

УДК 631.171

UDC 631.171

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

4.3.1 Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

ТЕХНОЛОГИЯ ИНФРАКРАСНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ В ЗАДАЧЕ ДЕТЕКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

INFRARED IDENTIFICATION TECHNOLOGY IN THE TASK OF DETECTING FARM ANIMALS

Абдрахимов Даниил Александрович
orcid =0000-0003-2616-2887
wos=HRA-7408-2023
RSCI SPIN-code: [8197-7577](https://orcid.org/0000-0003-2616-2887)
dan.abdrakhimov@yandex.ru

Abdrakhimov Daniil Alexandrovich
orcid =0000-0003-2616-2887
wos=HRA-7408-2023
RSCI SPIN-code: [8197-7577](https://orcid.org/0000-0003-2616-2887)
dan.abdrakhimov@yandex.ru

Системы идентификации являются основополагающим элементом в вопросе цифровизации сельского хозяйства. Возможность точно и в режиме реального времени определять уникальные идентификаторы особей, позволяет решать ряд важных задач, которые встают перед фермерами. В работе предложена новая технология идентификации, основывающаяся на инфракрасном излучении, освещены преимущества данного подхода, относительно имеющихся на рынке аналогов, оценена физическая реализуемость данной системы. Рассматриваются перспективы внедрения данного подхода на производствах и варианты улучшения системы для решения задачи автоматизации процессов на животноводческих фермах

Identification systems are a fundamental element in the digitalization of agriculture. The ability to accurately and in real time determine the unique identifiers of individuals allows us to solve a number of important tasks that farmers face. The paper proposes a new identification technology based on infrared radiation, highlights the advantages of this approach relative to analogues available on the market, and evaluates the physical feasibility of this system. The prospects of implementing this approach in production and options for improving the system to solve the problem of automating processes on livestock farms are being considered

Ключевые слова: КОМПЬЮТЕРНОЕ ЗРЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ, РАДИОЧАСТОТНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ, ИНФРАКРАСНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ, СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Keywords: COMPUTER VISION, IDENTIFICATION TECHNOLOGIES, RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION, INFRARED IDENTIFICATION, MODERN IDENTIFICATION METHODS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-207-025>

Период активной цифровизации АПК подразумевает широкое покрытие цифровыми системами всех этапов аграрного производства[4]. На сегодняшний день наблюдается острая необходимость в инструментах оцифровки и структуризации базовой информации о сельскохозяйственных предприятиях[8]. Универсальные системы идентификации, позволяющие точно определять уникальные идентификаторы особей, упрощают ведение хозяйства[5], предоставляют фермерам возможность оценивать состояние поголовья и своевременно

принимать решения, направленные на улучшение общего состояния животных[7][14].

Существующие системы идентификации хорошо справляются со своей задачей, однако, представленные на рынке системы имеют ряд недостатков, которые сильно ограничивают границы применимости данных систем[3].

В данной статье предлагается посмотреть на задачу идентификации с новой стороны и оценить возможность применения инфракрасного излучения в задаче детекции сельскохозяйственных животных.

Цель исследования

Внедрение системы идентификации сельскохозяйственных животных необходимо для подтверждения его принадлежности и обеспечения простоты управления и отслеживания основных показателей поголовья при разведении[7]. Для реализации этих задач применяются разнообразные методы и подходы к идентификации[4; 5]. Они позволяют установить владельца и контролировать использование продуктов, полученных от этого животного. В эпоху цифровизации особенно важно уделять внимание разработке многофункциональных систем идентификации для поддержания конкурентоспособности предприятия и увеличения прибыли производств[8].

Эффективная система идентификации должна быть удобной, надежной и не причинять вреда животным. Система должна быть согласована с системой учета поголовья на производстве, быть гибкой и легко масштабируемой для решения конкретных задач. Правильно разработанная система позволяет оптимизировать расходы и обеспечить надлежащее выполнение задач, закрепляя отдельные зоны ответственности за конкретными сотрудниками, отслеживая степень и качество выполнения задач с использованием автоматизированных систем управления.

