

## Разработка автоматической системы ультразвукового отпугивания норок на рыбохозяйственном предприятии с применением технологии компьютерного зрения

**Е.А. Басуматорова**, аспирантка; **И.В. Савчук**, канд. техн. наук;  
**А.Н. Попов**, аспирант, **А.М. Петров**, канд. техн. наук  
ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья

В статье рассмотрены задачи, которые обозначаются в настоящее время в России при реализации проекта «Цифровое сельское хозяйство». Выделены области и направления развития современного сельского хозяйства России, где происходит внедрение цифровых технологий: интернет вещей, робототехника, искусственный интеллект, анализ больших данных. Проанализированы сельскохозяйственные направления и научные работы, в которых ведутся исследования и реализуются возможности применения технологии машинного зрения. Особо отмечены конкретные задачи, которые решаются с помощью применения компьютерного зрения в растениеводстве, сделаны выводы по реализации данной технологии в животноводстве и рыбководстве. Разработан прибор ультразвукового отпугивания синантропных млекопитающих с возможностью детекции синантропного организма. Проведено исследование влияния ультразвуковых сигналов на поведение норки. Определены дальнейшие пути применения компьютерного зрения в рыбководстве для работы с прикладными задачами, которые могут решаться исключительно с помощью нейронных сетей глубокого обучения.

**Ключевые слова:** цифровое сельское хозяйство, компьютерное зрение, технология, ультразвуковое отпугивание, рыбохозяйственное предприятие.

Сельское хозяйство играет ключевую роль в обеспечении населения продовольствием, поэтому любое государство заинтересовано в повышении уровня автоматизации сельскохозяйственных процессов для повышения эффективности производства продукции. Именно поэтому в настоящее время в России реализуется ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство».

Под цифровым сельским хозяйством подразумевается такое сельское хозяйство, когда способы производства базируются на применении современных цифровых технологий (интернет вещей, робототехника, искусственный интеллект, анализ больших данных и т.п.) с целью роста производительности труда и снижения затрат производства [1].

Зона рискованного земледелия в России составляет около 70 % территории страны [1]. Там активно развиваются животноводство, птицеводство и рыбководство, т.е. такие отрасли сельского хозяйства, показатели которых в значительной степени зависят от автоматизации производственных процессов. Так, прирост живой массы животного прежде всего зависит от контролируемого кормления, поддержания требуемых параметров микроклимата, обеззараживания воздуха, его фильтрации и ряда других факторов, которые в свою очередь тесно связаны со способами содержания животного и климатическими особенностями региона его разведения.

Перечисленные выше процессы довольно сложно обеспечивать человеку в ручном режиме, поэтому они автоматизируются. Интеграция робототехнических устройств открывает новые горизонты, так как технологии, основанные на методах машинного зрения, позволяют непрерывно измерять, анализировать, рассчитывать

и контролировать различные аспекты агротехнологических процессов.

**Материал и методы исследования.** Подобные исследования уже активно ведутся. Например, исследованы возможности технологии машинного зрения машины по сортировке помидор [2]. Запрограммировав получившуюся установку на 43843 изображениях и взяв за основу такие параметры помидора, как размер и цвет, авторы разработки добились 94,6 % отсеивания некачественной продукции в тестовом режиме.

Разрабатываются проекты, основанные на использовании технологии трёхмерного анализа изображений [3, 4]. Один из проектов связан с картофелеводством и базируется на сельскохозяйственной робототехнике. Суть его заключается в том, чтобы автоматизировать выявление вирусных заболеваний картофеля за счёт сбора проб мякоти. Нарботанная в ходе исследования база данных стала использоваться для сертификации и маркировки картофеля. Итогом данного исследования был роботизированный аппарат.

Ряд исследователей рассматривают сельское хозяйство как гетерогенную область, а значит, область неоднородную с математической точки зрения. Проведено обширное теоретическое исследование, которое вылилось в составление библиотеки дескрипторов признаков, обнаружение дефектов на базе изображений фруктов и овощей. Создана конкретная модель методики предварительной обработки данных и их анализа для повышения точности работы компьютерного зрения.

Одним из современных направлений в цифровом сельском хозяйстве является фенотипирование зерновых культур, т.е. их оценка непосредственно после сбора. Нарботанные паттерны

изображений в технологии компьютерного зрения помогают оценить качество поступающего зерна.

