

УДК 636.034:004.9(477)

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2025.146.1.23>

СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ В МОЛОЧНОМУ СКОТАРСТВІ УКРАЇНИ

Зброй М.Л. – аспірант кафедри прикладної біології, розведення та генетики тварин,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0009-0006-6078-7513

Рубан С.Ю. – д.с.-г.н., професор,
завідувач кафедри прикладної біології, розведення та генетики тварин,
Національний університет біоресурсів і природокористування України
orcid.org/0000-0002-8114-3665

У статті розглянуто теоретичні, організаційні та технологічні засади формування національної бази даних молочного скотарства України. Показано, що зростання обсягів цифрових даних, розвиток геноміки та поява систем прецизійного тваринництва зумовлюють потребу в централізованих інформаційних системах, здатних інтегрувати генотипові, фенотипові та управлінські дані (програми оцінки та відбору племінних тварин, менеджмент на рівні господарства). На основі аналізу міжнародних практик, ідентифіковано спільні риси національних баз даних таких країн як США, Ірландія, Канада, що застосовують автоматизований обмін, хмарні технології, можливості штучного інтелекту.

Дослідження поєднують системний аналіз, порівняльне моделювання, аналіз певного інституційного середовища, структуру цифрових даних, існуючі технологічної бази на прикладі молочного скотарства. Для оцінки наявності цифрових даних був проведений аналіз 120 господарств з розведення молочної худоби 15 областей України. Виявлено, що 76 % ферм уже використовують цифрові системи управління стадом, при відсутності національної інтегрованої платформа, що унеможливує комплексну племінну оцінку й участь у міжнародних грантових програмах та програмах обміну даними (Horizon, Interbull, Euro Genomics). Програмні комплекси управління стадом з часом знищують накопичену, не актуальну для оперативних дій інформацію, що призводить до втрат необхідних даних в системі оцінки племінної цінності тварин за схемою „Animal model” коли інформація накопичується за ряд поколінь.

Розроблено концептуальну архітектуру української національної біоінформаційної системи, що включає декілька модулів для збору, накопичення, аналізу даних та доступу до них. На основі проведеного аналізу з урахуванням наявної інфраструктури, запропоновано комплекс програм та засобів для побудови робочої моделі функціонування системи на основі трьох серверів. Очікується, що впровадження такої платформи сприятиме уніфікації даних, підвищенню точності племінної оцінки, залученню українських дослідників до глобальної наукової інфраструктури й посиленню конкурентоспроможності вітчизняного молочного скотарства.

Ключові слова: племінні ресурси, біоінформаційні технології, молочне скотарство, централізовані бази, прогнозування.

Zbroj M.L., Ruban S.Yu. World experience and prospects for the use of bioinformatics systems in dairy farming in Ukraine

The article examines the theoretical, organizational and technological foundations of the formation of a national database of dairy cattle breeding in Ukraine. It is shown that the growth of digital data volumes, the development of genomics and the emergence of precision livestock

systems determine the need for centralized information systems capable of integrating genotypic, phenotypic and management data (programs for the assessment and selection of breeding animals, management at the farm level). Based on the analysis of international practices, common features of national databases of countries such as the USA, Ireland, Canada, which use automated exchange, cloud technologies, and artificial intelligence capabilities, are identified.

The research combines system analysis, comparative modeling, analysis of a specific institutional environment, the structure of digital data, and the existing technological base using the example of dairy cattle breeding. To assess the availability of digital data, an analysis of 120 dairy farms in 15 regions of Ukraine was conducted. It was found that 76% of farms already use digital herd management systems, in the absence of a national integrated platform, which makes it impossible to conduct a comprehensive breeding assessment and participate in international grant programs and data exchange programs (Horizon, Interbull, Euro Genomics). Herd management software complexes over time destroy the accumulated "not relevant for operational actions" information, which leads to the loss of necessary data in the system for assessing the breeding value of animals according to the "Animal model" scheme when information accumulates over a number of generations.

