціалізації і перенесена до категорії товарів широкого вжитку (із відповідним ставленням до організаційних засад виробництва). Зважаючи на це, зазначені підприємства поступово перейшли на багатосерійний випуск основних

сільськогосподарських машин із достатньо великим рівнем спеціалізації виробництва. Наприклад, Харківський моторобудівний завод «Серп і молот» зосередився на виробництві молотарок і трієр. Між тим, перехід до крупносерійного випуску продукції без власного галузевого науково-технічного забезпечення, однією з основних функцій якого є адаптація розроблених зразків новітньої техніки до особливостей крупносерійного виробництва, був би приреченим на недовговічне існування. Тому, вже наприкінці 1920-х рр. Раднаркомом УСРР проводилася значна робота щодо розвинення започаткованого в останній чверті XIX ст. наукового потенціалу галузі. Водночас, під егідою Всесоюзного інституту сільськогосподарського машинобудування та Сільськогосподарського наукового комітету України (з 1931 р. – Всеукраїнської академії аграрних наук) створювалися нові науково-дослідні установи [13, с. 7–8].

Однією з фундаментальних проблем на шляху становлення галузі машинобудування було удосконалення промислового виробництва деталей, які суттєво відрізнялися за номенклатурою. Тому, процес конструкторського опрацювання вже існуючих моделей машин і механізмів набув важливого промислового значення і за її межами. Запровадження серійного та масового виробництв вплинуло на процес інституалізації науково-конструкторської діяльності в Україні, необхідної для створення, експериментального випробування, робочого відпрацювання дослідних зразків виробу у різних варіантах та подальшого відображення його конструкції у технічній документації. Вже у 1920-х рр. при заводах, лабораторіях, інститутах почали відкриватися конструкторські бюро, що вирішували подібні завдання. Їхні фахівці не тільки оперативно розробляли нові зразки апаратів, машин, механізмів тощо, а й закладали основи для створення в Україні у подальшому власної інформаційної бази науково-технічної документації [12, с. 100].

Третя промислова революція, що розпочалася у середині ХХ ст., супроводжувалася інтеграцією цифрових технологій у виробничі процеси. Розвиток напівпровідникових технологій, комп'ютерів та автоматизації змінив цикл промислових операцій, запровадивши новий рівень точності та ефективності. Перехід від аналогових до цифрових систем сприяв появі інформаційних технологій і телекомунікацій, які відіграли важливу роль в оптимізації шляхів постачання, підвищенні продуктивності та створенні нових секторів економіки. Робототехніка й комп'ютерне управління скоротили залежність від ручної праці та підвищили якість продукції, водночас значно знизивши виробничі витрати. Поява мережі Інтернет ще більше прискорила глобалізацію, дозволивши міжнародним компаніям ефективно та результативно працювати на кількох континентах.

Матеріали до історії розвитку вітчизняного промислового виробництва сільськогосподарської техніки докладно представлені у фондах ЦДНТА України. Тут централізовано зберігаються історично значущі науково-технічні документи (НТД) з різних галузей науки і промисловості. Зокрема, станом на 01.01.2025 р. тематичний напрям відносно номенклатури та розробників сільськогосподарської техніки представлено у документах 14 фондів архіву, до складу яких входить 37 комплексів НТД за період 1929–2002 рр. (табл. 1).

Табл. 1

**Перелік документів та їх розробників до тематичного напрямку
«Сільськогосподарська техніка у фондах ЦДНТА України»**

Фонд	Назва фонду	Комплекс	Назва комплексу
P-13	Український ордена Трудового Червоного Прапора науково-дослідний інститут металів «УкрНДІМет» Міністерства чорної металургії СРСР, м. Харків	3-5	Звіт з науково-дослідної роботи «Дослідження низьколегованої сталі з малими добавками ніобію для сільгоспмашинобудування»
P-21	НВО Всесоюзного науково-дослідного інституту сільськогосподарського машинобудування (НВО ВІСГОМ), науково-дослідний інститут сільськогосподарського машинобудування «УкрНДІсгом» Міністерства тракторного і сільськогосподарського машинобудування СРСР, м. Харків	2-4	Молотарка МК-1100
		2-5	Молотарка МС-1100
		2-6	Молотарка МСА-1100
		2-7	Молотарка МСС-1100
		2-8	Молотарка МКС-1100
		2-89	Бурякозбиральний комбайн СКН-2
		3-55	Звіти про науково-дослідні роботи

			НДІ сільськогосподарського машинобудування
P-26	Відкрите акціонерне товариство «Харківський тракторний завод ім. Орджонікідзе» Міністерства промислової політики України, м. Харків	2-25	Гусеничний трактор ДТ-54А
		2-30	Електротрактор ХТЗ-15АМ
		2-138	Колісний сільськогосподарський садово-городній реверсивний трактор малої потужності марки «ДТ-14»
		2-151	Гусеничний трактор ХТЗ-НАТИ-1 ТА
		2-152	Трактор ДТ-20
		2-153	Колісний трактор ХТЗ-7
P-38	ДСКБ з виробництва самохідних зернових комбайнів та машин для збирання бавовни в неполивних районах у м. Таганрог Ростовської обл. Міністерства тракторного і сільськогосподарського машинобудування СРСР, м. Таганрог	2-31	Комбайн «Комунар ЖМ-4,6»
P-40	Відкрите акціонерне товариство «Головне спеціалізоване конструкторське бюро з виробництва двигунів середньої потужності» Міністерства промислової політики України, м. Харків	2-44	Двигун СМ-1
		2-56	Комбайновий дизельний двигун СМД-7
		2-309	Зернонавантажувач ЗП-40
		2-336	Дизельні двигуни для тракторного і сільськогосподарського машинобудування.
P-53	СКБ з виробництва машин для збирання кукурудзи на зерно у складі Херсонського Ордена Трудового Червоного прапора комбайнового заводу ім. Г. І. Петровського Міністерства тракторного і сільськогосподарського машинобудування СРСР, м. Херсон	2-57	Пересувний локомотив П-38
		2-58	Пересувний локомотив 4-ЛП-20
		2-107	Кукурудзозбиральний комбайн «Херсонец», марки ККХ-3
		2-156	Очищувач качанів напівнавісний ООП-5,0
P-64	Спеціалізоване конструкторське бюро по комплексу бурякозбиральних машин Колективного виробничого підприємства «Дніпропетровський комбайновий завод» Міністерства промислової політики України, м. Дніпропетровськ	2-78	Комбайни для збирання буряків СПГ-1, СКД-3 і КС-3
		2-155	Машини для завантаження буряків (СНТ-2,1Б, ГРС-50). Самохідна машина-очищувач високої продуктивності 200 т/г для завантаження буряків СПС-4,2
		2-337	Бадиллязбиральні машини
		2-338	Лінія механізована МСК-15
		2-339	Бурякопідіймач СНУ-3С з підкопувальними лапами та підкопувальною скобою
		2-340	Коріннязбиральні машини
P-101	Всесоюзний науково-дослідний інститут цукрової промисловості «ВНДІЦП» Науково-виробниче об'єднання «Цукор» Міністерства харчової промисловості СРСР, м. Київ	3-33	Звіти про науково-дослідні роботи НДІ цукрової промисловості
P-120	Державне спеціальне конструкторське бюро сільськогосподарських машин Київського Раднаргоспу, м. Київ	2-176	Доїльний агрегат типу «Ялинка» ДАЯ-16
		2-177	Бульдозер зі щіткою БЩ-1, 5
P-142	Підприємство п/с А - 3780, м. Миколаїв	2-219	Електрифікована дощова машина фронтального переміщення

