

Биометрическая идентификация человека по походке

Д.А. Елизаров, А.С. Окишев, Д.В. Королевский

Омский государственный университет путей сообщения,
644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является развитие технологий и методов биометрической идентификации и аутентификации, основанных на поведенческих биометрических признаках особенности походки, жестикуляция рук, обеспечивающие более высокую точность, безопасность и удобство. **Метод.** Исследование основано на инструментальных методах анализа и методе кросс-корреляции для оценки степени схожести двух сигналов при различных временных сдвигах. **Результат.** Представлен алгоритм биометрической идентификации человека по походке. Использование представленного алгоритма позволяет выполнить нормализацию и фильтрацию данных для удаления шумов, а также в дальнейшем выделить уникальные характеристики движений пользователя. Предложено применение акселерометра и гироскопа для сбора точных данных и регистрации пространственно-временных параметров шагов в реальном времени. **Вывод.** Практическая реализация алгоритма требует комплексного подхода, включающего как аппаратную часть, так и методы обработки сигналов и анализа данных.

Ключевые слова: биометрия, идентификация, акселерометр, гироскоп, анализа временных рядов, кросс-корреляция.

Для цитирования: Д.А. Елизаров, А.С. Окишев, Д.В. Королевский. Биометрическая идентификация человека по походке. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2026; 53(2):81-87. DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-2-81-87

Biometric identification of a person by gait

D.A. Elizarov, A.S. Okishev, D.V. Korolevskiy

Omsk State Transport University,
35 Marx Ave., Omsk 644046, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to develop technologies and methods for biometric identification and authentication based on behavioral biometric characteristics (gait characteristics, hand gestures), ensuring higher accuracy, security, and convenience. **Method.** The study is based on instrumental analysis methods and the cross-correlation method for assessing the degree of similarity of two signals at various time shifts. **Result.** An algorithm for biometric identification of a person by gait is presented. The use of the presented algorithm allows for normalization and filtering of data to remove noise, as well as subsequent identification of unique characteristics of the user's movements. The use of an accelerometer and gyroscope for collecting accurate data and recording spatiotemporal parameters of steps in real time is proposed. **Conclusion.** Practical implementation of the algorithm requires an integrated approach, including both hardware and methods for signal processing and data analysis.

Keywords: biometrics, identification, accelerometer, gyroscope, time series analysis, cross-correlation.

For citation: D.A. Elizarov, A.S. Okishev, D.V. Korolevskiy. Biometric identification of a person by gait. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2026;53(2):81-87. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2026-53-2-81-87

Введение. В современном мире биометрические технологии играют ключевую роль в обеспечении безопасности и идентификации личности [1–3]. Среди различных методов распознавания особое внимание уделяется анализу походки, который позволяет идентифицировать человека на основе уникальных характеристик его движений. Походка представляет собой сложный биомеханический процесс, формируемый под влиянием множества факторов, таких как анатомические особенности, нейромышечная координация и привычки, что делает ее практически уникальной для каждого индивида. Современные микро-электромеханические системы, такие как акселерометр и гироскоп, предоставляют возможность точного измерения параметров движения в реальном времени. Эти датчики способны регистрировать ускорения и угловые скорости, которые могут быть использованы для анализа временных рядов, отражающих характерные особенности походки. Таким образом, применение подобных датчиков открывает новые возможности для разработки эффективных систем идентификации, основанных на анализе движений человека.

Постановка задачи. С развитием технологий биометрической идентификации и аутентификации возникает потребность в создании новых методов, которые обеспечивают высокую точность, безопасность и удобство использования. Традиционные биометрические подходы, основанные на анализе отпечатков пальцев, распознавании лиц или голоса, демонстрируют ряд ограничений, включая подверженность подделке, трудности реализации и зависимость от внешних факторов. Альтернативой является использование поведенческих биометрических признаков, таких как особенности походки, жестикаляция рук.