A conceptual architecture of the Ukrainian national bioinformatics system has been developed, which includes several modules for collecting, accumulating, analyzing data and accessing them. Based on the analysis conducted, taking into account the existing infrastructure, a set of programs and tools has been proposed to build a working model of the system based on three servers. It is expected that the implementation of such a platform will contribute to the unification of data, increasing the accuracy of breeding evaluation, involving Ukrainian researchers in the global scientific infrastructure, and strengthening the competitiveness of domestic dairy cattle breeding.

Key words: genetic resources, bioinformatics technologies, dairy farming, centralized databases, prediction.

Актуальність теми дослідження. Зростання попиту на тваринницьку продукцію, дефіцит людських ресурсів та необхідність підвищення ефективності виробництва спонукає до широкого використання цифрових технологій [1]. Так в роботі сучасних молочних ферм все ширше розглядаються можливості застосування концепції IoT (англ. Internet of Things)-мережі із взаємопов'язаними пристроями, а також програмним забезпеченням, що дозволяє здійснювати фіксацію (запис), передачу і обмін даними в комп'ютерних системах за допомогою використання стандартних протоколів зв'язку [2].

В країнах із ефективним тваринництвом (США, Ірландія, Канада, Нідерланди) важливе місце займає прецизійне або точне тваринництво- PLF (англ. Precision Livestock Farming) з застосуванням сенсорів, камер і алгоритмів машинного навчання для моніторингу здоров'я, репродуктивних процесів та поведінки тварин [3]. Вирішення сучасних медичних, аграрних, біологічних проблем базується на створенні великих масивів даних -Big Data (англ. великі дані), та використанні при цьому обчислювальних методів. Такі системи відносяться до біоінформаційних і функціонують при активній взаємодії двох напрямів – біології та інформаційних технологій, де основою проблемою залишається об'єднання часто розподілених і неструктурованих даних біологічних об'єктів в логічно зрозумілій інформаційній платформі [4]. Використання зазначених технологій передбачає великі об'єми даних, які є основою для аналізу та прийняття управлінських рішень, коли така інформація має постійно накопичуватись, оброблятися, та бути оперативно-доступною для користувачів.

Прикладом такої платформи є принцип роботи Ради з розведення молочної худоби CDCB (англ. Council on Dairy Cattle Breeding) в США представленої на рис. 1.

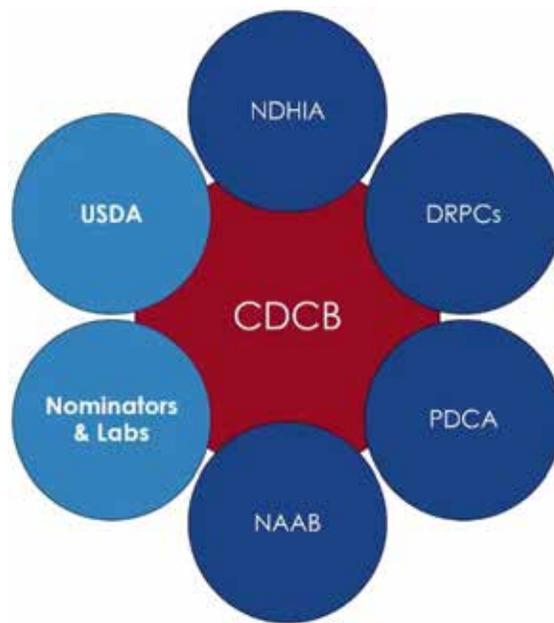


Рис. 1. Принципова схема взаємодії з національною базою даних молочного скотарства США [5]

Кожен з учасників виконує важливу функцію, а саме:

1. CDCB управляє національною базою даних, здійснює розрахунок і розповсюдження генетичних оцінок та геномних прогнозів GEBV (англ. Genomically Estimated Breeding Value), співпрацюючи з Міністерством сільського господарства США- USDA (англ. United States Department of Agriculture), університетами та виробниками;
2. Національна асоціація покращення молочних стад- NDHIA (англ. National Dairy Herd Improvement Association), координує та забезпечує збір даних продуктивності по коровах, стандартизацію процедур;
3. Центри обробки молочних записів -DRPCs (англ. Dairy Records Processing Centers) обробляють дані господарств, стандартизують їх та передають у національну базу даних (CDCB);
4. Асоціація чистопородної молочної худоби -PDCA (англ. Purebred Dairy Cattle Association) яка налічує близько 60 000 членів, формує родоводи даних, що інтегруються в CDCB для генетичних оцінок та аналізу;
5. Національна асоціація селекціонерів тварин -NAAB (англ. National Association of Animal Breeders) займається штучним осіменінням та комерціалізацією генетичного матеріалу, та забезпечує стандартизацію кодів постачальників сперми, генетичних продуктів і підтримує CDCB у розробці генетичних моделей;
6. Лабораторія геноміки та вдосконалення тварин -AGIL (англ. Animal Genomics and Improvement Laboratory), веде генетичні дослідження, бере участь у геномних оцінках і підтримує CDCB з науково-методичної сторони;
7. Сертифіковані генетичні лабораторії та їх номінатори – Nominators & Labs (англ. Genomic Nominators & Laboratories), проводять генотипування і передають результати в CDCB. В даному випадку номінатори, це організації або компанії,

які подають заявки на генотипування від імені фермерів а лабораторії проводять такий аналіз.

Інтеграція геномних, фенотипових та управлінських даних у єдині інформаційні системи дозволяє значно підвищити точність генетичної оцінки тварин (плідники, корови, молодняк), пришвидшити генетичний прогрес та оптимізувати прийняття управлінських рішень на рівні господарств [6, 7].

Постановка проблеми. Застосування біоінформаційних технологій у молочному скотарстві сприяє впровадженню геномної селекції, моніторингу здоров'я тварин, прогнозуванню продуктивності, підвищенню точності племінної оцінки та оптимізації менеджменту. Так у США геномна селекція призвела до подвоєння генетичного прогресу голштинської породи через масштабну генотипізацію 6,5 млн тварин [8]. Тільки за допомогою геномної селекції швидкість генетичного прогресу за надоєм підвищилась від 100,1 кг до 180,0 кг, тобто на 80% [9]. Крім того, нові досягнення, такі як біологічно анотовані нейронні мережі, демонструють 3–5 % приріст точності геномного прогнозу порівняно з традиційними підходами [10].

В умовах України, система збору, обробки та використання інформації про племінні ресурси все ще залишається фрагментованою, а більшість селекційних процесів базується на неповних даних та не має системного підходу. При цьому світовий досвід, зокрема моделі роботи CDCB (англ. Council on Dairy Cattle Breeding, США) або ICBF (англ. Irish Cattle Breeding Federation, Ірландія), демонструють ефективність централізованих біоінформаційних платформ, які поєднують дані з різних джерел (ферми, лабораторії, племінні книги, навчальні та наукові установи, тваринницькі асоціації) та забезпечують відкритий доступ до генетичних оцінок у режимі реального часу.

С. Ю. Рубан, В. О. Даншин [11] визначають достатньо інтенсивний розвиток галузі молочного скотарства в Україні, незважаючи на військовий стан, а також вказують що складовою такого бізнесу залишається напрям формування економічно вигідних тварин за рахунок методів генетичної оцінки молочної худоби та реалізації вітчизняних програм відбору плідників та корів-майбутніх бугаїв. Разом з цим автори відмічають практично повну відсутність такої інформаційної системи національного масштабу. Дана робота присвячена принциповому опису такої системи з можливостями її реалізації в масштабах України.

Метою дослідження є аналіз стану та опис методів (підходів) побудови централізованої бази даних молочного скотарства України. Завданням є визначення організаційних та програмних компонентів функціонування такої системи, спираючись на накопичений власний та міжнародний досвід.

Матеріали та методи дослідження. У дослідженні було застосовано міждисциплінарний підхід, що поєднує методи системного аналізу, порівняльного моделювання та аналітичного огляду літератури для вивчення можливостей формування національної інформаційної платформи молочного скотарства. Основна увага приділялася аналізу структури, функцій та інфраструктури вже існуючих інформаційних систем у галузі тваринництва, зокрема моделі CDCB (США), ICBF (Ірландія) були використані як еталонні системи, оскільки вони охоплюють повний цикл збору, обробки та використання даних про молочну худобу. Для формування концептуальної моделі перспективної національної біоінформаційної платформи використано настанови ICAR та FAO в стандартах обміну даними.