Инфракрасное излучение широко используется во многих прикладных областях современного мира. Несмотря на развитие современных технологий, агропромышленный комплекс (АПК) до сих пор не внедрил эту технологию в широкую практику для решения своих задач. Основными причинами могут быть высокая стоимость внедрения, недостаток квалифицированных специалистов, а также сложность интеграции с уже существующими процессами. Кроме того, консервативный подход к использованию новых решений в отрасли и необходимость долгосрочного тестирования могут замедлять процесс адаптации. Однако в перспективе применение данной технологии может значительно повысить эффективность сельскохозяйственного производства, автоматизировать рутинные процессы и сократить затраты [11]. Целью данного исследования является оценка теоретической применимости инфракрасного излучения в задаче идентификации сельскохозяйственных животных и освещение основных физических аспектов, влияющих на возможность внедрения системы.

Материалы и методы исследования

Настоящее исследование посвящено теоретическому обоснованию возможности применения инфракрасной системы идентификации в сельском хозяйстве. В основе метода лежит использование инфракрасных меток, излучающих уникальные сигналы в заданном диапазоне спектра, и считывающих устройств, фиксирующих эти сигналы и передающих информацию в базу данных. Такой подход позволяет идентифицировать животных, отслеживать их перемещения и анализировать поведенческие характеристики без непосредственного контакта, что существенно повышает удобство и точность мониторинга.

Физическая применимость данного метода в условиях сельского хозяйства определяется его устойчивостью к влиянию факторов внешней

среды, таких как погодные условия, механические воздействия и уровень загрязнения. Инфракрасные метки могут быть закреплены на теле животного в оптимальных зонах, например, в области уха или шеи, обеспечивая стабильность передачи сигнала и минимальное влияние на естественное поведение особи. Считывающие устройства размещаются в стратегических точках сельскохозяйственных помещений и пастбищ, что позволяет охватить зону наблюдения и обеспечить бесперебойный сбор данных.

Теоретическая возможность интеграции инфракрасной системы с другими цифровыми технологиями управления хозяйством открывает перспективы для автоматизации процессов и повышения эффективности сельскохозяйственного производства. Разработка алгоритмов обработки данных и статистический анализ точности идентификации позволяют оценить надежность метода и определить его практическую ценность. В данной работе будут подробно рассмотрены физические основы работы инфракрасных систем, а также механизмы их взаимодействия с окружающей средой.

Инфракрасный метод идентификации

Явление дисперсии света обусловлено вынужденными колебаниями заряженных частиц под воздействием переменного электромагнитного поля[13]. Все электроны входящие в состав атома можно разделить на периферийные (оптические) и электроны внутренних оболочек. Как известно, электроны - это фермионы, которые подчиняются распределению Ферми-Дирака и подчиняются принципу запрета Паули[12]. Таким образом, электроны имеют всегда определенную энергию покоя и обязаны переходить в возбужденное состояние только

при поглощении энергии $n\hbar\omega$, где величина n определяется точным решением уравнения Шредингера[12]

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = \hat{H} \Psi(\mathbf{r}, t),$$

где:

- i — мнимая единица,
- \hbar — редуцированная постоянная Планка,
- $\Psi(r, t)$ — волновая функция, зависящая от координат r и времени t ,
- H — гамильтониан системы, оператор полной энергии.

Для каждого атома величины n свои. При этом важно учитывать, что в оптическом диапазоне спектра излучение и поглощение света обусловлены исключительно оптическими электронами, поскольку собственные частоты электронов внутренних оболочек слишком высоки. В классической теории дисперсии[13] электрон рассматривается как гармонический осциллятор, колебания которого в поле электромагнитной волны описывается уравнением:

$$mr'' = -kr - gr' + eE$$

где:

- m - масса,
- e - заряд электрона,
- $-kr$ - квазиупругая возвращающая сила,
- $-gr'$ - сила для учета поглощения света,
- E - напряженность электрического поля, действующего на электрон.

Корректная теория дисперсии света опирается на квантовые законы, но приводит к удивительному выводу: с точки зрения дисперсии и

поглощения света атомы ведут себя так, словно среда состоит из множества осцилляторов с разными собственными частотами и коэффициентами затухания, которые описываются классическим уравнением движения. Следовательно, применение такого приближения оказывается вполне обоснованным. Однако собственные частоты не могут вычислены на основе классической модели и вычисляются только благодаря применению квантовой теории. Для нахождения собственных частот необходимо решение уравнения Шредингера [13].

Таким образом, в инфракрасной области спектра основную роль играют свободные электроны, и ионы вблизи их собственных частот.

