

**ДЕРЖАВНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ З РОЗВИТКУ МЕЛІОРАЦІЇ,
РИБНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ПРОДОВОЛЬЧИХ ПРОГРАМ**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**ДЕРЖАВНА УСТАНОВА
«МЕТОДИЧНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР З АКВАКУЛЬТУРИ»**

Вдовенко Н. М., Усенко І. О.

**Застосування технологій штучного інтелекту та систем
електронного моніторингу в управлінні рибальством та
аквакультурою в умовах глобальних економічних викликів**

Методичні рекомендації

УДК 004.8:639.2/.3:338.24

Схвалено Науково-технічною радою Державного агентства України з розвитку меліорації, рибного господарства та продовольчих програм (протокол № 6 від 26.06.2026 р.)

Схвалено ДУ «Методично-технологічний центр з аквакультури» (протокол № 18 від 09.06.2026 р.)

Рецензенти:

Власенко Т. А., доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри економіки підприємства та організації бізнесу Харківського національного економічного університету імені Семена Кузнеця.

Дубина М. В., доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри фінансів, банківської справи та страхування Національного університету «Чернігівська політехніка».

Талавири М. П., доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри економічної теорії Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Вдовенко Н. М., Усенко І. О. Застосування технологій штучного інтелекту та систем електронного моніторингу в управлінні рибальством та аквакультурою в умовах глобальних економічних викликів. Київ: НУБіП України 2026. 42 с.

ISBN 978-617-8928-56-8

Методичні рекомендації ґрунтуються на сучасних підходах до використання технологій штучного інтелекту та систем електронного моніторингу у сфері рибальства й аквакультури. Приділено увагу досвіду Європейського Союзу щодо формування нормативно-правових засад розвитку та використання штучного інтелекту. Наведений практичний досвід Європейського Союзу, узагальнено наукові підходи до застосування цифрових технологій у рибальстві та аквакультурі. Визначено можливості застосування для підвищення ефективності управління галуззю для забезпечення сталого використання водних біологічних ресурсів. Розглянуто та запропоновано до використання базові положення Регламенту (ЄС) 2024/1689 Європейського Парламенту та Ради від 13.06.2024 року про встановлення гармонізованих правил щодо штучного інтелекту (Artificial Intelligence Act, AI Act) [4] та внесення змін до окремих законодавчих актів Союзу, який запроваджує комплексну модель регулювання, засновану на ризик-орієнтованому підході.

Розраховано на керівників господарств, науковців, викладачів, аспірантів, слухачів курсу мікрокваліфікацій «Навігатор з аквафермерства», фахівців зайнятих у рибному господарстві та аквакультурі, аграрному секторі економіки та всіх, хто займається проблемами розвитку галузей рибальства та аквакультури.

ЗМІСТ

Передмова	4
Список умовних позначень	5
1. Нормативно-правові засади використання технологій штучного інтелекту в сфері управління природними ресурсами	6
1.1. Європейський підхід до розвитку та впровадження штучного інтелекту в галузях національної економіки	6
1.2. Європейський підхід до довіри до штучного інтелекту та керівні принципи для постачальників моделей штучного інтелекту загального призначення	10
1.3. Досвід США у правовому регулюванні та впровадженні штучного інтелекту з урахуванням практичного досвіду NOAA Fisheries	14
2. Цифровізація рибальства: стан рибних запасів, технології штучного інтелекту та сучасні виклики	17
2.1. Застосування технологій машинного навчання у сфері рибальства для ефективного управління морськими ресурсами	17
2.2. Системи електронного моніторингу в забезпеченні сталого використання морських біологічних ресурсів	22
3. Концептуальні засади управління аграрним бізнесом в аквакультурі в глобальному конкурентному світі з використанням штучного інтелекту	29
3.1. Цифрова трансформація галузі аквакультури на основі штучного інтелекту	29
3.2. Організаційно-економічні засади використання штучного інтелекту в аквакультурі	32
3.3. Досвід впровадження технологій штучного інтелекту в рибному господарстві та аквакультурі	34
4. Перспективи використання систем штучного інтелекту та цифрових технологій в аквакультурі	39
Список рекомендованої літератури	40

Передмова

Цифрова трансформація світової економіки поступово охоплює всі сфери господарської діяльності, включаючи рибальство та аквакультуру. В умовах зростання попиту на рибну продукцію, посилення вимог до якості та безпечності харчових продуктів, необхідності раціонального використання водних біоресурсів і забезпечення продовольчої безпеки особливого значення набуває впровадження сучасних технологій штучного інтелекту в рибогосподарське виробництво. На відміну від традиційних підходів до управління виробничими процесами, технології штучного інтелекту дозволяють здійснювати безперервний аналіз великих масивів даних, оперативно реагувати на зміни виробничого середовища та приймати обґрунтовані рішення для успішного розвитку рибного господарства.

Сучасний розвиток цифрових технологій нині також змінює підходи і до управління рибними ресурсами та відкриває нові можливості для підвищення ефективності при реалізації напрямків аграрної політики у галузях національної економіки. На перший план виходить рибальство та аквакультура, де забезпечення раціонального використання ресурсів потребує удосконалення механізмів моніторингу, збору, аналізу інформації про господарську діяльність.

Одним із перспективних напрямів розвитку сучасних систем управління є застосування методів машинного навчання, які дозволяють здійснювати аналіз даних, прогнозувати зміни у стані рибних запасів, а також підтримувати прийняття управлінських рішень у сфері використання водних біоресурсів. Інструментом підвищення прозорості рибальської діяльності та ефективності контролю є системи електронного моніторингу, що забезпечують дистанційне спостереження за рибальськими операціями та точний облік вилову.

Таким чином, використання сучасних цифрових рішень сприяє автоматизації виробничих процесів, моніторингу стану рибних запасів, контролю якості продукції, прогнозуванню кон'юнктури на ринку риби.

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ШІ – штучний інтелект.

AI Act – Регламент ЄС про ШІ.

ЄС – Європейський Союз.

ЄК – Європейська Комісія, Комісія.

ННН – незаконне, незареєстроване та нерегульоване рибальство.

ML – машинне навчання.

ЕМ – електронний моніторинг.

1. Нормативно-правові засади використання технологій штучного інтелекту в сфері управління природними ресурсами

1.1. Європейський підхід до розвитку та впровадження штучного інтелекту в галузях національної економіки

Використання технологій ШІ у різних галузях економіки, зокрема у сфері управління природними ресурсами та рибальством, потребує формування чіткої нормативно-правової бази, що визначає умови їх розробки та застосування.

Стрімкий розвиток технологій ШІ зумовив необхідність формування системного підходу до їх правового регулювання на рівні Європейського Союзу. Починаючи з 2018 року, інституції ЄС послідовно формують багаторівневу політику у сфері ШІ, яка поєднує етичні принципи, стратегічні документи, інституційні механізми та обов'язкові нормативно-правові акти. Центральним елементом цього процесу стало ухвалення Регламенту (ЄС) 2024/1689 Європейського Парламенту та Ради від 13.06.2024 р. [4] про встановлення гармонізованих правил щодо штучного інтелекту (Artificial Intelligence Act, AI Act) та внесення змін до окремих законодавчих актів Союзу, який запроваджує комплексну модель регулювання, засновану на ризик-орієнтованому підході. Еволюція цієї політики відображає прагнення Європейського Союзу забезпечити баланс між розвитком інновацій, економічною конкурентоспроможністю та гарантіями захисту основоположних прав людини. Європейський підхід до розвитку ШІ ґрунтується на поєднанні стимулювання технологічного прогресу із забезпеченням довіри до цифрових технологій. Такий підхід спрямований на розвиток науково-дослідного та промислового потенціалу, водночас гарантуючи безпеку, а також дотримання основоположних прав і свобод людини. Зазначений підхід визначає не лише темпи технологічного розвитку, а й загальні засади формування майбутнього суспільства. У цьому контексті важливим є забезпечення умов, за яких суб'єкти господарювання можуть користуватися перевагами ШІ, будучи впевненими у належному рівні захисту та безпеки.

Європейська стратегія у сфері ШІ має на меті перетворення Європейського Союзу на світовий центр розвитку ШІ, забезпечуючи при цьому його надійність та орієнтованість на людину. Така мета реалізується через поєднання принципів досконалості та довіри, що знаходить своє відображення у відповідних нормативних актах і політичних ініціативах (табл. 1).