Разработана технология компьютерного зрения для картографирования мелких фермерских хозяйств и отделения их на картах от коммерческих (рис. 1) [5].

В растениеводстве подобная технология используется практически везде – от картографирования местности до контроля производимой продукции [6].

**Результаты исследования.** В животноводстве успехи компьютерного зрения менее значительны. Существует мнение, что данные технологии будут играть важную роль в процессах молочного животноводства следующего поколения, будут применяться в процессах мониторинга, кормления, выпаса и доения животных. Сторонники этой точки зрения в своих рассуждениях и анализе данных пришли к тому, что для компьютерного зрения в точном животноводстве будут требоваться системы, способные работать в более гетерогенных условиях, нежели в растениеводстве, что приводит к необходимости создавать иные математические структуры для технологии компьютерного зрения [7–10]. Однако исследований, связанных с компьютерным зрением в животноводстве, в разы меньше, чем в растениеводстве. Не были найдены работы, связанные с применением компьютерного зрения в рыбоводстве. Возможно, это связано с ещё более гетерогенными условиями, чем в животноводстве.

Это определило актуальность настоящего исследования о применении технологии компьютерного зрения в процессах рыбоводства. Исследование проведено на производственной площадке крупнейшего рыбохозяйственного предприятия Тюменский филиал ФГБНУ «ВНИРО» (рис. 2).

Норки систематически уничтожают рыбу в садках, тем самым причиняя ущерб продукции. Важной отличительной чертой, на которую стоит обратить внимание при работе с норками, является запрет на их истребление на законодательном уровне. В связи с этим решением поставленной задачи может быть разработка и внедрение си-

стемы автоматического отпугивания норок с помощью ультразвука. Естественно, система будет реализовываться, основываясь на технологии компьютерного зрения.

Понимание поведенческих особенностей коммерчески выращиваемой рыбы играет важную роль в эффективном управлении рыбоводческим предприятием и представляет большой задел в исследованиях аквакультуры. Необходимо понимать, что при разведении рыбы в неволе операторы должны обращать внимание на её благосостояние, поведение, кормление, чистку и ряд других факторов, при соблюдении которых в итоге получается качественный конечный продукт. Однако мы говорим о факторах, которые находятся внутри технологического процесса выращивания рыбы, хотя внешние факторы также важны. Под внешними факторами подразумевается обеспечение сохранности рыбы от болезней, паразитов и, главное, синантропных организмов, которые могут истребить рыбу (крысы, норки, чайки и др., в зависимости от региона).

Технологии видеонаблюдения уже широко используются многими коммерческими рыбоводческими предприятиями, чтобы оптимизировать процессы, связанные с кормлением рыбы, а именно осуществлять мониторинг того, как кормовые гранулы падают через толщу воды, фиксировать отклик кормления рыб и объём отходов. Подобное наблюдение помогает при оптимизации количества корма, поставляемого для рыбы в указанные периоды кормления. Также корректируются время кормления, скорость подачи корма рыбе, его объём и прочее. На основе собранных данных операторы способны уменьшить потери корма, что экономически выгодно для предприятия и окружающей среды.

Также видеонаблюдение широко используется как в исследовательских целях на объектах аквакультуры, так и в коммерческих интересах. Анализ полученного в ходе наблюдения материала всегда играет ключевую роль для решения проблем, но, к сожалению, чаще всего производится он вручную. Технологии видеонаблюдения у работников коммерческих предприятий

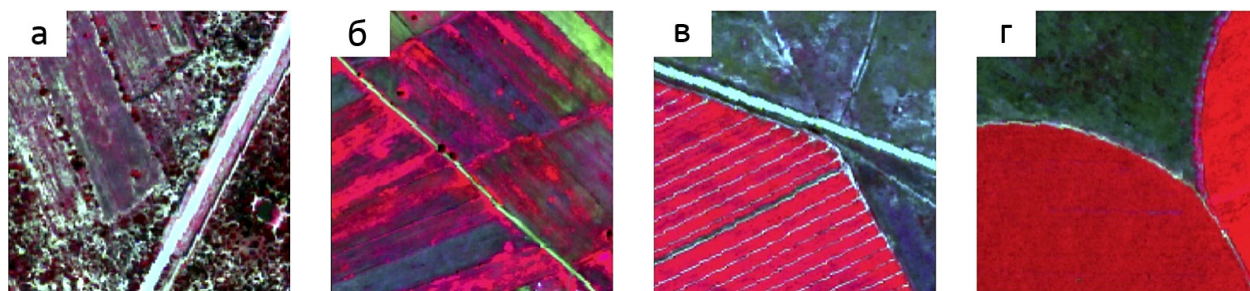


Рис. 1 – Примеры изображений в ложных цветах (красный, зелёный) мелких фермерских хозяйств (а, б) и коммерческого сельского хозяйства (в, г) в странах Африки к югу от Сахары, подчёркивающих весьма изменчивые спектральные характеристики мелких фермерских хозяйств