Выбор ИК диапазона для изобретения более дешевого и надежного способа идентификации обусловлен особенностями явления дисперсии в выбранном диапазоне. Как известно [13] зависимость показателя преломления от частоты для большинства веществ выражается следующей формулой:

$$n = 1 + \frac{q_e}{2\varepsilon_0 m} \sum_k \frac{N_k}{\omega_k^2 - \omega^2 + i\gamma_k \omega} \quad (1),$$

где:

n - показатель преломления,

q_e - заряд электрона,

ω - частота излучения,

m - масса электрона

N_k - плотность электронов с частотой ω_k в единице объема и коэффициентом затухания γ_k .

Из формулы (1) видно, что показатель преломления является комплексной величиной и представляется в виде

$$n = n' - in'' \quad (2)$$

где:

n' , n'' - вещественны.

Как известно[12] при таком представлении, n'' ничто иное как коэффициент поглощения. Обычно (как у стекла и видимого спектра излучения) поглощения света очень мало, что видно из формулы (1) так как $\gamma_k \omega \ll \omega_k^2 - \omega^2$. Однако когда мы приближаемся к резонансной частоте мнимое слагаемое становится преобладающим, это означает что поглощение очень велико. Например солнечное излучение проходящее через атмосферу сильно поглощается в резонансных частотах атомов, входящих в состав атмосферы и как следствие в спектре мы наблюдаем темные линии. Для наглядности посмотрим на график зависимости коэффициента преломления от частоты, нам нужно выбрать такой диапазон, чтобы с одной стороны излучение хорошо распространялось в воздухе, но при этом было бы непроходимое сквозь бетонные стены помещений.

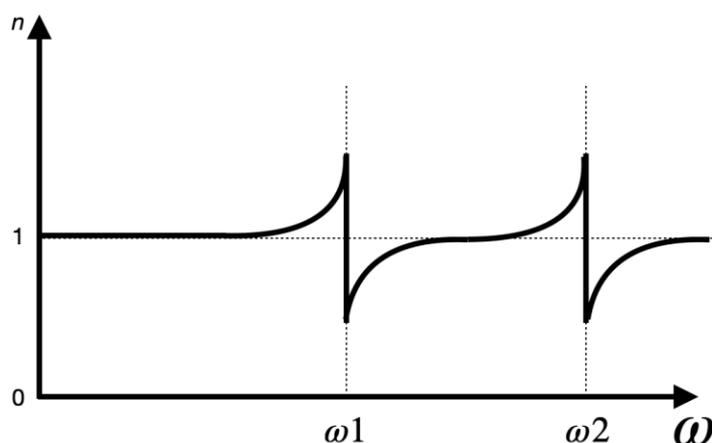


Рис 1. Показатель преломления как функция частоты

Таким образом, показатель преломления выражается через атомные постоянные и также зависит от частоты излучения. Для нахождения резонансных частот нужно знать собственную частоту атомов из которого состоит вещество и число атомов в единицу объема. Общая теория

свойств и собственных частот формируется на основе квантовой механики. У большинства газов, включая воздух вблизи земной поверхности и многие бесцветные газы, такие как водород, гелий и другие, колебания электронов имеют собственные частоты, которые находятся в ультрафиолетовом диапазоне. Это означает, что их взаимодействие с излучением происходит преимущественно в этой области спектра, что влияет на их оптические свойства и поведение в различных условиях. Эти частоты много больше выбранного нами диапазона в ИК-спектре, следовательно $\omega \gg \omega_k$, что позволяет считать показатель преломления практически константным. Также основываясь на формуле (1) мы можем сделать выводы о поглощающей способности объектов в выбранном диапазоне частот. Таким образом, выбирается ближний спектр ИК-излучения в диапазоне - от 700нм до 1500нм. Именно в этом диапазоне мы получаем необходимые для наших целей свойства излучения:

- хороший коэффициент отражения от большинства материалов, находящихся в помещении (стен, мебели)
- хорошую пропускную способность в воздухе
- малое рассеяние внутри помещения
- практически нулевую проникающую способность сквозь бетонные стены

Следовательно, выбранный нами диапазон, не только очень прост и дешев в применении и изготовлении идентификационных меток, а также позволяет использовать одинаковые метки в соседних помещениях, что сильно удешевляет производство.