Шляхом експертного оцінювання при відвідуванні 120 господарств 15 областей України, оцінено об'єми та специфіка використання інформаційних систем для ведення молочного скотарства (таблиця 1)

Таблиця 1

Розподіл господарств по областях

Область	Кількість господарств
Вінницька	13
Волинська	6
Дніпропетровська	1
Житомирська	7
Івано-франківська	1
Київська	10
Кіровоградська	1
Полтавська	21
Рівненська	2
Сумська	10
Тернопільська	5
Харківська	3
Хмельницька	22
Черкаська	9
Чернігівська	9
Загалом господарств	120

Аналіз даних дав змогу побудувати схему реальної (прив'язаної до існуючої ситуації) інформаційної системи розведення в молочному скотарстві України.

Результати досліджень. Прогрес застосування технологій в молочному скотарстві призвів до накопичення великих масивів даних, а розвиток обчислювальної техніки, дав змогу оперативного прогнозування розвитку з високим рівнем достовірності для прийняття рішень та ведення сталого господарювання. Країни з високим розвитком молочного скотарства застосовують національні, централізовані бази даних (Таблиця 2), в яких накопичується інформація з метою аналізу, прийняття управлінських та операційних рішень, а також взаємодії між усіма зацікавленими учасниками галузі. Таким чином підвищується швидкість реагування галузі на виклики які існують в оточуючому середовищі.

В статтях С.Ю. Рубан та ін. [21], В.М. Кондратюк та ін. [22], зазначають що представники українського молочного бізнесу, в більшості своїй, обрали північно-американську модель ведення молочного скотарства невід'ємною складовою якої є голштинська молочна порода.

Так CDCB підтримує одну з найбільших у світі національних баз, яка містить більше 9 мільйонів генотипованих записів переважно по коровах голштинської породи та більше 100 мільйонів родоводів й більше 100 мільйонів записів лактації [23]. Ще одним успішним прикладом слугує ICBF, яка управляє однією з найбільш інтегрованих національних баз даних у світі, що охоплює генотипи, продуктивність, родоводи, здоров'я і дані поведінки тварин. В результаті збільшення обсягів національної програми генотипування, до кінця 2024 року база даних містила 5217976 генотипів [24]. ICBF надає щорічні звіти які містять інформацію про стан галузі молочного та м'ясного скотарства.

Таблиця 2

**Опис національних інформаційних баз по молочному скотарству
в різних країнах світу**

Країна	Організація	Опис
США	CDCB	Адмініструє єдину національну базу кооператорів, яка поєднує продуктивні, генетичні дані, племінну інформацію, родоводи [12].
Ірландія	ICBF	Єдиний національний агрегатор племінної та продуктивної інформації. Система обслуговує 92 тисячі ферм, забезпечуючи генетичні розрахунки, збір даних, інформаційну взаємодію між учасниками галузі [13].
Норвегія	NDHRS/TINE SA	Централізовану базу підтримує асоціація TINE SA через національну систему обліку молочного стада NDHRS (англ. Norwegian Dairy Herd Recording System). Первинні дані збираються фермерами та передаються до центральної бази CCD (англ. Central Cattle Database) [14].
Швеція	Växa Sverige	База даних об'єднує записи з офіційної схеми обліку молока Швеції SOMRS (англ. Swedish Official Milk Recording Scheme), центрального реєстру великої рогатої худоби, реєстрації штучного осіменіння, обрізки ратиці, та національної системи реєстрації хвороб. Інформація реєструється фермерами, лабораторіями аналізу молока, лабораторіями ДНК, польовим персоналом асоціацій тваринників, ветеринарами та Шведським ветеринарним інститутом [15].
Фінляндія	FADPC	Фінської національної системи обліку молочного поголів'я FNDRS (англ. Finnish National Dairy Recording System) базується на інформації, зібраній та наданій Фінським центром обробки сільськогосподарських даних (англ. Finnish Agricultural Data Processing Centre) [16].
Данія	DCD	Запис народження, вибуття та переміщення тварин у Центральному реєстрі тваринництва CHR (англ. Central Husbandry Register). Крім того, галузева база даних великої рогатої худоби DCD (англ. Danish Cattle Database), збирає дані з офіційних баз даних, схеми обліку молока, племінних асоціацій, лабораторій та боень [17]. CHR адмініструється Міністерством охорони навколишнього середовища та продовольства [18].
Канада	Lactanet DairyTrace	Координує племінну діяльність, генетичну оцінку, молочні записи та програму ідентифікації, до управління залучено фермерів [19].
Україна	ДП АіРТ	Державне підприємство "Агентство з ідентифікації і реєстрації тварин", здійснює тільки ідентифікацію і реєстрацію сільськогосподарських тварин [20].

