



**Аквакультура 4.0: искусственный  
интеллект, интернет вещей  
и робототехника — прибыльное  
производство морепродуктов.**

**Обзор технологических компаний.**

## Краткое изложение

В период с 2020 по 2025 год мировая индустрия аквакультуры претерпевает значительные изменения, связанные с развитием «Аквакультуры 4.0» [1]. Эта революция обусловлена повсеместным внедрением передовых технологий, включая искусственный интеллект (ИИ), интернет вещей (IoT), компьютерное зрение и робототехнику, как в установках замкнутого водоснабжения (УЗВ), так и на морских фермах. [1] Этот технологический сдвиг знаменует собой переход от традиционных, трудоемких и основанных на интуиции методов ведения сельского хозяйства к высокоэффективным, основанным на данных и устойчивым операциям. [1] Рынок прецизионной аквакультуры готов к стремительному росту: по прогнозам, его объем увеличится с **1,9 млрд долларов США** в 2025 году до **7,5 млрд долларов США** к 2035 году, что соответствует устойчивому 15,0% совокупному годовому темпу роста (CAGR). [2]

Ключевые приложения продемонстрировали ощутимую отдачу, в том числе системы оптимизации кормления на основе ИИ, которые сокращают количество отходов на 30%, мониторинг качества воды в режиме реального времени с помощью датчиков Интернета вещей для предотвращения массовой гибели животных, а также компьютерное зрение для неинвазивной оценки биомассы и раннего выявления заболеваний. [1]

Робототехника автоматизирует трудоемкие задачи, такие как сортировка и сбор урожая, повышая производительность и снижая затраты. [1] Коммерческое внедрение в ведущих странах, таких как Норвегия, Индонезия и Япония, показывает, что эти технологии повышают производительность, улучшают коэффициент конверсии корма (FCR), снижают эксплуатационные расходы и способствуют экологической устойчивости, прокладывая путь к более стабильным и прибыльным глобальным поставкам морепродуктов. [1] [3]

# Ключевые стратегические Идеи

- **Оптимизация подачи корма с помощью ИИ обеспечивает немедленную окупаемость:** поскольку на корм приходится до 70% операционных расходов, интеллектуальные кормушки на базе ИИ являются наиболее эффективным решением для внедрения технологий. [3] Такие компании, как eFishery и Umitron, продемонстрировали снижение затрат на корм на 10–30%, при этом срок окупаемости часто составляет менее 12 месяцев. [4] [5]
- **Компьютерное зрение превосходит ручной отбор проб:** автоматизированная оценка биомассы с помощью стереоскопических камер таких производителей, как Innovasea и OptoScale, теперь обеспечивает точность 97–99,7%, превосходя традиционные ручные методы. [6] [7] Такая точность позволяет оптимизировать сроки сбора урожая, лучше выполнять условия контрактов и значительно экономить трудозатраты.
- **Соблюдение нормативных требований способствует внедрению технологий:** строгие требования правительства, такие как установленные в Норвегии пороговые значения для морских вшей и политика электронного мониторинга в США, вынуждают операторов инвестировать в автоматизированный мониторинг. [8] Фермы, использующие автоматизированные системы, успешно сократили частоту дорогостоящих обработок от вшей вдвое. [9]
- **Затраты на электроэнергию могут свести на нет экономическую эффективность замкнутых систем:** замкнутые системы аквакультуры (УЗВ) гораздо более энергозатратны (6–10 кВт·ч/кг), чем морские системы (0,2–0,35 кВт·ч/кг). [10] [11] Однако исследования рентабельности инвестиций показывают, что интегрированные системы управления на основе искусственного интеллекта могут сократить потребление энергии более чем на 80 %, что делает энергоэффективность критически важным фактором для

жизнеспособности УВЗ. [12]

- **Технология как услуга (TaaS) снижает входные барьеры:** высокие капитальные затраты являются основным препятствием для внедрения, на что указывают 40% потенциальных пользователей RAS в Китае. [13] Модели подписки и лизинга, впервые предложенные такими компаниями, как eFishery, превращают капитальные затраты в операционные, делая передовые технологии доступными для мелких фермеров, но при этом создавая новые риски в сфере финансового управления.
- **От реактивного лечения к проактивной профилактике:** набор технологий позволяет кардинально изменить подход к управлению здравоохранением. Поведенческий анализ на основе ИИ и прогностические модели позволяют заблаговременно выявлять заболевания, при этом некоторые системы в ходе испытаний снизили смертность на 40%. [9] Это дополняется новыми биотехнологическими решениями, такими как пероральные препараты на основе РНК от ViAqua, которые предотвращают вспышки вирусных заболеваний ещё до их начала.

## **1. Рыночные возможности и траектория роста — рынок прецизионной аквакультуры вырастет с 1,9 млрд долларов США (2025 г.) до 7,5 млрд долларов США (2035 г.)**

Мировой рынок прецизионной аквакультуры стремительно развивается. По прогнозам, его объем вырастет с 1,9 млрд долларов США в 2025 году до 7,5 млрд долларов США к 2035 году. [2] [2] Этот рост означает высокие среднегодовые темпы роста (CAGR) в размере 15,0% в течение десятилетия, что свидетельствует о масштабном инвестиционном цикле в сфере автоматизированных технологий ведения сельского хозяйства, основанных на данных. [2]

Этот рост обусловлен несколькими ключевыми технологическими сегментами, которые обеспечивают ощутимое повышение эффективности, экологичности и прибыльности. [3] К этим сегментам относятся:

- **Платформы для подачи корма на основе ИИ:** этот сегмент, включающий интеллектуальные системы подачи корма и алгоритмы оптимизации подачи, уже представляет собой значительный рынок, объем которого в 2024 году достигнет \$1,24 млрд [14]
- **Системы мониторинга качества воды с поддержкой ИИ:** сети датчиков, работающих в режиме реального времени, и платформы предиктивной аналитики становятся незаменимыми инструментами для управления рисками. [2]
- **Системы компьютерного зрения:** эти системы, используемые для неинвазивной оценки биомассы и мониторинга состояния здоровья, заменяют ручные, трудоёмкие и неточные методы отбора проб. [2]

- **Автоматизированная сортировка и сбор урожая с помощью роботов:** роботы повышают производительность и сокращают трудозатраты при обработке и выращивании. [2]
- **Интегрированные платформы для анализа данных (DSS):** эти платформы выступают в роли центральной нервной системы для современных ферм, объединяя данные из различных источников для обеспечения комплексной операционной аналитики. [2]

## **2. Экономика высокоеффективных сценариев использования**

### **2.1 Алгоритмы кормления сокращают расходы на 10–30%. Сравнение поставщиков позволяет оценить рентабельность инвестиций в зависимости от вида**

