

**ГЛИБОКА ПЕРЕРОБКА КУКУРУДЗИ: СУЧАСНИЙ СТАН, ОСНОВНІ НАПРЯМИ
ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ В УКРАЇНІ**Іванна РОЖКО, кандидат сільськогосподарських наук, ORCID: 0000-0001-5450-0906
Микола ОРЛОВСЬКИЙ, кандидат сільськогосподарських наук, ORCID: 0000-0001-7860-4902Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С. З. Гжицького
вул. В. Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., 80381, Україна
e-mail: ivanka_rozhko@ukr.net

У статті узагальнено сучасні наукові підходи до глибокої переробки кукурудзи як стратегічного напрямку підвищення ефективності використання зернової сировини та формування продукції з високою доданою вартістю. Визначено місце кукурудзи у сировинному забезпеченні харчової, крохмалепродуктової, біотехнологічної, біоенергетичної та хімічної промисловості. Розглянуто основні напрями глибокої переробки кукурудзи, зокрема виробництво крохмалю, модифікованих крохмалів, патоки, мальтодекстринів, глюкозо-фруктозних сиропів, біоетанолу, біополімерів, органічних кислот і супутніх продуктів комплексного використання сировини.

Розкрито технологічні особливості мокрого помелу, ферментативного гідролізу, ізомеризації, біоконверсії побічних фракцій, а також економічні й екологічні аспекти переходу від експорту зерна до виробництва продуктів з вищою доданою вартістю. Обґрунтовано, що розвиток глибокої переробки кукурудзи є важливою умовою диверсифікації аграрного експорту, зниження сировинної орієнтації зовнішньої торгівлі, підвищення конкурентоспроможності агропромислового комплексу та формування біоорієнтованої економіки.

Встановлено, що для України розширення цього сегмента потребує активізації інвестиційної діяльності, модернізації виробничої інфраструктури, розвитку промислових кластерів, гармонізації регуляторного середовища, стимулювання внутрішнього попиту на біопродукти та комплексного використання кукурудзяної сировини.

Ключові слова: кукурудза, глибока переробка, крохмаль, крохмалепродукти, глюкозо-фруктозні сиропи, біоетанол, біополімери, біоекономіка, додана вартість, агропромисловий комплекс.

Стаття з відкритим доступом на умовах ліцензії Creative Commons

Вступ

Кукурудза належить до провідних зернових культур світового землеробства та має важливе значення для продовольчої, кормової, технічної й енергетичної сфер.

Висока врожайність, універсальність використання та багатий біохімічний склад зумовлюють значний потенціал цієї культури для промислової переробки. Зерно кукурудзи є цінною сировиною для виробництва крохмалю, крохмалепродуктів, сиропів, біоетанолу, біополімерів, кормових і фармацевтичних компонентів (Mazur, V. A. et al., 2018; Bukhkalov, S. I., 2019).

За оцінками Міністерства сільськогосподарства США (United States Department of Agriculture, USDA), у маркетинговому році 2025/26 світове виробництво кукурудзи перевищило 1,26 млрд т, що підтверджує її домінуюче місце серед зернових культур як у продовольчому, так і в індустріальному використанні (USDA FAS, 2026). Для України кукурудза залишається однією з ключових експортно орієнтованих культур, однак

переважання сировинної моделі збуту обмежує економічний ефект для національного агропромислового комплексу (Kushnirenko, O. et al., 2024).

За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO), саме кукурудза забезпечила вагомую частку приросту світового виробництва зернових у 2023–2024 рр., а валовий збір цієї культури в останні роки утримується на рівні близько 1,2 млрд т (FAO, 2025).

Така масштабність формує стійкий попит не лише на аграрну сировину, а й на переробні потужності, здатні трансформувати зерно у продукти харчового, технічного та енергетичного призначення.

Актуальність проблематики посилюється під впливом глобальних тенденцій розвитку біоекономіки, декарбонізації, переходу до ресурсоефективних моделей господарювання та зростання попиту на біопродукти.

Згідно з даними Міжнародного

енергетичного агентства (International Energy Agency, IEA), саме біоенергія формує більшу частину приросту відновлюваних палив, а рідкі біопалива залишаються основним драйвером зростання у транспортному секторі; до 2030 р. розгортання відновлюваних палив суттєво прискориться внаслідок політики підтримки у США, ЄС, Бразилії, Індії та Китаї (IEA, 2024). За таких умов глибока переробка кукурудзи розглядається не лише як технологічний напрям, а й як інструмент диверсифікації аграрного експорту, зміцнення енергетичної безпеки та розширення внутрішнього ринку продуктів з високою доданою вартістю.