P-153	Харківський завод тракторних самохідних шасі, ХЗТСШ Міністерства тракторного і сільськогосподарського машинобудування СРСР, м. Харків	2-217	Тракторні самохідні шасі
P-172	Науково-дослідний інститут шинної промисловості Міністерства нафтопереробної та нафтохімічної промисловості СРСР, м. Дніпропетровськ	3-57	Науково-дослідні роботи за проблемою: Проблема: «Створення конструкцій, рецептури гум, технологічних процесів і обладнання для виробництва великогабаритних і надвеликогабаритних автомобільних, будівельно-дорожніх і сільськогосподарських машин, а також технології та обладнання для їх місцевого та відновного ремонту».
P-177	Державний завод «Комунар» Міністерства тракторного і сільськогосподарського машинобудування СРСР, м. Запоріжжя	2-240	Зернозбиральні комбайни
P-186	Кіровоградський проектно-конструкторський інститут з ґрунтообробних та посівних машин, виробничого об'єднання з сівалок «Червона зірка» Міністерства тракторного і сільськогосподарського машинобудування СРСР, м. Кіровоград	2-154	Сіялки

Джерело: сформовано автором на основі науково-довідкового апарату ЦДНТА України

Зазначимо докладніше, що у ЦДНТА України зберігається НТД до 11 виробничих марок сівалок (за період виробництва 1953–1986 рр.). При створенні деяких з них були застосовані прогресивні на той час технології. Наприклад, при проектуванні сівалки «СКГН-6» вперше було вирішено питання одночасного посіву насіння та внесення мінеральних добрив із земельним прошарком. Зазначену модель було нагороджено бронзовою медаллю на Всесвітній виставці у Брюсселі (1958). Конструкцію сівалки «СКНК-8» було відзначено дипломом II ступеня на Виставці досягнень народного господарства (ВДНГ) СРСР (1965), а через рік (враховуючи високий науково-технічний рівень цієї моделі, оригінальні рішення, економічність у виготовленні та продуктивність експлуатації), – нагороджено золотою медаллю Всесоюзної торгової палати (1966). Також вітчизняні конструктори створили єдину на той час машину – сівалку «СЛН-8Б» – для висівання цибулі за

допомогою котушкового апарату. Водночас, український бурякозбиральний комбайн «СКН-2» став першою радянською розробкою, призначеною для зрізання гички на корінні. Ця модель також отримала авторське свідоцтво та була відзначена нагородою на ВДНГ СРСР. Іншу інноваційну модель – буряконавантажувач «СНТ-2,1Б» – було марковано позначенням «Державний знак якості СРСР» (1983), що свідчило про серійну продукцію високої якості, та відзначено Державною премією (1985) [13, с. 4].

Четверту промислову революцію, яка триває і зараз, характеризують досягнення у сфері штучного інтелекту, управління великими обсягами даних, застосування Інтернету речей та біотехнологій. Ці технології сприяють автоматизації складних завдань, поширенню «розумних» виробництв і поєднанню фізичного й цифрового середовищ. Машинне опрацювання та аналіз даних дозволяють здійснювати прогнозоване технічне обслуговування, оптимізувати ефективність виробництва й зменшити втрати часу у простоях. Взаємозв'язок пристроїв через Інтернет речей трансформувал у управління шляхів постачання й логістику, дозволивши здійснювати моніторинг у режимі реального часу та адаптувати виробничі процеси. Досягнення у галузі біотехнологій і нанотехнологій надали змогу запровадити інноваційні матеріали та методи вирощування культур і захисту рослин, що ще більше розширило горизонти аграрного виробництва. Поява штучного інтелекту не лише змінює виробництво, але й змінює динаміку використання робочої сили, зумовлюючи нові виклики у сфері зайнятості та адаптації навичок [14, с. 62].

Вочевидь, кожна промислова революція принципово впливала на траєкторію технологічного прогресу, розширюючи виробничі можливості та трансформуючи економічні й соціальні структури. Якщо перші революції позначилися на механізації та електрифікації промисловості, то на більш пізніх етапах з'явилися: автоматизація, діджиталізація та інтелектуальні системи.

Поточна технологічна трансформація свідчить про те, що промислові революції й надалі стимулюватимуть інновації, формуючи майбутнє світової промисловості.

Розвиток сільськогосподарської техніки нерозривно пов'язаний із технологічними перетвореннями, спричиненими промисловими революціями, які послідовно змінювали способи обробітку ґрунту, збирання врожаю та управління сільськогосподарським виробництвом. Кожен етап промислового прогресу запроваджував нові рівні механізації, автоматизації та діджиталізації, значно підвищуючи продуктивність та ефективність праці в аграрному секторі.

Перші етапи механізації сільського господарства розпочалися під час Першої промислової революції, коли прості механічні знаряддя, такі як сівалки та механізовані плуги, замінили традиційні ручні інструменти й методи оранки за допомогою тварин. Упровадження парових машин сприяло розвитку перших молотарок, що скоротило ручну працю, необхідну для відокремлення зерна від половини. Цей період ознаменував початковий перехід від ручної праці та застосування тварин до механічної допомоги, що значно підвищило ефективність виробництва харчових продуктів та дозволило здійснювати більш масштабні сільськогосподарські операції.