Методы исследования. В качестве перспективы рассматривается динамика движений, регистрируемая акселерометрами и гироскопами. В рассмотренной научной литературе представлены различные подходы к использованию данных акселерометра и гироскопа для идентификации и аутентификации: походка человека считается уникальной биометрической характеристикой. Исследования показывают, что параметры шага, такие как длина шага, частота и амплитуда колебаний, могут быть использованы для создания индивидуального профиля пользователя [4];

- Распознавание жестов. Жесты, выполняемые рукой, также являются уникальными для каждого человека. Например, в исследовании [5] показано, что комбинация угловых скоростей и линейных ускорений может быть использована для идентификации пользователя с точностью до 95%. Также в данном исследовании сделан вывод, что датчики акселерометра и гироскопа должны быть прикреплены к месту, где происходит резкое движение тела при выполнении конкретного действия, а для повышения точности лучшие результаты дает комбинация датчиков;
- Анализ движений при взаимодействии с устройствами. Данные акселерометра и гироскопа могут использоваться для анализа взаимодействия пользователя с устройством (например, как поднимает телефон или совершает жесты). Такие системы показывают высокую точность при правильной обработке данных [6].

В настоящее время используется три основных метода анализа походки: использование видеокамер, напольных и носимых датчиков. Каждый из этих методов имеет свои уникальные особенности, преимущества и ограничения.

Наиболее распространенным подходом для анализа походки является использование видеокамер. Этот метод основан на захвате визуальных данных о движении человека с помощью камер, которые фиксируют силуэт движущейся личности, а также другие параметры, такие как длина шага, скорость походки, угол наклона стопы и траектория движения. Для извлечения основных параметров применяются алгоритмы компьютерного зрения, которые обеспечивают точный анализ данных. Ключевой особенностью данного метода является детализированное извлечение информации и дистанционная работа, однако, при этом требуется широкий угол обзора камеры и освещение. Разработанная в Китае

система Shuidi Shenjian – пример распознавания по походке с использованием алгоритмов компьютерного зрения (рис. 1) [7].



Рис.1 – Пример работы системы идентификации по походке Shuidi Shenjian

Fig. 1 – An example of the Shuidi Shenjian gait identification system

Метод напольных датчиков основан на применении в напольной поверхности датчиков давления и прикосновения. Используемые датчики определяют движения человека двумя способами. Первый из способов – это измерение реакции на пол (ground reaction force, GRF) и второй – распределение давления, оказываемого на поверхность. Преимущество данного подхода заключается в высокой точности измерений, обусловленной чувствительностью используемых сенсоров, однако недостатком является возможность применения только в оборудованных напольными датчиками местах. Система SFootBD является примером использования напольных датчиков для идентификации человека [8].

Метод носимых датчиков заключается в использовании на теле человека устройств, таких как, акселерометр и гироскоп. Данные устройства фиксируют параметры движения – ускорение, угловая скорость. Преимуществами данного метода являются динамичность и универсальность, но при этом проблемой является зашумленность данных.

Каждая рассмотренная технология имеет свои особенности. Метод с использованием видеозаписи связан с проблемой ограниченного обзора камеры. Использование напольных датчиков сопряжено с отсутствием мобильности, а носимые датчики зависят от качества. Использование параметров походки человека открывает новые возможности для исследований в разных областях, от безопасности до медицины и спорта. Но для реализации полноценного потенциала необходимо создание более удобных и точных носимых устройств и объединить различные подходы к анализу походки для создания универсальных систем идентификации.

Обсуждение результатов. Проектирование и реализация проекта для идентификации. Целью проекта является разработка способа идентификации пользователей по данным с носимых датчиков. Способ идентификации должен обладать следующими свойствами: гибкость в изменении поведения пользователя; устойчивость к помехам; высокая степень надежности идентификации.

Для реализации алгоритма идентификации, определим следующие шаги:

- сбор информации с носимых датчиков;
- выделение полезного сигнала из полученной информации, нормализация данных;
- извлечение параметров походки из полезного сигнала.

Данные, используемые для обработки, будут получены с акселерометра и гироскопа Arduino MPU6050. Каждый этап алгоритма является основополагающим в поддержании точности и корректности аутентификации пользователей.