Наукові аспекти вирощування кукурудзи як сировинної бази для переробки висвітлено у працях вітчизняних учених, зокрема В. А. Мазура, Н. В. Шевченко, Л. А. Яковець (Mazur, V. A. et al., 2018; Shevchenko, N. V. 2018a; Shevchenko, N. V., 2018b). Технологічні питання виробництва крохмалю, модифікованих крохмалів та харчових інгредієнтів із кукурудзяної сировини розглянуто у працях С. І. Бухкало, О. Л. Гуменюк, Ю. А. Ластухіна (Bukhkalov, S. I., 2019; Humeniuk, O. L., 2019; Lastukhin, Yu. A., 2009).

Останніми роками дослідження суттєво активізувалися у напрямках фізичної модифікації крохмалю, декарбонізації біоетанольного виробництва, переробки кукурудзяних побічних продуктів у межах біорефінерій та розроблення PLA-матеріалів (Xu H. et al., 2022; Wang M. et al., 2023; da Rosa R. G. et al., 2024; Farooq M. A. et al., 2024; Khouri N. G. et al., 2024; Vacharanukrauh T. et al., 2025).

Водночас питання комплексного узагальнення технологічних, економічних та екологічних аспектів глибокої переробки кукурудзи саме в контексті розвитку агропромислового комплексу України потребує подальшого системного висвітлення. Це стосується не лише традиційних крохмалепродуктів, а й біоетанолу, біополімерів, кормових компонентів, промислових сиропів, продуктів переробки кукурудзяного волокна, а також інституційних умов формування біорефінерійних кластерів.

Метою статті є систематизація та узагальнення наукових і інформаційно-аналітичних джерел щодо технологічних, економічних та екологічних аспектів глибокої переробки кукурудзи, визначення основних напрямів її розвитку та обґрунтування перспектив розширення цього сегмента в агропромисловому комплексі України.

Матеріали і методи

Методологічною основою дослідження стали загальнонаукові та спеціальні методи пізнання. Дослідження має оглядово-аналітичний характер і ґрунтується на авторському узагальненні результатів наукових праць, статистичних матеріалів та галузевих аналітичних джерел.

У процесі роботи використано метод системного аналізу для розгляду глибокої переробки кукурудзи як багатокомпонентного напрямку сучасного агропромислового виробництва; метод узагальнення – для систематизації результатів попередніх наукових досліджень; метод порівняння – для зіставлення окремих напрямів переробки кукурудзяної сировини; контент-аналіз – для опрацювання наукових, навчальних, аналітичних і статистичних джерел; логічний та аналітичний методи – для формування висновків щодо сучасного стану та перспектив розвитку галузі.

Інформаційну базу дослідження становили наукові праці вітчизняних і зарубіжних авторів, монографії, навчальні посібники, дисертаційні дослідження, галузеві огляди, статистичні та аналітичні матеріали FAO, USDA, IEA, Renewable Fuels Association, а також сучасні статті 2022–2025 рр., присвячені вирощуванню, переробці та промислового використанню кукурудзи.

Додатково застосовано елементи економічного аналізу для оцінки значення глибокої переробки кукурудзи у формуванні доданої вартості в агропромисловому комплексі. Для цього використано підхід порівняння сировинного експорту зерна та реалізації продуктів його промислової трансформації. Елементи екологічного аналізу дали змогу зіставити потенційні переваги виробництва біоетанолу та біополімерів із ризиками, пов'язаними з енергоспоживанням, землекористуванням і вуглецевою інтенсивністю виробничих процесів.

Для поглиблення аналітичної частини статті використано також порівняльний підхід до оцінювання світових моделей розвитку глибокої переробки кукурудзи. Такий підхід дав змогу зіставити технологічну спеціалізацію, ринкові драйвери та інституційні механізми підтримки в країнах, де глибока переробка кукурудзи вже набула системного характеру, з наявними передумовами та обмеженнями в Україні.

Результати та обговорення

Кукурудза є однією з найважливіших зернових культур у світовому сільському господарстві. Її значення визначається не лише високою продуктивністю, а й широкими можливостями використання.

У світовому масштабі зерно кукурудзи спрямовується на продовольчі, кормові та технічні цілі, зокрема на виробництво крохмалю, сиропів, комбікормів, біопалива та інших продуктів промислової переробки (USDA FAS, 2026; Shevchenko, N. V., 2018b). Для України ця культура також має стратегічне значення, оскільки формує значну частину зернового експорту, але домінування експорту непереробленого зерна знижує рівень економічної віддачі від її виробництва (Kushnirenko, O. et al., 2024).

Глибока переробка кукурудзи є системою

технологічних процесів, спрямованих на максимальне використання біохімічного потенціалу зерна шляхом виділення та трансформації його основних компонентів у продукти харчового, технічного, кормового, фармацевтичного та енергетичного призначення. На відміну від первинної переробки, що обмежується виробництвом крупи, борошна чи кормових сумішей, глибока переробка формує значно вищу додану вартість і дає змогу створювати складніші виробничі ланцюги (Bukhkalov, S. I., 2019; Humeniuk, O. L., 2013).