Під час другої промислової революції вдосконалення процесів механізації продовжилося завдяки широкому застосуванню двигунів внутрішнього згоряння. Це посприяло повній заміні сільськогосподарського обладнання, яке працювало «на пару», – на тракторну техніку, що використовувала продукти нафтопереробки: бензин та дизельне паливо. Розвиток зернозбиральних комбайнів здійснив революційний рух у виробництві зерна, конструктивно об'єднавши кілька основних функцій, таких як жнива, обробка та обмолот, в єдиний процес. Водночас відбувався прогрес у техніці з підготовки ґрунту: дискові плуги та борони підвищили ефективність його обробітку, зменшили

ущільнення та уможливили більш глибоку культивуацію. Механізовані зрошувальні системи, що працювали на нових електричних і гідравлічних технологіях, сприяли запровадженню широкомасштабного зрошення, збільшуючи виробництво сільськогосподарської продукції у раніше менш родючих регіонах [15].

Єдиним державним спеціалізованим підприємством України з виробництва тракторів і тракторної техніки, яке успішно функціонує з 1930 р. по цей час, став Харківський тракторний завод (далі – ХТЗ)¹. У 1931 р. з його конвеєра зійшов первісток українського тракторобудування – трактор «СХТЗ 15-30». Наступним успішним послідовником (1937–1949 рр.) став гусеничний трактор «ХТЗ–НАТІ–ІТА», – машина загального сільськогосподарського призначення з двигуном потужністю 52 к. с. Справжньою сенсацією не лише для українського, а й для світового тракторобудування, яке ознаменувало собою початок епохи дизелів, став перший випуск у 1949 р. гусеничного трактора «ДТ-54». Ця машина використовувався не лише у сільському господарстві, а й на дорожніх, будівельних та меліоративних роботах. Модель «ДТ-54» мала вражаючі для свого часу технічні характеристики: оснащена дизельним чотирьох циліндровим двигуном, потужністю 54 к. с. (у попередніх серіях у якості палива використовувався гас) [12, с. 107].

Згідно з архівними документами, які зберігаються в ЦДНТА України, ще однією популярною конструкторською розробкою ХТЗ став перший виготовлений у СРСР колісний трактор «ХТЗ-7» із резиновими шинами низького тиску, гідравлічною системою та пристроєм для навішування знарядь. З 1955 р. розпочався випуск садово-городнього чотирьох колісного трактора

¹ ЦДНТА України. Ф. Р-26. К. 2-25. Оп. 1. 85 од. зб. 1945–1972 рр.; Ф. Р-26. К. 2-30. Оп. 1. 31 од. зб. 1952–1956 рр.; Ф. Р-26. К. 2-138. Оп. 1. 281 од. зб. 1954–1977 рр.; Ф. Р-26. К. 2-151. Оп. 1. 250 од. зб. 1940–1960 рр.; Ф. Р-26. К. 2-152. Оп. 1. 375 од. зб. 1952–1978 рр.; Ф. Р-26. К. 2-153. Оп. 1. 265 од. зб. 1948–1972 рр.; Ф. Р-26. К. 4-1. Оп. 1-3. 205 од. зб. 1967–1991 рр.

безрамної конструкції «ДТ-14» (згодом на його базі було розроблено модель «ДТ-20»). Цей трактор був оснащений одноциліндровим дизельним двигуном потужністю 20 к. с., що значно покращувало показники попередньої моделі: завдяки модернізації швидкість руху та тягові зусилля збільшилися на 25%. Колісний трактор «ДТ-20» завдяки своїй універсальності, економічності, простоті конструкції отримав широке поширення у багатьох країнах світу. З 1966 р. розпочалось виробництво трактора «Т-125», а також його модифікацій. Серед усіх тракторних заводів колишнього СРСР український ХТЗ був єдиним заводом, який виготовляв моделі усіх існуючих класів [12, с. 108].

В історичному контексті розвитку виробництва сільськогосподарської продукції варто згадати імена окремих вчених-аграріїв, що зробили конкретний внесок у становлення цієї галузі. Зокрема, професор Томаш Рильський (1838 – 1924) заклав фундамент випробувальної справи на заході України. Він заснував першу випробувальну станцію у Дублянах та розробив науково-обґрунтовані підходи щодо оцінки ефективності сільськогосподарських машин (аналіз конструкцій та практичні рекомендації щодо їх використання). Інженер-технолог Г. О. Латишев (1857–1921) організував станцію випробувань при Харківському Технологічному Інституті: тут вперше в Україні було започатковано наукове опрацювання за результатами випробування землеробських машин. Проф. Г. О. Латишев почав викладати в ХТІ дисципліни із сільськогосподарського машинобудування, що посприяло становленню інженерної школи. Професор К. Г. Шиндлер (1869–1940) зробив визначний внесок у стандартизацію методів випробувань, заснувавши у 1900 р. випробувальну станцію при Київському політехнічному інституті. Там він започаткував комплексні дослідження по використанню ґрунтообробної

техніки, заклавши основи для створення науково-обґрунтованих стандартів оцінки якості та продуктивності машин [16].

Під час третьої промислової революції у процес розвитку сільськогосподарської техніки було запроваджено цифрові технології та автоматизацію, що принципово змінило характер управління фермерськими господарствами та методи виробництва. Інтеграція електронних датчиків, GPS-навігації та комп'ютерних систем в управління тракторами та комбайнами дозволила зробити польові роботи більш точними й ефективними. Провідною тенденцією подальшого розвитку сільського господарства стало точне землеробство, яке використовує супутникові знімки та географічні інформаційні системи (далі – ГІС) для оптимізації посадки, зрошення та внесення добрив. Автоматизовані установки для перероблення молока й системи роздачі кормів у тваринництві ще більше оптимізували сільськогосподарське виробництво, зменшивши залежність від ручної праці й водночас підвищивши загальну ефективність і обсяги виробництва. Упровадження біотехнологій, зокрема генетично модифікованих культур, доповнило ці технологічні досягнення, підвищивши стійкість до шкідників і впливу навколишнього середовища [17, с. 468].