популярны и пользуются большим спросом, так как с их помощью можно сократить количество рабочих, ответственных за мониторинг ситуации на предприятии и иметь качественный записанный материал об обстановке на предприятии в режиме онлайн. Однако такие технологии имеют и ряд недостатков, а именно:

1. Видеоизображения могут быть размыты.
2. При отражении света от поверхности воды качество видеозаписи может ухудшиться.
3. Видеозапись вручную должен анализировать человек.
4. Запись в ночное время и/или в мутной воде – неэффективна.

Как мы можем понимать, интеграция цифровых технологий, а именно технологий компьютерного зрения и глубокого обучения, способна устранить данные недочёты. Большая часть работ по анализу видеоизображений с помощью цифровых методов в рыбоводстве была акцентирована на использовании видеокамер со стереоскопической системой для определения биомассы рыб с интеграцией искусственных нейронных сетей для исправления искажения линзы в стереоизображениях. Подобное нововведение позволило обеспечить более точное понимание формы рыбы и скорректировать оценку их общей биомассы. Помимо этого использовались методы предварительной обработки и дополнительной сегментации изображения (рис. 3). Это способствовало обнаружению запутавшейся в садках рыбы или применялось для оценки размера особи. На основе собранных данных производилось и прогностическое моделирование конструкции установки с целью повышения её эффективности в реальных условиях. Поэтому на данный момент не осуществлялось попыток с помощью технологии компьютерного зрения и глубокого обучения автоматически анализировать ситуацию с синантропными организмами, представляющими опасность для продукции рыбного хозяйства.

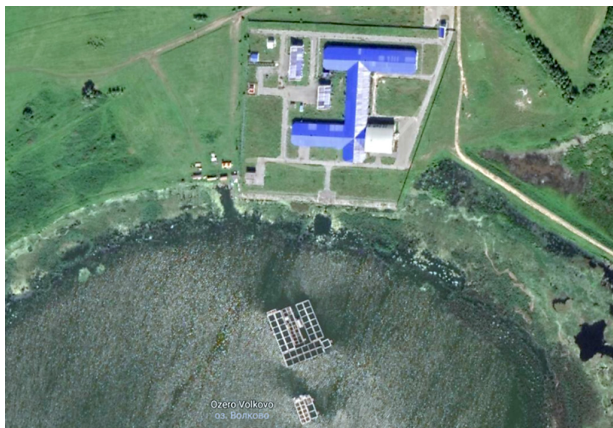


Рис. 2 – Производственная площадка предприятия – Тюменский филиал ФГБНУ «ВНИРО», Тюменская область, Тобольский район

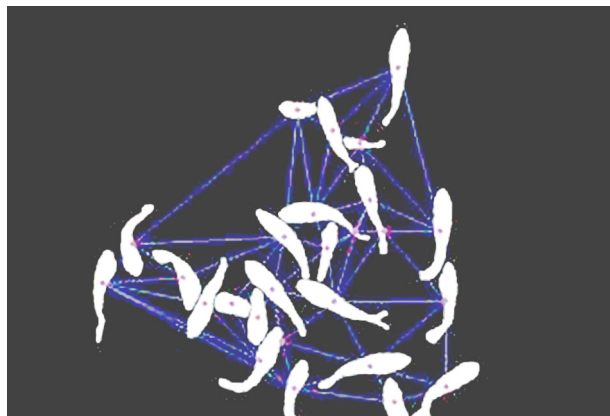


Рис. 3 – Сегментирование изображения

В связи с этим огромной площадью для исследования является разработка ряда компьютерного программного обеспечения, позволяющего компьютеризировать технологические процессы рыбоводства. В первую очередь это разработка программного обеспечения, позволяющего анализировать видеоматериалы на наличие или отсутствие движения синантропных млекопитающих (норок) на территории рыбоводческого предприятия. Подобная система потенциально способна улучшить управление фермой, оповещая операторов о критических особенностях в поведении в режиме онлайн, осуществляя долгосрочные прогнозы и общую оценку благополучия рыб. Тот факт, что на большинстве рыбоводческих предприятий уже находятся системы видеонаблюдения, указывает на то, что можно минимизировать затраты на оборудование для внедрения автоматизированной системы видеонаблюдения.