Инфракрасные метки

К вопросу выбора излучающих диодов для создания универсальной системы идентификации предлагается рассмотреть следующие варианты инфракрасных излучателей:

- Инфракрасные светодиоды (IR LED) — излучают видимый свет с длиной волны в инфракрасном диапазоне. Применяются в различных ИК-системах, таких как ИК-камеры, ИК-датчики, ИК-передатчики и т.д.

- Лавинные фотодиоды (LPD) — это быстродействующие фотодиоды с лавинным пробоем. Они обладают высокой скоростью переключения и малым временем нарастания. Применяются в ИК-системах для высокоскоростной передачи данных.

- Фотодиоды на основе HgCdTe (МСТ) — это фотодиоды на основе материала HgCdTe, который обладает высоким коэффициентом поглощения в ИК-диапазоне. Применяются в высокочувствительных ИК-системах.

- Фототранзисторы на основе InGaAs (IGT) — это транзисторы на основе материала InGaAs, который имеет высокий коэффициент поглощения в ИК-диапазоне и малое время переключения. Применяются в высокоскоростных ИК-системах и в датчиках изображения.

- Горизонтальные фототранзисторы (НРТ) — это горизонтальные фототранзисторы с высоким коэффициентом усиления и малым уровнем шума. Применяются в высококачественных ИК-системах с высоким разрешением.

Для решение задачи идентификации лучше всего подходят инфракрасные светодиоды (IR LED), так как они дешевы и имеют необходимый для работы диапазон длин волн.

Таким образом, мы получаем хорошую разрешающую способность каждой метки и возможность использования одинаковых меток в соседних помещениях, низкую стоимость производства в сравнении с микрочипами, без вреда здоровью и причинения стресса животным.

Однако стоит отметить, что ИК-метки имеют и недостатки, такие как: необходимость монтирования специального оборудования с ик

приемником и необходимость разработки дополнительного софта на основе искусственного интеллекта и компьютерного зрения.

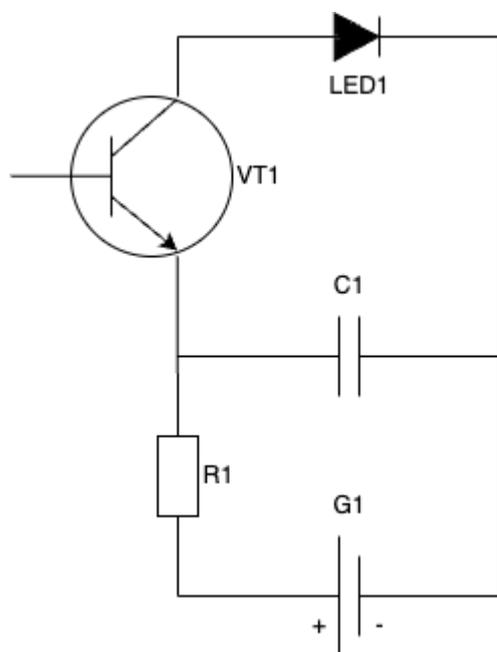


Рис. 2 Схема ИК-метки

Результаты исследований и их обсуждение

Для идентификации животных на данный момент есть несколько основных подходов[16], которые успешно применяются, но они обладают рядом недостатков и высокой стоимостью[2]. Например, для изготовления подкожных микрочипов используется биосовместимое стекло, а также внутри капсулы расположен микрочип, состоящий из катушки индуктивности и микросхемы[10]. Создание таких микрочипов достаточно дорогое и, кроме того, требует производственных мощностей. Для создания RFID меток[9] нужен чип с памятью - для записи и хранения данных, идентифицирующих объект, животного или человека; интегральная схема RFID-метки - тип полупроводника, требующий питания или от миниатюрной батарейки, или непосредственно от RFID-

сканера (под воздействием радиоволн) и антенну[1], в то время как в состав ик-метки входят очень дешевые компоненты и имеется возможность модульного расширения, при необходимости. Также совмещение метода идентификации посредством ИК меток вместе с базовыми подходами компьютерного зрения[6] позволяют отслеживать основные показатели у животных, а именно: измерение веса животного, его жизненной активности, температуры и т.д. Такой подход является дешевым и, что немаловажно, модульно расширяемым, что необходимо для решения самого разного спектра задач: от подсчета подходов животного к кормушке до определения состояния здоровья животных. В данной работе подтверждена теоретическая обоснованность применения метода инфракрасной идентификации в сельском хозяйстве.

