

Г.М. Баенова*, **К.С. Агадилова**, **Ш.Ж. Сеилов**, **Н. Ұзаққызы**
Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
010000, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Пушкина, 11
*e-mail: gulmmira@yandex.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Аннотация: Для решения задач распознавания движущихся объектов системами видеонаблюдения не существуют универсальных алгоритмов. Однако, для разных систем и в случае разных ситуаций оптимальным является лишь некоторый конкретный алгоритм, позволяющий произвести распознавание объектов. В данной статье проведен анализ интеллектуальных алгоритмов и их устойчивости, влияющих на качество распознавания и рассмотрен комплексный подход, приводящий в единую структуру обнаружение объектов, классификацию людей и распознавание гендерных различий. Нарботанный опыт в области распознавания образов позволил достичь высоких результатов в создании различных устройств и систем в медицине, в промышленном секторе, в системах обработки информации и видеонаблюдений. Однако технологии компьютерного зрения и оптического распознавания динамических объектов продолжают представлять собой чрезвычайно сложную часть научного исследования из-за разнообразия видеокамер и устройств. А также широкого спектра применения, в первую очередь, в целях безопасности в местах большого скопления людей, выявления беспорядка и т.д. В этом исследовании представлены основные задачи для разработки программной системы с использованием компьютерного зрения и алгоритмов глубокого обучения для идентификации и классификации людей в видеопотоках, определения их количества и определения их пола.

Ключевые слова: компьютерное зрение, анализ изображений, распознавание объектов, методы классификации, системы видеонаблюдений.

Введение

В последние годы системы видеонаблюдения стали неотъемлемой частью инфраструктуры безопасности в различных секторах, включая транспортные узлы, общественные места, промышленные объекты и жилые районы. А задача распознавания объектов в видеоряде является сложной задачей и требует применения особых методов обработки изображений, связанных с глубоким машинным обучением [1].

В зависимости от типа входного формата, а именно, будет ли это изображение объекта, видеозапись или видеопоток в режиме реального времени, для создания приложения используются разные алгоритмы.

Данное исследование направлено на разработку программного обеспечения, способного классифицировать людей среди других объектов в видеопотоках, определять их количество и различать их пол [2, 3]. Распознавание лиц на видеоизображениях среди множества других подвижных объектов является наиболее сложной задачей, требующей применения широкого математического аппарата. Разработка таких алгоритмов может найти широкое применение в таких областях, как обеспечение безопасности, управление толпой на крупных мероприятиях, мониторинг дорожного движения в торговых центрах и оптимизация работы служб безопасности.

Разработка программы с применением нейронной сети реализуется с помощью языка программирования Python, который является удобным благодаря своей гибкости и наличием широкого спектра библиотек, предназначенных для работы с нейронными сетями.

При этом новейшие достижения цифровой техники и вычислительных мощностей предоставляют невероятные возможности получения качественных снимков и видеозаписей. В данной статье описан метод обнаружения людей на видеоизображениях, обученный на базовой модели YOLO. На сегодняшний день это лучшая модель глубокого обучения, предназначенная для различных задач компьютерного зрения. Она обладает преимуществами перед другими моделями по самым важным аспектам. В первую очередь, это анализ точности, который включает такие критерии, как точность детектирования

объектов, качественная разметка данных для обучения, а также имеется сравнительный анализ эффективности данной модели перед другими моделями глубокого обучения [4].

Методология исследования и обсуждения

В современных системах компьютерного зрения задачи обнаружения и классификации объектов занимают центральное место, играя ключевую роль в таких приложениях, как видеонаблюдение, автономные транспортные средства и системы безопасности. Развитие глубокого обучения привело к появлению различных архитектур нейронных сетей, которые значительно улучшили качество и скорость распознавания объектов. Для реализации нейронной сетки использовались передовые технологии, фреймворки и инструменты, обеспечивающие высокую производительность, гибкость и масштабируемость разработанной системы. Эти технологии позволяют реализовать сложные методы компьютерного зрения для распознавания и классификации объектов на основе анализа видеопотока.

Для распознавания объектов в видеопотоке необходимо разработать алгоритм идентификации объектов. Задачей данного исследования является идентификация человеческих лиц в видеоряде с помощью метода классификации объектов [5]. Классификация объектов может осуществляться двумя способами. Первый способ – это фасетный, который разделяет исходное множество на подмножества по условным признакам. Второй – иерархический, который разделяет исходное множество на подмножества, с определением родительских и им подчиненных уровней. Разделение на подмножества происходит только по одному признаку деления.

