

линияларда саноат талабларига жавоб бермайдиган жихатлар мавжудлигини, айниқса пахта толаси сифатини ошириш, пахта толасининг шикастланишини камайтириш ва ўсқуналарга техник хизмат кўрсатишдаги катта харажатларни камайтиришни тақозо этади [12:79].

Хулоса. Таҳлил қилинган адабиётларнинг натижаларига кўра, келгусида пахта-тўқимачилик

кластерларида пахта ҳосилининг асосий қисмини териш механизациялашган ҳолда амалга оширилишини инобатга олиб, машинада терилган қадокланган чигитли пахтани қўритиб ғарамларда сакламасдан дастлабки ишлаш жараёнига ўзатиш орқали тола ҳолида саклашни йўлга қўйилиши натижасида тола хоссалари яхши сакланишига эришиш мумкин.

Адабиётлар

1. 2020-yil 14-yanvardagi O'zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 21-sonli «Respublika hududlarida paxta hosili terimini mexanizatsiyalash darajasini oshirish chora-tadbirlari to'g'risida» gi Qarori. 2-b. 2-ilova.
2. Mardonov B.M. v.b. Paxta g'aramidan paxta xomashyosini ajratish jarayenini nazariy tadqiqi. "Fan, ta'lim va ishlab chiqarish integratsiyalashuvi sharoitida innovatsion texnologiyalarning dolzarb muammolari. To'qimachi-2017". Respublika ilmiy – amaliy anjumani maqolalar to'plami. –Toshkent: 2017. 15-18-b.
3. Paluanov B.A. Paxta-to'qimachilik klasterlarida toylanmagan tolalardan ip yigirishning texnologik parametrlarini asoslash. t.f.PhD. diss. –Toshkent: 2023. 16-21-b.
4. Xodjiyev M.T., Ruzmetov M.E. Izmeneniye texnologicheskix pokazateley xlopka-sirsa pri yego skladirovaniy. // Problemi tekstilya. 2012. №2. - S.4.
5. Ochilov T.A. i.dr. Problemi soxraneniya prirodnix svoystv volokna pri xranenii xlopka-sirsa v buntax. Izvestiya visshix uchebnix zavedenii. Teknologiya tekstilnoy promishlennosti. Izdaniye Ivanovskoy gosudarstvennoy tekstilnoy akademii. №1.2003. St.32-34.
6. Sabirov I.K. Povisheniye vixoda volokna pri pererabotke vlaynogo xlopka-sirsa. Diss.d.t.n. –Toshkent: 2018. -S.25-26.
7. Xodjiyev M.T., Bayxanov B.A., Xakimov Sh.SH. G'aramdagi paxtani har xil sanoat navlarini ajratish bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar. To'qimachilik muammolari. №4.2018. S. 26-30.
8. Paluanov B.A. [i dr.]. Analiz xarakteristik texnologicheskix protsessov xlopko-tekstilnogo klastera // Universum: texnicheskiye nauki: elektron. nauchn. jurn. 2024. 3(120). DOI - 10.32743/UniTech.2024.120.3.17070
9. Gulyayev R.A., Lugachev A.YE., Usmanov X.S. Sovremennoye sostoyaniye proizvodstva, pererabotki, potrebleniya i kachestva xlopkovoy produkcii v vedushix xlopkokeyushix stranax mira. Monografiya, «Paxtasanoat ilmiy markazi» AJ. –T.: 2017. -S.46-53.
10. Mark Thomas Hamann. Impact of cotton harvesting and storage methods on seed and fiber quality. Master of Science. Texas A&M University. December 2011. –P. 2-8.
11. Searcy S.W. and others. Seed Cotton Handling & Storage - Texas A&M University.2005. -P.4-19.
12. Paluanov B, Pirmatov A. Efficient organization of harvesting and processing of cottonseeds. Universum: texnicheskiye nauki № 3 (84) 2021g. st.77-79. DOI: 10.32743/UniTech.2021.84.3.477-79

РЕЗЮМЕ. Мақолада пахта ҳосилини тери олишни механизациялаш натижасида терилган чигитли пахтани саклашда хориж технологияларини таҳлил қилган ҳолда ип йигириш учун сифатли тола олиш технологияларини яратиш ва жорий этиш бўйича тавсиялар берилган.