Рассмотрим алгоритм более подробно. Датчики акселерометра и гироскопа закреплены на теле человека и с них через последовательный интерфейс передаются данные о походе человека на вычислительное устройство. С датчика акселерометра регистрируются данные линейного ускорения, а с гироскопа – углового ускорения. На данном этапе необходимо корректно определить частоту дискретизации для того, чтобы динамика движения пользователя была описана с максимальной точностью.

Полученные данные нуждаются в предварительной обработке, в частности, в избавлении от шумов и выполнении нормализации. Шум вызывается внешними факторами, такими как, вибрациями или колебаниями температуры. Для удаления шумов необходимо использовать фильтрацию, например, фильтр нижних частот (ФНЧ), который эффективно «отсекает» высокочастотные компоненты сигнала, подавляя шум, и пропускает сигналы с частотами ниже заданной частоты среза. Отсутствие фильтрации данных могло бы существенно исказить ключевые параметры сигнала – амплитуды, частоты и спектральных характеристик. Для проверки корректной работоспособности фильтра низких частот были проведены контрольные эксперименты. Сравнив результаты визуально и спектрально выявлено, что высокочастотные шумы устранены; ключевые характеристики сигнала остались неизменными. Применение ФНЧ представляет важный этап подготовки данных для дальнейшего исследования идентификации пользователя.

На следующем этапе ключевые признаки выделяются из предварительно обработанных данных. Наиболее информативными характеристиками являются: амплитудные и частотные показатели, спектральные параметры. По амплитудным параметрам можно определить интенсивность движений, по частотным ритмичность действий, а спектральные характеристики выявляют уникальные паттерны в данных. Использование представленного алгоритма позволяет выполнить нормализацию и фильтрацию данных для удаления шумов, а также в дальнейшем выделить уникальные характеристики движений пользователя. На рис. 2 приведены данные с акселерометра одного шага двух человек.

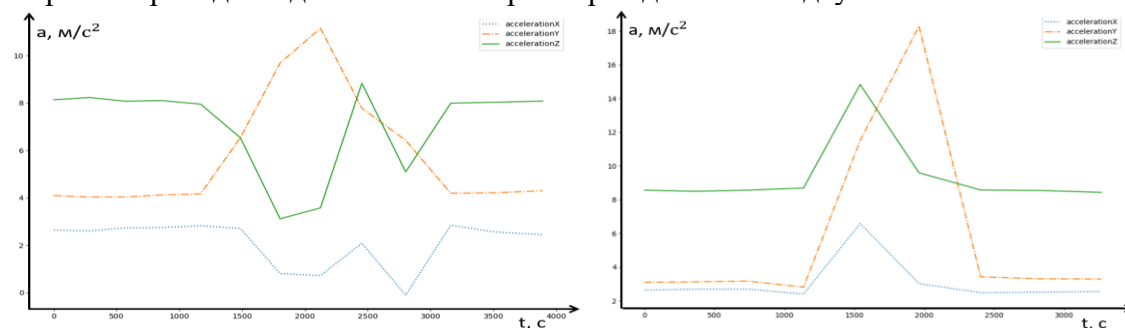


Рис. 2 – Данные с акселерометра одного шага

Fig. 2 – Accelerometer data for one step

На рис. 3 приведены данные с гироскопа одного шага двух человек.