Централізовані національні бази даних у молочному скотарстві – це спеціалізовані платформи, що акумулюють інформацію з різних джерел: ферм, лабораторій, племінних організацій, центрів штучного осіменіння, університетів. Вони включають такі типи даних: 1) племінна оцінка; 2) родоводи; 2) унікальна ідентифікація; 3) продуктивність (надої, вміст жиру та білка); 4) репродуктивні дані; 5)

морфологічні ознаки, дані про хвороби, поведінку; 6) SNP-профілі, геномні оцінки (GEBV); 7) стан здоров'я, діагностика, вакцинації, статус захворювань.

Моделі функціонування таких баз даних, як CDCB та ICBF, базуються на концепціях відкритості, автоматизованого обміну даними та тісної інтеграції з усіма учасниками галузі. Дані надсилаються до центральної бази в режимі реального часу через API (англ. Application Programming Interface) або електронні платформи. У відповідь господарства отримують звіти, рейтинги, генетичну оцінку тварин.

Національна система біоінформаційного супроводу молочного скотарства України, збудована за зразком CDCB, ICBF, дозволила б не лише оптимізувати племінну роботу, а й забезпечити ефективну участь України в міжнародних селекційних програмах (Interbull, Euro Genomics). В Україні така система перебуває на етапі первинного становлення, і її впровадження потребує поетапного підходу.

Можлива реалізація концепції архітектури національної біоінформаційної платформи України з подальшим масштабуванням відповідно до досвіду ICBF (Ірландія), де система починалася як централізована служба, а згодом перетворилась на модульну платформу на основі хмарних рішень від Oracle [25]. Запропонована архітектура ґрунтується на модульному, масштабованому підході з використанням хмарної і локальної інфраструктури, що забезпечує збір, інтеграцію, зберігання, обробку та візуалізацію даних із різноманітних джерел.

У структурі системи можна виокремити такі основні модулі:

1. Модуль збору даних – цей рівень забезпечує автоматизований або напівручний збір даних з різних джерел: 1) господарства – інтеграція з програмами обліку (DairyPlan, OPCEK, DairyComp, Uniform Agri і т.д.) через REST API, CSV-або XML-обмін; 2) лабораторії – передача результатів біохімічних та геномних досліджень у форматах JSON, CSV; 3) племінні організації – пакетне або інтерактивне завантаження родовідної інформації; 4) сенсори та IoT-пристрої – автоматичне надходження даних про активність, температуру, жуйку, надої через MQTT, HTTPS; 5) державні сервіси через обмін з Єдиним державним реєстром племінних тварин, ветеринарними системами, реєстрами господарств.

Для успішного функціонування системи важливо чітко ідентифікувати тварину, в Україні ідентифікацією тварин займається Державне підприємство “Агентство з ідентифікації і реєстрації тварин”, яке створено відповідно до наказу Міністерства аграрної політики України. Станом на 01 вересня 2025 року наявне поголів'я в Єдиному Державному Реєстрі тварин складає 1 577 084 голів великої рогатої худоби [20].

В результаті експертної оцінки 120 українських промислових господарств було зафіксовано використання локальних програмних комплексів управління стадом на рівні 76 відсотків (Рисунок 2), що свідчить про значний рівень інформатизації та як наслідок накопичення первинної інформації по кожній корові конкретного господарства.