Біохімічний склад зерна кукурудзи зумовлює її високу придатність до комплексної переробки. Кукурудза містить переважно крохмаль, а також білкові сполуки, жири, мінеральні речовини та

харчові волокна, що дає змогу отримувати широкий спектр продуктів – від нативного крохмалю до біоетанолу, органічних кислот, поліолів та біополімерів (Mazur, V. A. et al., 2018; Kognou A. L. et al., 2022). Саме тому в сучасних умовах кукурудза розглядається не лише як зернова культура, а як універсальна промислова сировина для біорефінерійного підходу (таблиця 1).

Технологічно базовою моделлю глибокої переробки кукурудзи є мокрий помел. На першому етапі зерно очищують, калібрують і піддають замочуванню, що сприяє розм'якшенню ендосперму та послабленню зв'язків між компонентами зернівки. Надалі відбувається подрібнення і сепарація з виділенням зародка, крохмалю, глютену та волокнистої фракції.

Таблиця 1. Основні напрями глибокої переробки кукурудзи та їх характеристика.

Напрямок	Основні продукти	Технологічна основа	Практичне значення
Крохмале-продуктовий	Нативний крохмаль, модифіковані крохмалі	Мокрий помел, сепарація, фізична/хімічна/ферментативна модифікація	Харчова, фармацевтична, паперова, текстильна промисловість
Сиропний	Патока, глюкозні, мальтозні та глюкозо-фруктозні сиропи, мальтодекстрини	Ферментативний гідроліз, ізомеризація, очищення та концентрування	Підсолоджувачі, технологічні інгредієнти, платформа для одержання хімічних похідних
Біо-енергетичний	Біоетанол, DDGS, CO ₂ ферментації	Сухий або мокрий помел, ферментація, дистиляція, дегідратація	Паливний компонент, енергетична безпека, кормові ко-продукти
Біо-полімерний	Молочна кислота, PLA, композити на основі крохмалю	Ферментація цукрів, полімеризація, компаундування	Біорозкладне пакування, технічні та медичні матеріали
Біо-рефінерійний	Олія, білкові концентрати, біогаз, продукти переробки волокна	Комплексна утилізація зародка, глютену, волокна та рослинних залишків	Циркулярна економіка, зменшення відходів, підвищення рентабельності

Така схема створює основу для комплексного використання всіх частин зерна і дає можливість отримувати не лише крохмаль, а й кукурудзяну олію, глютенове борошно, кормові компоненти та сировину для ферментаційних виробництв (Bukhkalov, S. I., 2019; Kushnirenko, O. et al., 2024).

Одним із базових напрямів глибокої переробки кукурудзи є виробництво крохмалю. Кукурудзяний крохмаль широко використовується у харчовій, фармацевтичній, паперовій, текстильній та будівельній промисловості. Його функціонально-технологічні властивості – здатність до набухання, клейстеризації, структуроутворення та стабілізації систем – визначають широкі можливості застосування у виробництві харчових продуктів (Humeniuk, O. L., 2019; Humeniuk, O. L., 2013). Водночас властивості нативного крохмалю не завжди відповідають вимогам сучасних технологій, що зумовлює поширення використання модифікованих крохмалів.

Модифіковані крохмалі отримують шляхом фізичної, хімічної, ферментативної або

комбінованої обробки нативного крохмалю, унаслідок чого змінюються його технологічні характеристики – температура клейстеризації, в'язкість, розчинність, стійкість до синерезису, кислот і циклів заморожування-розморожування. Сучасні дослідження підтверджують, що фізичні методи модифікації, зокрема теплово-вологісна обробка, екструзія, високий тиск і радіаційна обробка, дозволяють цілеспрямовано змінювати структуру крохмалю без використання хімічних реагентів, що відповідає вимогам «зеленої» переробки та харчової безпеки (Fargoq M. A. et al., 2024).

У харчовій промисловості модифіковані крохмалі використовують як загущувачі, стабілізатори, структуроутворювачі та носії функціональних властивостей у молочних продуктах, соусах, кондитерських виробках, консервах і напівфабрикатах (Lastukhin, Yu. A., 2009; Humeniuk, O. L., 2019). Додатковим сучасним трендом є одержання резистентного крохмалю як функціонального інгредієнта для зниження

глікемічної відповіді харчових продуктів і поліпшення їх нутритивної цінності (Fagoog M. A. et al., 2024).