Корм — это самая крупная статья расходов в аквакультуре, на которую часто приходится до 70% затрат. [3] Поэтому системы кормления на основе искусственного интеллекта, которые оптимизируют подачу корма в зависимости от аппетита и поведения рыб в реальном времени, являются наиболее прямым путем к значительной окупаемости инвестиций. [3] Эти системы используют комбинацию датчиков Интернета вещей, подводных камер и алгоритмов машинного обучения для подачи точного количества корма, что позволяет сократить количество отходов, снизить затраты и уменьшить загрязнение воды. [3]

| Поставщик /Система  | Используемая технология   | Целевые виды                                   | Количественная оценка влияния на FCR и отходы   | Другие ключевые преимущества  |
|---------------------|---|--|---|---|
| <b>Рыбная ловля</b> | «eFeeder» на базе искусственного интеллекта, датчики Интернета вещей, помощник на базе генеративного искусственного интеллекта («Mas Ahya») | Креветки, тилапия, сом                         | Повышает эффективность кормления до 30 %; сокращает количество отходов до 21 % и затраты до 20 %. [3]   | Увеличивает производственные мощности до 26 % и доходы фермеров до 45 %. Сокращает время выращивания тилапии на ~2 недели.  |
| <b>Умитрон</b>      | Умная кормушка Umitron CELL с подводными камерами и моделью машинного обучения Fish Appetite Index (FAI).                                   | Красноморский лещ, желтохвост, тунец, креветки | В ходе испытаний на лещевидных линиях показатель FCR снизился с 2,01 до 1,86. Это позволяет сократить расходы на корм на 10–20 % и его потребление на 20 %. [5] | У некоторых видов сокращает период роста до 4 месяцев; позволяет управлять процессом дистанционно, сокращая трудозатраты и расходы на топливо. [5]  |
| <b>Системы АО1</b>  | Акустическая система подачи корма с пассивными гидрофонами для улавливания звуков, издаваемых креветками при кормлении.                     | Креветки                                       | В рецензируемом исследовании показатель FCR составил 0,99; компания утверждает, что можно добиться снижения FCR на 20%.   | В сравнительном исследовании был получен более высокий конечный вес креветок (29,65 г против ~25 г), более быстрый рост (2,28 г/нед против ~1,9 г/нед) и самый высокий показатель выживаемости (77%). |

|                    |   |                 |   |  |
|--------------------|---|-----------------|---|--|
| <b>ReelData.ai</b> | Система ReelAppete на основе искусственного интеллекта для рециркуляционных систем аквакультуры (RAS). [15]               | Лосось, Кингфиш | Было продемонстрировано снижение FCR на 3–5% в коммерческих хозяйствах RAS. | Обеспечивает увеличение удельной скорости роста (SGR) на 10–25% и уменьшает вариации размеров при сборе урожая.                |
| <b>Акваэсист</b>   | «iFeeder» с интеллектуальными датчиками, анализом данных с помощью искусственного интеллекта и акустическим мониторингом  | Креветки        | Клиенты сообщают об улучшении FCR до 30%.                                   | Повышает урожайность и рентабельность фермерских хозяйств в Индонезии, Вьетнаме и Сингапуре.                                   |
| <b>UPM I-AQUAS</b> | Экономичная интеллектуальная кормушка с функцией компьютерного зрения для подачи биомассы и Интернетом вещей для контроля | Тилапия         | Сокращение отходов корма на 20% приводит к прямой экономии средств.         | Время ручной подкормки сократилось на 70%, что позволило фермерам экономить как минимум шесть часов рабочего времени в неделю. |

|                          |  |        |  |   |
|--------------------------|--|--------|--|---|
| <b>Блюгроув/КейджиАй</b> | Система «Эхокормления» использует сонар для мониторинга всей биомассы рыб и их коллективного аппетита. | Лосось | Позволяет фермерам безопасно увеличивать объёмы кормов, сохраняя при этом хороший коэффициент конверсии корма. | Это приводит к ускорению темпов роста, поскольку фермеры могут с уверенностью увеличивать объёмы кормов, не рискуя получить чрезмерное количество отходов. [16] |
|--------------------------|--|--------|--|---|

**Ключевой вывод:** кормушки с искусственным интеллектом позволяют значительно сократить расходы на корм и количество отходов при выращивании различных видов животных и в различных системах. Эта технология прошла путь от экспериментальной до коммерчески проверенной, с высокой рентабельностью инвестиций, особенно для мелких фермеров, где такие компании, как eFishery, внедряют ее в больших масштабах.

## **2.2 Мониторинг качества воды с помощью IoT предотвращает массовую гибель рыбы и повышает урожайность на 12–16 %**

Мониторинг качества воды в режиме реального времени — краеугольный камень точной аквакультуры, позволяющий принимать упреждающие меры и предотвращать массовую гибель, которая может привести к потере всего урожая. [17] Эти системы IoT используют сеть датчиков для непрерывного отслеживания критических параметров, а алгоритмы искусственного интеллекта обеспечивают раннее оповещение и запускают автоматические реакции. [18] [17] По оценкам специалистов, эти системы могут повысить урожайность на 12–16% и сократить эксплуатационные расходы на 20%. [19]

| Приложение / Система  | Контролируемые Параметры  | Технологический стек  | Количественное воздействие  |
|---|---|---|---|
| <b>Общий Мониторинг IoT</b>                                 | DO, pH, температура, аммиак, нитриты, нитраты, солёность, мутность, ОВП, H2S. [19] [17] | Датчики Интернета вещей (LoRaWAN, NB-IoT, 4G/5G), облачные платформы, модели машинного обучения (LSTM, RF, SVM).      | Повышает урожайность на 12–16% и снижает эксплуатационные расходы до 20%. [19]  |
| <b>Институт пресноводных ресурсов ОСУЩЕСТВЛЯЕТ Контроль</b> | Растворённый кислород (PK). [19] [17]   | ПЛК с алгоритмом управления PI, монитор YSI 5200A DO.   | Достигнуто снижение суточного потребления кислорода примерно на 20–60%, что позволило значительно сократить энергопотребление и эксплуатационные расходы. |
| <b>Завод по разведению креветок в Даляне (Китай)</b>        | Аммиак (NH3-N), нитрит (NO2). [19]  | Оптимизированная модель общей регрессионной нейронной сети (GRNN).  | Прогностические оповещения предотвращают хроническое отравление. Модель показала значение MAPE 28,95% для аммиака и 29,65% для нитритов.                  |
| <b>Люцзянская АН (Китай)</b>                                | DO, pH, аммиачный азот, температура воды. [19]  | «Технологические резервуары с ИИ» со встроенными датчиками Интернета вещей и платформой оповещений на основе ИИ. [17] | Поддерживает уровень ежедневной смертности менее 0,01% и уровень дефектов ниже 1%. [19]   |

|                          |                                     |   |   |
|--------------------------|-------------------------------------|---|---|
| <b>Фишвэлл (Вьетнам)</b> | Общие параметры качества воды. [19] | Датчики Интернета вещей, облачная платформа, искусственный интеллект для обнаружения и прогнозирования аномалий. [18] | Предотвращает катастрофические потери из-за внезапных изменений качества воды, обеспечивая урожайность и рентабельность фермерских хозяйств. [17] |
|--------------------------|-------------------------------------|---|---|

**Ключевой вывод:** кормушки с искусственным интеллектом позволяют значительно сократить расходы на корм и количество отходов при выращивании различных видов животных и в различных системах. Эта технология прошла путь от экспериментальной до коммерчески проверенной, с высокой рентабельностью инвестиций, особенно для мелких фермеров, где такие компании, как eFishery, внедряют ее в больших масштабах.