Такі локальні програми (рис. 2) фіксують інформацію з доїльних залів, а також накопичують дані про походження, відтворення, здоров'я та мають вбудований функціонал аналізу даних на монітор системи [26]. Всі програмні комплекси підтримують вивантаження інформації в вигляді звітів по стаду в табличному форматі, що дає змогу для обміну з централізованою базою. Бази даних в господарствах часто обмежені в ресурсах та налаштуваннях, тому мають доволі обмежений період зберігання первинної інформації, тому „застаріла” інформація періодично видаляється та не архівується, а отже втрачається для подальшого аналізу.

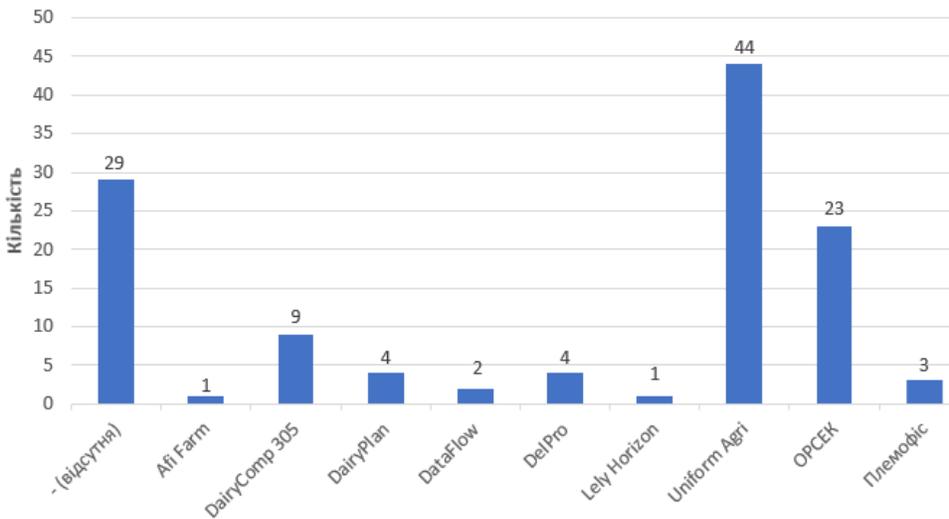


Рис. 2. Розподіл програм Управління стадом в 120 господарствах України

2. Модуль ETL (Extract–Transform–Load) – зібрані дані перед надходженням до сховищ проходять обробку через конвеєр ETL: 1) Extract – витягування з API, файлів, потокових джерел; 2) Transform – конвертацію форматів, перевірку структур відповідно до ICAR-стандартів [27], нормалізацію одиниць вимірювання, перевірку на дублікати, логічну валідацію; 3) Load – запис у Data Lake або реляційне сховище.

В процесі трансформації застосовуються валідаційні правила (наприклад, відповідність ID, порівняння з довідниками порід, племінних номерів тощо), а також часові мітки та метадані.

3. Модуль Data Lake (Сховище сирих даних) – зберігання таких даних як: первинні лог-файли з господарств; сирі геномні дані; сенсорні дані у потоковому режимі; неструктуровані зображення, документи, аудіо (при потребі).

На перспективу та задля контролю, Data Lake забезпечує можливість повторного аналізу, тренування моделей машинного навчання та збереження «нестиснутої» інформації.

4. Модуль Центральної бази даних – очищені та верифіковані дані надходять у структуроване сховище яке є основним джерелом для: формування племінних „карток”; моніторингу показників господарств; обміну з міжнародними базами (через ICAR); формування регіональних/галузевих звітів.

5. Аналітичний модуль – обробка структурованих даних через: R / Python, для розрахунків генетичних кореляцій, трендів, коваріанс та дисперсій; BLUPF90- для генетичних оцінок, обчислення GEBV (геномних селекційних цінностей). Power BI / Grafana / Metabase – для візуальної побудови дашбордів: надії, індекси продуктивності, здоров'я, генетичний прогрес.

Аналітика має бути доступна залежно від ролі та прав користувача в системі.

6. Модуль API-шар та інтерфейс – забезпечують комунікацію із зовнішніми системами, реалізується через: REST API з автентифікацією; JSON, XML – як формати передачі; веб-портал та мобільні додатки – для доступу фермерів і племінних

фахівців. На API-шарі варто врахувати можливість взаємодії з міжнародними організаціями (INTERBULL, ICAR, EuroGenomics).