Важливе місце у структурі глибокої переробки кукурудзи посідають продукти гідролізу крохмалю. До них належать патока, глюкозні та мальтозні сиропи, мальтодекстрини, поліоли та глюкозо-фруктозні сиропи. Технологічна основа їх виробництва полягає у ферментативному гідролізі крохмалю із застосуванням α -амілази та глюкоамілази, а для виробництва глюкозо-фруктозних сиропів – додатково глюкозоізомераз (Kognou A. L. M. et al., 2022). Застосування високоактивних ферментних систем і мембранних методів очищення дає змогу підвищити вихід цільових фракцій і стабільність якості кінцевого продукту.

Патока та мальтодекстрини широко використовуються у кондитерському, хлібопекарському, консервному виробництві, у дитячому харчуванні та в рецептурах продуктів зі зниженою енергетичною цінністю.

Глюкозо-фруктозні сиропи є важливим сегментом ринку рідких підсолоджувачів, а наукові огляди останніх років розглядають їх не лише як харчові інгредієнти, але й як можливу платформу для одержання похідних 5-гідроксиметилфурфуролу та інших високоцінних фуранових сполук (Kognou A. L. M. et al., 2022).

Це розширює уявлення про глибоку переробку кукурудзи як про хіміко-біотехнологічний напрям, а не тільки як про виробництво традиційних сиропів.

Інноваційним напрямом глибокої переробки кукурудзи є виробництво біоетанолу. Його роль у сучасній економіці зростає в умовах декарбонізації, розвитку альтернативної енергетики та прагнення до зменшення залежності від викопних енергоносіїв. Кукурудзяний біоетанол розглядається як відновлюване паливо, яке може зменшувати викиди парникових газів порівняно з традиційним бензином, хоча ефективність такого зменшення істотно залежить від джерел енергії, технології виробництва та системи врахування змін у землекористуванні (Xu H. et al., 2022; Vacharanukrauh T. et al., 2025).

За даними IEA, рідкі біопалива забезпечують основну частину приросту відновлюваних палив у транспортному секторі, а до 2030 р. їх споживання має зрости до 215 млрд л на рік у базовому сценарії (IEA, 2024). Галузеві матеріали Renewable Fuels Association свідчать, що саме США залишаються найбільшим світовим центром кукурудзяно-етанольного виробництва, де сформовано відпрацьовану інфраструктуру поєднання аграрного сектору, переробки, енергетики та кормового використання побічних продуктів (RFA, 2026). Для України цей досвід є важливим з огляду на необхідність формування внутрішнього ринку біопалив і диверсифікації використання кукурудзи.

Сучасні дослідження декарбонізації біоетанольного виробництва показують, що досягнення істотного скорочення вуглецевої інтенсивності потребує не лише підвищення енергоефективності, а й переходу на низьковуглецеві джерела тепла, впровадження когенерації, використання біогазу, а також уловлювання й утилізації або зберігання ферментаційного CO₂ (Xu H. et al., 2022; Vacharanukrauh T. et al., 2025). Отже, біоетанол не слід розглядати лише як паливний продукт; це компонент ширшої системи індустріальної декарбонізації.

Окремий перспективний сегмент глибокої переробки становить перетворення побічних продуктів кукурудзяної переробки. Зародок використовується для виробництва кукурудзяної олії, білкова фракція – у виготовленні кормів та концентратів, а волокно і соломисті залишки – як сировина для біорефінерійних технологій. Огляди останніх років акцентують увагу на біоконверсії кукурудзяного волокна та стеблових решток у біоетанол, біогаз, органічні кислоти, сорбенти, композити та інші високоцінні продукти, що відповідає принципам циркулярної економіки (Wang M. et al., 2023; da Rosa R. G. et al., 2024).

Перспективним нехарчовим напрямом глибокої переробки є виробництво біополімерів, зокрема полілактидної кислоти (PLA), яку одержують із крохмалевмісної сировини, у тому числі кукурудзи. PLA належить до біорозкладних полімерів і використовується у виробництві пакувальних матеріалів, одноразового посуду, виробів для 3D-друку, волокон, покриттів та окремих медичних матеріалів (Khouri et al., 2024). Саме розвиток PLA-сегмента є одним із найяскравіших прикладів переходу від традиційної крохмалепродуктової промисловості до біоорієнтованої хімії.

Наукові джерела підкреслюють, що ключовими перевагами PLA є поєднання біобазованого походження, технологічної пластичності та можливості керування властивостями через регулювання молекулярної маси, стереохімії та компаундування з іншими матеріалами (Khouri N. G. et al., 2024). Водночас для ширшого поширення PLA потрібне подальше зниження собівартості, удосконалення процесів переробки та розбудова інфраструктури компостування і збирання відходів. Для України цей напрям особливо перспективний у контексті поєднання аграрної сировинної бази з розвитком екологічно орієнтованого пакування та виробів технічного призначення.