Объект считается идентифицированным, если для него установлен определенный уникальный ключ в виде номера принадлежности к классу. В результате классификации объект будет относиться к одному из классов. Классы из множества классов подразделяются на иерархические группы. Также для объекта выявляется его местоположение на изображении [6].

На рисунке 1 показаны взаимосвязи между различными характеристиками прогнозируемых объектов с помощью меток, такими как координаты центров ограничивающих рамок (x и y), ширины и высоты.

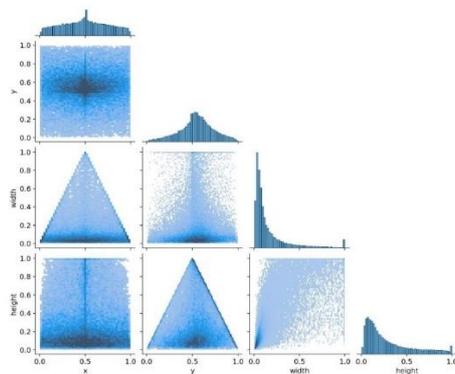


Рисунок 1 – Распределение меток объекта (YOLO)

Конкретно для решения задач, связанных с обнаружением объектов и классификацией в видеопотоках, наиболее подходящей платформой является TensorFlow 2 – это масштабируемая, мощная платформа для создания и обучения моделей глубокого обучения, разработанная компанией Google. Она имеет модульную архитектуру, которая поддерживает работу с различными вычислительными устройствами, такими как центральные процессоры (CPU), графические процессоры (GPU) и тензорные процессоры (TPU) и использовалась для создания и обучения сверточных нейронных сетей (CNN), которые служат основой для выполнения задач распознавания и классификации объектов. Кроме того, платформа поддерживает динамическую оптимизацию вычислений и распределенные вычисления, что позволяет эффективно масштабировать обучение при работе с большими наборами данных. TensorFlow также включает в себя механизмы мониторинга и визуализации хода обучения, что делает его одним из самых популярных и надежных инструментов для глубокого обучения.

Компьютерное зрение – это область искусственного интеллекта, ориентированная на автоматическое извлечение, анализ и понимание информации из изображений и видео. Основными задачами компьютерного зрения являются обнаружение объектов, распознавание лиц, сегментация изображений и отслеживание объектов. Эти задачи обычно решаются с использованием методов глубокого обучения, в частности сверточных нейронных сетей (CNN), которые эффективно обрабатывают пространственные данные, такие как изображения [7].

YOLO является одной из множества предварительно обученных архитектур для задач обнаружения объектов и обеспечивает высокую точность и скорость обнаружения, что особенно важно при работе с видеопотоками в реальном времени.

Концептуальная основа алгоритма YOLO превращает обнаружение объектов в единую регрессионную задачу, обеспечивая высокую скорость и эффективность. Вместо анализа изображений по частям, YOLO обрабатывает все изображение за один проход через нейронную сеть. Такой целостный подход не только ускоряет обнаружение, но и сохраняет контекстную информацию, что увеличивает точность прогнозов.

YOLO достигает своей эффективности, обходя традиционные методы определения на основе регионов. В отличие от R-CNN и его производных, которые генерируют предложения по регионам и затем классифицируют их, YOLO рассматривает обнаружение как единую задачу, что значительно снижает вычислительную сложность

TensorFlow поддерживает ряд стратегий для обучения распределенной модели, которые позволяют одновременно использовать несколько устройств. Стратегия зеркального отображения нескольких рабочих процессов – это одна из таких стратегий, которая обеспечивает синхронное обучение на нескольких устройствах, включая локальные и облачные среды. Это упрощает процесс параллельного обучения за счет распределения данных и синхронизации обновлений между устройствами.

В данном исследовании тензорные процессоры используются в облачной среде, что сокращает время обучения при работе с большими наборами данных, поскольку тензорные процессоры (TPU) специально разработаны для ускорения вычислений в задачах машинного обучения. Это обеспечивает масштабируемое обучение и эффективную обработку больших объемов данных, что имеет решающее значение для системы, предназначенной для работы в режиме реального времени [8]. Стратегия зеркального отображения нескольких объектов, в свою очередь, применяется для обучения на нескольких локальных устройствах, обеспечивая гибкость и позволяя проводить обучение в различных средах.