РЕЗЮМЕ. В статье проанализированы зарубежные технологии хранения хлопка-сырца, собранного в результате механизации хлопкоуборочных работ, а также даны рекомендации по созданию и внедрению технологий извлечения высококачественного волокна для прядения.

SUMMARY. The article analyzes foreign technologies for storing raw cotton collected as a result of the mechanization of cotton harvesting, and also provides recommendations for the creation and implementation of technologies for extracting high-quality fiber for spinning.

МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧИ РАННЕГО ВЫЯВЛЕНИЯ ХРОМОТЫ У КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ШАГОМЕРОВ

Б.С.Самандаров – докторант, доктор философии по техническим наукам, доцент

Б.Е.Гелдибаев – докторант

Ташкентский университет информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий

Таянч сўзлар: моделлаштириш, чорвачилик оксокликни аниқлаш, маълумотларни қайта ишлаш, педометр маълумотлари.

Ключевые слова: моделирования, животноводство, выявления хромоты, обработка данных, данные шагомеров.

Key words: modeling, animal husbandry, lameness detection, data processing, pedometer data.

Введение. Сегодняшний день математическое моделирование широко используется в животноводстве для решения таких задач, как прогнозирование заболеваний и индивидуальное наблюдение за крупным рогатым скотом. Своевременное определения заболеваний является сложной задачей, главным образом из-за сложной и непредсказуемой природы экологии и эволюционной динамики патогенов [1,2].

Эти присущие сложности требуют надежных систем оценки неопределенности для принятия правильных решений. Проблема прогнозирования заболеваний усугубляется плохими инициативами по борьбе с болезнями, отсутствием систем отчетности о заболеваниях, а также неполным и запоздалым обменом важными данными [2,3].

В последние годы наблюдается тенденция к росту заболеваемости крупного рогатого скота с разными болезнями. Это связано с рядом факторов, в том числе, изменение климата, увеличение объемов международной торговли животными и продуктами их переработки, снижение эффективности традиционных методов борьбы с разными заболеваниями [4,5].

По болезням животных проводится очень большой объем научных исследований, и сегодня, опираясь на возможности ИТ, передовых технологий и инструмен-

тов машинного обучения, большое внимание уделяется их автоматическому обнаружению и автоматизацию процессов в животноводстве [6]. Обеспечение высокого уровня здоровья скота, а именно измерение и/или обнаружение симптомов заболеваний с использованием передовых сенсорных технологий, автоматическая диагностика и прогнозирование на основе полученных данных датчиков, а также автоматизированное передача результатов ответственным лицам показывает важность исследований в этой области.

Использование информационных технологий в сфере служит повышению продуктивности животноводства, снижению человеческого фактора в процессе, снижению экономических потерь. На данный момент одним из важных вопросов считается своевременное выявление проблем, возникающих в их здоровье [7]. Причина в том, что различные заболевания, возникающие у скота на животноводческих фермах по производству молочной продукции, приводят к значительному снижению эффективности производства молока [8,9].

Одним из таких заболеваний является хромота, которая из-за своей широкой распространенности считается серьезной проблемой для молочных ферм [10].

Исследования на животноводческих фермах показывают, что более 70% коров хотя бы раз хромают. Четырьмя наиболее частыми диагнозами хромоты были язва подошвы, болезнь белой линии, межпальцевый некробактериоз и пальцевый дерматит. Заболеваемость составляла от 9 до 11 случаев на 100 коров в год [8].