7. Модуль безпеки, резервування та відповідності: 1) автоматичне резервне копіювання; 2) контроль доступу: модель контролю доступу на основі ролей, яка дозволяє керувати правами користувачів у системі відповідно до їхніх обов'язків і функцій.

Запропонована архітектура дозволить створити цілісну біоінформаційну систему, що охоплює ланцюг – від ферми до наукового центру і державних структур, забезпечуючи оперативний обмін, гнучку аналітику та інтеграцію з міжнародними системами. Впровадження такої платформи є важливим кроком до цифровізації селекційної роботи в Україні та інтеграції в глобальні ініціативи сталого тваринництва.

Висновки.

Більшість господарств використовують програмні комплекси для оперативного накопичення інформації по стадам та прийняття швидких управлінських рішень на рівні ферм, проте така інформація не доступна для системного накопичення в часі, та послідуочого аналізу певних молочних порід України, що у свою чергу не відображає загальний стан та перспективи програм відбору, які існують в більшості європейських країн та США.

Запропоновано поетапний хід побудови біоінформаційної системи молочного скотарства України з **отримання наступних результатів:** 1) уніфікації даних з різних джерел у єдиній платформі; 2) доступна аналітика для власників бізнесу, виробників, науковців, навчальних закладів, державних та світових представницьких структур (EAAP, ICAR, Interbull); 3) участь в міжнародних селекційних програмах (Euro genomics); 4) підвищення точності племінної оцінки та моніторингу продуктивності; 5) спрощення організації взаємодії бізнесу з державою.

Це дозволить створити в Україні конкурентну, прозору, обґрунтовану систему управління племінними ресурсами галузі молочного скотарства, уникнути дорогого імпорту племінних ресурсів (сперма, ембріони племінні тварини) а також створить можливості для інтеграції з іншими системами на міжнародному рівні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Neethirajan S. The role of sensors, big data and AI in precision livestock farming. *Sensing and Bio-Sensing Research*. 2020. Vol. 29. 100367. DOI: 10.1016/j.sbsr.2020.100367.
2. Amin R., Rahman M. Artificial Intelligence and IoT in Dairy Farm. *Malaysian Journal of Medical and Biological Research*. 2018. Vol. 5, No. 2. P. 131–140. DOI: 10.18034/mjmb.r.v5i2.516.
3. Muhammad Y., Muhammad S., Jawairia N., Afshan K., Muhammad S., Salma B. Precision livestock farming and their applications for dairy animals. In: *Animal Production and Health*. 2024. P. 121–136. URL: https://www.isres.org/books/978-625-6959-64_17-12-2024.pdf (дата звернення: 10.10.2025).
4. Chen Y.-P. P. *Bioinformatics Technologies*. Berlin; Heidelberg; New York: Springer Science & Business Media, 2005. 396 p. ISBN 3-540-20873-9.
5. Durr J. Impact of the National Cooperator Database on Dairy Cattle Genetic Progress on Dairy Cattle Breeding. *CDCB Industry Meeting*, World Dairy Expo. Madison, Wisconsin, October 4, 2023.
6. Wiggans G. R., Cole J. B., Hubbard S. M., Sonstegard T. S. Genomic Selection in Dairy Cattle: The USDA Experience. *Annual Review of Animal Biosciences*. 2017. DOI: 10.1146/annurev-animal-021815-111422.