## **2.3 Здоровье и болезни: зрение, лазеры и лечение с помощью РНК на 50% эффективнее**

Искусственный интеллект и биотехнологии совершают революцию в сфере охраны здоровья рыб, смещая парадигму от реактивного лечения к проактивной профилактике. Системы компьютерного зрения автоматизируют обнаружение и подсчёт паразитов, таких как морские вши, а новые биотехнологические платформы предлагают пероральные вакцины для предотвращения вспышек вирусных заболеваний. [9] [20]

| Пример использования   | Технология  | Показатель производительности  | Ключевые поставщики / Группы                          |
|--|---|--|---|
| <b>Автоматический подсчёт и прогнозирование численности морских вшей</b> | Компьютерное зрение с камерами высокого разрешения и алгоритмами машинного обучения. [97]   | Обеспечивает ежедневное точное подсчитывание вшей и прогноз на 1–2 недели. Одобрено Норвежским управлением по безопасности пищевых продуктов (NFSA) для замены ручного подсчета. [9] | Aquabyte, OptoScale, Fishency Innovation, ScaleAQ [9] |
| <b>Автоматизированная немедицинская обработка от морских вшей</b>        | Автономная система, использующая машинное зрение для обнаружения вшей и высокоточный лазер для их уничтожения. [9]  | Фермам в среднем требуется в два раза меньше обычных обработок от вшей. Сокращение количества обработок может окупить вложения в систему. [9]  | Морские решения Stingray                              |
| <b>Профилактика заболеваний на основе РНК</b>                            | Пероральное введение двухцепочечной РНК (дЦРНК) с кормом для подавления генов, поражённых вирусом синдрома белых пятен (WSSV) у креветок.                             | Контрольные испытания показали значительное повышение выживаемости креветок при заражении вирусом белого пятна.  | ViAqua Therapeutics (в партнёрстве со Skretting)      |
| <b>Фенотипирование и сортировка с помощью ИИ</b>                         | Передовые технологии визуализации, глубокое обучение и бережная робототехника для сканирования, анализа и сортировки до 10 000 мальков в час. [21] (WSSV) у креветок. | Достигает почти 100% точности при сортировке по полу и может удалить заданный процент наименее продуктивных рыб. [22]  | Акватикод   |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| <b>Прогностическое моделирование восприимчивости к WSSV</b>   | <p>Мультимодальный подход, сочетающий компьютерное зрение (поведение) и данные датчиков Интернета вещей (качество воды) с моделью случайного леса. [20]</p>        | <p>Академические исследования продемонстрировали 94,7% точность в прогнозировании восприимчивости к вирусу Западного Нила.</p>   | <p>Академические исследования; коммерческие платформы, такие как JALA, eFishery, Umitron, разрабатывают аналогичные решения. [9]</p> |
| <b>Раннее предупреждение с помощью Поведенческого Анализа</b> | <p>Алгоритмы компьютерного зрения и искусственного интеллекта анализируют манеру плавания рыб на предмет аномалий, указывающих на стресс или болезнь. Ссылка20</p> | <p>Было показано, что системы поддержки принятия решений с использованием искусственного интеллекта (DSS) снижают смертность, связанную с заболеваниями, до 40% за счет раннего выявления. Ссылка9</p> | <p>Фишвэлл, Blue Harvest, Корея</p>  |
| <b>Классификация заболеваний с помощью глубокого обучения</b> | <p>Модели CNN и YOLO обучены распознавать визуальные симптомы таких заболеваний, как стрептококкоз, на изображениях.</p>   | <p>Академические исследования показывают высокую точность (до 99,71 %), но коммерческая жизнеспособность ограничена нехваткой больших аннотированных общедоступных наборов данных.</p>                 | <p>В первую очередь, академические и исследовательские учреждения.</p>   |

**Ключевой вывод:** наиболее зрелые решения в области здравоохранения направлены на борьбу с морскими вшами у лосося, где инновации обусловлены давлением со стороны регулирующих органов. Однако новые решения для креветок (WSSV) и других видов рыб (поведенческий анализ) демонстрируют потенциал в борьбе с более широким спектром проблем, связанных со здоровьем.

## 2.4 Прогнозирование биомассы и роста с точностью более 95%

Точная, неинвазивная оценка биомассы является важнейшим фактором прецизионной аквакультуры, позволяя фермерам оптимизировать сроки сбора урожая, заключать контракты на продажу и уверенно управлять запасами. Системы стереоскопических камер на базе искусственного интеллекта теперь превзошли точность традиционной ручной выборки, требующей больших усилий. Ссылка7 Ссылка23

| Поставщик / Система           | Технология   | Показатель производительности  | Ценность для бизнеса  |
|-------------------------------|--|--|---|
| <b>Инновационная биомасса</b> | Система стереоскопических камер с искусственным интеллектом. [23]                                      | Точность 97% для новозеландского Королевского лосося, 99,7% для креативного лосося. [6] [7]  | Обеспечивает точное время сбора урожая, точный подсчет запасов для продажи и избавляет от необходимости брать пробы вручную. [23]                 |
| <b>Опторазмерный биоскоп</b>  | Мониторинг в режиме реального времени с помощью лазера, стереокамеры и искусственного интеллекта. [24] | Отклонение от конечного веса при обработке SalMar составляет всего от 0,4 % до 0,46 %.   | Обеспечивает точную основу для мониторинга роста и планирования сбора урожая с помощью ИИ-инструмента Bioplan. [6] [24]                           |
| <b>ВЕС В аквабайте</b>        | ML-модели анализируют видео с интеллектуальных камер в загонах.  | Обеспечивает «высокую точность» 1–2 недели прогнозирования развития вшей. [25] Коммерчески используется 20 фермерами с 700+ системами. | Предоставляет прогнозы роста на 2 недели для стратегического планирования сбора урожая и раннего выявления проблем с благополучием животных. [25] |

|                                 |  |  |  |
|---------------------------------|--|--|--|
| <b>Скраптинг AquaSim / 360+</b> | Усовершенствованные модели прогнозирования, интегрированные в платформу для обработки данных о креветках в режиме реального времени. | Ценность заключается в возможностях прогнозирования и предписания.   | Позволяет составлять индивидуальные прогнозы по кормлению и сбору урожая для отдельных прудов, повышая коэффициент конверсии корма и предвосхищая ценовые тенденции. |
| <b>SoftBank и Aizip System</b>  | Приложение машинного обучения на устройстве, использующее алгоритм тепловых карт, обученный на 3D-симуляциях компьютерной графики.   | Достигает 95% точности при подсчёте рыбы в режиме реального времени, даже если рыба находится в нескольких местах одновременно.        | Обеспечивает точную оптимизацию подачи и управление запасами за счёт точного подсчёта в режиме реального времени на периферийных устройствах.                        |
| <b>ВЕС В аквабайте</b>          | ML-модели анализируют видео с интеллектуальных камер в загонах.  | Обеспечивает «высокую точность» 1–2 недели прогнозирования развития вшей. [25] Коммерчески используется 20 фермерами с 700+ системами. | Предоставляет прогнозы роста на 2 недели для стратегического планирования сбора урожая и раннего выявления проблем с благополучием животных. [25]                    |
| <b>Скраптинг AquaSim / 360+</b> | Усовершенствованные модели прогнозирования, интегрированные в платформу для обработки данных о креветках в режиме реального времени. | Ценность заключается в возможностях прогнозирования и предписания.   | Позволяет составлять индивидуальные прогнозы по кормлению и сбору урожая для отдельных прудов, повышая коэффициент конверсии корма и предвосхищая ценовые тенденции. |

|                                    |  |   |   |
|------------------------------------|--|---|---|
| <b>SoftBank и Aizip System</b>     | Приложение машинного обучения на устройстве, использующее алгоритм тепловых карт, обученный на 3D-симуляциях компьютерной графики. | Достигает 95% точности при подсчёте рыбы в режиме реального времени, даже если рыба находится в нескольких местах одновременно. | Обеспечивает точную оптимизацию подачи и управление запасами за счёт точного подсчёта в режиме реального времени на периферийных устройствах. |
| <b>Minnowtech BRS-1</b>            | Оценка биомассы креветок с помощью Sonar-AI.   | Ключевая особенность — предоставление точных данных в мутной воде, где визуальные системы не справляются.                       | Предоставляет важные данные о биомассе в сложных условиях для повышения эффективности кормления и оптимизации сбора урожая.                   |
| <b>Повторные данные ReelWeight</b> | Камера для съёмки биомассы с поддержкой искусственного интеллекта и функцией «распознавания отдельных рыб».                        | По предварительным оценкам, это позволит увеличить биомассу на 1–1,5% в месяц за счёт отказа от стрессового ручного труда.      | Цель — повысить продуктивность и ускорить рост за счёт снижения стресса у рыб, вызванного ручными проверками.                                 |

**Ключевой вывод:** оценка биомассы с помощью камер — это проверенная технология, обеспечивающая точность, достаточную для финансового планирования и выполнения контрактов. Появляются системы на основе гидролокаторов, которые решают проблему мониторинга в мутной воде, особенно при выращивании креветок.