Економічна ефективність глибокої переробки кукурудзи визначається передусім рівнем доданої вартості, який формується на кожному етапі виробничого ланцюга. У разі експорту зерна значна частина потенційного доходу переноситься до країн, що здійснюють переробку.

Натомість виробництво крохмалю, сиропів, біоетанолу, кормових ко-продуктів і біополімерів дає змогу сформувати багатокомпонентну модель доходів, підвищити зайнятість і створити мультиплікативний ефект для суміжних галузей – машинобудування, логістики, енергетики, пакувальної індустрії та тваринництва (Kushnirenko O. et al., 2024; Padhan et al., 2023).

Екологічний вимір глибокої переробки кукурудзи також є принципово важливим. З одного боку, біоетанол і біополімери можуть сприяти зменшенню використання викопних ресурсів. З іншого – екологічний ефект залежить від повного життєвого циклу продукції: агротехнологій вирощування, споживання води та енергії, джерел тепла, транспортної логістики й організації поводження з відходами. Саме тому сучасні дослідження наголошують на необхідності LCA-оцінювання і переходу до біорефінерій, де максимальна кількість побічних потоків повертається у виробництво (Xu et al., 2022; Vacharanukrauh et al., 2025).

Міжнародний досвід свідчить, що структура глибокої переробки кукурудзи істотно відрізняється залежно від поєднання сировинної бази, енергетичної політики, місткості внутрішнього ринку та промислової спеціалізації.

У США домінує інтегрована модель, у якій виробництво біоетанолу поєднується з одержанням кормових ко-продуктів, кукурудзяної олії та вуглекислого газу харчової якості; у країнах ЄС більше значення мають крохмалепродукти, спеціалізовані харчові інгредієнти та промислові біоматеріали; у Китаї й деяких країнах Південно-Східної Азії активно розвиваються сегменти органічних кислот, амінокислот і ферментаційних продуктів (IEA, 2024; Padhan S. R. et al., 2023).

Спільною рисою успішних моделей є те, що вони формуються не ізольовано, а в межах міжгалузевих ланцюгів. Переробне підприємство фактично виступає ядром агропромислової екосистеми, навколо якого концентруються виробники сировини, енергетичні оператори, транспортна інфраструктура, кормові компанії, виробники пакування та харчових інгредієнтів. Саме така мережевість знижує транзакційні витрати, забезпечує стабільне завантаження потужностей і підвищує стійкість бізнес-моделі до цінових коливань на ринку зерна.

Для України важливо враховувати, що механічне копіювання окремих закордонних рішень не є достатнім. Доцільнішою є адаптація тих інструментів, які відповідають національній структурі агровиробництва та наявній ресурсній базі. Передусім це стосується розвитку кластерів у зерновиробничих регіонах, де можна поєднати заготівлю кукурудзи, виробництво крохмалепродуктів, біоетанолу, кормових концентратів і біогазу з мінімізацією логістичних витрат.

Суттєвим уроком світової практики є також значення прогнозованої державної політики. Розвиток біоетанолу, біоматеріалів і нових хімічних платформ з кукурудзи майже завжди підтримувався цільовими програмами, податковими стимулами, вимогами до обов'язкового вмісту біокомпонентів у паливі або пріоритетами державних закупівель екологічно дружніх матеріалів. Без такого інституційного супроводу навіть наявність потужної сировинної бази не гарантує масштабного розгортання переробки.

Порівняльний аналіз показує, що найвищу стійкість демонструють саме ті системи, де розвивається не один продукт, а пакет взаємопов'язаних ко-продуктів. Якщо виробництво біоетанолу підтримується ринком DDGS, кукурудзяної олії та харчового CO₂, а крохмалепродуктові підприємства одночасно працюють із сиропами, модифікованими крохмалями та нішевими інгредієнтами, ризик залежності від одного сегмента суттєво зменшується.

Для України цей висновок є принципово важливим: ставка на одну товарну позицію може бути короткостроково вигідною, але саме багатопродуктова модель створює умови для довготривалої конкурентоспроможності.

Для України розвиток глибокої переробки кукурудзи має важливе стратегічне значення. Наявність достатньої сировинної бази, кваліфікованого науково-освітнього потенціалу та об'єктивної потреби у структурній модернізації аграрного сектору створюють сприятливі передумови для розширення цього сегмента. Разом із тим ефективне функціонування галузі потребує вирішення низки проблем: високої капіталомісткості сучасних виробництв, потреби у доступному фінансуванні, розвитку інфраструктури, гармонізації нормативної бази, забезпечення стабільного енергопостачання, а також зниження воєнних і логістичних ризиків.

Ключовою економічною проблемою є те, що переробні проекти мають довший інвестиційний цикл, ніж традиційні моделі торгівлі зерном. Будівництво сучасних крохмалепродуктових або біоетанольних потужностей потребує значних капіталовкладень у технологічне обладнання, водопідготовку, енергетичну інфраструктуру, лабораторний контроль і логістичні вузли.