Таблиця 1. Основні етапи розвитку політики ЄС у сфері ШІ

Рік/дата	Подія	Характеристика
Березень 2018 р.	Створення експертної групи з питань ШІ та Європейського альянсу ШІ	Початок формування експертної та консультативної інфраструктури ЄС у сфері ШІ
Квітень 2018 р.	Комунікація ЄК «Artificial Intelligence for Europe»	Перша стратегічна ініціатива ЄС щодо розвитку та регулювання технологій ШІ
Грудень 2018 р.	Скоординований план щодо ШІ	Узгодження політики держав-членів ЄС у сфері розвитку та впровадження ШІ
Квітень 2019 р.	Етичні настанови для надійного ШІ	Формування базових етичних принципів застосування ШІ
Лютий 2020 р.	Біла книга Європейської Комісії про ШІ	Концептуальне визначення підходу ЄС до розвитку та регулювання ШІ
Квітень 2021 р.	Пропозиція Регламенту про ШІ (AI Act)	Початок законодавчого процесу щодо створення комплексної правової рамки регулювання ШІ
Вересень 2022 р.	Пропозиція директиви щодо відповідальності за шкоду, спричинену ШІ	Адаптація цивільно-правової відповідальності до використання технологій ШІ
Грудень 2023 р.	Політична угода щодо AI Act	Досягнення компромісу між інституціями ЄС щодо остаточного тексту регламенту
1 серпня 2024 р.	Набрання чинності AI Act	Початок реалізації першого у світі комплексного нормативного акта з регулювання ШІ
Лютий 2024 р.	Створення Європейського офісу ШІ	Формування інституційного механізму контролю та координації політики у сфері ШІ
2025 р.	Розробка керівних принципів та кодексу практики для моделей загального призначення	Деталізація практичного застосування норм AI Act

Реалізація зазначених орієнтирів здійснюється через комплекс програмних документів і практичних заходів. У квітні 2021 року було представлено пакет заходів у сфері ШІ, який включав: Повідомлення щодо формування європейського підходу до ШІ, оновлений Скоординований план із державами-членами, а також пропозицію щодо створення нормативно-правової бази у цій сфері разом із відповідною оцінкою впливу. Вказаний пакет заклав основу сучасного підходу ЄС до регулювання та розвитку технологій ШІ. Подальший розвиток цієї політики відбувся, зокрема, у січні 2024 року, коли Європейська Комісія представила інноваційний пакет у сфері ШІ, спрямований на підтримку стартапів та малих і середніх підприємств. У межах цього пакета передбачено низку заходів, покликаних стимулювати розробку та впровадження надійних систем ШІ, що відповідають цінностям і правовим стандартам ЄС. Одним із елементів зазначеного пакета є Повідомлення щодо стимулювання стартапів та інновацій у сфері надійного ШІ. У ньому визначено стратегічну інвестиційну рамку, спрямовану на ефективне використання наявних ресурсів ЄС, зокрема провідної у світі суперкомп'ютерної інфраструктури, а також на розвиток інноваційної екосистеми ШІ. Центральною ініціативою в межах цього напрямку є «GenAI4EU», яка спрямована на стимулювання впровадження генеративного ШІ у важливих секторах економіки. Її реалізація передбачає формування відкритих інноваційних екосистем, що сприятимуть взаємодії між розробниками ШІ, промисловими суб'єктами та представниками держави. Досягнення досконалості у сфері ШІ розглядається як передумова забезпечення глобальної конкурентоспроможності ЄС. У цьому контексті визначено такі основні напрями:

1. Сприяння розвитку та широкому впровадженню технологій ШІ в межах Європейського Союзу;
2. Створення сприятливих умов для повного циклу розвитку ШІ від наукових досліджень до практичного застосування у різних секторах економіки;
3. Забезпечення використання ШІ в інтересах суспільства з неухильним дотриманням основоположних прав людини;
4. Формування лідерства у сферах із високим рівнем впливу.

Європейська Комісія спільно з державами-членами координує зусилля у сфері політики та інвестицій, що знайшло своє відображення в оновленому Скоординованому плані з розвитку ШІ 2021 року. У ньому визначено пріоритети, спрямовані на прискорення впровадження технологій, узгодження національних підходів та адаптацію до сучасних глобальних викликів.

Важливим елементом реалізації політики ЄС у цій сфері є належне фінансове забезпечення. Зокрема, у межах програм «Horizon Europe» та «Digital Europe» передбачено інвестування близько 1 млрд. євро щорічно у розвиток ШІ. Додатково Європейська Комісія стимулює залучення інвестицій з боку приватного сектору та держав-членів з метою досягнення загального обсягу фінансування на рівні 20 мільярдів євро на рік протягом цифрового десятиліття. Окрему роль відіграє Механізм відновлення та стійкості, у межах якого на розвиток цифрових технологій передбачено 134 мільярди євро.

Подальшим етапом розвитку європейської політики у сфері ШІ став План дій щодо формування «континенту ШІ», прийнятий у квітні 2025 року. Його метою є посилення позицій Європи як глобального лідера шляхом розвитку надійних і конкурентоспроможних технологій ШІ із одночасним забезпеченням захисту демократичних цінностей. План передбачає інтеграцію ШІ у охорону здоров'я, освіту, промисловість та екологічну політику. Чинником розвитку вискоєфективних і надійних систем ШІ є доступ до якісних даних. У цьому контексті важливу роль відіграють такі ініціативи ЄС, як Стратегія кібербезпеки, Закон про дані та Закон про управління даними, які формують необхідну правову та інфраструктурну основу.

Таким чином, європейський підхід до розвитку ШІ характеризується комплексністю, поєднуючи нормативно-правове регулювання, інвестиційну підтримку та інституційну координацію, що забезпечує формування надійної та орієнтованої на людину екосистеми ШІ. Водночас досягнення зазначених цілей потребує впровадження конкретних технологічних рішень, що забезпечують практичну реалізацію визначених політик. У цьому контексті особливого значення набувають технології ШІ, зокрема методи ML. У свою чергу, формування

цілісної нормативної бази в Україні потребує врахування не лише європейського вектору цифровізації, а й аналізу глобальних лідерів у сфері технологічного нагляду за природними ресурсами. Особливої уваги заслуговує досвід Сполучених Штатів Америки, де правове регулювання впровадження електронного моніторингу (ЕМ) еволюціонувало від загальних галузевих стандартів до формування системи процедурних директив, адміністративних актів та галузевих настанов (зокрема Policy Directives і Guidance Documents NOAA Fisheries), а також регіональних правил управління рибальством.

Таким чином, поєднання європейських етичних фільтрів та американських практичних механізмів легалізації ШІ-даних дозволяє сформувати модель публічного управління, яка мінімізує забезпечує високу точність контролю за використанням морських біологічних ресурсів.

1.2. Європейський підхід до довіри до ШІ та керівні принципи для постачальників моделей штучного інтелекту загального призначення

Створення надійного ШІ створить безпечне та сприятливе для інновацій середовище для користувачів, розробників.

Комісія запропонувала 3 взаємопов'язані правові ініціативи, які сприятимуть побудові надійного ШІ:

1. Європейська правова база для ШІ, яка б підтримувала основні права та враховувала ризики безпеки, характерні для систем ШІ;
2. Система цивільної відповідальності – адаптація правил відповідальності до цифрової ери та ШІ;
3. Перегляд галузевого законодавства з безпеки (наприклад, Регламенту про машини, Директиви про загальну безпеку продукції).

Комісія прагне вирішити ризики, що виникають внаслідок конкретних застосувань ШІ, за допомогою набору додаткових, пропорційних та гнучких правил. Розроблені правила також надають Європі провідну роль у встановленні світового золотого стандарту.

Ця структура надає розробникам і користувачам ШІ необхідну ясність, втручаючись лише у ті випадки, які не охоплюються чинним національним законодавством та законодавством ЄС. AI Act має чіткий, легкий для розуміння підхід, заснований на чотирьох різних рівнях ризику: мінімальний ризик, високий ризик, неприйнятний ризик та специфічний ризик прозорості. Він також запроваджує спеціальні правила для моделей ШІ загального призначення. Щоб допомогти постачальникам, Комісія опублікувала рекомендації, що уточнюють, хто повинен дотримуватися зобов'язань.

Таким чином, формування політики Європейського Союзу у сфері ШІ відбувалося поступово та характеризується переходом від стратегічних і етичних ініціатив до створення комплексної нормативно-правової системи регулювання. Прийняття AI Act стало важливим етапом інституціоналізації європейської моделі управління технологіями ШІ, що ґрунтується на принципах прозорості, безпеки, відповідальності та орієнтованості на людину. Такий підхід дозволяє поєднати стимулювання інноваційного розвитку з необхідністю забезпечення високого рівня захисту прав і свобод людини.

З урахуванням зазначеного, окремої уваги потребує регулювання моделей ШІ загального призначення, які становлять технологічну основу сучасних систем ШІ. Комісія видала рекомендації для уточнення обсягу зобов'язань постачальників моделей ШІ загального призначення згідно із AI Act. Ці зобов'язання набувають чинності 2 серпня 2025 року. Керівні принципи щодо обсягу зобов'язань постачальників моделей ШІ загального призначення (GPAI) допомагають учасникам екосистеми ШІ зрозуміти, чи застосовуються до них ці зобов'язання та що від них очікується, забезпечуючи їм можливість впевнено впроваджувати інновації. Положення інструкцій:

Керівні принципи запроваджують прості технічні критерії, наприклад, для визначення того, коли модель ШІ вважається «загально призначеною». Це допомагає розробникам зрозуміти, чи потрібно їм дотримуватися зобов'язань, передбачених AI Act. Ці рекомендації розроблені з прагматичним підходом. Наприклад, вони уточнюють, що лише ті, хто вносить суттєві зміни до моделей

ШІ, повинні дотримуватися зобов'язань для постачальників моделей GPAI, а не ті, хто вносить незначні зміни. Винятки для відкритого коду: у рекомендаціях також уточнюється, за яких умов постачальники моделей ШІ з відкритим кодом звільняються від певних зобов'язань, щоб сприяти прозорості та інноваціям.