## 2.5 Робототехника: от сортировки смолта до сортировки 40 т/ч

Робототехника и автоматизация перемещаются с производственных площадок в цеха аквакультуры и инкубаторы, где выполняются такие трудоемкие задачи, как сортировка, классификация и послеуборочная обработка. Эти системы значительно повышают производительность, точность и эффективность труда.

| Поставщик / Система                   | Основная задача   | Пропускная способность                            | Точность   | Влияние на операционную деятельность  |
|---------------------------------------|---|---|--|---|
| <b>Aquaticode SORTpro</b>             | Фенотипирование и сортировка молоди лосося с помощью искусственного интеллекта по полу, степени зрелости и состоянию здоровья. [21] | До 10 000 мальков лосося в час. [21]              | >97% для классификации по полу, что является значительным улучшением по сравнению с ручными методами. [22] | Повышает рентабельность на 15–20% только за счёт сортировки по полу; сокращает производственные циклы и трудозатраты. [22]                          |
| <b>Интеллектуальные грейдеры VAKI</b> | Высокоточная сортировка рыбы (в первую очередь лосося) по размеру. [26]   | До 40 000 кг/ч (модель Exel).                     | Высокоточная сортировка с помощью электроприводов исключает человеческий фактор. [22]                      | Повышает однородность популяции; интегрированные системы позволяют одному оператору управлять всем процессом. [21]                                  |
| <b>Сортировщик лосося MARELEC</b>     | Сортировка лосося по размеру. [27]  | До 90 штук в минуту для рыбы весом до 15 кг. [27] | Предназначено для быстрой и точной сортировки.   | Позволяет использовать высокоскоростные автоматизированные линии обработки, повышая эффективность производства и сокращая объем ручного труда. [27] |

|                                  |   |                      |   |   |
|----------------------------------|---|----------------------|---|---|
| <b>Грейдер Optimar Vision</b>    | Сортировка рыбы по видам и размеру с помощью компьютерного зрения. [21]   | 3600 рыб в час. [21] | Не уточняется.                                      | Автоматизирует сортировку, повышая точность и единобразие, а также сокращая трудозатраты. [21]                    |
| <b>Ферма по разведению угрей</b> | Автоматизированная послепромысловая разделка и снятие кожи с угрей.   | Не уточняется.       | Соответствует стандартам качества.                  | Решает проблему нехватки персонала за счёт автоматизации трудоёмких задач, поддерживая уровень производства. [22] |
| <b>XpertSea</b>                  | Подсчёт и сортировка организмов на ранних стадиях развития, таких как креветки, с помощью искусственного интеллекта. [21] | Не уточняется.       | Обеспечивает быструю и точную передачу данных. [21] | Предоставляет критически важные данные для контроля роста и здоровья на этапах инкубации и выращивания. [21]      |

**Ключевой вывод:** роботизированная автоматизация наиболее эффективна на участках производственного цикла с высокой пропускной способностью, таких как сортировка смолта и оценка урожая. Окупаемость инвестиций достигается за счет увеличения производительности, повышения точности и прямой экономии трудозатрат.

### 3. Технологические платформы и база данных

#### 3.1 Аналитические пакеты и цифровые двойники окупаются за 3–5 лет

Интегрированные аналитические платформы и цифровые двойники становятся центральной нервной системой современной аквакультурной фермы. Эти системы создают виртуальные копии физических процессов, обеспечивая мониторинг в реальном времени, предиктивное прогнозирование и предписывающую оптимизацию. [28] [29] Интегрируя данные с датчиков, камер и программного обеспечения для управления фермой, они обеспечивают целостное представление, которое помогает принимать стратегические решения. [28] [29] Согласно общим отраслевым прогнозам, срок окупаемости этих платформ может составить от 3 до 5 лет, а потенциальные преимущества включают 15–30% сокращения отходов и 10% повышения производительности. [28]

| Поставщик / Система | Основные характеристики  | Возможности интеграции   | Количественные результаты  | Модель развертывания   |
|---------------------|--|--|--|--|
| <b>Инновация</b>    | BiomassPro на базе искусственного интеллекта для оценки размера/веса, прогнозирования роста и планирования производства в рамках более широкой системы поддержки принятия решений. [7] [6] | Беспроводные камеры с питанием от аккумулятора интегрируются с датчиками окружающей среды и кормушками для комплексного наблюдения. [28] | 97–99,7% точность определения биомассы. [7] [6] Конструкция РВС позволила сэкономить «миллионы на энергозатратах». | Гибридный вариант: локальное оборудование (камеры), подключенное к облачной платформе для аналитики и отчетности. [28] |

|                                     |   |   |  |  |
|-------------------------------------|---|---|--|--|
| <b>Общие Цифровые Близнецы</b>      | Виртуальные копии для моделирования и оптимизации; описательные (мониторинг), прогностические (прогнозирование) и предписывающие (рекомендации) двойники. [29] [28]   | Интегрирует данные с датчиков, исполнительных механизмов и камер IoT с помощью таких протоколов, как MQTT и OPC UA; собирает данные в облачных хранилищах (Azure, AWS). [28]              | 3–5 лет срок окупаемости; 15–30% сокращение потерь ресурсов; 10% повышение урожайности. DSS может моделировать рентабельность инвестиций. [28]   | Гибридная архитектура (периферийная, туманная, облачная); доступна в виде SaaS или локальной системы. [28]   |
| <b>Аквабайт</b>                     | Комплексная ИИ-платформа для лосося/форели: ВЕС (биомасса), ВРЕДИТЕЛИ (подсчет), БЛАГОПОЛУЧИЕ (здоровье), ПОВЕДЕНИЕ и КОРМЛЕНИЕ. [28]   | Умные камеры в загонах («Хаммерхед»); доступ к API для интеграции с программным обеспечением для управления фермой и системами отчетности.  | Заявленная рентабельность инвестиций: сокращение количества обработок от вшей окупает вложения в систему. Камера делает >1,3 млн снимков в день. | Гибридное решение: защищённые камеры на объекте с облачным механизмом обработки данных на основе искусственного интеллекта и пользовательскими панелями управления. [28] |
| <b>OptoScale / Optimeering Aqua</b> | Система «Биоскоп» для получения данных о весе, состоянии здоровья и наличии вшей в режиме реального времени; инструмент искусственного интеллекта «Биоплан» для рекомендаций по выращиванию и сбору урожая (DSS). | Система «подключи и работай» для клеток; использует периферийные вычисления для локальной обработки данных. Приобретение Optimeering Aqua расширяет возможности программного обеспечения. | Ежедневно выполняет 40 000 измерений. Отклонение от конечного веса обработки в испытаниях SalMar составляет всего 0,4–0,46%.                     | Гибридная периферийная/облачная модель: локальная обработка на устройстве, обобщённая аналитика на облачной платформе.   |
| <b>Умитрон</b>                      | «Umitron Eagle» (аналитика по креветкам), «Umitron Pulse» (спутниковые данные о море), поддержка интеллектуальной кормушки «Umitron CELL».  | Платформы работают с оборудованием Umitron (кормушки, камеры); Pulse интегрирует данные от JAXA. [28]   | 10–20% снижение затрат на корм и 20% сокращение выбросов углекислого газа при выращивании дорады в Красном море.                                 | Облачная аналитическая платформа, объединяющая данные с локального оборудования и внешних источников (спутников). [28]   |

**Ключевой вывод:** несмотря на то, что полностью предписывающие цифровые двойники ещё только появляются, описательные и прогностические платформы уже приносят пользу. Самые успешные платформы сочетают в себе собственное оборудование (камеры, датчики) с мощной облачной аналитикой и предлагают чёткие, поддающиеся количественной оценке показатели рентабельности инвестиций.