Более того, поскольку хромота связана с более частым лежачим поведением, вполне вероятно, что она увеличивает риск мастита – самого дорогостоящего недуга среди молочного скота среди производственных заболеваний [11].

Отсутствие стандартного определения хромоты предрасполагает к ошибкам классификации [12], а разнообразие направления исследований, а также методологии сбора и анализа данных, используемые в исследованиях, затрудняют способность сравнивать результаты различных исследований, что затрудняет принятие обоснованных решений людям, участвующим в определении хромоты. Без стандартного метода оценки уровня частоты хромоты трудно понять динамику состояния здоровья во времени и его тяжесть, а также оценить эффективность мер по ее управлению.

Исходя из этого, разработка системы принятия решений на основе шагомеров для определения хромоты у крупного рогатого скота является одной из актуальных задач. Конечно, для этого в первую очередь встает вопрос о разработке математического обеспечения задачи и создании на его основе алгоритмического обеспечения.

Математическая модель

Раннее выявление хромоты у крупного рогатого скота имеет критическое значение для поддержания их здоровья, повышения продуктивности и снижения затрат на лечение. Хромота у животных может привести к снижению надоев молока и ухудшению общего состояния стада. Использование шагомеров позволяет собирать данные о движении животных в режиме реального времени, что открывает возможности для разработки математических моделей для раннего выявления хромоты. В данной статье представлена математическая постановка задачи раннего выявления хромоты у крупного рогатого скота на основе данных шагомеров.

Описание данных

Пусть $D = \{(X_1, y_1), (X_2, y_2), \dots, (X_n, y_n)\}$ – обучающая выборка, где:

- $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{it}\}$ – временной ряд данных шагомера для i -го животного за t временных шагов.
- $y_i \in \{0, 1\}$ – метка, указывающая на наличие хромоты (0 – здоровое, 1 – хромое) для i -го животного.

Извлечение признаков

Из временных рядов X_i необходимо извлечь признаки $\phi(X_i) = \{\phi_1(X_i), \phi_2(X_i), \dots, \phi_m(X_i)\}$, где $\phi_j(X_i)$ – j -й признак, такие как:

- среднее количество шагов за день;
- стандартное отклонение количества шагов;
- время активности и покоя;
- изменение скорости передвижения.

Для модели классификации обозначим вектор признаков для i -го животного через $z_i = \phi(X_i)$. Необходимо построить модель $f: \mathbb{R}^m \rightarrow \{0, 1\}$, которая будет предсказывать метку y на основе признаков z .

Обучение модели

Выбираем модель машинного обучения – логистическая регрессия. Обозначим параметры модели через w . Логистическую регрессию описываем как:

$$P(y_i = 1 | z_i; w) = \sigma(w^T z_i)$$

где $\sigma(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$ логистическая функция.

Функция потерь (логистическая потеря) определяем как:

$$L(w) = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [y_i \log \sigma(w^T z_i) + (1 - y_i) \log (1 - \sigma(w^T z_i))]$$

Здесь задача оптимизации состоит в нахождении таких параметров w , которые минимизируют функцию потерь:

$$w^* = \arg \min_w L(w)$$

Построение моделей процессов

Для проведения исследования необходимо собрать данные шагомеров, установленных на ногах крупных рогатых скот. Шагомеры для крупного рогатого скота представляют собой специализированные устройства, которые крепятся на ноги животных и измеряют их физическую активность. Эти устройства позволяют фермерам и ветеринарам мониторить здоровье и поведение животных с помощью специально разработанных программных обеспечений, а также выявлять ранние признаки заболеваний, таких как хромота.

Шагомеры представляют собой носимые устройства, которые фиксируют различные параметры движения животных. Процесс сбора данных включает несколько этапов: процесс выбора и установки шагомеров, сбор данных, хранение данных.