Водночас саме такі об'єкти забезпечують більшу стійкість доходів у довгостроковому горизонті, оскільки диверсифікують товарний портфель і зменшують залежність від коливань експортних цін на зерно.

Не менш важливим бар'єром є нерівномірність регуляторного середовища. Для сегмента біопалив критичне значення мають правила змішування палив, акцизна політика, обіг денатурованого спирту, стандарти якості та механізми контролю походження біосировини. Для

сегмента біополімерів та біоматеріалів важливими є екологічні стандарти, вимоги до компостованості, стандарти безпечності контакту з харчовими продуктами та стимули для заміщення нафтохімічних матеріалів. За відсутності передбачуваної політики навіть технічно перспективні напрями можуть розвиватися повільно.

Разом з тим існують і суттєві можливості. По-перше, географічна концентрація виробництва кукурудзи в окремих регіонах дає змогу формувати локальні агропромислові хаби. По-друге, модернізація переробних виробництв може поєднуватися з розвитком біогазових і когенераційних установок, що знижує енергетичні витрати. По-третє, розширення переробки створює додатковий попит на науковий супровід, інженерні рішення, сервісне обслуговування та спеціалізовану підготовку кадрів. Саме тому глибоку переробку слід розглядати як інструмент не лише галузевого, а й регіонального розвитку.

Значний потенціал мають і вертикально інтегровані моделі, у яких аграрні виробники, елеваторні оператори та переробні підприємства формують довгострокові контракти на поставку сировини. Така модель важлива для зниження ризиків недозавантаження потужностей і стабілізації якості зерна, що особливо актуально для виробництва крохмалю, сиропів і біоетанолу. Для українських умов це означає потребу у розвитку коопераційних або корпоративних форматів взаємодії між первинним виробництвом і переробкою.

Подальший розвиток глибокої переробки кукурудзи пов'язаний із переходом від моделі окремих продуктів до моделі інтегрованих біорефінерій. У такій системі зерно та побічні фракції розглядаються як єдина ресурсна платформа, з якої паралельно отримують харчові інгредієнти, паливні компоненти, кормові продукти, біоматеріали та хімічні напівпродукти. Це підвищує ресурсну ефективність і зменшує залежність від

ринкової кон'юнктури одного товарного сегмента.

Одним із найбільш перспективних технологічних напрямів є розвиток процесів, що поєднують ферментативну трансформацію з мембранним очищенням, тонким фракціонуванням і цифровим контролем параметрів. Такі рішення дають змогу підвищити селективність вилучення компонентів, стабілізувати якість продукції та скоротити витрати води й енергії. Для крохмалепродуктових виробництв важливим є також впровадження систем рециркуляції води, утилізації тепла та онлайн-моніторингу реологічних властивостей проміжних продуктів.

У сегменті біоетанолу інноваційність дедалі більше визначається не самим фактом ферментації цукрів, а глибиною інтеграції процесу з енергетикою й кліматичною політикою. Поєднання етанольних заводів з біогазовими установками, системами уловлювання CO₂ і виробництвом високоцінних кормових продуктів змінює економіку галузі: біоетанольне підприємство перетворюється на багатопродуктовий енергетично-хімічний комплекс.

У сегменті біополімерів значний потенціал має розроблення нових композитів на основі PLA, крохмалю та природних волокон, а також технологій сумісності біополімерів із сучасними пакувальними лініями. Поширення такого напрямку залежить не лише від хімії та матеріалознавства, а й від формування ринку, на якому біобазовані матеріали матимуть зрозумілі конкурентні переваги завдяки регуляторним обмеженням для традиційного пластику або перевагам для екологічного пакування.

Для України стратегічним є формування кількох демонстраційних майданчиків або індустріальних кластерів, де глибока переробка кукурудзи буде поєднана з енергетичною утилізацією побічних продуктів, виробництвом кормів і локальним попитом на готову продукцію (таблиця 2).

Таблиця 2. Можливості та обмеження розвитку глибокої переробки кукурудзи в Україні

Компонент	Позитивні передумови	Основні обмеження
Сировина	Потужна база виробництва кукурудзи, концентрація посівів у зернових регіонах	Висока сезонність надходження, ризики врожайності та логістики
Технології	Наявність світових рішень для крохмалю, сиропів, біоетанолу, копродуктів	Висока вартість обладнання, залежність від імпортованих технологій
Ринки збуту	Попит на крохмалепродукти, корми, біопаливо, пакування	Недостатньо сформований внутрішній ринок окремих біопродуктів
Інституції	Можливість гармонізації з європейськими стандартами та політиками декарбонізації	Нестабільність регулювання, складні дозвільні та податкові умови
Інфраструктура	Потенціал кластеризації та інтеграції з енергетикою	Дефіцит доступного фінансування, енергетичні та воєнні ризики

Саме такі кластери можуть стати точками зростання, де відпрацьовуватимуться моделі технологічної інтеграції, стандартизації продукції,

партнерства між аграрним і промисловим бізнесом та залучення інвестицій.