7. Cole J. B. A simple strategy for managing many recessive disorders in a dairy cattle breeding program. *Genetics Selection Evolution*. 2015. Vol. 47. 94. DOI: 10.1186/s12711-015-0174-9.
8. Wiggans G. R., Carrillo J. A. Genomic selection in United States dairy cattle. *Frontiers in Genetics*. 2022. Vol. 13. 994466. DOI: 10.3389/fgene.2022.994466.
9. Ruban S., Danshin V. Perspectives for the use of genomic selection for genetic improvement of dairy cattle in Ukraine. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*. 2023. Vol. 27, No. 1. P. 20–29. DOI: 10.56407/bs.agrarian/1.2023.20.
10. Wang X., Shi S., Ali Khan M. et al. Improving the accuracy of genomic prediction in dairy cattle using the biologically annotated neural networks framework. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2024. Vol. 15. 87. DOI: 10.1186/s40104-024-01044-1.
11. Рубан С. Ю., Даншин В. О. Методологія сучасних програм відбору в молочному скотарстві. *Розведення і генетика тварин*. 2025. Вип. 70. С. 209–226.
12. Miles A. M., Parker Gaddis K. L., Cole J. B., Fourdraine R. H. The role of a national evaluation system in promoting dairy sustainability. *JDS Communications*. 2025. Vol. 6, No. 3. P. 458–463. DOI: 10.3168/jdsc.2024-0645.
13. Irish Cattle Breeding Federation (ICBF). URL: <https://www.icbf.com/about-icbf/> (дата звернення: 10.10.2025).
14. Espetvedt M., Reksen O., Rintakoski S., Osteras O. Data quality in the Norwegian dairy herd recording system: Agreement between the national database and disease recording on farm. *Journal of Dairy Science*. 2013. DOI: 10.3168/jds.2012-6143.
15. Alvasen K. On-Farm Cow Mortality in Swedish Dairy Herds. 2014. URL: https://pub.epsilon.slu.se/11128/1/alvasen_k_140414.pdf (дата звернення: 17.4.2025).
16. Rintakoski S. et al. Validation of the Finnish national dairy disease register: Agreement between the national database and on-farm disease recording. *Journal of Dairy Science*. 2012. DOI: 10.3168/jds.2011-5025.
17. Otten N. D., Toft N., Thomsen P. T. et al. Evaluation of the performance of register data as indicators for dairy herds with high lameness prevalence. *Acta Veterinaria Scandinavica*. 2019. Vol. 61. 49. DOI: 10.1186/s13028-019-0484-y.
18. Statistics Denmark. URL: <https://www.dst.dk/en/Statistik/dokumentation/documentationofstatistics/cattle/statistical-processing> (дата звернення: 11.7.2025).
19. Lactanet. Organization serving Canadian dairy producers. URL: <https://lactanet.ca> (дата звернення: 10.10.2025).
20. Державне підприємство “Агентство з ідентифікації і реєстрації тварин”. URL: <https://www.agro-id.gov.ua/> (дата звернення: 10.10.2025).
21. Рубан С. Ю., Кудлай І. М., Клименко А. В. та ін. *Виробництво молока (вітчизняний та світовий досвід ефективного ведення молочного скотарства)*. Харків: ФОП Бровін О. В., 2021. 368 с.
22. Кондратюк В. М., Рубан С. Ю., Борщ О. О. та ін. *Модернізація ферм з виробництва молока (інжиніринг, годівля, геномне передбачення)*. Київ: ФОП Ямчинський О. В., 2024. 323 с.
23. Miles A. M., Parker Gaddis K. L., Cole J. B., Fourdraine R. H. The role of a national evaluation system in promoting dairy sustainability. *JDS Communications*. 2025. Vol. 6, No. 3. P. 458–463. DOI: 10.3168/jdsc.2024-0645.
24. Irish Cattle Breeding Federation (ICBF). *Annual Report 2024*. URL: https://www.icbf.com/wp-content/uploads/2025/05/ICBF_2024-Annual-Report.pdf (дата звернення: 20.8.2025).
25. Cooksey D., O’Connell K., Tomescu M. ICBF accelerates AgTech analytics and climate friendly services powered by Exadata Cloud. 2024. URL: <https://blogs.oracle.com/infrastructure/post/icbf-accelerates-agtech-analytics-and-climate-friendly-services-powered-by-exadata-cloud> (дата звернення: 10.9.2025).
26. Shergaziev U., Nurgaziev R., Baitemir M., Karybekov A., Sultangaziev E. Electronic tracking and identification of animals in agriculture for monitoring herd

development and health. *Scientific Horizons*. 2024. Vol. 27. P. 177–187. DOI: 10.48077/scihor6.2024.177.

27. ICAR (International Committee for Animal Recording) guidelines and protocols. URL: <https://www.icar.org> (дата звернення: 17.6.2025).

Дата першого надходження рукопису до видання: 05.11.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 22.12.2025

Дата публікації: 31.12.2025