1) Процесс выбора и установки шагомеров:

▪ **Выбор устройства:** Выбор шагомеров, которые подходят для установки на ноги крупных рогатых скот и обеспечивают необходимые параметры, такие как точность измерений, долговечность и устойчивость к внешним воздействиям.

▪ **Установка устройств:** Установка шагомеров на ноги крупных рогатых скот таким образом, чтобы они не мешали движениям животных и были надежно закреплены.

2) Сбор данных

▪ **Периодичность сбора:** Определение временных интервалов для сбора данных (например, каждую минуту, час или день). Рекомендуется собирать данные с высокой частотой для точного анализа.

▪ **Параметры измерений:** Сбор следующих параметров:

- Количество шагов за определенные временные интервалы.
- Время активности и покоя.
- Средняя скорость передвижения.
- Положение тела (стоя, лежа).

3) Хранение данных

▪ **Системы хранения:** Использование надежных систем хранения данных, таких как базы данных или облачные хранилища, для централизованного сбора и хранения данных шагомеров.

▪ **Обеспечение безопасности:** Обеспечение безопасности данных и конфиденциальности информации, включая резервное копирование данных.



Рис.1. Диаграмма активности UML процесса сбора и предобработки данных шагомеров

Хромота у крупного рогатого скота является одной из наиболее распространенных и значимых проблем в современном животноводстве. Она оказывает негативное влияние на продуктивность, здоровье и

общее благополучие животных. В связи с этим разработка эффективных методов для раннего выявления и диагностики хромоты становится крайне актуальной. На основе процесса сбора и предобработки данных шагомеров проектируем процесс обработки данных для определения хромоты (Рис.2.).

Эта детализированная блок-схема процесса обработки данных для определения хромоты у крупного рогатого скота с включением математических формул иллюстрирует процесс обработки данных для определения хромоты у крупного рогатого скота. Каждое действие сопровождается соответствующими математическими операциями, что помогает понять, как данные трансформируются и анализируются для прогнозирования состояния животных. А это, в свою очередь, служит основой для разработки ядра программного комплекса раннего выявления хромоты.