Выводы

Существует широкий спектр методов идентификации, и каждый из них имеет свои сильные и слабые стороны. Выбор конкретного метода зависит от множества факторов, включая точность, скорость, надежность, удобство использования и уровень защиты от подделок. Одни методы обеспечивают высокую степень безопасности, но требуют сложных технических решений, тогда как другие более просты в реализации, но могут быть менее надежными. Поэтому в различных сферах применяются разные подходы, исходя из их эффективности и соответствия поставленным задачам. Развитие современного сельского хозяйства во многом опирается на наличие точной, дешевой и легко масштабируемой системы идентификации. Используемые на рынке методы позволяют с хорошей точностью решать задачу идентификации, но обладают рядом недостатков, которые сильно ограничивают применение системы. Предложенная технология с использованием инфракрасной системы идентификации устраняет недостатки остальных систем, сохраняя дешевую стоимость разработки и внедрения на производстве.

Использование предложенной технологии, открывает новые возможности цифровизации сельского хозяйства и позволяет в дальнейшем автоматизировать задачи фермерского производства такие как взвешивание особей, измерение температуры и кормление[15]. Грамотно разработанная система идентификации, содержащая в себе инфракрасную метку, инфракрасный приемник, систему компьютерного зрения и аналитики может принести существенный положительный экономический эффект для АПК, а способная к модульной масштабируемости система может быть внедрена на предприятиях любого масштаба.

Список литературы

1. Мищенко А.Е. Сравнение оборудования основных поставщиков, работающих на российском рынке в области радиочастотой идентификации / Мищенко А.Е. // Сельскохозяйственный журнал. – 2014. – Т. 2. – № 7. – С. 485-489.
2. Александровна В.А. Технологии позиционирования в режиме реального времени / В.А. Александровна // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2017. – Т. 22. – № 1. – С. 170-177.
3. Макаров А.С. Системы и способы идентификации животных в обеспечении эпизоотического благополучия региона / Макаров А.С., Василевский Н.М., Хайруллина Д.В. // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2013. – Т. 215. – № 3. – С. 202-206.
4. Васильевич Р.С. Цифровые технологии в организации пастбищного животноводства / Р.С. Васильевич, Х.Ю. Александрович, О.П. Иванович // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 6 (80). – С. 186-187.
5. Хайруллина Д.В. Электронная идентификация животных / Хайруллина Д.В., Макаров А.С. // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. – 2011. – Т. 206. – № 2. – С. 236-240.
6. Компьютерное зрение: концепт, функционально-целевое назначение, структура, регуляторика / И.В. Понкин [и др.] // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – Т. 12. – Компьютерное зрение. – № 5. – С. 57-66.
7. Юшкова Л.Я. Селекционно-производственные и организационно-зоотехнические мероприятия / Юшкова Л.Я. Ким А.С. // Эффективное животноводство. – 2023. – № 4 (186). – С. 66-68.
8. Макаревич А. Автоматическая идентификация — фаворит мировой торговли / А. Макаревич // Наука и инновации. – 2006. – № 10 (44). – С. 63-66.
9. Михаил Г. Технология rfid: реалии и перспективы / Г. Михаил, З. Валерий // Компоненты и Технологии. – 2003. – Технология rfid. – № 30. – С. 42-44.
10. Кунакова Р.С. Автоматизированная информационная система для учета чипированных животных / Кунакова Р.С., Михлюк А.А. // Вестник науки. – 2024. – Т. 3. – № 1 (70). – С. 668-672.
11. Новиков В. Ю. Применение метода линейного дискриминантного анализа спектров отражения в ближней инфракрасной области для видовой

идентификации рыб семейства лососёвые (salmonidae) / Новиков В. Ю., Рысакова К. С., Барышников А. В. // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2021. – Т. 24. – № 4. – С. 450-460.

12. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб, пособие: Для вузов. В 5 т. Т. IV. Оптика. — 3-е изд., стереот. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 792 с.

13. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике 3. Излучение. Волны. Кванты – 3-е изд. Издательство “Мир” 1976

14. Яковлев О.Б. Стрессустойчивость и продуктивность свиней : кандидат сельскохозяйственных наук / О.Б. Яковлев. – Пос. Персиановский, 2001.