У цих рекомендаціях пояснюється, як Комісія тлумачить ключові терміни AI Act. Це допомагає учасникам екосистеми ШІ зрозуміти, від кого очікується виконання яких зобов'язань. Таким чином, ці рекомендації доповнюють Кодекс практики загального призначення щодо ШІ (GPAI) – добровільний, практичний інструмент, який пояснює, як постачальники моделей GPAI можуть виконувати свої зобов'язання згідно із AI Act. Графік подання заявки та її виконання: а) з 2 серпня 2025 року набувають чинності зобов'язання постачальників моделей GPAI. Постачальники моделей GPAI, що розміщуються на ринку після цієї дати, повинні дотримуватися вимог та повинні неформально співпрацювати з технічним персоналом Управління ШІ. Зокрема, постачальники найсучасніших моделей, тобто тих, що створюють системні ризики, юридично зобов'язані повідомляти Управління ШІ про ці моделі. Управління ШІ підтримуватиме постачальників у дотриманні вимог, особливо підписантів Кодексу практики; б) з 2 серпня 2026 року набувають чинності повноваження Комісії щодо забезпечення дотримання законодавства. Комісія забезпечуватиме дотримання зобов'язань постачальниками моделей GPAI, зокрема за допомогою штрафів; в) до 2 серпня 2027 року постачальники моделей GPAI, розміщених на ринку до 2 серпня 2025 року, повинні виконати вимоги.

Розроблені шляхом широких публічних консультацій з зацікавленими сторонами, ці рекомендації, хоча й не є юридично обов'язковими, відображають тлумачення Комісії та спрямовуватимуть правозастосування. Постачальники повинні переглянути свої зобов'язання, оцінити ризики моделей, підготуватися до дотримання вимог та взаємодіяти з Управлінням ШІ. Керівні принципи для постачальників моделі GPAI допомагають зацікавленим сторонам у всьому ланцюжку створення вартості ШІ впроваджувати інновації з ясністю та впевненістю. AI Act, який має на меті сприяння інноваціям,

забезпечуючи при цьому високий рівень захисту здоров'я, безпеки та основних прав, класифікує системи ШІ за різними категоріями ризику, включаючи заборонені, високоризикові та ті, що підлягають зобов'язанням щодо прозорості. Керівні принципи конкретно стосуються таких практик, як шкідливі маніпуляції, дистанційна біометрична ідентифікація.

Керівні принципи розроблені для забезпечення послідовного, ефективного та однакового застосування AI Act по всьому Європейському Союзу. Хоча вони пропонують цінну інформацію про тлумачення заборон Комісією, вони не є обов'язковими, а авторитетні тлумачення зарезервовані для Суду Європейського Союзу. Керівні принципи містять юридичні пояснення та практичні приклади, щоб допомогти зацікавленим сторонам зрозуміти та дотримуватися вимог AI Act. Ця ініціатива підкреслює зобов'язання ЄС сприяти створенню безпечного та етичного середовища ШІ. AI Act є першим у світі комплексним нормативно-правовим актом, спрямованим на регулювання розробки та використання систем ШІ на основі ризик-орієнтованого підходу. Його метою є забезпечення безпечного, прозорого та орієнтованого на людину використання технологій ШІ, а також захист основоположних прав і свобод громадян. Регламент встановлює чотири рівні ризику для систем ШІ: неприйнятний, високий, обмежений та мінімальний, передбачаючи повну заборону найбільш небезпечних практик, суворі вимоги до високоризикових систем та зобов'язання щодо прозорості для інших видів ШІ.

Водночас AI Act формує інституційний механізм контролю та нагляду, а також передбачає поетапне впровадження норм до 2026 року, що має сприяти розвитку інновацій та підвищенню довіри суспільства до технологій ШІ.

Таким чином, нормативно-правове регулювання ШІ в Європейському Союзі формується на основі комплексного підходу, що поєднує розвиток інновацій, забезпечення безпеки та захист основоположних прав. Створення відповідної правової бази відкриває можливості для використання технологій ШІ у різних галузях, зокрема у сфері управління природними ресурсами та рибальством.

1.3. Досвід США у правовому регулюванні та впровадженні штучного інтелекту з урахуванням практичного досвіду NOAA Fisheries

Сучасний етап розвитку державного управління природними ресурсами характеризується активним впровадженням інтелектуальних систем і машин, що орієнтовані на виконання складних аналітичних завдань.

Штучний інтелект в контексті рибальства розглядається як сукупність технологій, здатних вирішувати проблеми розпізнавання образів, пошуку закономірностей та прогнозування на основі великих масивів даних, демонструючи ефективність, що подекуди перевищує людські можливості.

При цьому фундаментальна мета впровадження штучного інтелекту полягає не у заміщенні людського фактору, а у створенні умов для ефективної кооперації людини та машини задля покращення стану довкілля. Для формування чіткої нормативної бази необхідно розмежовувати поняття, які часто використовуються як взаємозамінні.

Машинне навчання (Machine Learning): виступає підмножиною ШІ та передбачає застосування статистичних методів, що дозволяють технічним системам удосконалюватися з часом на основі отриманого досвіду. Точність такої системи зростає пропорційно обсягу проаналізованих даних, оскільки вона самостійно розробляє правила та еволюціонує.

Глибоке навчання (Deep Learning): є вузкою підмножиною ML, що базується на використанні штучних нейронних мереж із декількома шарами зв'язків, структура яких подібна до архітектури людського мозку. Кожен шар мережі виконує окреме завдання, надаючи інформації певну «вагу» залежно від її точності.

Кінцевий результат формується як загальна сума цих ваг. Наприклад, за допомогою глибокого навчання комп'ютер може навчитися ідентифікувати об'єкти, зокрема, види біоресурсів, без втручання людини, проаналізувавши мільйони зображень, попередньо маркованих експертами.

Національне управління океанічних і атмосферних досліджень (NOAA) має тривалу історію експлуатації штучного інтелекту для розширення можливостей прогнозування погоди, моделювання клімату та екологічного моніторингу, розпочавши аналіз супутникових даних за допомогою інтелектуальних систем ще у 1980-х роках.

Новий етап правової трансформації розпочався у 2020 році, коли Конгрес США ухвалив Закон про національну ініціативу щодо ШІ.

Цей акт формалізував мандат NOAA на координацію застосування штучного інтелекту в науках про клімат, океан, Землю та космос.

На виконання цього мандату було створено Центр ШІ NOAA (NCAI), покликаний підтримувати інноваційні проекти та просувати принципи відповідального використання технологій для забезпечення екологічної безпеки.

Впровадження ШІ забезпечує суттєве покращення продуктивності за умови зниження витрат, підвищуючи ефективність, точність та об'єктивність державного контролю.

Сфери застосування включають:

а) пасивний акустичний моніторинг: використання підводних мікрофонів (гідрофонів) дозволяє фіксувати звуки навколишнього середовища протягом тривалих періодів. Завдяки алгоритмам глибокого навчання, розробленим спільно з Google, вчені NOAA змогли проаналізувати понад 187 000 годин акустичних даних за 14-річний період, ідентифікувавши міграційні шляхи горбатих китів;

б) візуальний моніторинг та прогнозування: використання недорогих берегових веб-камер у поєднанні з алгоритмами ML дозволяє визначати характеристики хвильових течій, що підвищує точність прогнозів і сприяє рятуванню життів;

в) створення еталонних баз даних (FathomNet): для вирішення проблеми дефіциту маркованих даних було створено відкриту базу зображень FathomNet.

Вона об'єднує дані від науковців та громадськості, стаючи довідковим набором для навчання моделей ШІ швидко та точно ідентифікувати морських істот на нових зображеннях.

NOAA Fisheries інвестує в технології ЕМ, які дозволяють рибалкам відстежувати свій улов, роблячи збір даних більш своєчасним та точним.

Наразі в США впроваджено чотирнадцять програм ЕМ, зокрема:

Аляска: збір даних про улов на малих човнах із фіксованими снастями;

Атлантика: контроль випадкового вилову блакитного тунця;

Північний схід;

Західне узбережжя: моделі аудиту журналів і дотримання правил максимального утримання вилову.

Повне впровадження програм ЕМ у промислі донних риб та минтая на Західному узбережжі та Алясці заплановане на 2024–2025 роки.

Процес впровадження технологій супроводжується розробкою процедурних директив:

1. Директива 2013 року (оновлена у 2019): надала рекомендації щодо використання відеокамер, датчиків снастей та автоматизованої обробки зображень у програмах збору даних.

2. Директива щодо розподілу витрат (2019): забезпечує прозору основу для визначення фінансової відповідальності між NOAA Fisheries, рибною промисловістю. Стандарти зберігання даних (2020-2021): встановлено 5-річний графік зберігання зображень, які визнаються федеральними записами.

3. Застосування інформаційного законодавства (2022): визначено порядок захисту та поширення даних ЕМ відповідно до Закону про федеральні записи (FRA) та Закону про свободу інформації (FOIA).

Майбутнє ЕМ в США пов'язане з використанням комп'ютерного зору для автоматичної оцінки ваги та довжини риби, підрахунку гачків на ярусах та ідентифікації режимів роботи судна.

Таким чином, вказане дозволить значно знизити витрати на ручний перегляд відео та забезпечити управління ресурсами.

2. Цифровізація рибальства: стан рибних запасів, технології штучного інтелекту та сучасні виклики

2.1. Застосування технологій машинного навчання у сфері рибальства для ефективного управління морськими ресурсами

Зростання населення світу спричиняє збільшення попиту на продукти харчування, зокрема на рибу як основне джерело білка, що створює тиск на рибальство. Надмірний вилов риби значно скоротив популяцію дикої риби, що підкреслює необхідність у складних методах рибництва. Хоча сільське господарство зазнало значного технологічного прогресу, аквакультура мало продемонструвала порівнянних проривів. Термін «штучний інтелект» описує комп'ютерні системи, які можуть навчатися та виконувати завдання, які зазвичай виконують люди. Цілі ШІ охоплюють отримання знань, процес логічного мислення та здатність сприймати та інтерпретувати інформацію. Машина, які можуть навчатися, вирішувати проблеми, міркувати та виконувати завдання для досягнення цілей, є частиною цієї категорії. Практичне застосування зазначених підходів найбільш повно проявляється у конкретних секторах рибного господарства, зокрема в аквакультурі. Використовуючи технології ШІ, такі як камери, Інтернет речей, алгоритми та ML, ми можемо ефективно контролювати добробут риб, оптимізувати їхнє годування та керувати водопостачанням з мінімальною участю людини. Тим не менш, існують постійні труднощі в таких сферах, як збір даних, встановлення єдиних стандартів, забезпечення точності моделювання, розуміння результатів та інтеграція технологій у сучасні системи аквакультури. У цьому розділі ми розглянемо, як аквакультурний бізнес використовує методи та технології ШІ. Також розглядається ШІ в аквакультурі, включаючи його обмеження та можливі майбутні досягнення.