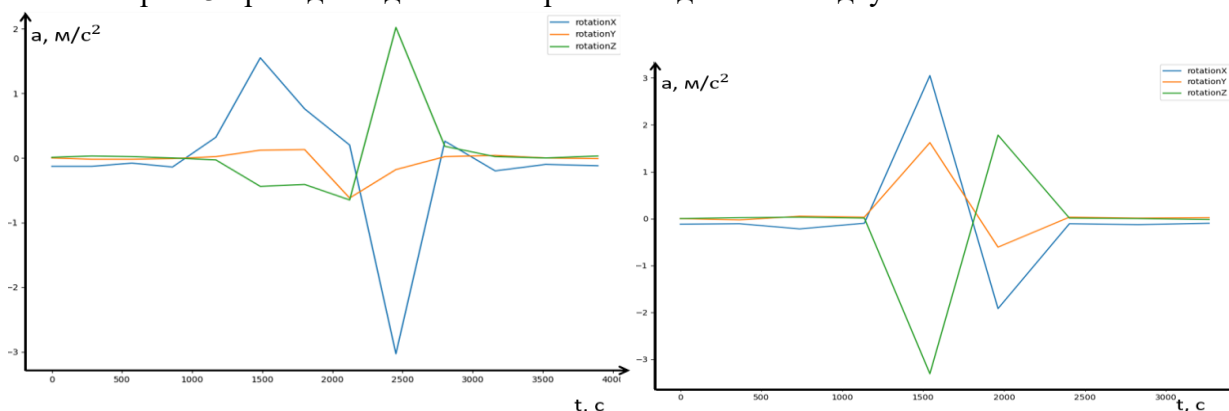


Рис. 3 – Данные с гироскопа одного шага

Fig. 3 – Gyro data for one step

Кросс-корреляция – это математический инструмент, который позволяет оценить степень схожести двух сигналов при различных временных сдвигах. В контексте идентификации пользователя по походке, этот метод играет ключевую роль по следующим причинам:

- походка человека уникальна и зависит от множества факторов: физиологии, нейромоторного контроля, привычек и даже эмоционального состояния;
- кросс-корреляция позволяет сравнить паттерны движений одного человека в разное время или двух разных людей и количественно оценить их схожесть;
- данные акселерометра и гироскопа могут быть смещены во времени из-за незначительных изменений в начале записи или условий эксперимента;
- кросс-корреляция учитывает временные сдвиги, что делает ее более надежной по сравнению с простым сравнением сигналов;
- для одного человека шаги, выполненные в разное время, должны демонстрировать высокую корреляцию, так как его походка стабильна;
- низкая корреляция между шагами двух разных людей подтверждает уникальность их движений;
- кросс-корреляция может быть реализована программно и использоваться для анализа данных в реальном времени, что важно для систем идентификации.

Для анализа использовались данные, полученные с акселерометров и гироскопов двух разных людей. Кросс-корреляция была рассчитана между сигналами каждого из этих датчиков для обоих участников. Выполним сравнение: шага одного человека, выполненного в разное время; шага двух разных людей.

Коэффициент кросс-корреляции вычислялся по формуле:

$$r = \frac{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})(y_{t+k} - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2 \sum_{t=1}^n (y_{t+k} - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

На рис. 4 приведены результаты расчета коэффициентов кросс-корреляции.

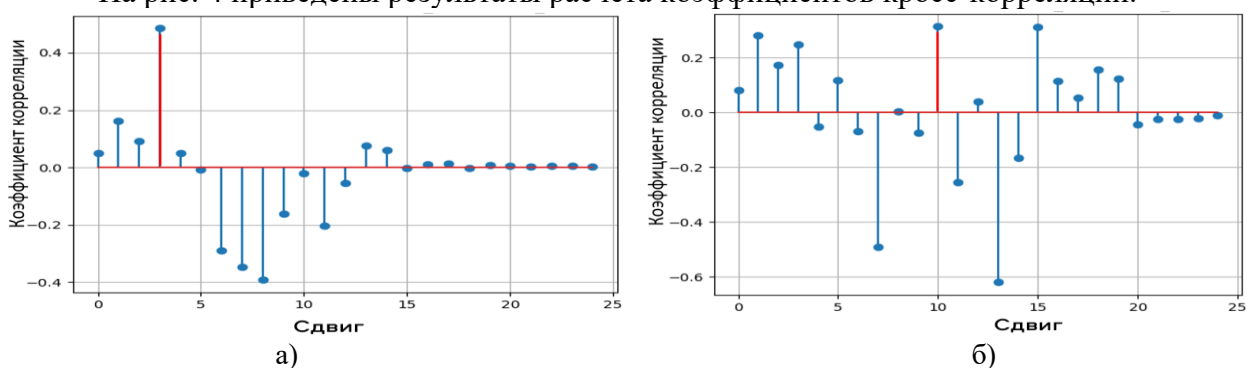


Рис. 4 – Кросс-корреляция двух шагов: а) одного человека; б) двух людей

Fig. 4 – Cross-correlation of two steps: a) one person; b) two people

При анализе двух шагов одного человека наблюдается следующее:

- высокая корреляция при постоянном сдвиге для разных параметров: когда два шага принадлежат одному человеку, их временные ряды имеют схожие характеристики (например, частота шагов, амплитуда, форма). Это приводит к высокому значению коэффициента корреляции при определенном сдвиге;
- максимальное значение корреляции при одном сдвиге: при сдвиге временного ряда одного шага относительно другого наблюдается пик корреляции. Это связано с тем, что шаги одного человека могут иметь внутреннюю периодичность или фазовую связь, которая проявляется при определенном сдвиге;
- затухание корреляции при увеличении сдвига: по мере увеличения сдвига корреляция снижается, так как временные ряды становятся все менее похожими друг на друга.

При анализе двух шагов разных людей наблюдается следующее:

- отсутствие стабильного пика корреляции: шаги разных людей имеют разные индивидуальные характеристики (частота, амплитуда, форма), что делает их временные ряды менее схожими. Поэтому корреляция не имеет четкого максимума при любом сдвиге;
- колебания корреляции при различных сдвигах: из-за различий в индивидуальных особенностях шагов корреляция колеблется вокруг нуля при различных сдвигах. Это указывает на отсутствие стабильной связи между временными рядами;
- низкий уровень корреляции в целом: общее значение корреляции остается близким к нулю, что свидетельствует о слабой или отсутствующей линейной связи между шагами разных людей.

Различия в поведении кросс-корреляции для одного человека и разных людей объясняются следующими факторами:

- у одного человека шаги имеют схожие характеристики (частота, амплитуда, форма), что создает структуру, позволяющую обнаружить корреляцию при определенных сдвигах;
- у разных людей шаги отличаются индивидуальными особенностями, что приводит к отсутствию стабильной корреляции;
- у одного человека шаги могут быть синхронизированы или иметь общую периодичность, что проявляется в виде пика корреляции при определенном сдвиге;
- у разных людей шаги не синхронизированы, и их периодичность различна, что приводит к колебаниям корреляции без четкого пика;
- для одного человека существует статистическая зависимость между шагами, что проявляется в виде высокой корреляции при определенных сдвигах;
- для разных людей такой зависимости нет, поэтому корреляция остается случайной и колеблется вокруг нуля.

Таким образом, акселерометр и гироскоп могут быть эффективно использованы для сбора данных, необходимых для создания систем идентификации, основанных на анализе походки.

Вывод. В результате проведенного исследования было установлено, что походка человека является уникальной биометрической характеристикой, которая может быть успешно использована для идентификации личности. Применение акселерометра и гироскопа для сбора данных о движениях демонстрирует высокий потенциал метода носимых датчиков за счет его способности точно регистрировать пространственно-временные параметры шагов.

Анализ полученных данных подтверждает наличие характерных паттернов, специфичных для каждого человека, что создает основу для разработки надежных систем идентификации. Важно учитывать, что практическая реализация таких систем требует комплексного подхода, включающего как аппаратную часть, так и методы обработки сигналов и анализа данных. Использование современных технологий, таких как машинное обучение и искусственный интеллект, открывает новые горизонты для совершенствования методов идентификации по походке, делая их более точными, универсальными и устойчивыми к внешним факторам.

Проведенное исследование подтверждает перспективность применения акселерометра и гироскопа в качестве инструмента для анализа походки и идентификации личности, что может найти широкое применение в медицине, безопасности и других областях.

Библиографический список:

1. К вопросу обеспечения защищенного доступа к информационным системам с применением биометрической аутентификации на основе нечеткого образа личности пользователя и нейросетевых преобразований /О.И. Бокова, С.В. Канавин, Н.С. Хохлов [и др.] // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2023. – Т. 50, № 4. – С. 75-84.