На хід Четвертої промислової революції, яка триває зараз, вплинуло запровадження смарттехнологій, які істотно підняли рівень автоматизації галузі сільського господарства, додавши процес ухвалення рішень на основі аналізу наборів даних. Таким чином, штучний інтелект, робототехніка та IoT на сьогодні стали головними елементами сучасної сільськогосподарської техніки, які дозволяють здійснювати моніторинг стану ґрунту, врожайності та продуктивності машин у режимі реального часу. Автономні трактори й роботизовані комбайни, оснащені системами технічного зору на основі штучного інтелекту, тепер можуть виконувати більш складні завдання з

мінімальним втручанням людини. Застосування технології безпілотних літальних апаратів (дронів) здійснило суттєву трансформацію у розвідці посівів та обприскуванні, надаючи точну інформацію про стан рослин і дозволяючи цілеспрямовано використовувати пестициди й добрива. Інтеграція аналітики великих обсягів даних і машинного навчання надала змогу аграріям оптимізувати врожайність і зменшити відходи за допомогою інструментів прогнозного моделювання та точного розподілу ресурсів. Хмарне програмне забезпечення для управління фермерськими господарствами дозволяє безперешкодно координувати роботу техніки, постачальників і ринків, ще більше оптимізуючи сільськогосподарське виробництво.

Зазначені новації суттєво змінили як принципи обробітку ґрунту або збирання врожаю, так і загального управління сільськогосподарськими підприємствами. Традиційне глибоке рихлення ґрунту все частіше замінюється ґрунтозахисним обробітком та методами нульового обробітку, які зберігають структуру ґрунту, зменшують ерозію й покращують утримання води. Збирання врожаю було трансформовано від трудомісткого ручного процесу до високоефективних автоматизованих систем, здатних обробляти значні обсяги врожаю за короткий проміжок часу. Управління господарствами перетворилося на взаємопов'язаний процес на основі керованих даних, у якому прогнозна аналітика, автоматизація та моніторинг у реальному часі забезпечують оптимальне використання ресурсів і стійкість виробництва.

У таблиці 2 представлено схематичний огляд процесу запровадження основних технологічних рішень розвитку сільськогосподарської техніки у межах різних промислових революцій (табл. 2).

Табл. 2

**Характеристика головних сільськогосподарських технологічних новацій у
межах промислових (індустріальних) революцій**

Промислові революції	Основні досягнення в сільськогосподарському машинобудуванні
Перша промислова революція	Механізовані плуги, сівалки, парові молотарки
Друга промислова революція	Трактори з двигунами внутрішнього згоряння, зернозбиральні комбайни, механізовані системи зрошення
Третя промислова революція	Техніка з GPS-навігацією, точне землеробство, автоматизовані системи тваринництва
Четверта промислова революція	Роботи зі штучним інтелектом, автономні трактори, сільське господарство за допомогою дронів, управління фермерськими господарствами на основі Інтернету речей

Джерело: сформовано автором на основі [15–17]

Еволюція розвитку сільськогосподарської техніки під впливом промислових революцій суттєво трансформувала й виробництво харчових продуктів, підвищивши його ефективність, сталість та масштабованість.

Вивчаючи документи з фондів ЦДНТА України можна дослідити чимало аспектів щодо напрямів розвитку виробництва харчової промисловості в Україні. Станом на 01.01.2025 р. НТД до історії створення таких промислових об'єктів, поряд з матеріалами науково-дослідних робіт, які виконувалися у цій галузі, зберігаються у восьми фондах архіву, до складу яких входить 13 комплексів НТД за період 1928–2009 рр. (табл. 3).

Табл. 3

**Перелік документів та їх розробників до тематичного напрямку
«Промислове виробництво харчових продуктів за документами ЦДНТА
України»**

Фонд	Назва фонду	Компле кс	Назва комплексу
Р-10	Харківська філія Державного інституту проектування підприємств харчової промисловості (Діпрохарчопром) управління «Головхарчопромпроект» Міністерства харчової промисловості СРСР, м. Харків	1-14	Колекція документів із проектування, будівництва та реконструкції підприємств харчової промисловості
		1-241	Кондитерська фабрика «Жовтень», м. Харків
		1-242	Миловарний завод № 1, м. Харків
		1-243	Завод лимонної кислоти при Смілянському цукровому комбінаті
		1-244	Ферментатор У-100 м3 на заводі лимонної кислоти при цукровому комбінаті, м. Гирбове
Р-16	Український науково-дослідний інститут харчової промисловості Міністерства харчової промисловості СРСР, м. Харків	3-8	Звіти про науково-дослідні роботи НДІ харчової промисловості
Р-79	Харківська філія Всесоюзного науково-дослідного інституту жирів (ХФ «ВНДІЖ») Міністерства харчової промисловості СРСР, м. Харків	3-23	Звіти про науково- дослідні роботи Харківської філії Всесоюзного науково-дослідного інституту жирів (ХФ «ВНДІЖ»)
Р-101	Всесоюзний науково-дослідний інститут цукрової промисловості «ВНДІЦП» Науково-виробниче об'єднання «Цукор» Міністерства харчової промисловості СРСР, м. Київ	3-33	Звіти про науково-дослідні роботи НДІ цукрової промисловості
Р-146	Всесоюзний науково-дослідний інститут соляної промисловості (ВНДІсіль), Міністерства харчової промисловості СРСР м. Артемівськ Донецької області	3-47	Звіти про науково-дослідні роботи
Р-155	Український науково-дослідний інститут м'ясної та молочної промисловості «УкрНДІм'ясомолпром» Міністерства м'ясної та молочної промисловості СРСР, м. Київ	3-53	Звіти про науково-дослідні роботи

P-181	Проектний інститут по проектуванню підприємств борошномельної, круп'яної, комбікормової та елеваторної промисловості «Харківський Промзернопроект» Міністерства заготівель СРСР, м. Харків	1-314	Мечетнянський комбінат хлібопродуктів Дніпропетровської області
P-250	Державний Вінницький проектно-конструкторський технологічний інститут Міністерства аграрної політики України, м. Вінниця	2-370	Устаткування для підприємств харчової промисловості
		1-565	Шпанівський експериментальний завод харчових концентратів

Джерело: сформовано автором на основі науково-довідкового апарату ЦДНТА України

Четверта промислова революція спричинила значні зміни у сільському господарстві завдяки інтеграції цифрових технологій, автоматизації та впровадженню інтелектуальних систем. Використання штучного інтелекту, великих обсягів даних, робототехніки та IoT сприяло появі нової моделі управління сільським господарством, яку зазвичай називають «розумним» сільським господарством. Цей підхід оптимізує використання ресурсів, підвищує продуктивність та забезпечує стаке ведення сільського господарства завдяки використанню передових технологічних рішень.