Методология исследования представляет собой последовательность действий, направленных на достижение поставленных целей. На каждом этапе, начиная с отбора данных и моделей, их предварительной обработки, обучения и заканчивая тренировкой (тонкой настройкой), используются специально разработанные методы и инструменты.

Результаты

Для задач данного исследования был использован набор данных COCO 2017 (Общие объекты в контексте), который является наиболее признанным для задач компьютерного зрения [9]. Он специально разработан для обнаружения объектов, сегментации и создания субтитров, что делает его подходящим для разработки надежных моделей машинного обучения.

Набор данных COCO 2017 содержит более ста тысяч обучающих изображений, пять тысяч проверочных изображений и около сорока тысяч тестовых изображений [10, 11]. Преимущество данного набора состоит в том, что он содержит аннотации для восьмидесяти категорий объектов и подробную информацию об ограничивающих рамках объектов, масках сегментации экземпляров и ключевых точках. Эти характеристики обеспечивают надежность модели как при обучении, так и при оценке. Основное внимание уделяется обнаружению и классификации объектов, особенно, связанных с детекцией принадлежности к человеку и его гендерных признаков. Таким образом, основные характеристики COCO являются следующими.

Расширенные аннотации. Набор данных содержит подробные аннотации для ограничивающих рамок и сегментации, необходимые для обучения моделей обнаружения объектов.

Разнообразие. Набор данных охватывает широкий спектр реальных сценариев, включая различные среды, позы и условия освещения.

Масштабируемость. Большое количество выборок и разнообразные категории данных хорошо подходят для моделей глубокого обучения.

Стандартный тест. Набор данных является общепринятым тестом для задач обнаружения объектов и позволяет проводить сравнения с другими методами.

Предварительная обработка набора данных. Для подготовки набора данных к обучению было применено несколько этапов предварительной обработки:

- изменение размера: все изображения были изменены до фиксированного разрешения 512x512 пикселей с сохранением, по возможности, соотношения сторон для обеспечения совместимости с моделью;
- нормализация: значения пикселей были нормализованы к диапазону [0, 1], что способствует более быстрой конвергенции во время обучения модели;
- увеличение объема данных: были применены случайные преобразования, такие как обрезка, переворот и поворот, для увеличения вариативности набора данных и уменьшения переобучения.

Набор данных СОСО за 2017 год является достаточным и разнообразным источником для задачи распознавания лиц в видеопотоке и образует прочную модель для обучения обнаружения объектов.

Как было отмечено выше, для выполнения задачи обнаружения объектов была использована архитектура глубокого обучения YOLO (You Only Look Once), позволяющая обнаруживать объекты в режиме реального времени и быстро обрабатывать изображения без существенного ущерба для точности.

Таким образом, реализация YOLO, алгоритм которого представлен на рисунке 2, включает:

- применение метода обнаружения объектов к кадрам видео в реальном времени;
- представление ограничивающей рамки;
- отображение ограничивающих рамок и показателей достоверности для обнаруженных лиц;
- приведение изображения к подходящему размеру;
- фильтрация с помощью подавления немаксимумов;
- подсчет количества обнаруженных лиц в режиме реального времени.



Рисунок 2 – Алгоритм идентификации модели YOLO

Применение в режиме реального времени. Обучение модели проводилось на доступном оборудовании, в частности, с использованием процессора Intel Core i5 и графического процессора NVIDIA GeForce GTX 1650 Ti, что обеспечивало практичность и воспроизводимость результатов. Конфигурация обучения включает:

- размер пакета: 4;
- размер изображения: 320×320 пикселей;
- количество эпох: 30.

Конвейер обнаружения в реальном времени использует OpenCV для обработки видео и вывода логических выводов и подходит для приложений наблюдения и мониторинга. В оценку производительности модели входило две метрики: значение средней точности (mAP50-95) и предсказания классов (accuracy_top5), графики приведены на рисунках 3 и 4 соответственно.

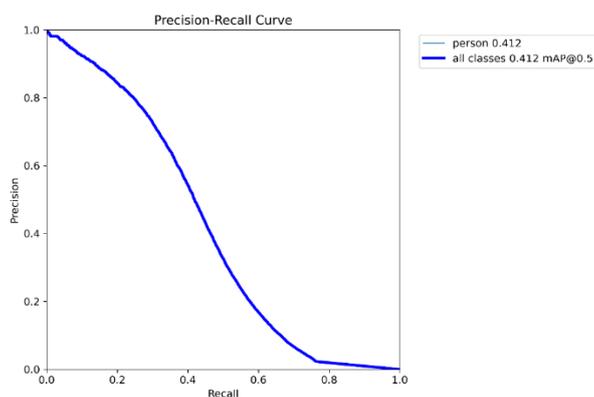


Рисунок 3 – Средняя точность обнаружения объектов (YOLO)

Площадь под кривой (AUC-PR) используется для дальнейшей оценки качества модели. Большая площадь под кривой указывает на то, что модель сохраняет высокую точность при увеличении количества отзывов.