### **3.2 Открытые стандарты (NGSI-LD, SensorThings). Отказ от привязки к поставщику**

Чтобы бороться с разрозненностью данных и риском привязки поставщиков к проприетарным системам, отрасль все больше переходит к открытым стандартизованным архитектурам данных. Платформа FIWARE Framework со спецификацией NGSI-LD становится ключевой эталонной архитектурой для создания общей контекстно-зависимой модели данных. [30] Это позволяет привести данные из различных источников, таких как датчики, камеры и программное обеспечение фермы, к единому формату, как показано в проекте iFishIENCi EC. [30]

В Норвегии отраслевая платформа AquaCloud собирает, анонимизирует и стандартизирует данные с нескольких ферм с помощью API, создавая совместную экосистему для сравнительного анализа и расширенной аналитики, при этом гарантируя фермерам суверенитет данных. [31] Такой подход соответствует более широкой концепции «Пространства сельскохозяйственных данных», которая направлена на создание нейтральной, открытой среды для обмена данными и внедрения инноваций. [31]

### **3.3 Архитектура Edge + LPWAN обеспечивает подключение удалённых ручек к сети**

Аквакультурные фермы часто располагаются в отдалённых районах, где интернет-соединение плохое или отсутствует вовсе. В связи с этим внедряется гибридная архитектура данных, сочетающая периферийные вычисления с глобальными сетями с низким энергопотреблением (LPWAN).

Чтобы справиться с задержками и перебоями в подключении, наблюдается явная тенденция к использованию периферийных вычислений, при которых данные обрабатываются локально на таких устройствах, как интеллектуальные камеры или локальные шлюзы. [32] Это позволяет принимать решения в режиме реального времени (например, регулировать подачу) и осуществлять контроль без необходимости постоянного подключения к облаку. Кроме того, это сокращает объем необработанных данных, которые необходимо передавать, что экономит пропускную способность и средства. [32] Для передачи важных данных с датчиков на большие расстояния с минимальным энергопотреблением широко используются технологии LPWAN, такие как LoRaWAN и NB-IoT. [32] Такая архитектура обеспечивает непрерывность критически важных функций мониторинга и управления даже в самых сложных условиях.

## **4. Региональное внедрение и факторы, определяющие политику: анализ по странам**

Темпы и направления внедрения технологий в аквакультуре существенно различаются в зависимости от страны и определяются уникальными политическими факторами, экономическим давлением и структурой местной отрасли. Национальные правительства играют ключевую роль, используя сочетание амбициозных производственных целей, прямого финансирования и строгих правил для ускорения перехода к «Аквакультуре 4.0».

| Страна            | Движущие силы и финансирование политики  | Виды и системный подход  | Ключевые решения и поставщики   | Количественные результаты и цели  | Уникальные барьеры для усыновления   |
|-------------------|--|--|---|---|--|
| <b>Китай</b>      | 14-й пятилетний план (69 млн тонн к 2025 году); стратегия «Голубое зернохранилище» (200 морских ферм); инвестиции провинций на сумму более 20 млрд юаней; субсидии на проекты в размере более 50%. [33] [34] | Крупномасштабные морские «умные» фермы и наземные рыбоводные хозяйства. Карп, тилapia, креветки, аллигаторовая щука, австралийский серебряный окунь. [33] [34] | Ранчero (Haodangjia), RAS (Huixin Digital). Поставщики: Huawei, Alibaba Cloud (инфраструктура); AKVA, InnovaSea (RAS).                                      | Цель: 69 млн тонн к 2025 году. [33] Достигнуто: ~30% увеличение урожайности на «умных» фермах; <0,01% ежедневная смертность на передовых автоматизированных фермах.                     | Высокие капитальные затраты для РАН (40% называют это препятствием); техническая сложность (50% пользователей); проблемы с качеством данных; нехватка специалистов в междисциплинарных областях. |
| <b>Норвегия</b>   | Строгие требования к количеству морских вшей (0,2–0,5 взрослых самок на рыбу); «Havbruks-meldingen» настаивает на цифровом соответствии требованиям; одобрение NFSA на автоматизированный подсчёт.           | В основном это атлантический лосось, выращиваемый в морских садках и на суше в установках замкнутого водоснабжения.  | Поставщики: Aquabyte, OptoScale, Stingray, Bluegrove/CageEye, AKVA, ScaleAQ. Развёрнуто в SalMar, Grieg Seafood, Sinki-bergHansen.                          | 50% сокращение времени обработки от вшей с помощью лазера. [9] Отклонение в точности измерения биомассы составляет всего 0,4%.  | Высокие затраты на внедрение; нехватка технических специалистов; ненадёжное подключение в отдалённых районах; сложная интеграция с устаревшим программным обеспечением.                          |
| <b>Нидерланды</b> | Закон ЕС о здоровье животных и Рамочная директива ЕС по водным ресурсам; национальное законодательство Omgevingswet. Финансирование за счёт проектов VC и ЕС (ASTRAL, FDF).                                  | Высокотехнологичная наземная система рыбоводства. Ценные виды: желтохвостый королевский сом, угорь, африканский сом, тилapia.                                  | Компания Kingfish (тестирует камеры ReelData с искусственным интеллектом). Поставщики: HESY Aquaculture, Aquaculture ID, Landing Aquaculture, Abel Sensors. | 45% сокращение потребления электроэнергии на одной из ферм по выращиванию угрей. Испытания камер с искусственным интеллектом направлены на повышение производительности и темпов роста. | Сложные нормативные акты ЕС / страны; требования GDPR к конфиденциальности данных при использовании камер; потребность в высококвалифицированных сотрудниках УВЗ.                                |

|                 |   |  |   |  |   |
|-----------------|---|--|---|--|---|
| <b>США</b>      | <p>Политика NOAA в области электронного мониторинга (EM) предусматривает использование камер / датчиков. Правила EPA и FDA.</p> <p>Финансирование через займы Министерства сельского хозяйства США и гранты NOAA.</p>         | <p>Морские фермы и наземные установки замкнутого водоснабжения.</p> <p>Атлантический лосось, желтохвост (канпачи), креветки, устрицы.</p>              | <p>Blue Ocean Mariculture (Гавайи), Atlantic Sapphire (Флорида), Superior Fresh (Висконсин).</p> <p>Поставщики: Innovasea, Aquabyte, ReelData AI, Minnowtech.</p> | <p>&gt;95% точность для BiomassPro.</p> <p>Сертификация ASC для Blue Ocean.</p> <p>Исследования показывают потенциал для 15,5% улучшения коэффициента конверсии корма в УЗВ.</p>   | <p>Сложные процессы получения разрешений на государственном/ местном уровне (например, в штате Мэн был приостановлен проект по строительству опреснительной установки стоимостью 250 млн долларов). Высокие капитальные затраты на строительство опреснительных установок (для рентабельности требуется более 5000 тонн в год).</p> |
| <b>Сингапур</b> | <p>Цель в области продовольственной безопасности «30 на 30». Финансирование: 60 млн долларов из фонда АСТ, 30 млн долларов в рамках гранта «30x30 Express».</p> <p>Исследования и разработки в MAC и AquaPolis. [35] [36]</p> | <p>Высокоинтенсивные системы замкнутого водоснабжения и аквакультуры (ЗВЗ). Азиатский морской окунь, баррамунди, красный луциан, креветки, форель.</p> | <p>Фермы: Apollo, SAT, TFF, Blue Aqua. Поставщики: UMITRON, AquaEasy (Bosch).</p>   | <p>Цель: 30% удовлетворение местных потребностей в продуктах питания к 2030 году.</p> <p>В 2023 году местное производство морепродуктов составляло 7%.</p> <p>Объявлен тендер на долгосрочную аренду морских территорий.</p> | <p>Чрезвычайно высокие капитальные затраты и энергопотребление. Дефицит и дороговизна земельных/морских участков. Повышение налога на выбросы углерода приведёт к росту цен на электроэнергию.</p>  |