Інтеграція ШІ у рибальство стає життєво важливим інструментом для просування сталого розвитку морських екосистем. Перелов, прилов і незаконна риболовля вже давно загрожують рибним запасам і біорізноманіттю, що призводить до погіршення стану навколишнього середовища та економічної

нестабільності в прибережних громадах. ШІ пропонує інноваційні рішення, покращуючи процеси моніторингу, управління та прийняття рішень у рибальстві. Одним з основних застосувань ШІ є моніторинг та збір даних у режимі реального часу, де алгоритми ML аналізують величезні обсяги даних із супутникових знімків, дронів і підводних датчиків. Ці системи можуть відстежувати популяції риб, схеми міграції та незаконну риболовлю, надаючи точні та своєчасні дані регулюючим органам.

Прогнозні моделі на базі ШІ додатково підтримують стале рибальство, прогножуючи рівні запасів та допомагаючи керівникам рибальства встановлювати відповідні квоти на основі точних, динамічних даних, а не історичних середніх значень. Крім того, ШІ покращує вибірковість методів рибальства, зменшуючи прилов – ненавмисний вилов нецільових видів.

Автоматизовані системи, що використовують інструменти розпізнавання зображень та ідентифікації видів, дозволяють суднам уникати чутливих районів та ефективніше орієнтуватися на певні рибні запаси, мінімізуючи вплив на навколишнє середовище.

Наступним важливим аспектом є роль ШІ в оптимізації ланцюгів поставок у рибному господарстві.

Від відстеження риби від вилову до ринку за допомогою блокчейну та логістики на основі ШІ до забезпечення контролю якості та зменшення відходів, ці технології сприяють більш сталому функціонуванню.

Штучний інтелект має значний потенціал для вирішення глобальної проблеми нестійкого рибальства. Завдяки інтеграції інтелектуальних технологій, рибальство може впроваджувати точніші, екологічно чисті практики, які захищають морське біорізноманіття, водночас гарантуючи довгострокову економічну життєздатність рибальських громад. Це поєднання технологій та сталого розвитку є трансформаційним кроком до більш відповідального управління рибальством у всьому світі.

Узагальнення основних напрямів практичного застосування технологій машинного навчання у сфері рибальства наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Основні напрями застосування технологій ML у сфері рибальства

Напрямок застосування	Характеристика використання	Практичне значення для управління рибальством
Оцінка стану рибних запасів	Аналіз великих масивів біологічних та екологічних даних для прогнозування чисельності популяцій риб	Підвищення точності оцінки запасів та визначення допустимого вилову
Прогнозування уловів	Використання алгоритмів ML для прогнозування результатів рибальської діяльності	Підтримка прийняття управлінських рішень щодо квот та регулювання промислу
Моніторинг рибальських операцій	Аналіз даних із супутникових систем спостереження, камер і датчиків	Виявлення ННН рибальства
Ідентифікація видів риб	Використання систем комп'ютерного зору для автоматичного розпізнавання видів риб у вилові	Підвищення точності обліку вилову та прилову
Аналіз екологічних факторів	Обробка даних про температуру води, солоність, течії та інші екологічні показники	Прогнозування змін у морських екосистемах та впливу на рибні ресурси

Застосування технологій ML у сфері рибальства створює нові можливості для підвищення ефективності моніторингу рибних запасів, оптимізації управлінських рішень та забезпечення сталого використання морських біологічних ресурсів. Проблеми галузі, такі як надмірний вилов, руйнування середовища існування, прилов та ННН рибальство, мають критичні соціальні, економічні та екологічні наслідки. ШІ є важливим інструментом у створенні доданої вартості завдяки прийняттю рішень на основі даних та екосистемному управлінню. Застосування алгоритмів ML дозволяє отримувати аналітику, що сприяє розробці стратегій для розвитку. ШІ здатний аналізувати масиви даних про улови та умови довкілля для прогнозування популяцій риб і визначення науково обґрунтованих рівнів вилову. Інструменти на базі супутникових даних допомагають у боротьбі з ННН промислом через виявлення підозрілої діяльності, а алгоритми розпізнавання зображень дозволяють вдосконалювати селективність снастей. Разом з тим, практична реалізація зазначених підходів у сфері управління рибальством потребує належного науково-технічного

забезпечення. Зокрема, значення набувають методи збору, обробки та аналізу даних, які забезпечують обґрунтованість управлінських рішень. Наука про рибальство спирається на ресурсномісткий відбір проб. Збір та обробка даних є найдорожчими аспектами, що зумовлює перехід до ЕМ (табл. 3).

Таблиця 3 – Матриця відповідності біологічних завдань та технологій ML

Об'єкт дослідження	Традиційне завдання	Технологія III / ML	Очікуваний результат
Отоліти / Статоліти	Визначення віку під мікроскопом	CNN (Згорткові нейронні мережі)	Автоматичне зчитування річних кілець
Гонади та ікра	Візуальний аналіз та підрахунок	Computer Vision (Комп'ютерний зір)	Оцінка плодючості та стадії зрілості
Рибальські судна	Моніторинг локацій та журналів	Unsupervised Clustering / AIS Data	Виявлення аномальних маршрутів (ННН промисел)
Виллов у морі	Присутність спостерігача на борту	Deep Learning / Video Recognition	Автоматична ідентифікація прилову 24/7
Управління квотами	Статичні розрахунки на рік	Reinforcement Learning (RL)	Адаптивне управління (MSE) в реальному часі

Технологічний розвиток зробив сенсори доступнішими, проте обробка величезних обсягів даних залишається «вузьким місцем». Налаштування систем ML потребує інвестицій, але покращує узгодженість даних у довгостроковій перспективі (табл. 4).

Таблиця 4 – Класифікація методів ML за типом навчання

Тип навчання	Сутність методу	Приклад застосування
Без учителя (Unsupervised)	Пошук закономірностей у немаркованих даних.	Пошук кластерів даних, сегментація районів.
З учителем (Supervised)	Використання маркованих даних (вхід — вихід).	Ідентифікація видів за фотографіями.
З підкріпленням (Reinforcement)	Навчання стратегії через зворотний зв'язок.	Пошук оптимального шляху, MSE.
Глибоке навчання (DL)	Використання багатошарових нейронних мереж.	Вивчення складних паттернів (неструктуровані дані).

Успішне управління передбачає створення моделі системи (MSE), що концептуально схоже на навчання з підкріпленням (RL). Агент (рибалка) взаємодіє

з середовищем (океаном), отримуючи винагороду (дохід) або негативні стимули (витрати, штрафи).

Історія розвитку підходу:

- Дрейфус-Леон (1999): Використання неглибоких мереж для рішень судна.

- Дрейфус-Леон, Клейбер (2001): Застосування до промислу жовтоперого тунця.

- Рассел, Зімдарс (2003), Бутон (2019): Дослідження Deep Q-Learning для сталого розподілу квот.

- Бейлі та ін. (2019): Модель POSEIDON (задача «багаторукогого бандита»).

Впровадження ML вимагає обережності. Питання відеоспостереження на судах та конфіденційності рибалок є пріоритетними. Необхідно уникати «прогнозного профілювання» — безпідставних підозр через упередженість алгоритмів. Брак прозорості та сприйняття ML як «чорної скриньки» може підірвати довіру до правил управління. ООН (платформа «ШІ на благо»), ЄС та національні стратегії з 2018 року визначають ШІ як доброзичливу силу для сталого розвитку. «Розумне рибальство» стає ключем до оптимізації ресурсів та порятунку морських екосистем.

Рибальська діяльність — це універсальна сила, яка має значний вплив на моніторинг вилову в усіх рибальських системах у морі. Існує широкий спектр застосувань ШІ в рибальській діяльності: від оцінки економіки комерційних флотів, ЕМ вилову та прилову виявлення та прогнозування риболовних угідь до моделювання поведінки рибальських суден.

Інтеграція ШІ та технологій ML у рибне господарство є не просто технологічним трендом, а стратегічною необхідністю для виживання морських екосистем у XXI столітті. Перехід від традиційних, ресурсномістких методів моніторингу до інтелектуальних систем дозволяє трансформувати галузь із реактивної (боротьба з наслідками) у проактивну (запобігання кризам).

Аналіз продемонстрував, що використання нейронних мереж для обробки біологічних параметрів, супутникового відстеження суден та алгоритмів

навчання з підкріпленням для моделювання квот забезпечує безпрецедентну точність управління ресурсами. Це створює фундамент для «розумного рибальства», де економічна вигода флоту не суперечить принципам сталого розвитку, а ННН промисел стає технічно неможливою через прозорість даних.

Водночас успіх цієї цифрової трансформації критично залежить від дотримання етичних стандартів.

Протидія «алгоритмічній упередженості», забезпечення конфіденційності екіпажів та відкритість систем прийняття рішень є обов'язковими умовами для збереження довіри між наукою, державою та бізнесом.

