

## МЕТОДЫ БИОМАРКИРОВАНИЯ ЗАЩИЩАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

В.А. Минаев, С.В. Дворянкин, А.М. Алюшин

В статье для совершенствования технологий подтверждения валидности документов рассматривается комплексный подход использования биометрической подписи для бумажной и электронной форм хранения и передачи данных. Сравниваются методы электронной и речевой подписи, при этом последняя рассматривается в качестве носителя наиболее важной контекстной информации защищаемого документа, так и индивидуальных биометрических характеристик автора. Для этой цели предусмотрена передача в составе биоподписи информации о состоянии сердечно-сосудистой, нервной и дыхательной системы автора. Показано, что указанные дополнительные биопараметры позволяют значительно повысить достоверность оценки текущего функционального и психоэмоционального состояния автора документа. Применение технологии биомаркирования позволяет выявлять случаи неадекватного состояния, а также факты принуждения к подписи и утверждению документа. Значение интегрированного показателя качества разработанных алгоритмических и программных средств подтверждения валидности документов за счет использования биоподписи составило 99,4%. Сравнение биоподписи с речевой подписью показало выигрыш первой на 46%.

Ключевые слова: валидность документа, биометрическая подпись, параметры сердечно-сосудистой, нервной, дыхательной систем, интегрированный показатель.

**Введение**

Решение практических задач и развитие технологий подтверждения валидности документов позволило сформировать комплексный подход, использующий преимущества как бумажной, так и электронной форм хранения и передачи данных в информационно-коммуникационной среде организации. При этом использование биометрической информации позволяет существенным образом повысить защищенность документа от подделки и фальсификации.

В рамках настоящей статьи решены следующие задачи:

- обоснована перспективность применения биомаркеров, учитывающих контекстную информацию документа и биометрическую информацию, позволяющую, в частности, выявлять случаи неадекватного состояния его автора;
- проведена классификация параметров и выбран способ графической визуализации компонент биомаркера;
- разработан комплекс моделей биомаркера, ориентированных на применение в оценке валидности документов.

**Методы подтверждения валидности документов**

**Электронная подпись.** Средства подтверждения валидности документов с помощью технологии электронной подписи (ЭП) [1] позволяют повысить надежность документооборота. Однако необходимо отметить, что уязвимость методов хранения и передачи криптографических ключей, использующихся при создании ЭП, не позволяет рассматривать их в качестве полноценных средств защиты.

В Российской Федерации использование ЭП регулируется Федеральным законом № 63-ФЗ [2]. В США применение ЭП регламентируется рядом государственных документов, наиболее важными из которых являются акты «Electronic Signatures in Global and National Commerce Act (ESGNC)» и «Uniform Electronic Transactions Act (UETA)» [3].

В настоящее время метод ЭП применяется преимущественно для защиты документов на электронных носителях. Данный метод является наиболее эффективным в плане подтверждения валидности содержащейся в документе информации, а также подтверждения его авторства. Однако у метода существует два недостатка, которые могут привести к

уязвимости данной технологии:

1. Постоянный рост производительности современной вычислительной техники, появление квантовых компьютеров с производительностью, в триллионы раз превосходящей традиционные компьютеры, могут привести к быстрому «взлому» ключей асимметричного шифрования, лежащих в основе криптографических алгоритмов ЭП.

2. Наиболее критичной с точки зрения обеспечения валидности информации для метода ЭП является потеря либо похищение закрытого ключа шифрования. Обычно для защиты ключа от кражи используют дополнительные устройства, которые хранят закрытый ключ, такие как: смарт-

карты, токены, USB-брелки и др. Данные устройства значительно повышают защищенность закрытого ключа, однако, как и любые другие электронные устройства, они могут быть взломаны, потеряны либо украдены.

**Речевая подпись** основывается на представлении акустической (речевой) информации в виде графических образов для документов на бумажных и электронных носителях. В настоящее время существует множество различных вариантов представления речевой информации (РИ) в графическом виде. Наиболее часто используемым способом является представление оцифрованного речевого сигнала (РС) в виде спектрограммы (рис. 1).

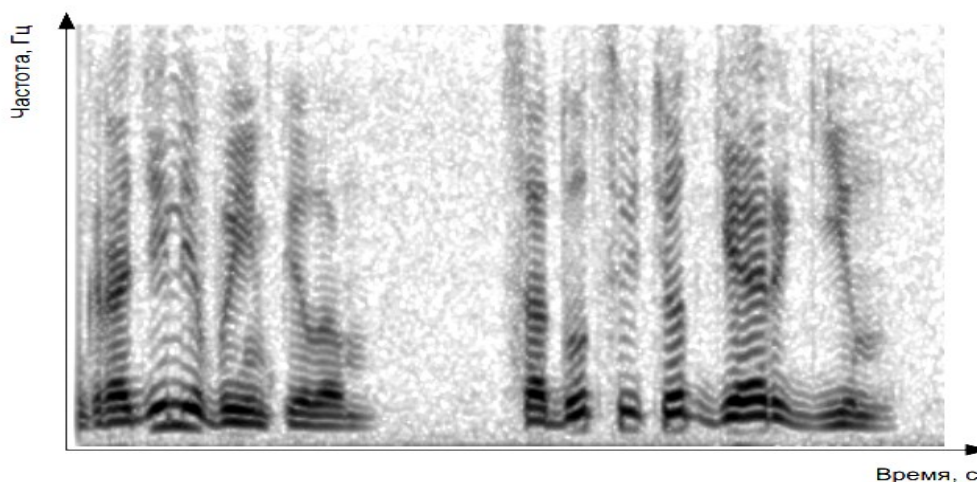


Рис. 1. Спектрограмма речевого сигнала

**Спектрограмма** – это зависимость частоты сигнала от времени. Оттенок черно-белого цвета каждого пикселя на картинке показывает значение интенсивности в конкретный момент времени и для конкретной частоты (черный – максимальная интенсивность, белый – минимальная). Спектрограмму РС обычно получают с использованием преобразования Фурье.