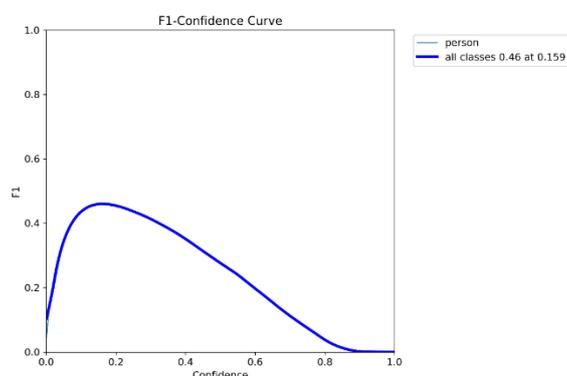


Рисунок 4 – F1-Доверительная кривая (YOLO)

Оптимальная точка на кривой указывает на порог, при котором достигается наилучший баланс между этими показателями, сводящий к минимуму как ложные срабатывания, так и пропущенные обнаружения. Поиск подходящего порогового значения для реальных условий является важнейшим аспектом

Заключение

Для реализации таких систем обычно применяются комплексные алгоритмы обработки видео, которые позволяют выделить интересующие объекты на фоне окружающей среды. При этом надо отметить, что алгоритмы, связанные с распознаванием пола, возраста и эмоций пока не очень хорошо работают. В этом направлении необходимо нарабатывать новые методы. Сам алгоритм состоит из следующих шагов. Сначала – выбрать объекты идентификации, затем определить метод распознавания данных объектов и разработать алгоритм обработки объектов на видеоизображении, в данном исследовании это сегментация видеопотока на отдельные кадры и выделение на них движущихся объектов. Для этого используются различные методы компьютерного зрения, такие как выделение контуров, определение цветовых характеристик и т.д. Устойчивость алгоритмов компьютерного зрения определяется разными факторами, одним из которых является правильное определение идентификационных признаков распознаваемого объекта, а именно, способность признака противостоять изменениям.

Таким образом, выбранный метод идентификации изображений на основе YOLO обладает развитыми функциями для задач компьютерного зрения и позволяет получить эффективное решение для распознавания объектов на видеопотоке.

Список литературы

1. Интеллектуальные системы видеонаблюдения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.mascomvostok.ru/service/intellektualnye-sistemy-videonablyudeniya/> (Дата обращения: 08.02.2025).

2. Chen K. Gender Classification Based on Deep Learning in Computer Vision / K. Chen, Y. Li, J. Wu // IEEE Access. – 2019. – № 7. – P. 117175-117184.
3. Karkkainen K. FairFace: Face Attribute Dataset for Balanced Race, Gender, and Age for Bias Measurement and Mitigation / K. Karkkainen, J. Joo // In Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision. – 2021 – P. 1548-1558.
4. Колбасов С.Ю., Орлов Ю.К. Сравнение эффективности обнаружения объектов современных сверточных нейронных сетей. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://masters.donntu.ru/2020/fknt/kolbasov/library/article2.pdf> (Дата обращения: 03.03.2025).
5. LightCSPNet: A Lightweight Network for Image Classification and Objection Detection / C. Wang et al // International Journal of Computational Intelligence Systems. – 2023. – № 16(1). – P. 46. <https://doi.org/10.1007/s44196-023-00226-5>.
6. You Only Look Once: Unified Real-Time Object Detection / J. Redmon et al // In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2016. <https://arxiv.org/abs/1506.02640>.
7. Mahmood A. Human Detection Using CNN for Autonomous Systems / A. Mahmood, H. Liu, S. Wong // Journal of Robotics. – 2016.
8. Vasilescu M.A.O. Multilinear analysis of image ensembles: Tensor-Faces, in ECCV 2002 / M.A.O. Vasilescu, D. Terzopoulos // Proceedings of the 7th European Conference on Computer Vision. – 2002. – V. 2350 of Lecture Notes in Computer Science. – P. 447-460.
9. Набор данных COCO. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://docs.ultralytics.com/ru/datasets/detect/coco/>
10. PyTorch torchvision COCO Dataset. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://skine.ru/articles/338448/>
11. COCO Dataset: All You Need to Know to Get Started. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.v7labs.com/blog/coco-dataset-guide>