Таким чином, ШІ виступає не як «чорна скринька», а як інструмент підвищення ефективності управління ресурсами, що здатна збалансувати зростаючий світовий попит на продовольство з обов'язком збереження біорізноманіття Світового океану.

Разом з тим, ефективність застосування технологій ML безпосередньо залежить від якості первинних даних, що зумовлює необхідність впровадження сучасних систем їх збору, зокрема електронного моніторингу.

2.2. Системи електронного моніторингу в забезпеченні сталого використання морських біологічних ресурсів

Рибогосподарська наука потребує великих обсягів даних для моніторингу та управління морськими природними ресурсами, що забезпечує екологічні, соціальні та економічні переваги. У зв'язку з цим рекомендується забезпечити системний збір та аналіз даних для підтримки ефективного управління рибальством. Збір та обробка даних є одними з найбільш трудомістких та дорогих аспектів рибної науки, що призводить, зокрема, до використання доступних суден, скорочення незалежних від рибальства досліджень та переходу від спостерігачів-людей до ЕМ. З огляду на це доцільно впроваджувати автоматизовані системи збору даних, зокрема системи ЕМ.

У контексті впровадження технологій ШІ в галузі рибальства особливого значення набуває врахування специфіки окремих видів промислу та характеристик використовуваних знарядь вилову. Поточні технічні та організаційні проблеми значною мірою зумовлені саме цими факторами.

Особливості застосування таких систем значною мірою залежать від специфіки рибальських операцій та умов їх здійснення.

Зокрема, типовий ярусний промисел у відкритому морі, орієнтований на вилов тунця або риби-меча, характеризується одночасним виловом обмеженої кількості особин. У зв'язку з тим, що на палубі одночасно обробляється незначна кількість риби, процес автоматизованого підрахунку може бути реалізований шляхом встановлення порогових значень часу (мінімальної кількості послідовних зображень із зафіксованою рибою, необхідних для її обліку) та відстані (особини, центроїди яких розташовані на визначеній відстані, враховуються як окремі об'єкти).

Водночас ефективність функціонування таких систем істотно залежить від впливу зовнішніх факторів. До них належать рух членів екіпажу, що може частково або повністю перекривати поле зору камери, значна варіативність освітлення, зумовлена зміною часу доби та погодних умов, а також наявність сторонніх об'єктів на палубі. Сукупність зазначених чинників ускладнює процеси детекції та класифікації об'єктів алгоритмами комп'ютерного зору. У зв'язку з цим слід забезпечити належні умови функціонування систем ЕМ, зокрема оптимальне розміщення камер, стабільне освітлення та мінімізацію перешкод у полі зору. Емпіричні дослідження підтверджують наявність вказаних обмежень. Так, за результатами дослідження Хохер М. [11], у якому застосовано архітектуру ResNeXt у поєднанні з каскадною R-CNN для аналізу процесів ярусного промислу патагонського ікала під палубою, встановлено, що такі фактори, як розташування камери, роздільна здатність зображень, умови освітлення та обмеженість навчальної вибірки, суттєво ускладнюють виявлення окремих видів прилову. Водночас ідентифікація цільових видів, а також видів із

чітко вираженими морфологічними ознаками, здійснюється з вищим рівнем точності.

Таким чином, ефективне впровадження технологій ШІ у сфері рибальства потребує комплексного врахування як технічних параметрів систем, так і специфіки виробничого середовища, у якому вони застосовуються.

На борту змішаних траулерів автоматизоване комп'ютерне бачення для ідентифікації та підрахунку риби додатково ускладнюється великою різноманітністю цільових видів та приловів. Таким чином, успішна сегментація відносно схожих особин на конвеєрній стрічці є критично важливим завданням. Першу спробу в складному комерційному середовищі описали Френч Г. та ін. [14], які запропонували сегментацію особин у викидах на передньому плані за допомогою алгоритму N4 – Fields. Недоліки включають необхідність навчання алгоритму для кожної стрічки окремо, а також роботу системи лише з відеоматеріалами VGA з низькою роздільною здатністю, оскільки сегментація стає ненадійною при записі HD з вищою роздільною здатністю. У наступній роботі було використано Mask-RCNN як для виявлення об'єктів, так і для сегментації, а також окрему 50-шарову ResNet для класифікації риби в різних умовах на дослідницьких та комерційних суднах, що призвело до труднощів у впровадженні на різних суднах. Ovalle et al. протестували зростання ступеня перекриття між рибами на конвеєрній стрічці та отримали вищу неправильну класифікацію від низького до помірного рівня перекриття, а також не отримали достовірних оцінок ідентифікації та кількості риб у типовій ситуації високого перекриття, що поширена на комерційних траулерах. Аналогічно, Есен Е. та інші вчені [12] виявили негативну кореляцію між зростанням рівня оклюзії (10 %–85 %) та ефективністю класифікації навченої моделі YOLO v3 з використанням відеозаписів викидів та сміття з бімового траулера в Північному морі. Ці висновки підтверджуються Соколовою М. [13], яка встановила, що ефективність виявлення викинутої риби загалом знижувалася зі зростанням рівня оклюзії, зокрема, коли оклюзія перевищувала 30 %. Було запропоновано використовувати бункери для зменшення скупченості, однак такі механічні

пристрої можуть бути використані для незаконного викиду. З урахуванням зазначених обмежень доцільно стандартизувати робоче середовище на судах та адаптувати технічні рішення до конкретних умов рибальства.

Хоча автоматизація ідентифікації та підрахунку риби за допомогою цифрового підрахунку (DL) можлива в менш скупчених середовищах, їй все ще бракує необхідної точності, щоб вважатися працездатною в умовах високої змішаної конвеєрної зони з частими оклюзіями, великими варіаціями розмірів, схожими видами та наявністю сміття. Слід визнати, що це також є складним середовищем для людей, які перевіряють електромагнітні знімки, оскільки особливо дрібну рибу у викидах часто недооцінювали в різних електромагнітних випробуваннях європейського змішаного рибальства.

Тому майбутні застосування автоматизації процесу електромагнітного огляду повинні зосереджуватися не лише на оптимізації алгоритмів, але й на стандартизації робочого середовища, наприклад, шляхом контролю потоку особин на конвеєрній стрічці за допомогою бункерів для зменшення перекриття.

Для індивідуального підрахунку відстеження риби на наступних зображеннях часто ускладнюється нерівномірним рухом конвеєрної стрічки.

Відстеження окремих об'єктів у послідовних кадрах може здійснюватися із застосуванням комбінації методів комп'ютерного зору. Зокрема, використовуються підходи, що базуються на кореляції пікселів RGB та ознаках, сформованих глибокими нейронними мережами. Крім того, застосовуються алгоритми відстеження об'єктів, зокрема метод перетину над об'єднанням у поєднанні з кореляційними фільтрами для інтерполяції перерваних траєкторій, а також фільтр Калмана для прогнозування положення об'єктів між кадрами.

Відстеження риби з метою її підрахунку супроводжується низкою технічних труднощів і залежить від точності роботи детекторів. Зокрема, можливі помилки, пов'язані з подвійним підрахунком об'єктів у разі передчасного переривання траєкторії, хибним виявленням фонових елементів, а також недообліком дрібних або рідкісних видів.

Альтернативним підходом є використання первинних відеоданих для формування зображень із напівлінійним скануванням, що дозволяє уникнути багаторазового відображення одних і тих самих особин на різних кадрах та зменшити кількість потенційних помилок обліку. З метою підвищення точності обліку вилову доцільно застосовувати комбіновані підходи до обробки відеоданих та алгоритми відстеження об'єктів.

Зважаючи на ці досягнення в комп'ютерному зорі для ідентифікації та підрахунку видів, менше досліджень застосовували ML до інших важливих завдань в системах ЕМ. Цяо та ін. [15] досліджували, як ідентифікувати події вилову на відеоматеріалах ярусного рибальства, використовуючи CNN для виявлення об'єктів (одночасна поява рибалок та риби в кадрі) та часовий фільтр для виявлення подій вилову, порівнюючи продуктивність кількох архітектур, включаючи ResNet, GoogLeNet, DenseNet та YOLO. Такі підходи значно зменшили обсяг відеосегментів для ручного перегляду, навіть якщо не застосовувалися додаткові інструменти ML для ідентифікації або підрахунку. Хохер М. та інші вчені [11] обговорювали використання ML для виявлення аномалій у поведінці рибалок, наприклад, при поводженні з видами прилову, якщо рухи членів екіпажу були достатньо чіткими (наприклад, нахилення над судном, щоб перерізати волосінь під час ярусного рибальства).

Особливо для видів, що знаходяться під охороною, які видаляються до того, як стають видимими в полі зору камери, поведінка екіпажу може свідчити про виникнення такої події. Якщо ЕМ також використовується для моніторингу дотримання вимог, коли аналізу підлягає поведінка рибалок, а не лише улов, етичні проблеми можуть перешкоджати впровадженню.

Розгортання автоматизованого аналізу поведінки рибалок для виявлення аномалій на борту вже може суперечити статті 1 «право на людську гідність», статті 8 «захист персональних даних» та статті 48 «презумпція невинуватості та право на захист» Хартії основних прав ЄС і вважатиметься системою штучного інтелекту з високим рівнем ризику (стаття 6 (2) AI Act), якщо вона «призначена для використання для аналізу злочинів щодо фізичних осіб, що дозволяє

правоохоронним органам шукати складні набори даних з метою виявлення невідомих закономірностей або виявлення прихованих зв'язків у даних» (AI Act, Додаток III) [4]. У зв'язку з цим слід забезпечити дотримання вимог щодо захисту персональних даних та прав людини при впровадженні систем ШІ.