Штучний інтелект відіграє важливу роль у сучасному сільському господарстві, забезпечуючи прогностичну аналітику, автоматизоване прийняття рішень та оптимізацію процесів. Алгоритми машинного навчання аналізують значні масиви даних, зібрані з датчиків, супутників і безпілотних летальних апаратів, опрацьовуючи інформацію про стан ґрунту, погодні умови та цикли росту сільськогосподарських культур. Системи розпізнавання зображень на основі штучного інтелекту полегшують виявлення хвороб у рослинах, дозволяючи вчасно втручатися й здійснювати їхню цілеспрямовану обробку. Автономна техніка, оснащена штучним інтелектом, наприклад, роботизовані комбайни та самокеровані трактори, можуть ефективно виконувати складні завдання без втручання людини, зокрема посадку, прополювання та збирання

врожаю. Це значно скорочує витрати на робочу силу й підвищує операційну ефективність.

Упровадження аналітики великих обсягів даних трансформувало процес ухвалення рішень у сільському господарстві, дозволивши здійснювати моніторинг у реальному часі та прогнозне моделювання. Тепер аграрії можуть збирати та обробляти великі обсяги інформації з різних джерел, зокрема кліматичні дані, склад ґрунту або показники продуктивності сільськогосподарських культур. Такий підхід, що ґрунтується на обробці наборів даних, дозволяє оперативно вживати заходів щодо зрошення, внесення добрив та боротьби зі шкідниками, мінімізуючи втрати ресурсів і максимізуючи врожайність. Застосування хмарних технологій і сервісів у сільському господарстві полегшує обмін даними між учасниками процесу, координуючи їхні дії та вдосконалюючи управління ланцюгами постачання [18, с. 1131].

Робототехніка дозволила досягти нового рівня ефективності й точності сільськогосподарського виробництва, розв'язавши проблему нестачі робочої сили та підвищивши продуктивність праці. Автономні роботи, оснащені датчиками та алгоритмами штучного інтелекту, можуть виконувати різні завдання, зокрема висаджувати насіння, стежити за станом посівів, вибірково вносити добрива або пестициди. Безпілотні літальні апарати відіграють важливу роль у повітряному спостереженні, надаючи зображення з високою роздільною здатністю, що допомагає відстежувати стан полів і виявляти зміни у рості рослин. Інтеграція роботизованих доїльних систем і автоматизованих механізмів годівлі також трансформувала управління тваринництвом, покращивши умови утримання тварин і оптимізувавши виробництво молока й м'яса [19, с. 823].

Впровадження Інтернету речей дозволило розробити взаємопов'язані сільськогосподарські системи, де пристрої взаємодіють у режимі реального

часу для оптимізації сільськогосподарських операцій. Датчики Інтернету речей, розміщені на полях, безперервно контролюють такі параметри навколишнього середовища, як температура, вологість і рівень вологості ґрунту. Зазначені дані передаються до центральних систем управління, що дозволяє аграріям вчасно вносити корективи у зрошення та додавання поживних речовин. «Розумні» зрошувальні системи, оснащені технологією Інтернету речей, автоматично регулюють подачу води на основі даних у режимі реального часу, зменшуючи споживання ресурсів з метою запобігання деградації ґрунту. Технології точного тваринництва використовують носимі пристрої з підтримкою Інтернету речей, які відстежують поведінку тварин, показники здоров'я і репродуктивні цикли, надають фермерам важливу інформацію про управління стадом.

Концепція «розумного» землеробства втілює комплексний підхід до сільськогосподарського виробництва, інтегруючи цифровізацію та автоматизацію для досягнення найвищої ефективності й стійкості процесів. Ця модель базується на взаємопов'язаних технологіях, які забезпечують моніторинг у режимі реального часу, адаптивне управління та ухвалення рішень на основі аналізу величезних обсягів даних. Системи «розумного» землеробства використовують аналітичні дані, які опрацьовуються за допомогою штучного інтелекту, мережу Інтернету речей та роботизовану автоматизацію для оптимізації усіх етапів сільськогосподарського виробництва: від підготовки ґрунту до збору та розподілу врожаю. Практичне застосування зазначених алгоритмів проявляється у точному землеробстві, де техніка з GPS-навігацією забезпечує точну посадку; технологія зі змінною нормою оптимізує внесення добрив; автоматизовані теплиці підтримують ідеальні умови вирощування завдяки впровадженню систем клімат-контролю. Водночас, ще однією інноваційною технологією є застосування вертикального землеробства, яке використовує гідропоніку, освітлення (кероване штучним інтелектом і

автоматизоване внесення поживних речовин для збільшення врожайності сільськогосподарських культур в умовах міської забудови (тобто при мінімізації використання землі й води).

У таблиці 4 наведено огляд з переліком основних цифрових та автоматизованих технологій у сучасному сільському господарстві та прикладів їх основних застосувань (табл. 4).

Табл. 4

Основні сучасні технології у сільському господарстві

Технологія	Застосування в сільському господарстві
Штучний інтелект	Виявлення хвороб сільськогосподарських культур, прогнозування врожайності, автономна техніка
Аналітика великих обсягів даних	Моделювання клімату, оптимізація ресурсів, управління ланцюгами постачання
Робототехніка	Автоматизована посадка, прополювання, збирання врожаю та управління тваринництвом
Інтернет речей	«Розумне» зрошення, моніторинг в режимі реального часу, точне відстеження худоби

Джерело: сформовано автором на основі [18–19]

П'ята промислова революція – це новий етап технологічного розвитку, який характеризується глибокою інтеграцією інновацій, орієнтованих на людину, та біотехнологій у різні промислові сектори, зокрема й у сільське господарство. За прогнозами аналітиків, на відміну від попередньої хвилі індустріалізації, наступний етап буде зосереджений на стійких, етичних та персоналізованих технологічних рішеннях. Передбачається, що основу цієї трансформації буде складати гармонійна кооперація між передовими технологіями та людським досвідом із метою подальшого створення прогресивної сільськогосподарської системи, яка буде не лише ефективною, але й відновлюваною, соціально відповідальною та адаптованою до глобальних викликів [20, с. 211].