References

1. Intellektual'nye sistemy videonablyudeniya [Ehlektronnyi resurs] – Rezhim dostupa: <https://www.mascomvostok.ru/service/intellektualnye-sistemy-videonablyudeniya/> (Data obrashcheniya: 08.02.2025). (In Russian).
2. Chen K. Gender Classification Based on Deep Learning in Computer Vision / K. Chen, Y. Li, J. Wu // IEEE Access. – 2019. – № 7. – R. 117175-117184. (In English).
3. Karkkainen K. FairFace: Face Attribute Dataset for Balanced Race, Gender, and Age for Bias Measurement and Mitigation / K. Karkkainen, J. Joo // In Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision. – 2021 – R. 1548-1558. (In English).
4. Kolbasov S.YU., Orlov YU.K. Sravnenie ehffektivnosti obnaruzheniya ob"ektov sovremennykh svertochnykh neironnykh setei. [Ehlektronnyi resurs] – Rezhim dostupa: <https://masters.donntu.ru/2020/fknt/kolbasov/library/article2.pdf> (Data obrashcheniya: 03.03.2025). (In Russian).
5. LightCSPNet: A Lightweight Network for Image Classification and Objection Detection / S. Wang et al // International Journal of Computational Intelligence Systems. – 2023. – № 16(1). – R. 46. <https://doi.org/10.1007/s44196-023-00226-5>. (In English).
6. You Only Look Once: Unified Real-Time Object Detection / J. Redmon et al // In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2016. <https://arxiv.org/abs/1506.02640>. (In English).
7. Mahmood A. Human Detection Using CNN for Autonomous Systems / A. Mahmood, H. Liu, S. Wong // Journal of Robotics. – 2016. (In English).
8. Vasilescu M.A.O. Multilinear analysis of image ensembles: Tensor-Faces, in ECCV 2002 / M.A.O. Vasilescu, D. Terzopoulos // Proceedings of the 7th European Conference on Computer Vision. – 2002. – V. 2350 of Lecture Notes in Computer Science. – P. 447-460. (In English).
9. Nabor dannykh SOSO. [Ehlektronnyi resurs] – Rezhim dostupa: <https://docs.ultralytics.com/ru/datasets/detect/coco/> (In Russian).
10. PyTorch torchvision COCO Dataset. [Ehlektronnyi resurs] – Rezhim dostupa: <https://skine.ru/articles/338448/> (In English).
11. COCO Dataset: All You Need to Know to Get Started. [Ehlektronnyi resurs] – Rezhim dostupa: <https://www.v7labs.com/blog/coco-dataset-guide>. (In English).

Г.М. Баенова*, К.С. Агадилова, Ш.Ж. Сеилов, Н. Ұзаққызы
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті,
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қаласы, Пушкина к-сі, 11
*e-mail: gulmmira@yandex.ru

ЖЫЛЖЫМАЛЫ ОБЪЕКТИЛЕРДІ АНЫҚТАУ ҮШІН КОМПЬЮТЕРЛІК КӨРУ АЛГОРИТМДЕРІН ҚОЛДАНУ

Бейнебақылау жүйелерімен қозғалатын объектілерді тану мәселелерін шешу үшін әмбебап алгоритмдер жоқ. Алайда, әр түрлі жүйелер үшін және әр түрлі жағдайларда объектілерді тануға мүмкіндік беретін белгілі бір алгоритм ғана оңтайлы болып табылады. Бұл мақалада тану сапасына әсер ететін интеллектуалды алгоритмдердің тұрақтылығына талдау жасалады және объектілерді анықтаудың, адамдардың жіктелуінің және гендерлік айырмашылықтарды танудың біртұтас құрылымына әкелетін кешенді тәсіл қарастырылады. Үлгіні тану саласындағы жинақталған тәжірибе медицинада, өнеркәсіптік секторда, ақпаратты өңдеу және бейнебақылау жүйелерінде әртүрлі құрылғылар мен жүйелерді құруда жоғары нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік берді. Дегенмен, компьютерлік көру және динамикалық нысандарды оптикалық тану технологиялары бейнекамералар мен құрылғылардың әртүрлілігіне байланысты ғылыми зерттеудің өте күрделі бөлігі болып қала береді. Сондай-ақ, ең алдымен, адамдар көп жиналатын орындардағы қауіпсіздік, тәртіпсіздікті анықтау және т. б. мақсатында қолданудың кең спектрі. Бұл зерттеу бейне ағындарындағы адамдарды анықтау және жіктеу, олардың санын анықтау және жынысын анықтау үшін компьютерлік көру және терең оқыту алгоритмдерін пайдалана отырып, бағдарламалық жүйені әзірлеудің негізгі міндеттерін ұсынады.