|                    |  |   |  |  |  |
|--------------------|--|---|--|--|--|
| <b>Япония</b>      | Инициатива «Умное рыболовство» (MAFF); Программа содействия стратегическим инновациям (SIP).   | Традиционные морские садки и современные наземные установки замкнутого водоснабжения. Желтохвост, тунец, красный морской лещ, морские гребешки. | Поставщики: Umitron (фидеры с искусственным интеллектом), Soft-Bank/Aizip (подсчет с помощью периферийного ИИ), NTT, KDDI, Yanmar. Развернуто совместно с Kura Sushi, Akasaka Fisheries.     | Umitron: 10–20% снижение затрат на корм, коэффициент конверсии корма улучшился с 2,01 до 1,86. SoftBank/Aizip: 95% точность подсчёта на смартфонах.  | Серьезный демографический кризис (старение рабочей силы, нехватка кадров). Небольшие фермерские хозяйства не могут позволить себе дорогостоящее импортное оборудование, что стимулирует инновации в области доступного периферийного ИИ. |
| <b>Южная Корея</b> | 5-й базовый план развития аквакультурной отрасли; 6 «умных аквакультурных кластеров» в качестве испытательных полигонов. Бюджет Министерства финансов на ИИ увеличится в 4 раза до 148,7 млрд вон. | Широкий охват: рыба (лосось, угорь), водоросли, моллюски на морских и наземных интеллектуальных платформах.                                     | Поставщики: KT, SK Telecom, LG U+ (Интернет вещей); Blue Harvest Korea (искусственный интеллект). Международные партнёры, такие как Normex. Исследования и разработки под руководством NIFS. | Кластер на острове Чеджу нацелен на 1,4–2-кратное увеличение производства. Внедрение происходит на ранних этапах: в 2019 году 92,5% ферм не были автоматизированы; уровень проникновения составляет ~2,5%. | Высокая первоначальная стоимость для небольших компаний. Разнообразие небольших предприятий затрудняет внедрение стандартизованных решений. Сопротивление изменениям со стороны традиционного персонала.                                 |
| <b>Малайзия</b>    | Национальная агропродовольственная политика на 2021–2030 годы (NAP 2.0); сертификация MyGAP. Финансирование через Агробанк, Министерство сельского хозяйства и развития сельских территорий.       | В основном, это пруды и прибрежные системы для разведения креветок и тилапии.   | Пилотный проект UPM по созданию экономичной интеллектуальной кормушки с искусственным интеллектом. Поставщики: Flow Studios, AquaEasy, Jala Tech. Подключение от Maxis, CelcomDigi.          | Пилотный проект UPM: 70% сокращение трудозатрат, 20% сокращение отходов корма. Региональные данные показывают, что у креветок на 30% улучшился коэффициент конверсии корма.                                | Высокая стоимость инвестиций для малого и среднего бизнеса. Проблемы с интернетом и электричеством в сельской местности. Недостаток технических навыков и нежелание меняться.  |

|                  |   |  |  |  |  |
|------------------|---|--|--|--|--|
| <b>Индонезия</b> | <p>Цель — увеличить производство до 21 млн тонн; кредитная программа KUR. Основной движущей силой являются крупные венчурные инвестиции в такие стартапы, как eFishery.</p> | <p>Преобразование крупного сектора мелких хозяйств (пруды/пресноводные водоёмы). Креветки (ванаме), нильская тиляпия, сом.</p>                     | <p>eFishery (единорог), AquaEasy (Bosch), FishLog, JALA Tech.</p>  | <p>eFishery: сокращение отходов от кормления до 30%; цель — 1 млн прудов к 2025 году. Пример из практики: доля креветок экспортного качества выросла с 30% до 40%.</p>   | <p>Высокая стоимость устройств для мелких землевладельцев. Ограниченный уровень цифровой грамотности и плохое интернет-соединение. Риски, связанные с управлением и прозрачностью в быстрорастущей сфере агротехнологий. доступного периферийного ИИ.</p>    |
| <b>Израиль</b>   | <p>Развитая экосистема высоких технологий, поддерживаемая Управлением инноваций Израиля (IIA) и такими инкубаторами, как AquaculTech.</p>                                   | <p>Высокоинтенсивная, водосберегающая наземная установка замкнутого водоснабжения. Ценные виды: атлантический лосось, морской окунь, креветки.</p> | <p>AquaMaof (проектирование УЗВ), BioFishency (очистка воды), ViAqua (профилактика заболеваний), Data Valley (аналитика на основе ИИ).</p> | <p>BioFishency: исключает этап продувки, что позволяет сэкономить 5% веса рыбы. ViAqua: повышает выживаемость креветок в условиях высокого содержания взвешенных веществ. AquaMaof: высокая плотность производства (400 кг/м<sup>3</sup>).</p> | <p>Очень высокие капитальные затраты на современное оборудование для культивирования <i>in vitro</i>. Исторически сложилось так, что экономически эффективная реализация биотехнологических решений была сложной задачей, но теперь эта проблема решена.</p> |

**Ключевой вывод:** очевидны две разные модели внедрения. В развитых странах, таких как Норвегия, регулирование и стоимость рабочей силы стимулируют инвестиции в высокотехнологичную, капиталоёмкую автоматизацию. В развивающихся странах, таких как Индонезия и Малайзия, появляется поддерживаемая венчурными модель «Технология как услуга», которая делает решения доступными для мелких землевладельцев.

## 5. Глубокое погружение

### 5.1 Модернизация УВЗ от Innovasea позволяет сэкономить 1 млн долларов США на энергозатратах

Пример из практики рыбоводческой станции Эда Вида в Вермонте, США, демонстрирует, насколько высокой может быть окупаемость инвестиций при переходе на энергоэффективную систему рециркуляционной аквакультуры (СРА). Внедрение новой СРА, разработанной компанией Innovasea, привело к значительной экономии операционных расходов (ОРЕХ). Использование пропана для отопления сократилось на 83% (со 130 000 до 22 500 галлонов в год), что позволило сэкономить почти \$1 млн за 10 лет. Потребление электроэнергии сократилось на 650 000 кВт/ч в год, что позволило сэкономить дополнительно \$84 500 в год. Благодаря этой экономии инкубаторий смог погасить кредиты, взятые для финансирования проекта, «всего за несколько лет», продемонстрировав быструю и значительную окупаемость инвестиций. [12]

### 5.2 Модель подписки на eFishery увеличивает доход мелких фермеров на 45%

Индонезийская компания eFishery успешно масштабировала свою технологию, ориентируясь на мелких фермеров и предлагая им комплексную платформу, включающую интеллектуальные кормушки, датчики Интернета вещей и финансирование. Компания утверждает, что её технология может увеличить производственные мощности фермера на 26% и повысить его доход на 45%. В одном из исследований фермер, выращивающий креветок и использующий ИИ-помощника eFishery, сообщил об увеличении доли креветок экспортного качества с 30% до 40%. Другой фермер, выращивающий тилапию, отметил сокращение срока выращивания с четырёх до трёх с половиной месяцев. Однако эта модель быстрого роста

не лишена рисков: финансовый скандал, в который оказалась вовлечена компания в начале 2025 года, подчёркивает необходимость строгого контроля и прозрачности в сфере финансирования агротехнологий.