Конкретний характер потреб у даних та цілей управління різняться залежно від сектору рибальства (наприклад, промислове рибальство, дрібномасштабне рибальство, а також рекреаційного та натурального рибальства), наявності даних (наприклад, багаті на дані проти тих, що їх недостатньо) та типу управління (наприклад, зверху вниз, децентралізоване та неформальне), але для ефективного управління всіма рибальськими господарствами необхідні дані, що залежать від рибальства.

У сценаріях, що найбільш багаті на дані, для підбору динамічних моделей популяцій для оцінки стану запасів використовуються тривалі часові ряди інформації про рибальство, що залежить від рибальства, не залежить від рибальства та іншої важливої інформації.

Рибальські господарства з обмеженими даними потребують розширення збору та аналізу даних, щоб зрозуміти та відстежувати вивантаження та динаміку запасів для ефективної оцінки та управління, але часто не мають ресурсів та можливостей для цього за допомогою традиційних інструментів та методів.

Добре керовані рибальства, особливо ті, що керуються офіційними оцінками запасів, знаходяться в кращому стані, ніж погано керовані рибальства, яким не вистачає комплексних оцінок. Зрештою, дані про рибальство необхідні для підтримки ефективного управління та підтримки сталості виловлених запасів, а також економічної та продовольчої безпеки користувачів, які від них залежать.

Новітні розробки та новітні технології, які часто використовують повсюдність мобільних телефонів і планшетів, а також зростаючу доступність хмарних обчислень для зберігання даних і ШІ для аналізу, мають потенціал зробити внесок у системи даних, що залежать від рибальства, шляхом розширення або оптимізації збору даних, автоматизації та розширення

можливостей обробки та аналізу даних, а також сприяння передачі результатів відповідним зацікавленим сторонам.

Електронна звітність та бортові пасивні датчики, такі як камери та GPS (ЕМ), можуть підвищити ефективність та/або можливості збору даних.

Методи штучного інтелекту, такі як машинне навчання та комп'ютерний зір, можуть бути використані для швидкого аналізу даних, а інтегрована обробка та аналіз великих обсягів географічно прив'язаних даних майже в реальному часі може забезпечити управління в більш релевантних просторових та часових масштабах.

Технології також можуть бути використані для розширення розподілу та доступності даних для рибалок, дозволяючи їм оптимізувати своє рибальство на основі найкращої доступної інформації та перетворюючи односторонні потоки інформації (від рибалки до менеджера) на спільний, взаємовигідний цикл збору, синтезу та обміну даними.

Рибалки, чий засоби до існування залежать від розуміння динаміки океану, зазвичай першими помічають зміни на воді, що робить тисячі суден, що працюють у морі, логічною першою лінією захисту у відстеженні змін динаміки запасів та мінливості навколишнього середовища.

Зважаючи на поширення ефективних, економічно вигідних технологій та потенціал технологій для задоволення потреб у даних в управлінні рибальством, використання високотехнологічних систем даних, що залежать від рибальства, залишається радше винятком, ніж правилом.

З огляду на це доцільно розширювати впровадження цифрових систем збору даних та стимулювати їх використання у різних секторах рибальства.

Таким чином, аналіз сучасного стану та проблематики технологічно розвинених систем даних у промисловому рибальстві дозволяє виявити фактори, що обмежують їхнє впровадження, та обґрунтувати напрями розширення технологічного забезпечення безпосередньо галузі рибного господарства.

3. Концептуальні засади управління аграрним бізнесом в аквакультурі в глобальному конкурентному світі з використанням штучного інтелекту

3.1. Цифрова трансформація галузі аквакультури на основі штучного інтелекту

Світ на межі другого та третього тисячоліть стрімко змінюється. Новим змістом наповнюються усі сфери суспільного життя. Набуває нових рис увесь усталений, звичний порядок планетарного життя, перебудовується його устрій. Людство перебуває на порозі нової історичної епохи, найважливішою ознакою якої є стрімке наростання процесів світової глобалізації, що є об'єктивними і здійснюються незалежно від волі чи бажання окремих країн. За таких умов важливим є розуміння саме нових явищ, щоб визначити раціональну й ефективну стратегію поведінки держав, на рівні управління аграрним бізнесом в аквакультурі, який тісно пов'язаний з виробництвом харчових продуктів, і забезпеченням населення цінним білком тваринного походження.

На порядок денний також виходить виробництво конкурентоспроможної безпечної рибної продукції населенню та збереження довкілля на основі інновацій. Шлях інновацій у сучасному конкурентному світі є єдиним вірним як для інших країн, так і для України. Маючи достатню кількість природних і людських ресурсів, за допомогою штучного інтелекту можна досягти нових висот – збільшити рибопродуктивність, знизити сукупні витрати на виготовлення продукції, зберегти довкілля. При розробці стратегій управління рибним бізнесом в глобальному конкурентному світі з використанням штучного інтелекту, можна запропонувати концептуальні засади за блоками:

Моніторинг та прогнозування рибного ринку: використання алгоритмів машинного навчання для аналізу ринкових тенденцій та прогнозу попиту на продукцію аквакультури; розроблення систем, що автоматично адаптуються до змін у світових ринкових умовах. Управління рибпромисловими процесами: використання ІТ-технологій та датчиків для моніторингу виробничих процесів

в аквакультурі; застосування систем автоматизації та аналізу даних для оптимізації процесів саме рибогосподарського виробництва.

Сталість рибних запасів: використання технологій штучного інтелекту для прогнозування рибних запасів.

Вдосконалення ланцюгу постачання: впровадження блокчейн-технологій для створення децентралізованих і прозорих систем управління ланцюгом постачання продукції аквакультури; використання штучного інтелекту для підвищення ефективності та точності управління інвентарем і запасами.

Безпека та якість продукції: впровадження систем відслідковування та контролю за якістю рибної продукції з використанням штучного інтелекту; розробка технологій для виявлення можливих загроз для безпеки рибної продукції та прийняття швидких заходів.

Оптимізація виробничих процесів за допомогою аналітики: використання аналітичних інструментів для вдосконалення виробничих процесів, включаючи обробку риби, упакування та зберігання; впровадження систем передбачення витрат ресурсів для оптимізації виробничої продуктивності.

Розвиток нових продуктів та ринкових стратегій: використання штучного інтелекту для аналізу даних щодо уподобань споживачів і ринкових тенденцій для розробки нових продуктів; застосування алгоритмів машинного навчання для прогнозу ефективності нових ринкових стратегій в аквакультурі.

Співпраця та партнерства в ланцюгу постачання: сприяння розвитку інтегрованих цифрових платформ для ефективного обміну даними та співпраці з партнерами в ланцюгу постачання продукції аквакультури; використання технологій блокчейну для створення довіри та відстеження продукції від сітки до споживача, від ставка до столу.

Взаємодія з глобальними стандартами: у процесі роботи з глобальними організаціями та стандартами, є можливість забезпечити відповідність управлінням рибним бізнесом міжнародним нормам та вимогам шляхом використання технологій для автоматичного відстеження їх виконання при використанні штучного інтелекту в рибному бізнесі саме в аквакультурі.

Запропоновані концептуальні засади можуть допомогти створити стратегію управління рибним бізнесом в аквакультурі, що враховує сучасні виклики, можливості, а також вигоди, які можуть бути отримані з використання штучного інтелекту у глобальному конкурентному середовищі.

Для аквакультури або вирощування риби в ставках, рециркуляційних аквакультурних системах нині вже розроблено перший інтелектуальний сортувальний пристрій.

AquaDetector (Німеччина) – розумний пристрій для сортування риб. Пристрій складається з трьох блоків, які забезпечують точний аналіз і сортування риб усіх розмірів.

Пристрій використовує штучний інтелект, розпізнавання зображень у реальному часі та хмарні обчислення для визначення розміру риби, деформації, статі, хвороб. Покращує управління запасами та підтримує прийняття рішень на основі зібраних даних.

Технології візуалізації та комп'ютерного зору допомагають підраховувати рибу, визначати її розмір та оцінювати стан здоров'я у прецизійній аквакультурі. Інші інновації зосереджені на оптимізації операцій та управлінні рибною фермою. Датчики, автоматизація, штучний інтелект та аналіз даних дозволяють здійснювати моніторинг у реальному часі та точний контроль. Є всі складові дотримання екологічного законодавства в рециркуляційних аквакультурних системах із застосуванням штучного інтелекту та способу аквапоніки. Для того, щоб повністю використати цю перевагу в держави є достатня кількість інструментів для управління в галузі.

Таким чином, є ще деякі рішення, над якими потрібно далі працювати, включаючи залучення роботів, які автоматизують рутинні завдання, такі як годівля, управління якістю води та видалення відходів. При цьому рішення на основі штучного інтелекту надаватимуть виробнику прогнозу аналітику та пропозиції щодо того, як діяти більш ефективно, зокрема і шляхом вдосконалення стратегій годівлі. Вказане забезпечить сталий розвиток підвищить благополуччя риб і дасть можливість прийняти обґрунтовані рішення.

3.2. Організаційно-економічні засади використання штучного інтелекту в аквакультурі

Організаційно-економічні засади використання штучного інтелекту в аквакультурі ґрунтуються на поєднанні сучасних інформаційних технологій, автоматизованих систем моніторингу та економічних механізмів управління виробничими процесами. Застосування штучного інтелекту дозволяє формувати нову модель ведення господарської діяльності, в основі якої є прийняття управлінських рішень на основі великих масивів даних, прогнозування виробничих ризиків та оптимізації використання ресурсного потенціалу.