Особливо перспективним видається поєднання переробки кукурудзи з цифровізацією виробничих процесів: системами моделювання рецептур сиропів, автоматичним контролем якості ферментації, енергоменеджментом і прогнозною аналітикою для завантаження обладнання.

Висновки

Глибока переробка кукурудзи є одним із стратегічно важливих напрямів розвитку агропромислового комплексу України, оскільки забезпечує формування продукції з високою доданою вартістю, підвищує ефективність використання зернової сировини та розширює функціональні можливості аграрного сектора.

Основними напрямками глибокої переробки кукурудзи є виробництво крохмалю, модифікованих крохмалів, продуктів гідролізу крохмалю, глюкозо-фруктозних сиропів, біоетанолу, біополімерів, а також супутніх кормових і технічних продуктів. Саме ці напрями формують основу сучасної крохмалепродуктової, біотехнологічної та біоенергетичної промисловості.

Сучасний науковий і галузевий досвід свідчить, що перспективи розвитку глибокої переробки кукурудзи пов'язані з поглибленням біорефінерійного підходу, розширенням використання фізично модифікованих і резистентних крохмалів, удосконаленням ферментативних систем, декарбонізацією

Такі рішення не лише знижують витрати, а й роблять виробництво більш передбачуваним, що важливо для підприємств, які працюють з експортними контрактами або зі складними специфікаціями харчових інгредієнтів.

біоетанольних виробництв та розвитком біополімерного сегмента.

Для України розширення цього сегмента потребує активізації інвестиційної діяльності, модернізації виробничої інфраструктури, упровадження інноваційних технологій, підтримки переробних кластерів, гармонізації нормативної бази з міжнародними стандартами та стимулювання внутрішнього попиту на продукти глибокої переробки. Практична реалізація такого підходу сприятиме диверсифікації аграрного експорту, зниженню сировинної орієнтації зовнішньої торгівлі та формуванню біоорієнтованої економіки.

Перспективи подальших досліджень доцільно пов'язувати з оцінюванням технологічної та економічної ефективності конкретних моделей біорефінерій на кукурудзяній сировині, визначенням оптимальної структури ко-продуктів для українських умов, а також з аналізом інструментів державної політики, здатних прискорити розвиток цього напрямку.

Список використаної літератури

- Bukhkalov, S. I. (2019). General technology of the food industry in examples and problems (examples and tests on starch technology) (2nd ed., revised, Part 2). Kyiv: Center for Educational Literature. 108 p. Available at: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/7a77a8bd-6797-4115-a491-b0d8e05fe461/content?trackerId=9b82f11793b05ef7>
- Humeniuk, O. L. (2019). Food additives: lecture notes for students of specialty 181 «Food Technologies». Chernihiv: Chernihiv National University of Technology. 177 p. Available at: https://vpusp.vn.ua/wp-content/uploads/2023/01/harchovi-dobavky_teksty-lekcij.pdf
- Humeniuk, O. L. (2013). Food chemistry: lecture notes for students of specialty 6.051701 «Food Technologies and Engineering». Chernihiv: Chernihiv State Technological University. 244 p. Available at: https://cpo.stu.cn.ua/Oksana/harch_himia_lekcii/470.html
- Kushnirenko, O., Venger, V., Valinkevych, N., Gakhovych, N., & Bykonja, O. (2024). Prospects for corn processing for the development of the bioeconomy and decarbonization in Ukraine. *Scientific Horizons*, 27(7), 32–44. <https://doi.org/10.48077/scihor7.2024.32>

- Lastukhin, Yu. A. (2009). Food additives E-codes. Structure. Production. Properties: textbook. Lviv: Center of Europe. 836 p.

- Mazur, V. A., Shevchenko, N. V., & Yakovets, L. A. (2018). Agrobiological features of growing corn hybrids for bioethanol production in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe: monograph. Vinnytsia: LLC “Druk”. 288 p. Available at: <https://repository.vsau.org/getfile.php/34031.pdf>

- Shevchenko, N. V. (2018a). Influence of technological cultivation practices on the productivity of corn hybrids for bioethanol production in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe (PhD dissertation in Agricultural Sciences, specialty 06.01.09). Kamianets-Podilskyi. Available at: <https://www.pdatu.edu.ua/images/naukova-miznarodna-diyalnist/svr/dissertaciya-shevchenko.pdf>