### **5.3 Цифровые двойники позволяют сократить количество отходов на 15–30%**

Согласно общим отраслевым прогнозам, срок окупаемости технологии цифровых двойников в аквакультуре составляет от 3 до 5 лет. [28] Основные финансовые преимущества связаны с улучшенным управлением ресурсами и повышением урожайности. Пилотные проекты и модели показывают потенциальное 15–30% сокращение потерь ресурсов (корма, воды) и 10% увеличение общей урожайности. [28] Системы поддержки принятия решений (СППР), интегрированные в эти платформы, могут моделировать точки безубыточности и рентабельность инвестиций на основе множества переменных, помогая фермерам обосновать вложения. [28]

## **6. Руководство по преодолению**

### **6.1 Финансы: высокие капитальные затраты в сравнении с технологией как услугой (ТаaS)**

Основным препятствием для внедрения являются высокие первоначальные капитальные затраты (CAPEX) на передовые системы. [13] Например, инвестиции в автоматизированные системы кормления поначалу могут показаться слишком дорогими. [13] Это особенно обременительно для малых и средних предприятий (МСП), которые доминируют в отрасли.

Стратегия смягчения последствий: ключевым рыночным решением является модель «Технология как услуга»

(TaaS) или модель лизинга. Это позволяет превратить крупные капитальные затраты в более управляемые операционные расходы (OPEX) за счет регулярных абонентских платежей. Эта модель, успешно используемая компанией eFishery, снижает финансовые барьеры и часто включает в себя оборудование, программное обеспечение, установку и обслуживание. Кроме того, правительства оказывают поддержку в виде «зеленых кредитов» и прямых субсидий, которые могут снизить риски, связанные с первоначальными инвестициями.

## **6.2 Эксплуатация: пробелы в навыках и техническая сложность**

Переход к высокотехнологичному сельскому хозяйству создает спрос на квалифицированных специалистов нового типа, обладающих междисциплинарными знаниями в области аквакультуры, обработки данных и инженерии. В Китае 50% пользователей УЗВ отмечают, что техническая сложность является серьезной проблемой. Недостаток таких специалистов может препятствовать эффективной эксплуатации, обслуживанию и интерпретации данных в современных системах.

Стратегия смягчения последствий: эта проблема решается с помощью инициатив как со стороны правительства, так и со стороны поставщиков. В Южной Корее правительство стремится подготовить 78 специальностей по «умной» аквакультуре для поддержки перехода на новые технологии.

Поставщики технологий также предлагают более удобные в использовании системы по принципу «подключи и работай», а также комплексные программы обучения и повышения квалификации в рамках своих пакетов услуг. Создание централизованных «кластеров умной аквакультуры» в качестве испытательных полигонов и учебных центров — еще одна эффективная стратегия.

(TaaS) или модель лизинга. Это позволяет превратить крупные капитальные затраты в более управляемые операционные расходы (OPEX) за счет регулярных абонентских платежей. Эта модель, успешно используемая компанией eFishery, снижает финансовые барьеры и часто включает в себя оборудование, программное обеспечение, установку и обслуживание. Кроме того, правительства оказывают поддержку в виде «зеленых кредитов» и прямых субсидий, которые могут снизить риски, связанные с первоначальными инвестициями.

### **6.3 Технические аспекты: нормативные требования, конфиденциальность данных и ограничения подключения**

Внедрение технологий ограничено сложной системой нормативных актов. Законы о конфиденциальности данных, такие как GDPR EC и PIPL Китая, ограничивают способы использования видеозаписей с камер, в то время как законы о локализации данных могут потребовать от поставщиков создания отдельной инфраструктуры передачи данных внутри страны. [37] Кроме того, плохое подключение к Интернету в отдаленных фермерских районах представляет собой серьезное практическое препятствие.

Стратегия смягчения последствий: чтобы обеспечить конфиденциальность и локализацию данных, поставщики разрабатывают гибридные облачные архитектуры. Периферийные вычисления, при которых данные обрабатываются локально на устройствах, сводят к минимуму передачу конфиденциальных необработанных данных в облако. Что касается подключения, то сочетание периферийной обработки с технологиями LPWAN, такими как LoRaWAN и NB-IoT, обеспечивает надёжное решение для поддержания работы удалённых ферм и принятия решений в режиме реального времени.

## 7. Практическая дорожная карта и KPI

Операторам и инвесторам, которые хотят извлечь выгоду из тренда «Аквакультура 4.0», рекомендуется поэтапный подход, ориентированный на чёткое определение рентабельности инвестиций.

### Этап 1: базовая эффективность (1–6-й месяцы)

- **Действие:** внедрить интеллектуальные системы кормления на основе ИИ для видов с большим поголовьем.

Ключевые показатели эффективности:

- Сократите расходы на корм на 15–20 %.
- Улучшите коэффициент конверсии корма (FCR) на 0,10–0,15 балла.
- Окупаемость системы менее чем за 12 месяцев.

- **Действие:** установите систему мониторинга качества воды в режиме реального времени (DO, pH, температура, аммиак).

Ключевые показатели эффективности:

- Сократить количество стрессовых ситуаций, связанных с качеством воды, на 50 %.
- Исключите случаи массовой смертности.

### Этап 2. Прогнозируемые операции (7–12-й месяцы)

- **Действие:** Внедрить камеры для оценки биомассы на основе компьютерного зрения.

Ключевые показатели эффективности:

- Достигайте точности >95% при определении массы биомассы.
- Сократите объем ручного отбора проб на 90 %.
- Предоставьте отделам продаж и обработки заказов точные прогнозы по запасам за 4 недели до начала.

- **Действие:** внедрить модуль предиктивного мониторинга здоровья (например, подсчет вшей, анализ поведения).

Ключевые показатели эффективности:

- Сократите количество профилактических химических/механических обработок на 25 %.
- Сопоставьте автоматические оповещения о состоянии здоровья с уменьшением количества наблюдаемых

### **Этап 3: полная автоматизация и оптимизация (13–24-й месяцы)**

- **Действие:** протестируйте роботизированные системы сортировки/калибровки на ключевом узком месте (в инкубаторе или на этапе сбора урожая).

Ключевые показатели эффективности:

- Увеличьте производительность (количество рыбы в час или кг в час) на >50% по сравнению с ручным процессом.
- Сократите трудозатраты на выполнение конкретной задачи на >70%.

- **Действие:** создайте описательный цифровой двойник, объединив все потоки данных (о кормах, воде, биомассе, здоровье) в единую аналитическую платформу.

Ключевые показатели эффективности:

- Создайте единый источник достоверной информации для всех операций на ферме.
- Определите и смоделируйте основные 3 фактора, влияющие на себестоимость продукции и её вариативность.

## Ссылки

| Ссылка | Лого  | Сайт   |
|--------|---|--|
| [1]    |    | Изучение возможностей искусственного интеллекта в...<br><a href="https://PMC.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10972841/">https://PMC.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10972841/</a>  |
| [2]    |    | Рынок прецизионной аквакультуры   Анализ мирового рынка ...<br><a href="https://www.futuremarketinsights.com/reports/precision-aquaculture-market">https://www.futuremarketinsights.com/reports/precision-aquaculture-market</a>   |
| [3]    |    | ИИ в аквакультуре: использование искусственного интеллекта для оптимизации разведения рыбы...<br><a href="https://www.seafood.media/fis/worldnews/worldnews.asp?monthy-">https://www.seafood.media/fis/worldnews/worldnews.asp?monthy-</a>   |
| [4]    |    | Когда инновации встречаются с аквакультурой: как компания eFishery стала...<br><a href="https://medium.com/@puja.pramudya/когда-инновации-встречаются-с-аквакультурой-как-компания-eFishery-стала-проводником-перемен-в-Индонезии-bbb01df3c235">https://medium.com/@puja.pramudya/когда-инновации-встречаются-с-аквакультурой-как-компания-eFishery-стала-проводником-перемен-в-Индонезии-bbb01df3c235</a> |
| [5]    |   | Устойчивое развитие аквакультуры с помощью технологий искусственного интеллекта<br><a href="https://www.japan.go.jp/kizuna/2025/07/sustainable_aquaculture_ai_technology.html">https://www.japan.go.jp/kizuna/2025/07/sustainable_aquaculture_ai_technology.html</a>   |
| [6]    |  | Камеры для сбора биомассы повышают эффективность работы новозеландской рыбной фермы<br><a href="https://www.innovasea.com/case-study/new-zealand-king-salm-on-achieves-97-biomass-accuracy-with-innovaseas-biomasspro/">https://www.innovasea.com/case-study/new-zealand-king-salm-on-achieves-97-biomass-accuracy-with-innovaseas-biomasspro/</a>   |
| [7]    |  | Innovasea помогает компании Creative Salmon оптимизировать рабочие процессы<br><a href="https://www.innovasea.com/case-study/creative-salmon-оптимизирует-производство-с-помощью-biomasspro/">https://www.innovasea.com/case-study/creative-salmon-оптимизирует-производство-с-помощью-biomasspro/</a>   |