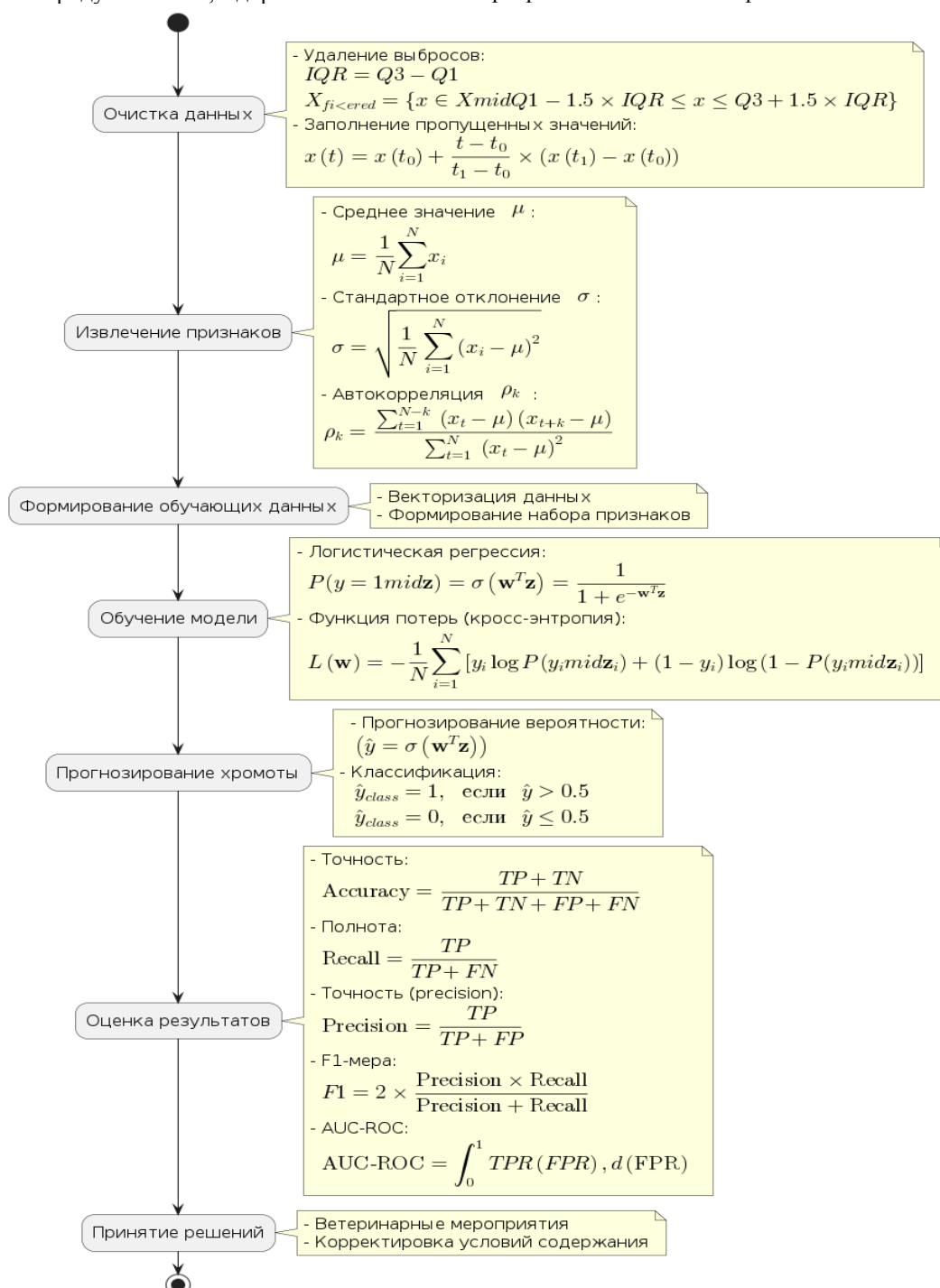


Рис.2. Процесс обработки данных для определения хромоты у крупного рогатого скота

Здесь процесс осуществляется в несколько этапов:

1. Очистка данных

Целью очистки данных является удаление шумов и ошибок, которые могут негативно повлиять на точность модели.

○ **Удаление выбросов и шумов** – выбросы в данных (аномально высокие или низкие значения) могут исказить результаты анализа. Для их удаления используем методы, такие как межквартильный размах (IQR) или Z-оценка.

○ **Заполнение пропущенных значений** – пропущенные значения будут заполнены методами линейной интерполяции или продвинутыми методами машинного обучения.

2. Извлечение признаков

Извлечение признаков включает преобразование временных рядов данных шагомеров в статические признаки, которые будут использованы для обучения модели.

Временные признаки:

- Среднее количество шагов за день μ ;
- Стандартное отклонение количества шагов σ ;
- Минимальное и максимальное значения;
- Автокорреляция.

3. Применение модели машинного обучения

В нашем случае модель машинного обучения обучается на подготовленных данных и применяется для прогнозирования вероятности хромоты.

3.1 Обучение модели:

○ Выбор модели, такой как логистическая регрессия, случайный лес, градиентный бустинг или нейронная сеть;

○ Обучение модели на тренировочных данных с использованием функции потерь (например, кросс-энтропии) и метода оптимизации (градиентный спуск).

3.2 Прогнозирование вероятности хромоты:

○ Применение обученной модели для прогнозирования вероятности хромоты на новых данных;

○ Классификация крупных рогатых скот как хромотых или здоровых на основе порогового значения.

4. Прогнозирование хромоты

На этом этапе проводится анализ результатов модели и делается окончательный вывод о состоянии животных. Для этой задачи используем оценку точности модели с использованием метрик, таких как точность (accuracy), полнота (recall), точность (precision), F1-мера и AUC-ROC.