- Shevchenko, N. V. (2018b). Duration of interphase periods of corn hybrid plants depending on seed treatment and foliar fertilization. *Balanced Nature Management*, (1), 73–76. Available at: <https://journals.uran.ua/bnusing/article/view/276604/271507>

- da Rosa, R. G., da Rosa, L. N., Aydar, A. Y., & Rambo, M. K. D. (2024). Corn biomass as a feedstock for biorefinery: a bibliometric analysis of research on bioenergy, biofuel and value-added products. *Biofuels*,

Bioproducts and Biorefining. <https://doi.org/10.1002/bbb.2693>

Farooq, M. A., Yu, W., Guo, Y., et al. (2024). Recent advances in physical processing techniques to enhance the resistant starch content in foods: a review. *Foods*, 13(17), 2770. <https://doi.org/10.3390/foods13172770>

FAO (2025). Agricultural production statistics 2010–2024. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available at: <https://www.fao.org/statistics/highlights-archive/highlights-detail/agricultural-production-statistics-2010-2024/en>

IEA (2024). Renewable fuels. In: Renewables 2024. International Energy Agency. Available at: <https://www.iea.org/reports/renewables-2024/renewable-fuels>

Khoury, N. G., Bahú, J. O., Blanco-Llamero, C., et al. (2024). Polylactic acid (PLA): Properties, synthesis, and biomedical applications – a review of the literature. *Journal of Molecular Structure*, 1309, 138243. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2024.138243>

Kognou, A. L. M., Shrestha, S., Jiang, Z., Xu, C. C., Sun, F., & Qin, W. (2022). High-fructose corn syrup production and its new applications for 5-hydroxymethylfurfural and value-added furan derivatives: promises and challenges. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 7(3), 148–160. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2022.03.004>

Padhan, S. R., Jat, S. L., Mishra, P., et al. (2023). Corn for biofuel: status, prospects and implications. In: *New Prospects of Maize*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.112227>

Renewable Fuels Association (2026). 2026 Ethanol Industry Outlook. Washington, DC. Available at: <https://ethanolrfa.org/resources/annual-industry-outlook>

USDA Foreign Agricultural Service (2026). World Agricultural Production / Production – Corn. Available at: <https://www.fas.usda.gov/data/production/0440000>

Vacharanukrauh, T., Soottitantawat, A., Thongchul, N., et al. (2025). A review on comprehensive strategies for decarbonizing bioethanol production process. *Green Energy and Resources*, 100153. <https://doi.org/10.1016/j.gerr.2025.100153>

Wang, M., Zhang, T., Li, W., et al. (2023). Bioconversion of corn fiber to bioethanol. *Waste Management*, 158, 21–31. https://www.researchgate.net/publication/366597619_Bioconversion_of_corn_fiber_to_bioethanol_Status_and_perspectives

Xu, H., Lee, U., & Wang, M. (2022). Life-cycle greenhouse gas emissions reduction potential for corn ethanol refining in the USA. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 16(3), 671–681. <https://doi.org/10.1002/bbb.2348>

DEEP PROCESSING OF CORN: CURRENT STATE, MAIN DIRECTIONS AND DEVELOPMENT PROSPECTS IN UKRAINE

Ivanna ROZHKO, ORCID: 0000-0001-5450-0906
Mykola ORLOVSKYI, ORCID: 0000-0001-7860-4902

Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnology of Lviv

The article systematizes modern scientific approaches to deep processing of corn as a strategic direction for increasing the efficiency of grain raw material utilization and producing high value-added products. The role of corn in the raw material supply of the food, starch-processing, biotechnological, bioenergy, and chemical industries is generalized. The main directions of deep corn processing are characterized, including the production of starch, modified starches, molasses, maltodextrins, glucose-fructose syrups, bioethanol, biopolymers, organic acids, and related products of integrated raw material utilization.

Technological features of wet milling, enzymatic hydrolysis, isomerization, and bioconversion of by-products are revealed. Economic and environmental aspects of the transition from grain export to the production of deep-processing products are highlighted. It is substantiated that the development of this segment is an important prerequisite for diversification of agricultural exports, reduction of the raw-material orientation of foreign trade, increase in the competitiveness of the agro-industrial complex, and formation of a bio-based economy.

It was established that for Ukraine the expansion of deep corn processing requires intensification of investment activity, modernization of production infrastructure, development of industrial clusters, improvement of the regulatory environment, stimulation of domestic demand for bioproducts, and implementation of the principles of integrated raw material utilization.

Keywords: corn, deep processing, starch, starch products, glucose-fructose syrups, bioethanol, biopolymers, bioeconomy, value added, agro-industrial complex.

This is an open-access article under the terms of the Creative Commons

Отримано: 31.3.2026
Погоджено до друку: 5.6.2026
Опубліковано: 30.9.2026