Зважаючи на це, основою трансформаційних процесів в аграрному секторі стане поглиблення інтеграції людино-орієнтованих технологій,

спрямованих на посилення симбіозу між ухваленням рішень людиною та інтелектуальною автоматизацією. На відміну від повністю автономних самокерованих систем, які зводять до мінімуму участь людини, майбутні сільськогосподарські технології спроможні надавати пріоритет саме людському нагляду, використовуючи можливості штучного інтелекту, робототехніки та машинного навчання для покращення процесів ухвалення рішень. Це дозволить аграріям здійснювати більш дієвий контроль над виробництвом, отримуючи максимальні переваги від удосконаленої прогностичної аналітики, точного управління ресурсами та адаптивних стратегій ведення сільського господарства. Такі технології, як інтерфейси доповненої реальності, інтерфейси «мозок-комп'ютер» та вдосконалені носимі пристрої сприятимуть більш інтуїтивній взаємодії із сільськогосподарськими системами, дозволяючи аграріям відстежувати та контролювати операції у режимі реального часу з мінімальною фізичною присутністю.

Передбачається, що біотехнології відіграватимуть важливу роль у формуванні сільського господарства майбутнього, зосереджуючись на питаннях, пов'язаних з продовольчою безпекою, екологічною стійкістю та стійкістю сільськогосподарських культур від впливу зовнішніх чинників. Досягнення генної інженерії, синтетичної біології та клітинного сільського господарства дозволять створити високоефективні й стійкі системи виробництва харчових продуктів. Застосування технології редагування генів (зокрема, CRISPR²) якісно вплине на виведення культур з підвищеною стійкістю до шкідників, хвороб та екстремальних кліматичних умов, зменшуючи потребу у хімічних пестицидах та добривах. Розбудова клітинного сільського господарства (зокрема, вирощені у лабораторіях м'ясні й молочні

² CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats) – прямі повтори та унікальні послідовності в ДНК бактерій і архей, що розділяють їх, які спільно з асоційованими генами забезпечують захист клітини від чужорідних генетичних елементів.

продукти), може стати життєздатною альтернативою традиційному тваринництву, суттєво зменшуючи вплив процесу виробництва білка на навколишнє середовище. Використання біоінженерних ґрунтових мікробіомів сприятиме підвищенню родючості ґрунту й поглинання вуглецю, що допоможе відновлювати деградовані землі та посилити стійкість сільського господарства.

Водночас, перехід до етапу П'ятої промислової революції у сільському господарстві створює значні виклики, які необхідно подолати для забезпечення ефективної та збалансованої модернізації. Однією з головних у цих процесах стає проблема щодо етичного виміру при застосуванні біотехнологічних рішень, особливо щодо генетично модифікованих організмів та харчових продуктів, вирощених у лабораторіях. З метою уникнення непередбачуваних наслідків і широкого розповсюдження біотехнологічних інновацій, необхідно враховувати такі фактори як громадське сприйняття, нормативно-правова база та довгострокові екологічні наслідки. Проте доступ до сільськогосподарських технологій нового покоління у певних регіонах може бути обмеженим через цифрову нерівність, що додатково підсилить існуючий дисбаланс у виробництві продовольства та економічному розвитку. Інфраструктурні обмеження, високі витрати на впровадження та потреба у спеціальних знаннях для управління передовими сільськогосподарськими системами можуть стати перешкодою для їх широкого впровадження, особливо для дрібних виробників у менш розвинутих регіонах [21].

Попри ці виклики, можливості, які очікуються з початком П'ятої промислової революції у сільському господарстві, є суттєвими. Конвергенція технологій, орієнтованих на людину, та біотехнологій приведе до створення більш стійкої та адаптивної сільськогосподарської системи, здатної реагувати на змінні екологічні й економічні умови. Підвищення ефективності використання ресурсів у поєднанні з біотехнологічними досягненнями

сприятиме більшій продовольчій безпеці та сталості виробництва. Перехід до відновлюваного сільського господарства, завдяки біоінженерній обробці ґрунту й методам точного землеробства, допоможе відновити екосистеми та пом'якшити вплив зміни клімату на виробництво продовольства. Інтеграція децентралізованих моделей виробництва харчових продуктів, таких як вертикальне землеробство й локалізоване біологічне виробництво, зменшить залежність від глобальних ланцюгів постачання, посилюючи продовольчий суверенітет та стійкість виробництва.

Разом із тим, розвиток аграрного сектору під час П'ятої промислової революції визначатиметься балансом між технологічними інноваціями та природою людини. Успішне впровадження нових досягнень вимагатиме міждисциплінарної співпраці між науковцями, політиками, лідерами галузі та фермерськими громадами для забезпечення відповідності заходів із модернізації етичним, соціальним та екологічним пріоритетам. Попри існуючі проблеми, пов'язані з регуляторним наглядом, громадським сприйняттям та справедливим розподілом технологій, загальна траєкторія розвитку сільського господарства вказує на більш «розумне», стійке та інклюзивне майбутнє, у якому технології сприятимуть розвитку людського потенціалу, а не замінюватимуть його.

Висновки. Отже, промислові революції стали не лише рушієм технічного прогресу, а й основою для глибоких трансформацій у сільському господарстві. Кожен етап індустріального розвитку послідовно впливав на аграрну сферу – від механізації ручної праці до впровадження високотехнологічних рішень, що змінюють принципи ведення господарства. Певні історичні етапи еволюції тракторної та сільськогосподарської техніки, масштабність та наукову цінність технологій виробництва харчових продуктів – можна детально дослідити, наприклад, вивчаючи архівні документи з фондів ЦДНТА України. Зокрема,

сучасна цифрова автоматизація, яка формує поняття «розумного» сільського господарства, є результатом тривалого історичного процесу, що інтегрував інновації в аграрне середовище та перетворив його на адаптивну, ефективну й орієнтовану на сталість систему.

Історична перспектива розвитку аграрної техніки в контексті промислових революцій дозволяє краще зрозуміти витoki сучасних технологічних тенденцій і сприяє обґрунтованому впровадженню новацій у практику. Усвідомлення цього взаємозв'язку є необхідним для формування стратегій, що спрямовані на забезпечення продовольчої безпеки, підвищення ефективності виробництва та адаптацію до кліматичних змін. Перспективи подальших наукових досліджень полягають у проведенні більш глибокого аналізу соціально-економічного впливу цифрових технологій на розвиток сталого сільського господарства.