На основании результатов анализа ветеринар принимает решения о необходимости вмешательства, лечения или изменения условий содержания животных.

Использование математических и алгоритмических методов для раннего выявления хромоты у крупных рогатых скот на основе данных шагомеров представляет собой перспективное направление, которое позволяет улучшить управление здоровьем животных на фермах. Разработка и внедрение таких систем могут значительно повысить эффективность сельского хозяйства и качество ухода за животными.

Заключение. В данной работе был проведен анализ проблемы для раннего выявления хромоты у крупных рогатых скот на основе данных шагомеров для современного животноводства. Подчеркнута важность построения математической модели на основе данных, полученных с помощью шагомеров и рассмотрен задача разработки математического обеспечения задачи определения заболевания хромоты у крупного рогатого скота и построена математическая модель этого процесса.

Этот подход обеспечивает новые возможности для диагностики заболеваний и позволяет повысить производительность за счет раннего выявления заболеваний на животноводческих фермах.

Литература

1. Heesterbeek H., Anderson R.M., Andreasen V., Bansal S., DeAngelis D., Dye C., Eames K.T.D., Edmunds W.J., Frost S.D.W., Funk S., Hollingsworth T.D., T. House, V. Isham, P. Klepac, J. Lessler, J.O. Lloyd-Smith, C.J.E. Metcalf, D. Mollison, L. Pellis, J.R.C. Pulliam, M.G. Roberts, C. Viboud, N. Arinaminpathy, F. Ball, T. Bogich, J. Gog, B. Grenfell, A.L. Lloyd, A. Mclean, P. O'Neill, C. Pearson, S. Riley, G.S. Tomba, P. Trapman, J. Wood. Modeling infectious disease dynamics in the complex landscape of global health // Science, 347 (2015).
2. Charles-Smith L.E., Reynolds T.L., Cameron M.A., Conway M., E.H.Y. Lau, Olsen J.M., Pavlin J.A., Shigematsu M., Streichert L.C., Suda K.J., Corley C.D. Using social media for actionable disease surveillance and outbreak management: a systematic literature review // PLoS One, 10 (2015), Article e0139701, doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0139701.
3. Keshavamurthy R., Thumbi S.M., Charles L.E. Digital biosurveillance for zoonotic disease detection in Kenya // Pathogens, 10 (2021), p. 783, doi: 10.3390/PATHOGENS10070783.
4. Самандаров Б.С. Анализ и прогнозирование инфекционных заболеваний в животноводстве с помощью математической модели // Информационные технологии моделирования и управления, 2023, №4(134), – С. 252-259.
5. Babadjanov E.S., Samandarov B.S. Intersensory relationships with cattle disease symptoms // Journal of Advances in Engineering Technology Vol.3(7), April – June, 2022. 64-67 b. DOI 10.244122181-1431-2022-3-64-67.
6. Nishanov A.Kh., Babadjanov E.S., Samandarov B.S., Gulmirzaeva G.A. An Analysis of Cattle Disease and Disease Monitoring Systems using Sensor Technologies // Science and Education in Karakalpakstan. №1-1. Nukus-2023. –P. 110-116.
7. Babadjanov E. “Aproblems and solutions of organizing smart livestock farms,” Cent. ASIAN J. Educ. Comput. Sci., vol. 1, no. 4, pp. 6–19, 2022.
8. Green L.E., Hedges V.J., Blowey R.W., Packington A.J., and S.YH, “The impact of clinical lameness on the milk yield of dairy cows Proc,” in 12th Int Symposium on Disorders of the Ruminant Digit, Florida, 2002. doi: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74304-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74304-X).
9. Hernandez J., Shearer J.K., and Webb D.W., “Effect of lameness on milk yield in dairy cows,” J. Am. Vet. Med. Assoc., vol. 220, no. 5, - P. 640–644, Mar. 2002, doi: 10.2460/JAVMA.2002.220.640.
10. J. S. Afonso et al., “Profiling Detection and Classification of Lameness Methods in British Dairy Cattle Research: A Systematic Review and Meta-Analysis,” Frontiers in veterinary science, vol. 7. Switzerland, p. 542, 2020. doi: 10.3389/fvets.2020.00542.
11. Watters M. E. A. et al. Associations of herd-and cow-level factors, cow lying behavior, and risk of elevated somatic cell count in free-stall housed lactating dairy cows // Preventive Veterinary Medicine. 2013. 111(3-4). – P. 245-255.
12. Shearer, Jan K., et al. Assessment and management of pain associated with lameness in cattle // Veterinary Clinics: Food Animal Practice 29.1. 2013. pp. 135-156. doi: 10.1016/j.cvfa.2012.11.012.