Одним із найважливіших напрямів використання штучного інтелекту є цифровий моніторинг водного середовища. Інтелектуальні системи здатні в режимі реального часу аналізувати температуру води, рівень розчиненого кисню, кислотність, вміст азотних сполук та інші показники, що безпосередньо впливають на життєдіяльність гідробіонтів. Отримані дані автоматично обробляються, а система формує рекомендації щодо підтримання оптимальних умов вирощування риби, ракоподібних та інших об'єктів аквакультури.

Важливого значення набуває використання алгоритмів штучного інтелекту для управління процесами годівлі. На основі аналізу поведінки риби, інтенсивності споживання корму та показників росту система здатна визначати оптимальні норми годівлі, що дозволяє скоротити витрати кормів, підвищити продуктивність виробництва та зменшити негативний вплив на навколишнє природне середовище. Саме корми становлять значну частку собівартості продукції аквакультури, тому використання інтелектуальних систем управління сприяє підвищенню економічної ефективності діяльності підприємств.

Економічний ефект від використання штучного інтелекту проявляється через зниження виробничих витрат, підвищення продуктивності праці, оптимізацію використання кормів, енергетичних і водних ресурсів, а також покращення якості кінцевої продукції. Водночас технології штучного інтелекту сприяють підвищенню інвестиційної привабливості підприємств аквакультури,

створюють додаткові можливості для впровадження інновацій та розвитку цифрової економіки в аграрному секторі.

В умовах розвитку блакитної економіки штучний інтелект стає одним із інструментів забезпечення сталого розвитку аквакультури. Його використання дозволяє поєднати економічну ефективність виробництва з принципами екологічної відповідальності, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення продовольчої безпеки населення. Саме тому розвиток організаційно-економічних механізмів впровадження штучного інтелекту в аквакультурі слід розглядати як першочерговий напрям модернізації галузі та підвищення її конкурентоспроможності в умовах глобальних трансформацій.

У перспективі використання штучного інтелекту сприятиме переходу аквакультури до моделі «розумного виробництва» (Smart Aquaculture), де управлінські рішення прийматимуться на основі оперативної аналітики, автоматизованого контролю та прогнозування. Вказане забезпечить підвищення продуктивності виробництва, раціональне використання ресурсів, покращення якості продукції та зміцнення конкурентних позицій виробників на внутрішньому і зовнішньому ринках.

Особливої актуальності набуває використання штучного інтелекту в умовах кліматичних змін, які дедалі більше впливають на функціонування водних екосистем і результати господарської діяльності.

Інтелектуальні системи здатні моделювати вплив змін температурного режиму, гідрохімічних показників водного середовища та інших природних факторів на продуктивність аквакультури.

Таким чином, організаційно-економічні засади використання штучного інтелекту в аквакультурі формують основу для модернізації галузі відповідно до сучасних вимог цифрової економіки. Поєднання інноваційних технологій, ефективного управління, державної підтримки та наукового супроводу створює передумови для забезпечення сталого розвитку аквакультури, підвищення рівня продовольчої безпеки та реалізації потенціалу блакитної економіки України.

3.3. Досвід впровадження технологій штучного інтелекту в рибному господарстві

Наявна можливість впровадження в країні досвіду Ізраїлю, оскільки на фермах з вирощування риби наявні проблеми та економічні втрати через хижацтво птахів, які поїдають рибу, молюсків і ракоподібних.

Поїдання риби в ставках птахами та передача хвороб може призвести до фінансових втрат до 30 %. Пряма шкода пов'язана з безпосереднім знищенням риби або її пошкодженням до такого ступеня, що вона стає непридатною для реалізації на ринку. Це ставить під загрозу стабільність такого важливого джерела їжі як риби, молюсків і ракоподібних.

Опосередковані збитки від птахів мають більш широкий спектр проявів і включають: нелетальні пошкодження риби, хронічні стреси, що призводить до погіршення стану здоров'я та зниження ефективності засвоєння корму, а також розповсюдження збудників хвороб. Крім того, рибоїдні птахи можуть завдавати механічних пошкоджень садкам, загорожам для риби, що призводить до втечі риби, креветки, з таких пристроїв. Тому можна застосувати штучний інтелект для захисту рибних ферм від пернатих ворогів. Для вирішення цих проблем в Ізраїлі створено інноваційну систему захисту аквакультурних господарств – набір датчиків, під'єднаних до мережі шлангів. Технологія, що працює на основі штучного інтелекту (ШІ), розпізнає «атаку з повітря» і активує систему шлангів, які розбризкують воду, отриману з басейну та відлякують птахів. Шланги при цьому рухаються хаотично, через що птахи не можуть обійти їх або вивчити будь-які закономірності в їх роботі.

Одного разу облиті водою птахи надалі уникають наближення до шлангів. Дана система використовує камери виявлення з високою роздільною здатністю та передову аналітику даних для моніторингу, навчання та адаптації в режимі реального часу. Таке рішення Nobify є передовим у вирішенні проблем, пов'язаних із зменшенням збитків, які наносять птахи, використовуючи новітню технологію ШІ, щоб запропонувати складну адаптивну систему відлякування.

1. Виявлення. Виявляє присутність птахів і обробляє дані та інформацію, отриману від камер виявлення.

2. Аналіз даних. Аналіз даних центральним контролером для прийняття вибіркового та ефективних рішень.

3. Дія. Ефективне керування зручною пневматичною системою, відповідно до рекомендацій диспетчера, щоб тримати птахів подалі. Без шкоди, економічно вигідно.

4. Аналіз ШІ та вдосконалення моделі. Використання штучного інтелекту для вдосконалення моделі шляхом аналізу даних про реакцію птахів.

Використовуючи унікальну, дружню до птахів технологію, можна захистити рибні ставки, не порушуючи екологічний баланс, забезпечуючи гармонійне співіснування. Дане рішення є ефективним, економічно вигідним та екологічно відповідальним. Так от основна інновація полягає в платформі на основі ШІ, яка аналізує поведінку птахів, щоб постійно оптимізувати стратегії їх відлякування. Також є можливість забезпечити відповідність управлінням рибним бізнесом міжнародним нормам і вимогам шляхом використання технологій для автоматичного відстеження їх виконання при використанні елементів штучного інтелекту в рибному бізнесі. Важливою особливістю рішення Nobify є поєднання засобів автоматизованого спостереження та адаптивного управління процесом відлякування птахів. На відміну від традиційних методів захисту, які передбачають використання постійних механічних або звукових подразників, система функціонує лише за наявності реальної загрози, що дозволяє уникати зайвого використання ресурсів та підвищує ефективність її роботи. Завдяки безперервному збору та аналізу інформації формується база даних про поведінкові особливості птахів, частоту їх появи та реакцію на застосовані заходи впливу. Це дає змогу поступово вдосконалювати алгоритми реагування та підвищувати точність виявлення потенційних ризиків для рибогосподарських об'єктів.

Практичне значення такого підходу полягає у зменшенні виробничих втрат без застосування засобів, що можуть негативно впливати на навколишнє

середовище. Система підтримує принципи сталого розвитку аквакультури, оскільки спрямована не на знищення птахів, а на попередження їх контакту з виробничими об'єктами. Одночасно забезпечується захист вирощуваної продукції та збереження біорізноманіття. Використання технологій штучного інтелекту дозволяє враховувати зміну поведінки птахів у різні періоди року та адаптувати механізми реагування відповідно до нових умов. Застосування подібних цифрових рішень створює додаткові можливості для модернізації систем управління аквакультурними господарствами. Інтеграція даних про біологічні ризики до загальної системи моніторингу виробництва сприяє комплексному контролю стану господарства та підвищує якість управлінських рішень. У результаті забезпечується зниження економічних втрат, підвищення стабільності виробництва та формування більш стійкої моделі ведення рибного бізнесу в умовах сучасних екологічних і економічних викликів.

AKVA group є лідером в інтеграції технології HD-модульних камер у поєднанні з провідною системою AKVA observe AI для моніторингу годівлі, щоб забезпечити нове покоління цифрових рішень для рибництва; надаючи рибним фермерам можливості та допомагаючи їм приймати обґрунтовані рішення, важливі для бізнесу у виробництві [17]. Ця перевага поширюється на ланцюжок постачання до постачальника кормів і аж до кінцевого споживача. Наявність точних, інтегрованих даних є основою для підвищення сталості та прибутковості в аквакультурі. Цифровий портфель AKVA group розроблений для забезпечення практичних управлінських висновків, що допомагають у прийнятті рішень завдяки безперебійній інтеграції в діяльність.

AKVA observe: Програмне забезпечення для годування з використанням ШІ: виявлення гранул у реальному часі, аналіз поведінки риб, практичні рекомендації для поліпшення годування. Програмне забезпечення, незалежне від апаратного забезпечення, яке справляє реальний вплив на аквакультуру. Це дозволяє досягти перевірених на практиці результатів у вигляді значного зниження кормового коефіцієнта та потенційного збільшення приросту.

AKVA connect 4: Забезпечення ефективної годівлі та оптимізація роботи ферми. Надання візуалізації даних у реальному часі, індивідуальних графіків годування, інтегрованих з продуктами AKVA та датчиками сторонніх виробників, для отримання оперативної інформації.

AKVA fishtalk: Планування, контроль та аналіз виробництва аквакультури. Забезпечення повної простежуваності від ікри до збору врожаю. Наша нова версія AKVA fishtalk 5 наступного покоління повністю підтримує хмарні технології та має можливість підключення до мобільних додатків.