Список використаних джерел та літератури

1. Melnychenko S., Morozova O., Bohadorova L. Spatial-temporal dynamics of qualitative changes in efficiency of agricultural production in agricultural holdings of Ukraine in 2015 and 2019. *Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University. Economic Series*. 2021. № 101. P. 45–58. <https://doi.org/10.26565/2311-2379-2021-101-05>
2. Melnychenko S. G., Bohadorova L. M., Markeliuk A. V. Spatial-temporal changes in the growing of grain and leguminous plants in Kherson region. *Man and Environment. Issues of Neoeology*. 2021. № 35. P. 140–150. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-35-13>
3. Коляденко С. В., Саулко Д. П., Мазур В. В. Формування смарт-промисловості в аграрному секторі економіки на основі цифрового розвитку. *Інтернаука. Серія: Економічні науки*. 2024. № 2 (82). С. 94–102. <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2024-2-9653>
4. Біла С. Стратегії виробництва аграрної продукції: світовий досвід. *Економічний вісник університету*. 2020. № 45. С. 7–21. <https://doi.org/10.31470/2306-546X-2020-45-07-21>
5. Дубей Ю. В. Техніка та технологія в системі детермінантів соціально-економічного розвитку суспільства. *Економічний вісник Дніпровської політехніки*. 2023. № 4. С. 53–57. <https://doi.org/10.33271/ebdut/84.053>

6. Копитко М., Заверуха Д. Ключові аспекти впливу індустрії 4.0 на економічну безпеку держави. *Соціально-правові студії*. 2021. Т. 4. № 4. С. 117–122. <https://doi.org/10.32518/2617-4162-2021-4-117-122>

7. Маркіна М. Еволюційний розвиток землекористування та його роль у просторовому плануванні в Україні. *Modeling the development of the economic systems*. 2024. № 4. С. 296–303. <https://doi.org/10.31891/mdes/2024-14-39>

8. Остапчук О., Миколайчук В. Технологічні інновації як ключовий чинник конкурентоспроможності на глобальному ринку. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Економічні науки*. 2024. № 332 (4). С. 181–187. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-332-26>

9. Негрей М. В., Клименко Н. А. Цифрова трансформація сільського господарства: аналіз агротехнологічного ландшафту України. *Агросвіт*. 2024. № 5. С. 61–69. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2024.5.61>

10. Балишев М. А., Голубкіна Г. С. Нові функціональні та методологічні підходи у діяльності Центрального державного науково-технічного архіву України. *Наука та наукознавство*. 2024. № 2. С. 126–145. <https://doi.org/10.15407/sofs2024.02.126>

11. Бондарчук Я. Генеза та поточний розвиток ланок промислової революції. *Економіка та суспільство*. 2024. № 64. С. 175–180. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-64-72>

12. Балишев М. А., Голубкіна Г. С. Розвиток конструкторської діяльності в Україні в 1930-х – 1970-х роках на прикладі ретроінформації з фондів ЦДНТА України. *Архіви України*. 2024. № 3. С. 97–116. <https://doi.org/10.47315/archives2024.340.097>

13. Балишев М. А., Алексеєнко А. О., Коваль Ю. Ю. Сільськогосподарська техніка у документах ЦДНТА України: довідково-інформаційне видання. Харків: ЦДНТА України, 2018. 142 с.

14. Нікітін Д. В. Світові промислові революції як основа нанотехнологічних трансформацій. *Управління змінами та інновації*. 2022. № 3. С. 61–65. <https://doi.org/10.32782/CMI/2022-3-11>

15. Chu A. C., Peretto P. F., Wang X. Agricultural revolution and industrialization. *Journal of Development Economics*. 2022. Vol. 158. P. 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2022.102887>

16. Деркач О. П. Становлення теоретичних основ випробувань землеробських машин в Україні (друга половина XIX – початок XX ст.). *Історія науки і біографістика*. 2025. № 1. С. 22–38. <https://doi.org/10.31073/istnauka202501-02>

17. Groumpos P. P. A critical historical and scientific overview of all industrial revolutions. *IFAC-PapersOnLine*. 2021. Vol. 54. № 13. P. 464–471. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.492>

18. Thomes P. Industry–Between Evolution and Revolution: A Historical Perspective. In: *Handbook Industry 4.0: Law, Technology, Society*. Springer Berlin, Heidelberg, 2022. P. 1119–1138. https://doi.org/10.1007/978-3-662-64448-5_58

19. Sparrow R., Howard M. Robots in agriculture: prospects, impacts, ethics, and policy. *Precision agriculture*. 2021. № 22. P. 818–833. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09757-9>

20. Frankelius P., von Rosen M. Towards the fifth innovation era in agricultural innovation. In: *Agricultural Bioeconomy. Innovation and Foresight in the Post-COVID Era*. London, England: Academic Press, 2023. P. 205–229. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90569-5.00003-2>

21. Ziatdinov R., Atteraya M. S., Nabiye R. The fifth industrial revolution as a transformative step towards society 5.0. *Societies*. 2024. Vol. 14. № 2. P. 1–15. <https://doi.org/10.3390/soc14020019>

References

1. Melnychenko, S., Morozova, O., & Bohadorova, L. (2021). Spatial-temporal dynamics of qualitative changes in efficiency of agricultural production in agricultural holdings of Ukraine in 2015 and 2019. *Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University. Economic Series*, 101, 45–58. <https://doi.org/10.26565/2311-2379-2021-101-05> [In Ukrainian].

2. Melnychenko, S. G., Bohadorova, L. M., & Markeliuk, A. V. (2021). Spatial-temporal changes in the growing of grain and leguminous plants in Kherson region. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, 35, 140–150. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2021-35-13> [In Ukrainian].

3. Koliadenko, S. V., Saulko, D. P., & Mazur, V. V. (2024). Formuvannia smart-promyslovosti v aharnomu sektori ekonomiky na osnovi tsyfrovoho rozvytku [Formation of smart industry in the agricultural sector of the economy based on digital development]. *Internauka. Serii: Ekonomichni nauky – Internauka. Series: Economic Sciences*, 2 (82), 94–102. <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2024-2-9653> [In Ukrainian].