15. J. Boddhe [и др.]. Animal Identification – 2018. – С. 1-4.

16. Rossing W. Animal identification: introduction and history / W. Rossing // Computers and Electronics in Agriculture. – 1999. – Т. 24. – Animal identification. – № 1. – С. 1-4.

References

1. Mishhenko A.E. Sravnenie oborudovaniya osnovny`x postavshhikov, rabotayushhix na rossijskom ry`nke v oblasti radiochastotoj identifikacii / Mishhenko A.E. // Sel`skozhozyajstvenny`j zhurnal. – 2014. – Т. 2. – № 7. – С. 485-489.

2. Aleksandrovna V.A. Texnologii pozicionirovaniya v rezhime real`nogo vremeni / V.A. Aleksandrovna // Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i texnologij). – 2017. – Т. 22. – № 1. – С. 170-177.

3. Makarov A.S. Sistemy` i sposoby` identifikacii zhivotny`x v obespechenii e`pizooticheskogo blagopoluchiya regiona / Makarov A.S., Vasilevskij N.M., Xajrullina D.V. // Ucheny`e zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny` im. N. E`. Baumana. – 2013. – Т. 215. – № 3. – С. 202-206.

4. Vasil`evich R.S. Cifrovy`e texnologii v organizacii pastbishhnogo zhivotnovodstva / R.S. Vasil`evich, X.Yu. Aleksandrovich, O.P. Ivanovich // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2019. – № 6 (80). – С. 186-187.

5. Xajrullina D.V. E`lektronnaya identifikaciya zhivotny`x / Xajrullina D.V., Makarov A.S. // Ucheny`e zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny` im. N. E`. Baumana. – 2011. – Т. 206. – № 2. – С. 236-240.

6. Komp`yuternoe zrenie: koncept, funkcional`no-celevoe naznachenie, struktura, reguljatorika / I.V. Ponkin [i dr.] // International Journal of Open Information Technologies. – 2024. – Т. 12. – Komp`yuternoe zrenie. – № 5. – С. 57-66.

7. Yushkova L.Ya. Selekcionno-proizvodstvenny`e i organizacionno-zootexnicheskie meropriyatiya / Yushkova L.Ya.

Kim A.S. // E`ffektivnoe zhivotnovodstvo. – 2023. – № 4 (186). – С. 66-68.

8. Makarevich A. Avtomaticheskaya identifikaciya — favorit mirovoj trgovli / A. Makarevich // Nauka i innovacii. – 2006. – № 10 (44). – С. 63-66.

9. Mixail G. Texnologiya rfid: realii i perspektivy` / G. Mixail, Z. Valerij // Komponenty` i Texnologii. – 2003. – Texnologiya rfid. – № 30. – С. 42-44.

10. Kunakova R.S. Avtomatizirovannaya informacionnaya sistema dlya ucheta chipirovanny`x zhivotny`x / Kunakova R.S., Mixlyuk A.A. // Vestnik nauki. – 2024. – Т. 3. – № 1 (70). – С. 668-672.

11. Novikov V. Yu. Primenenie metoda linejnogo diskriminantnogo analiza spektrov otrazheniya v blizhnej infrakrasnoj oblasti dlya vidovoj identifikacii ry`b semejstva lososyovy`e (salmonidae) / Novikov V. Yu., Ry`sakova K. S., Bary`shnikov A. V. // Vestnik Мурманского государственного технического университета. – 2021. – Т. 24. – № 4. – С. 450-460.

12. Sivuxin D. V. Obshhij kurs fiziki. Ucheb, posobie: Dlya vuzov. V 5 t. T. IV. Optika. — 3-e izd., stereot. — M.: FIZMATLIT, 2005. - 792 s.
13. Fejnman R., Lejton R., Se`nds M. Fejmanovskie lekicii po fizike 3. Izluchenie. Volny`. Kvanty` – 3-e izd. Izdatel'stvo “Mir” 1976
14. Yakovlev O.B. Stressustojchivost` i produktivnost` svinej : kandidat sel'skoxozyajstvenny`x nauk / O.B. Yakovlev. – Pos. Persianovskij, 2001.
15. J. Bodkhe [i dr.]. Animal Identification – 2018. – S. 1-4.
16. Rossing W. Animal identification: introduction and history / W. Rossing // Computers and Electronics in Agriculture. – 1999. – T. 24. – Animal identification. – № 1. – S. 1-4.