|      |   |   |
|------|---|---|
| [8]  |    | Принципы и методы борьбы с вредоносными популяциями лосося...<br><a href="https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2021.701793/full">https://www.frontiersin.org/journals/marine-science/articles/10.3389/fmars.2021.701793/full</a>  |
| [9]  |    | Автоматический подсчет вшей для аквакультуры и рыбоводства   Aquabyte<br><a href="https://www.aquabyte.ai/ru/products/lice">https://www.aquabyte.ai/ru/products/lice</a>  |
| [10] |    | Текущее и будущее потребление энергии атлантическим лососем ...<br><a href="https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2656753/no.ntnu%3Ainspera%3A48582836%3A23704449.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y">https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/2656753/no.ntnu%3Ainspera%3A48582836%3A23704449.pdf?sequence=1&amp;isAllowed=y</a>  |
| [11] |    | Выбросы парниковых газов при производстве норвежского лосося<br><a href="https://sintef;brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/3044084/Rapport_klimafotavtrykk.pdf?ear=10-2024&amp;day=28&amp;id=132395&amp;l=ee&amp;country=O&amp;special=0&amp;ndb=1&amp;df=0">https://sintef;brage.unit.no/sintef-xmlui/bitstream/handle/11250/3044084/Rapport_klimafotavtrykk.pdf?ear=10-2024&amp;day=28&amp;id=132395&amp;l=ee&amp;country=O&amp;special=0&amp;ndb=1&amp;df=0</a> |
| [12] |   | Британо-нигерийская предпринимательница Лади Делано управляет...<br><a href="https://www.facebook.com/Billionaires.Africa/posts/британо-нигерийская-предпринимательница-лади-делано-набирает-обороты-на-пути-к-2-миллиардам-в-1125894399637081/">https://www.facebook.com/Billionaires.Africa/posts/британо-нигерийская-предпринимательница-лади-делано-набирает-обороты-на-пути-к-2-миллиардам-в-1125894399637081/</a>   |
| [13] |   | Окупаемость инвестиций в кормовые системы для аквакультуры<br><a href="https://www.fishfarmfeeder.com/ru/окупаемость-инвестиций-в-системы-кормления-для-аквакультуры/">https://www.fishfarmfeeder.com/ru/окупаемость-инвестиций-в-системы-кормления-для-аквакультуры/</a>   |
| [14] |  | Отчет о состоянии рынка интеллектуальной аквакультуры на 2025 год — анализ и выводы<br><a href="https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/smart-aquaculture-global-market-report">https://www.thebusinessresearchcompany.com/report/smart-aquaculture-global-market-report</a>  |
| [15] |  | Переаппетитный<br><a href="https://www.reeldata.ai/reelappetite">https://www.reeldata.ai/reelappetite</a>   |

|      |   |  |
|------|---|--|
| [16] |    | Комплексный подход к компьютерному зрению и Интернету вещей для...<br><a href="https://arxiv.org/abs/2409.08695">https://arxiv.org/abs/2409.08695</a>  |
| [17] |    | Эффективный мониторинг качества воды в режиме реального времени с помощью IoT...<br><a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016124003583">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016124003583</a>                  |
| [18] |    | Комплексная система мониторинга качества воды в пруду и разведения рыбы...<br><a href="https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11175198/">https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11175198/</a>  |
| [19] |    | Интегрированная в Интернет вещей система мониторинга качества воды в режиме реального времени ...<br><a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860925001098">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860925001098</a> |
| [20] |   | Стандартизация ручного подсчета вшей для проверки...<br><a href="https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-en-2024-61">https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-en-2024-61</a>                                    |
| [21] |   | SORTpro — Aquaticode<br><a href="https://aquaticode.com/sortpro/">https://aquaticode.com/sortpro/</a>  |
| [22] |  | Инсайт: преимущества SORTpro — Aquaticode<br><a href="https://aquaticode.com/value/">https://aquaticode.com/value/</a>   |
| [23] |  | Оценка биомассы для нужд аквакультуры — Innovasea<br><a href="https://www.innovasea.com/aquaculture-intelligence/biomass-estimation/">https://www.innovasea.com/aquaculture-intelligence/biomass-estimation/</a>   |

|      |   |  |
|------|---|--|
| [24] |    | Комплексный подход к компьютерному зрению и Интернету вещей для...<br><a href="https://arxiv.org/abs/2409.08695">https://arxiv.org/abs/2409.08695</a>  |
| [25] |    | Эффективный мониторинг качества воды в режиме реального времени с помощью IoT...<br><a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016124003583">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016124003583</a>                  |
| [26] |    | Комплексная система мониторинга качества воды в пруду и разведения рыбы...<br><a href="https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11175198/">https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11175198/</a>  |
| [27] |    | Интегрированная в Интернет вещей система мониторинга качества воды в режиме реального времени ...<br><a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860925001098">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860925001098</a> |
| [28] |    | Стандартизация ручного подсчета вшей для проверки...<br><a href="https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-en-2024-61">https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-en-2024-61</a>                                    |
| [29] |   | SORTpro – Aquaticode<br><a href="https://aquaticode.com/sortpro/">https://aquaticode.com/sortpro/</a>  |
| [30] |  | Инсайт: преимущества SORTpro – Aquaticode<br><a href="https://aquaticode.com/value/">https://aquaticode.com/value/</a>   |
| [31] |  | Оценка биомассы для нужд аквакультуры – Innovasea<br><a href="https://www.innovasea.com/aquaculture-intelligence/biomass-estimation/">https://www.innovasea.com/aquaculture-intelligence/biomass-estimation/</a>   |

|      |  |  |
|------|--|--|
| [32] |   | Комплексный подход к компьютерному зрению и Интернету вещей для...<br><a href="https://arxiv.org/abs/2409.08695">https://arxiv.org/abs/2409.08695</a>  |
| [33] |   | Эффективный мониторинг качества воды в режиме реального времени с помощью IoT...<br><a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016124003583">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2215016124003583</a>                  |
| [34] |   | Комплексная система мониторинга качества воды в пруду и разведения рыбы...<br><a href="https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11175198/">https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11175198/</a>  |
| [35] |   | Интегрированная в Интернет вещей система мониторинга качества воды в режиме реального времени ...<br><a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860925001098">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144860925001098</a> |
| [36] |   | Стандартизация ручного подсчета вшей для проверки...<br><a href="https://www.hi.no/hi/netrapporter/rapport-fra-havforskningen-en-2024-61">https://www.hi.no/hi/netrapporter/rapport-fra-havforskningen-en-2024-61</a>                                      |
| [37] |  | SORTpro – Aquaticode<br><a href="https://aquaticode.com/sortpro/">https://aquaticode.com/sortpro/</a>  |