РЕЗЮМЕ. Мақола педометрлардан олинган маълумотлардан фойдаланган ҳолда қорамолларда оксокликни эрта аниқлаш алгоритмини ишлаб чиқишга қаратилган тадқиқот саналади. Муаллифлар томонидан оксокликнинг дастлабки босқичларини кўрсатиши мумкин бўлган аномалияларни аниқлаш мақсадида қорамолларнинг фаоллиги ва ҳаракат кўрсаткичларини таҳлил қилиш асосида модел таклиф қилишади. Қорамолларнинг оксокликлигини аниқлаш бўйича таклиф этилаётган модел ва маълумотларни қайта ишлаш жараёни ушбу касалликни дастлабки босқичларда самарали ташхислаш имконини беради, бу эса яна-да самарали даволаш ва чорвачилик махсулотларидаги йўқотишларни камайтиришга хизмат қилади.

РЕЗЮМЕ. Статья представляет собой исследование, посвященное разработке алгоритма раннего обнаружения хромоты у крупного рогатого скота с использованием данных, полученных от шагомеров. Авторы предлагают модель, основанную на анализе показателей активности и движения животных, с целью выявления аномалий в шагах, которые могут свидетельствовать о начальных стадиях хромоты. Предлагаемая модель и процесс обработки данных для определения хромоты у крупного рогатого скота позволяют эффективно диагностировать данное заболевание на ранних этапах, что способствует более эффективному лечению и снижению потерь в животноводстве.

SUMMARY. The article is a study to develop an algorithm for early detection of lameness in cattle using data obtained from pedometers. The authors propose a model based on the analysis of activity and movement indicators of animals, with the aim of identifying anomalies in steps that may indicate the early stages of lameness. The proposed model and data processing process for determining lameness in cattle make it possible to effectively diagnose this disease in the early stages, which contributes to more effective treatment and reduction of losses in livestock production.

ВЛИЯНИЕ ОДНООСНОГО УПРУГОГО СЖАТИЯ НА УСЛОВИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ПАРАМЕТРЫ РЕКОМБИНАЦИОННЫХ ВОЛН В КОМПЕНСИРОВАННОМ КРЕМНИИ

Н.Ф.Зикриллаев – доктор физико-математических наук, профессор

А.А.Сатторов – кандидат педагогических наук, доцент

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова

Н.Норкулов – кандидат физико-математических наук, доцент

Национальный университет Республики Узбекистан имени Мирза Улугбека

Н.У.Абдуллаева – ассистент преподаватель

Ташкентская медицинская Академия

Б.С.Ибрагимов –старший преподаватель

Ташкентский государственный технический университет

Таянч сўзлар: кремний, диффузия, марганец, амплитуда, частота, бир ўкли босим, барик коэффициент, электрон, ковак.

Ключевые слова: кремний, диффузия, марганец, амплитуда, частота, одноосное сжатие, барический коэффициент, электрон, дырка.

Key words: silicon, diffusion, manganese, amplitude, frequency, uniaxial compression, pressure coefficient, electron, hole.