Однако подобные системы столкнутся с рядом трудностей ввиду высокой изменчивости и сложного распределения цвета на процессах рыбоводческого предприятия (кормление рыбы, перемещение, обеспечение защиты в ночное время от синантропных вредителей). Анализ и общая калибровка цветового сигнала любой системы компьютерного зрения, используемой для оценки качества цвета, представляет собой необходимое условие для объективного и последовательного анализа.

Существует два метода цветового определения с использованием системы компьютерного зрения:

1. СИЕ с использованием системы компьютерного зрения (CVS). Метод основан на анализе цифровых фотографий.
2. Процедура полиномиального преобразования, предложенная стандартом sRGB.

Последний чаще всего используется в животноводстве для оценки внешнего вида конечного продукта (например, оценки жировых и соединительных тканей ветчины). Результаты

использования подобного метода показали высокую точность определения. Так, матрица полиномиального переноса с размерами  $[3 \times 20]$  дала точность моделирования в среднем ниже 2,2 единицы. Используя преобразование sRGB, распознавание варьировало в диапазоне  $8,8 \pm 4,2$ . Корректно откалиброванная лабораторная установка с CVS, устройство которой реализовано с помощью недорогой цифровой камеры, демонстрировала воспроизводимые цветовые сигналы в широком диапазоне цветов, способных точно определять интересующие области, и позволяла извлекать количественную информацию из всей поверхности анализируемого объекта с высокой точностью. Извлечённые цветовые и морфологические признаки показали способность корректно охарактеризовать анализируемую поверхность.

В итоге получилась зарекомендовавшая себя процедура, основанная на стандарте sRGB, и более новая и дешёвая CIE с использованием системы компьютерного зрения (CVS). Проведя ряд логических умозаключений, мы склонились к выбору последней.

За последние несколько лет можно наблюдать повышенный рост разнообразных методов и технологий, касающихся области визуального анализа качества продуктов питания, которые в сумме своей сводятся к тому, что извлекают информационный массив об анализируемой поверхности и сравнивают их с рядом характеристик (изображений), находящихся в библиотеке. Сбор информационного массива заключается в сборе таких характеристик, как цвет, текстура, форма и размер. Эти простые характеристики внешнего вида позволили с высокой точностью, объективностью и быстротой анализировать и интерпретировать данные, относящиеся к конкретным задачам, при оценке качества и классификации многих пищевых продуктов. Фактически эти свойства внешнего вида хорошо коррелируют со многими физическими, химическими и сенсорными показателями качества конечного продукта. Следовательно, они также могут быть использованы для автоматизации контроля территории, где происходит разведение рыбы и мониторинг синантропных вредителей за счёт включения эффективных алгоритмов обработки изображений в системы компьютерного зрения (CVS).

Для отпугивания норок от садков с рыбой на территории хозяйства обычно применялись сторожевые псы, безопасные ловушки с приманкой внутри и иные народные методы.

Животные, в зависимости от своей принадлежности к тому или иному виду, наиболее чувствительны к определённым диапазонам ультразвуковых колебаний. Поэтому для отпугивания млекопитающих разных видов необходимо

использовать диапазон колебаний, оказывающий максимально раздражающее влияние, а для того чтобы ультразвуковое воздействие не вызывало привыкания, оно должно иметь краткосрочный характер.

На основании статистических данных предприятия ежедневно в тёмное время суток фиксировались следы норки в непосредственной близости к садкам, а также ежедневные следы порчи ценных видов рыбы (норки каждую ночь до апробации прибора вылавливали рыбу из садков, оставляя следы волочения рыбы на снегу). Ежемесячно фиксировалась порча ценных видов рыбы – до 300 особей.

Разработанная система отпугивания базируется на включении ультразвуковых колонок в тот момент времени, когда норка близко подходит к садкам с рыбой. Были взяты плата Nvidia Jetson TX1, веб-камера с высоким разрешением и ряд ультразвуковых колонок.