4. Bila, S. (2020). Stratehii vyrobnytstva aharnoi produktsii: svitovyi dosvid [Strategies for agricultural production: world experience]. *Ekonomichnyi visnyk universytetu – University Economic Bulletin*, 45, 7–21. <https://doi.org/10.31470/2306-546X-2020-45-07-21> [In Ukrainian].

5. Dubiei, Yu. V. (2023). Tekhnika ta tekhnolohiia v systemi determinant sotsialno-ekonomichnoho rozvytku suspilstva [Technology and equipment in the system of determinants of socio-economic development of society]. *Ekonomichnyi visnyk Dniprovskoi politekhniki – Economic Bulletin of the Dnipro Polytechnic Institute*, 4, 53–57. <https://doi.org/10.33271/ebdut/84.053> [In Ukrainian].

6. Kopytko, M., & Zaverukha, D. (2021). Kliuchovi aspekty vplyvu industrii 4.0 na ekonomichnu bezpeku derzhavy [Key aspects of the impact of Industry 4.0 on

the economic security of the state]. *Sotsialno-pravovi studii – Socio-legal studies*, 4 (4), 117–122. <https://doi.org/10.32518/2617-4162-2021-4-117-122> [In Ukrainian].

7. Markina, M. (2024). Evoliutsiynyi rozvytok zemlekorystuvannia ta yoho rol u prostorovomu planuvanni v Ukraini [Evolutionary development of land use and its role in spatial planning in Ukraine]. *Modeling the Development of the Economic Systems*, 4, 296–303. <https://doi.org/10.31891/mdes/2024-14-39> [In Ukrainian].

8. Ostapchuk, O., & Mykolaichuk, V. (2024). Tekhnolohichni innovatsii yak kliuchovyi chynnyk konkurentospromozhnosti na hlobalnomu rynku [Technological innovations as a key factor of competitiveness in the global market]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: Ekonomichni nauky – Bulletin of Khmelnytskyi National University. Series: Economic Sciences*, 332 (4), 181–187. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2024-332-26> [In Ukrainian].

9. Negrej, M. V., & Klimenko, N. A. (2024). Cifrova transformaciya silskogo gospodarstva: analiz agrotehnologichnogo landshaftu Ukrayini [Digital transformation of agriculture: analysis of Ukraine's agro-technological landscape]. *Agrosvit*, 5, 61–69. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2024.5.61> [In Ukrainian].

10. Balyshev, M. A., & Holubkina G. S. (2024). Novi funkcionalni ta metodologichni pidhodi u diyalnosti Centralnogo derzhavnogo naukovo-tehnichnogo arhivu Ukrayini [New functional and methodological approaches in the activities of the Central State Scientific and Technical Archive of Ukraine]. *Nauka ta naukoznnavstvo – Science and Science of Science*, 2, 126–145. <https://doi.org/10.15407/sofs2024.02.126> [In Ukrainian].

11. Bondarchuk, Ya. (2024). Heneza ta potochnyi rozvytok lanok promyslovoi revoliutsii [Genesis and current development of industrial revolution stages]. *Ekonomika ta suspilstvo – Economy and society*, 64, 175–180. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-64-72> [In Ukrainian].

12. Balyshev, M. A., & Holubkina G. S. (2024). Rozvitok konstruktorskoyi diyalnosti v Ukrayini v 1930-h – 1970-h rokah na prikladi retroinformaciyi z fondiv CDNTA Ukrayini [Development of design activity in Ukraine in the 1930s - 1970s on the example of retroinformation from the funds of the Central State Scientific and Technical Archive of Ukraine]. *Arhivi Ukrayini – Archives of Ukraine*, 3, 97–116. <https://doi.org/10.47315/archives2024.340.097> [In Ukrainian].

13. Balyshev, M. A., Alekseenko, A. O., & Koval, Yu. Yu. (2018). Silskogospodarska tehnika u dokumentah CDNTA Ukrayini: dovidkovo-informacijne vidannya [Agricultural machinery in the documents of the Central State Scientific and Technical Archive of Ukraine: a reference and information publication]. Kharkiv: CSSTA of Ukraine [In Ukrainian].

14. Nikitin, D. V. (2022). Svitovi promyslovi revoliutsii yak osnova nanotekhnolohichnykh transformatsii [World industrial revolutions as the basis for nanotechnological transformations]. *Upravlinnia zminamy ta innovatsii – Change*

management and innovation, 3, 61–65. <https://doi.org/10.32782/CMI/2022-3-11> [In Ukrainian].

15. Chu, A. C., Peretto, P. F., & Wang, X. (2022). Agricultural revolution and industrialization. *Journal of Development Economics*, 158. 1–15 <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2022.102887> [In English].

16. Derkach, O. P. (2025). Stanovlennia teoretychnykh osnov vyprobuvan zemlerobskykh mashyn v Ukraini (druha polovyna XIX – pochatok XX st.) [Formation of theoretical foundations of testing of agricultural machinery in Ukraine (second half of the nineteenth – early twentieth century)]. *Istoriia nauky i biohrafistyka – History of science and biography*, 1, 22–38. <https://doi.org/10.31073/istnauka202501-02> [In Ukrainian].

17. Groumpos, P. P. (2021). A critical historical and scientific overview of all industrial revolutions. *IFAC-PapersOnLine*, 54 (13), 464–471. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.492> [In English].

18. Thomes, P. (2022). Industry–Between evolution and revolution: A historical perspective. In *Handbook Industry 4.0. Law, Technology, Society*. (pp. 1119–1138). https://doi.org/10.1007/978-3-662-64448-5_58 [In English].

19. Sparrow, R., & Howard, M. (2021). Robots in agriculture: Prospects, impacts, ethics, and policy. *Precision Agriculture*, 22, 818–833. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09757-9> [In English].

20. Frankelius, P., & von Rosen, M. (2023). Towards the fifth innovation era in agricultural innovation. In *Agricultural Bioeconomy. Innovation and Foresight in the Post-COVID Era*. London, England: Academic Press (pp. 205–229). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90569-5.00003-2> [In English].

21. Ziatdinov, R., Atteraya, M. S., & Nabiyeu, R. (2024). The fifth industrial revolution as a transformative step towards society 5.0. *Societies*, 14 (2). 1–15. <https://doi.org/10.3390/soc14020019> [In English].

Надійшла до редакції: 12.05.2025 р.