***Түйін сөздер:** компьютерлік көру, кескінді талдау, нысанды тану, жіктеу әдістері, бейнебақылау жүйелері.*

G.M. Baenova*, K.S. Agadilova, Sh.Zh. Seilov, N. Uzakkysy
L.N. Gumilyov Eurasian National University,
010000, Kazakhstan, Astana, Pushkin str., 11
*e-mail: gulmmira@yandex.ru

USING COMPUTER VISION ALGORITHMS TO IDENTIFY MOVING OBJECTS

There are no universal algorithms for solving problems of recognizing moving objects by video surveillance systems. However, for different systems and in the case of different situations, only some specific algorithm is optimal, allowing for object recognition. This article analyzes the stability of intelligent algorithms that affect the quality of speech recognition and considers an integrated approach that integrates object detection, classification of people, and recognition of gender differences. The accumulated experience in the field of pattern recognition has allowed us to achieve high results in the creation of various devices and systems in medicine, in the industrial sector, in information processing systems and video surveillance. However, computer vision technologies and optical recognition of dynamic objects continue to be an extremely difficult part of scientific research due to the variety of video cameras and devices. As well as a wide range of applications, primarily for security purposes in crowded places, disorder detection, etc. This study presents the main tasks for developing a software system using computer vision and deep learning algorithms to identify and classify people in video streams, determine their number and determine their gender.

***Key words:** computer vision, image analysis, object recognition, classification methods, video surveillance systems.*

Сведения об авторах

Гульмира Мусаевна Баенова* – PhD, ст.преподаватель кафедры компьютерной и программной инженерии, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Астана; e-mail: gulmmira@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6191-458X>.

Каламкас Сайрановна Агадилова – магистрант 2 курса по специальности вычислительная техника и программное обеспечение, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Астана; e-mail: 030726650266@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1573-1994>.

Шахмаран Журсинбекович Сеилов – к.т.н, декан ФИТ, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Астана; e-mail: seilov_sh_zh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5716-4506>.

Нүргүл Ұзаққызы – PhD, ст.преподаватель, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Астана; e-mail: uzakkyzy_n@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8262-0240>.

Авторлар туралы мәліметтер

Гульмира Мусаевна Баенова* – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті «Компьютерлік және бағдарламалық инженерия» кафедрасының аға оқытушысы, PhD, Астана қ.; e-mail: gulmmira@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6191-458X>.

Каламкас Сайрановна Агадилова – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, есептеу техникасы және бағдарламалық қамтамасыз ету мамандығы бойынша 2 курстын магистранты, Астана қ.; e-mail: 030726650266@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1573-1994>.

Шахмаран Журсинбекович Сеилов – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, техника ғылымдарының кандидаты, ақпараттық технологиялар факультетінің деканы, Астана қ.; e-mail: seilov_sh_zh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5716-4506>.

Нүргүл Ұзаққызы – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, «Компьютерлік және бағдарламалық инженерия» кафедрасының аға оқытушысы, PhD, Астана қ.; e-mail: uzakkyzy_n@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8262-0240>.

Information about the authors

Gulmira Musaevna Baenova* – L.N. Gumilyov Eurasian National University, PhD, Senior Lecturer at the Department of Computer and Software Engineering, Astana; e-mail: gulmmira@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6191-458X>.

Kalamkas Sairanovna Agadilova – L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2nd year Master's student in the Computer Engineering and Software, Astana; e-mail: 030726650266@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1573-1994>.

Shakhmaran Zhursinbekovich Seilov – L.N. Gumilyov Eurasian National University, candidate of technical sciences, dean of the Faculty of Information Technologies, Astana; e-mail: seilov_sh_zh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5716-4506>.

Nurgul Uzakkyzy – L.N. Gumilyov Eurasian National University, PhD, Senior Lecturer at the Department of Computer and Software Engineering, Astana; e-mail: uzakkyzy_n@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8262-0240>.

Поступила в редакцию 18.02.2025

Поступила после доработки 20.03.2025

Принята к публикации 21.03.2025