Введение. С развитием цифровой технологии расширяются возможности автоматического управления различными техническими средствами в том числе дистанционным контролем физических величин внешнего воздействия. Автоколебания тока обнаруженные в полупроводниках могут служить в качестве нового типа носителей информации внешнего воздействия и элементов памяти с амплитудно-частотным выходом [1-4].

Исследование влияния деформации на условия возбуждения и параметры (амплитуда, частота) рекомбинационных волн обнаруженных и исследованных в компенсированном кремнии представляют интерес для получения информации об изменении параметров глубоких энергетических уровней примесных атомов при деформации. Также эти исследования вызывают интерес для создания нового поколения чувствительных датчиков физических величин с амплитудно-частотным выходом и твердотельных генераторов электромагнитных сигналов [5-7].

При исследовании вольт-амперной характеристики образцов компенсированного кремния легированного примесными атомами в определенных значениях напряженности электрического поля возбуждались автоколебания тока с частотой $f=10^3\div10^5$ Гц. Автоколебания возникали в интервале температур $T=250\div350$ К и интервале значения приложенной напряженности электрического поля $E=100\div300$ В/см. На рис. 1 показана ВАХ образцов компенсированного кремния легированного примесными атомами марганца ($Si<B,Mn>$), область возбуждения автоколебаний тока (РВ) заштрихована. Влияние одноосного упругого сжатия на параметры автоколебаний тока исследовалось в образцах кремния с кристаллографической ориентацией $<100>$ и $<111>$. Результаты исследования показали, что условия возбуждения и характер изменений параметров автоколебаний тока зависят от направления сжатия относительно кристаллографической оси ориентации кремния. Из литературных данных известно, что в зависимости от соотношения между концентрацией и временем жизни основных и неосновных носителей заряда в полупроводниках наблюдаются быстрые и медленные рекомбинационные волны [8,9]. Нами исследовано влияние одноосного упругого сжатия на параметры мед-

ленных РВ в компенсированном кремнии р-типа проводимости, легированного примесными атомами марганца.

Технология получения образцов и результаты исследования

Для получения компенсированного кремния с максимальной электроактивной концентрацией легирующих атомов в качестве исходных образцов был использован промышленный монокристаллический кремний с кристаллической ориентацией $<111>$ и $<110>$ марки КДБ-1; 10; 100, где концентрация бора составляла $N_B=2\cdot10^{16}$, $2\cdot10^{15}$, $2\cdot10^{14}$ см⁻³ соответственно. Компенсированный кремний легированный примесными атомами марганца получали методом диффузии из газовой фазы в интервале температур $T=1050\div1250^\circ\text{C}$ в течение $t=1$ часа. Диффузия примесных атомов марганца проводилась в кварцевых ампулах откаченных до $P\approx10^{-6}$ мм.рт.стол. После диффузии примесных атомов марганца были получены компенсированные образцы кремния легированные примесными атомами марганца с различным удельным сопротивлением [10,11].

Согласно условиям возбуждения медленных рекомбинационных волн (РВ), пороговые значения электрического поля E_n и частоты f_n определяются следующими выражениями:

$$E_n = \sqrt{\frac{kT}{e}} \cdot \frac{1}{\mu_p \tau_p} \cdot \frac{1 + \sqrt{\alpha + 1}}{\sqrt{\alpha - 1}} \quad (1)$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi \tau_p} \cdot \sqrt{(\alpha - 1)(\alpha + 1)} \quad (2)$$

где k - постоянная Больцмана, T - температура, μ_p - подвижность дырок, α -коэффициент который определяется соотношением $\alpha = \frac{n\tau_p}{p\tau_n}$, здесь n , p , τ_n , τ_p -

соответственно концентрация и время жизни электронов и дырок в компенсированном кремнии. Как известно при воздействии одноосного упругого сжатия в полупроводнике происходит смещение границ энергетических зон и энергий залегания глубоких уровней примесных атомов марганца.