Также была написана нейронная сеть глубокого обучения и платформа для разработки Jetson TX1 для распознавания норок и включения системы отпугивания.

В результате получилось, что веб-камера с высоким разрешением осуществляет мониторинг территории (со стороны леса, откуда и приходят норки). Если движение есть, то она высылает 7 снимков разрешением  $640 \times 480$ , плата их обрабатывает и пропускает через нейронную сеть глубокого обучения архитектуры Inception V3. Если нейронная сеть распознаёт объект, похожий на норку, то через плату посылает сигнал на реле и происходит включение ультразвуковой колонки на 30 секунд. В результате норка отпугивается, при этом исключаются угроза жизни животному и ущерб от его воздействия на выращиваемую рыбу.

**Вывод.** Применение компьютерного зрения в рыбоводстве ещё не получило широкого распространения, но отрасль ставит прикладные задачи, которые могут решиться исключительно с помощью нейронных сетей глубокого обучения.

### Литература

1. Попов А.Н., Андреев Л.Н. Разработка и апробация ультразвукового отпугивателя норок // Международный технико-экономический журнал. 2019. № 6. С. 42–50.
2. Оптическая сортировка томатов // Агропромышленный портал Агро XXI. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agroxxi.ru/>
3. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков [и др.]. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. 203 с.
4. Лопез А. Трёхмерное моделирование сельскохозяйственных посевов поможет аграриям сэкономить время и деньги [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fertilizerdaily.ru>
5. Компьютерное зрение: технологии, рынок, перспективы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.tadviser.ru/>
6. Обзор цифровых технологий для агропромышленного комплекса: от ГИС до интернета вещей [Электронный ресурс]. URL: <http://integral-russia.ru/>
7. Суринский Д.О., Савчук И.В. Методика расчёта основных геометрических параметров светоловушки // Научно-технический

- прогресс в сельскохозяйственном производстве: сб. доклад. XIV Междунар. науч.-практич. конф. 2019. С. 297–304.
8. Петров А. М. Применение тепловых насосов для обогрева животноводческих помещений // Вестник УГСА. 2012. № 3. С. 122–126.
9. Говорушко С. М. Млекопитающие и птицы – сельскохозяйственные вредители: глобальная ситуация // Сельскохозяйственная биология. 2014. № 6. С. 15–25.
10. Геворкян И. С. Об эффективности методов борьбы с мышевидными грызунами на животноводческих комплексах // Альманах «Пространство и Время». 2016. № 2. 39 с.

**Басуматорова Екатерина Анатольевна**, аспирантка

**Савчук Иван Викторович**, кандидат технических наук, доцент

**Попов Антон Николаевич**, аспирант

**Петров Алексей Михайлович**, кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья»

Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Республики, 7

E-mail: ivan-savchuk@list.ru; katuchka85\_85@mail.ru; popov.an@asp.gausz.ru

## Development of an automatic system for ultrasonic scaring of minks at a fishery enterprise using computer vision technology

**Basumatorova Ekaterina Anatolyevna**, postgraduate

**Savchuk Ivan Viktorovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

**Popov Anton Nikolaevich**, postgraduate

**Petrov Aleksey Mikhailovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Northern Trans-Ural State Agricultural University

7, Republic St., Tyumen, 625003, Russia

E-mail: ivan-savchuk@list.ru; katuchka85\_85@mail.ru; popov.an@asp.gausz.ru

The article considers the tasks that are currently being identified in Russia during the implementation of the Digital agriculture project. Areas and directions of development of modern agriculture in Russia where digital technologies are being introduced are highlighted: the Internet of things, robotics, artificial intelligence, and big data analysis. The article analyzes agricultural areas and scientific works in which research is being conducted and the possibilities of using machine vision technology are being realized. Specific tasks that are solved by using computer vision in crop production are highlighted, and conclusions are drawn on the implementation of this technology in animal husbandry and fish farming. A device for ultrasonic repelling of synanthropic mammals with the ability to detect a synanthropic organism has been developed. Investigated the effect of ultrasound signals on the behaviour of mink. Further ways of using computer vision in fish farming, for working with applied technologies, are determined.

**Key words:** digital agriculture, computer vision, technology, ultrasonic deterrent, fishery enterprise.