AKVA submerged: Точна звітність про стан здоров'я, оцінка біомаси та кількості вошей. Використання штучного інтелекту для допомоги виробникам аквакультури у прийнятті більш обґрунтованих рішень щодо даних про здоров'я риб, а також для проактивного управління їхньою діяльністю та вибору оптимальних рішень.

Hendrix Genetics [16] використовує систему A-BIOMASS® від Ace Aquatec для вимірювання маси риби та визначення окремих особин без маніпуляцій з рибою, тобто без використання рук. Це дозволяє відстежувати безперервно процес росту, не покладаючись на ручні вимірювання час від часу, що може викликати стрес у риби та порушувати процес годівлі. Створюючи чіткіше уявлення про те, як росте риба, можна побачити, яка популяція найкраще себе почуває за різних умов, включаючи сезонні зміни. Цю інформацію потім можна використовувати для підбору маточного стада та ікри для конкретних умов вирощування. Виявлено, що для створення точнішої картини циклів росту в межах популяції потрібно більше знімків і зображень кращої якості, а робити це вручну – це стрес для риб. Тому отримані дані також використовуються для вдосконалення стратегій годівлі, що дозволяє виробникам узгоджувати корми з періодами пікового росту, щоб риби отримували харчування, коли вони найбільше потребують цього. Це підвищує ефективність, одночасно зменшуючи відходи, підтримуючи якість води та здоров'я риб. Камера Ace Aquatec надає набагато точніший, індивідуалізований збір даних про зростання риби, не лише біомасу риб у резервуарі, скільки корму заливають, але й для побудови графіків

фактичного зростання риби. Система A-BIOMASS® є цифровим інструментом моніторингу, призначеним для автоматизованого визначення біомаси та оцінки росту риби в умовах аквакультурного виробництва. Її функціонування базується на використанні підводних камер, технологій комп'ютерного зору та алгоритмів обробки зображень, що дає можливість отримувати інформацію про розміри окремих особин без їх вилучення з водного середовища. Завдяки безконтактному способу збору даних система мінімізує вплив на фізіологічний стан риби та забезпечує регулярне отримання об'єктивних показників її розвитку. Отримані дані використовуються для аналізу темпів росту, оцінки однорідності популяції та контролю виробничих параметрів протягом усього циклу вирощування. Важливою перевагою системи є можливість формування детальної інформаційної бази щодо динаміки росту риби, що сприяє підвищенню точності управлінських рішень у сфері аквакультури та підтримує впровадження принципів прецизійної аквакультури. Використання системи A-BIOMASS® також сприяє підвищенню рівня цифровізації аквакультурних господарств шляхом інтеграції процесів збору, обробки та аналізу виробничих даних. Накопичення інформації про біомасу та динаміку росту дозволяє здійснювати довгострокове планування виробництва, прогнозувати строки досягнення товарної маси риби та оцінювати ефективність застосовуваних технологічних рішень.

Систематичне отримання даних створює передумови для більш оперативного реагування на зміни у виробничому середовищі та вдосконалення управління рибницькими процесами. Крім того, використання цифрових інструментів контролю забезпечує вищий рівень достовірності обліку біологічних показників порівняно з періодичними вибірковими вимірюваннями, що особливо важливо для господарств із великими обсягами виробництва. Впровадження таких технологій сприяє підвищенню економічної ефективності діяльності в аквакультурі, раціональному використанню ресурсів та формуванню сучасної системи управління, заснованої на даних, що відповідає принципам цифрової трансформації, сталого розвитку та інноваційної модернізації галузі.

4. Перспективи використання систем штучного інтелекту та цифрових технологій в аквакультурі

Розвиток аквакультури в умовах цифрової трансформації економіки дедалі більше пов'язаний із впровадженням систем штучного інтелекту, технологій аналізу даних, автоматизованого моніторингу та комп'ютерного зору.

Світовий досвід переконливо свідчить, що цифрові рішення поступово стають невід'ємною складовою управління рибогосподарським виробництвом, забезпечуючи підвищення його ефективності, прозорості та екологічної збалансованості. Використання інноваційних технологій дозволяє перейти від традиційних підходів до виробництва до систем, заснованих на безперервному збиранні та аналізі даних у режимі реального часу, постійно.

Перспективним напрямом нині є впровадження інтелектуальних систем моніторингу, які забезпечують контроль параметрів водного середовища, біологічного стану риби та безпосередньо виробничих процесів.

Поєднання сенсорних технологій, автоматизованих систем збору інформації та алгоритмів штучного інтелекту створює умови для своєчасного виявлення ризиків і прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Першочергового значення набуває застосування сучасних технологій комп'ютерного зору для оцінки біомаси, визначення розмірів риби, контролю темпів росту та аналізу поведінкових характеристик об'єктів аквакультури.

Подальший розвиток галузі пов'язаний із використанням прогнозної аналітики для оптимізації виробничих процесів, удосконалення стратегій годівлі та підвищення ефективності використання кормів. На основі накопичених даних виробники отримують можливість прогнозувати виробничі результати, оцінювати вплив технологічних факторів на продуктивність та коригувати виробничі програми відповідно до фактичних потреб господарства. Це сприяє зниженню витрат, раціональному використанню ресурсів та підвищенню конкурентоспроможності продукції аквакультури на ринку риби.

Список рекомендованої літератури

1. European Commission. European approach to artificial intelligence. URL: <https://surl.li/jjstmj>
2. EU rules on general-purpose AI models start to apply, bringing more transparency, safety and accountability. URL: <https://surl.li/uebwoa>
3. Guidelines for providers of general-purpose AI models. URL: <https://surl.li/oiasak>
4. Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act) and amending certain Union legislative acts. Official Journal of the European Union. 2024. L 1689. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj>
5. Bradley D., Merrifield M., Miller K. M., Lomonico S., Wilson J. R., Gleason M. Opportunities to improve fisheries management through innovative technology and advanced data systems. *Fish.* 2019;20:564–583. DOI: <https://doi.org/10.1111/faf.12361>
6. Kühn B., Cayetano A., Fincham J. I., Moustahfid H., Sokolova M., Trifonova N., Watson J. T., Fernandes-Salvador J. A., Uusitalo L. Machine Learning Applications for Fisheries – At Scales from Genomics to Ecosystems, *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*. 2025. 33. P. 334–357. DOI: 10.1080/23308249.2024.2423189
7. Honarmand Ebrahimi, S., Ossewaarde, M., & Need, A. Smart fishery: A systematic review and research agenda for sustainable fisheries in the age of AI. *Sustainability*. 2021. 13 (11), Article 6037. <https://doi.org/10.3390/su13116037>
8. Izah S. C., Ogwu M. C., Iyiola A. O. (Eds.). *Artificial Intelligence in Fisheries: Transformative Potentials and Challenges* (1st ed.). CRC Press. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003506287>
9. Electronic Monitoring. URL: <https://surl.li/izokap>
10. NOAA Center for Artificial Intelligence. URL: <https://www.noaa.gov/ai>
11. Khokher M. R., Little L. R., Tuck G. N., Smith D. V., Qiao M., Devine C., O'Neill H., Pogonoski J. J., Arangio R., Wang D. (2022). Early lessons in deploying cameras and artificial intelligence technology for fisheries catch monitoring: where

machine learning meets commercial fishing. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 79 (8), 1412–1429.

12. Essen E., Turenhout M., van Helmond A.T.M., Bruijnzeel L.W., Batsleer J. Automated discard monitoring in the demersal fisheries using computer vision. Wageningen Marine Research Report. 2021. 54 p. URL: <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/548956>

13. Sokolova M., Cordova M., Nap H., van Helmond A., Mans M., Vroegop A., Mencarelli A., Kootstra G. An integrated end-to-end deep neural network for automated detection of discarded fish species and their weight estimation. *ICES Journal of Marine Science*. 2023. Vol. 80(7). P. 1911–1922. DOI: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad118>

14. French G., Fisher M., Mackiewicz M., Needle C. Convolutional Neural Networks for Counting Fish in Fisheries Surveillance Video. In: *Proceedings of the British Machine Vision Conference Workshops*. 2015. P. 1–12. URL: <https://www.bmva-archive.org.uk/bmvc/2015/mvab/papers/paper007/paper007.pdf>

15. Qiao M., Wang D., Tuck G.N., Little L.R., Smith D.V., O'Neill H., Fuller M. Automated catch event detection for longline fishing using electronic monitoring data. *ICES Journal of Marine Science*. 2021. Vol. 78 (1). P. 25–38. DOI: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsaa180>

16. Проєкт використовує камери на базі ІІІ для покращення відстеження росту риб та стратегій годування. URL: <https://surl.li/itmhiij>

17. Рішення на основі даних для сталої аквакультури. URL: <https://surl.li/uwpazn>

18. Haque S. A., Al Jufaili S. M. Applications of Artificial Intelligence in Fisheries: From Data to Decisions. *Big Data and Cognitive Computing*. 2026. Vol. 10 (1). Article 19. DOI: 10.3390/bdcc10010019.

19. Wing K., Woodward B., Advancing artificial intelligence in fisheries requires novel collaborations. *ICES Journal of Marine Science*. 2024. Vol. 81. Issue 10. P. 1912–1921. DOI: 10.1093/icesjms/fsae126. URL: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsae126>

Наукове видання

Вдовенко Н. М., Усенко І. О.

Застосування технологій штучного інтелекту та систем
електронного моніторингу в управлінні рибальством та
аквакультурою в умовах глобальних економічних викликів

Підписано до друку 03.07.26 Формат 60х84\16
Ум. друк. арк. 2,4 Наклад 50 прим. Зам. № 260401

Видавець і виготовлювач Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 4097 від 17.06.2011