2. Использование биометрических данных для защиты информации / К.Н. Власов, О.В. Толстых, О.В. Исаев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2023. – Т. 50, № 3. – С. 46-56.
3. Derawi Mohammad Omar. Smartphones and Biometrics: Gait and Activity Recognition. – Режим доступа: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/144368> (дата обращения: 05.10.2025).
4. https://www.researchgate.net/publication/42803321_Biometric_Gait_Authentication_Using_Accelerometer_Sensor Biometric Gait Authentication Using Accelerometer Sensor. Gafurov D., Helkala Kirsi, Søndrol Torkjel. *Journal of Computers*. 2006. – Text: electronic. (date accessed: 05.10.2025).
5. Gesture recognition using mobile phone's inertial sensors. – Режим доступа: https://oa.upm.es/20952/1/INVE_MEM_2012_132738.pdf (дата обращения: 05.10.2025).
6. https://www.researchgate.net/publication/357278802_Human_Activity_Recognition_Using_Smartphone_Sensors Human Activity Recognition Using Smartphone Sensors. (date accessed: 07.10.2025).
7. Королевский Д.В. Идентификация человека по походке // Сборник избранных статей научной сессии ТУСУР. – 2024. – № 1-3. – С. 111-114.
8. Personalized Emotion Detection from Floor Vibrations Induced by Footsteps – Режим доступа: <https://arxiv.org/abs/2503.04190>. (дата обращения: 07.10.2025). – Текст: электронный.
9. Оценка параметров ходьбы человека с помощью двух акселерометров / Катаев М.Ю., Катаева Н.Г., Чернов Р.А. // Доклады ТУСУР. 2021. №2. – С.51-55.
10. Ekinici. Human Identification Using Gait. <https://journals.tubitak.gov.tr/elektrik/vol14/iss2/5/> (дата обращения: 05.10.2025).

References:

1. On the Issue of Ensuring Secure Access to Information Systems Using Biometric Authentication Based on a Fuzzy Image of the User's Identity and Neural Network Transformations. O.I. Bokova, S.V. Kanavin, N.S. Khokhlov[et al.] Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2023;50(4):75-84.
2. Using Biometric Data to Protect Information. K.N. Vlasov, O.V. Tolstykh, O.V. Isaev. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2023;50(3):46-56.
3. Derawi Mohammad Omar. Smartphones and Biometrics: Gait and Activity Recognition. – Access mode: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/144368> (date accessed: 05.10.2025)..
4. https://www.researchgate.net/publication/42803321_Biometric_Gait_Authentication_Using_Accelerometer_Sensor Biometric Gait Authentication Using Accelerometer Sensor. Gafurov D., Helkala Kirsi, Søndrol Torkjel. *Journal of Computers*. 2006. – Text: electronic. (date accessed: 05.10.2025).
5. Gesture recognition using mobile phone's inertial sensors. – Access mode: https://oa.upm.es/20952/1/INVE_MEM_2012_132738.pdf (date accessed: 05.10.2025).
6. https://www.researchgate.net/publication/357278802_Human_Activity_Recognition_Using_Smartphone_Sensors Human Activity Recognition Using Smartphone Sensors. (date accessed: 07.10.2025).
7. Korolevskiy D.V. Human Identification by Gait. *Collection of selected articles of the scientific session of TUSUR*. 2024;1-3:111-114.
8. Personalized Emotion Detection from Floor Vibrations Induced by Footsteps. Available at: <https://arxiv.org/abs/2503.04190>. (Accessed: 07.10.2025).
9. Estimation of human walking parameters using two accelerometers / Kataev M.Yu., Kataeva N.G., Chernov R.A. *TUSUR Reports*. 2021;2: 51-55.
10. Ekinici. Human Identification Using Gait. <https://journals.tubitak.gov.tr/elektrik/vol14/iss2/5/> (Accessed: 05.10.2025).

Сведения об авторах:

Елизаров Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент; доцент, кафедра «Информационная безопасность»; elizarovdaib@gmail.com

Окишев Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Информационная безопасность»; okishevas@okishevas.ru

Королевский Данил Васильевич, студент, кафедра «Информационная безопасность»; korolevskiy-2002@mail.ru

Information about authors:

Dmitry A. Elizarov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department «Information security»; elizarovdaib@gmail.com.

Andrey S. Okishev, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department «Information security»; okishevas@okishevas.ru

Danil V. Korolevskiy, Student, Department of Information Security, korolevskiy-2002@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 24.11.2025.

Одобрена после рецензирования/Reviced 16.01.2026.

Принята в печать/Accepted for publication 15.05.2026.