Другим способом представления оцифрованного РС является вейвлет-преобразование. Пример представления биоинформации в виде вейвлетов показан на рис. 2 [4].

Выбор того или иного варианта представления РС в графическом виде зависит от разрешающей способности

полиграфического оборудования, объема представляемой информации, производительности применяемой вычислительной техники. Актуальной в этой связи выступает *задача представления РС в виде аудиомаркеров*.

Сущность применяемой на практике технологии РП заключается в добавлении в какое-либо место защищаемого документа изображения спектрограммы РС [5,6]. В этом изображении хранится важная информация, связанная с защищаемым документом таким образом, что изменение основной части текста должно повлечь за собой изменение РП. При этом сделать это без автора документа невозможно. Под важной информацией подразумевается, например, сумма договора, обязанности сторон, сроки,

координаты, телефоны, номера счетов и т. д.

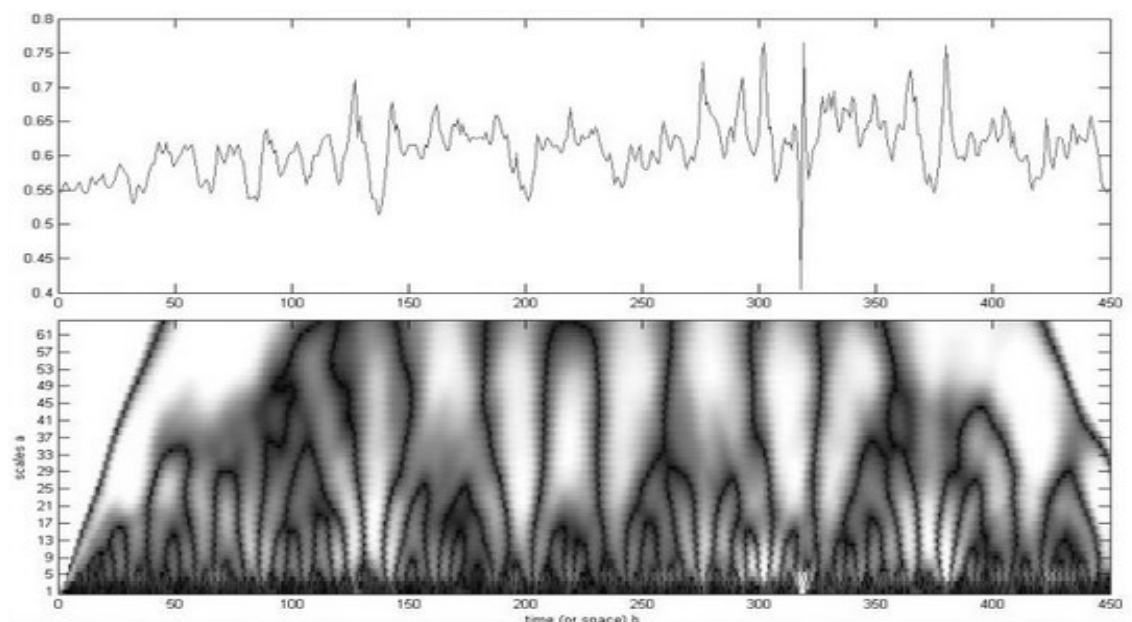


Рис. 2. Пример вейвлет-преобразования для биоинформации: исходный сигнал (а), вейвлет-рисунок (б)

Сущность применяемой на практике технологии РП заключается в добавлении в какое-либо место защищаемого документа изображения спектрограммы РС [5,6]. В этом изображении хранится важная информация, связанная с защищаемым документом таким образом, что изменение основной части текста должно повлечь за собой изменение РП. При этом сделать это без автора документа невозможно. Под важной информацией подразумевается, например, сумма договора, обязанности сторон, сроки, координаты, телефоны, номера счетов и т. д.

Общая идея использования технологии РП заключается в реализации следующих четырех этапов:

1. Используя микрофон, получают звуковой файл в формате wav.

2. С помощью специализированного программного обеспечения переводят звуковой файл в графическую картинку – РП.

3. Изображение РП вставляется в документ.

4. При проверке подлинности документа осуществляется сравнительный анализ РП.

Реализация метода позволяет передавать в составе РП как наиболее важную часть контекстной информации защищаемого документа, так и индивидуальные голосовые характеристики автора.

**Комплексная биоподпись.** Технология РП потенциально позволяет кодировать и передавать в составе биомаркера как наиболее важную контекстную информацию документа, так и расширенный набор индивидуальных биометрических характеристик автора: частоту сердечных сокращений (ЧСС), вариабельность сердечного ритма (ВСР), артериальное давление (АД), частоту дыхания (ЧД), глубину дыхания (ГД), двигательную активность (ДА), сатурацию крови кислородом ( $\text{SaO}_2$ ). Указанные дополнительные биопараметры (БП) позволяют значительно повысить достоверность оценки текущего функционального и психоэмоционального состояния (ФПЭС) автора документа [7].

Всю совокупность дополнительных БП, определяющих ФПЭС автора документа, можно подразделить на два класса. К первому классу относятся биопараметры, изменение которых описывается одномерной временной функцией. Ко второму – относятся биопараметры, для описания которых целесообразно использовать их спектральное представление. В табл. 1 представлена классификация биопараметров по указанным аспектам.

Таблица 1  
Классификация биопараметров человека

Класс	Биопараметры
1	ЧСС, АД, ЧД, ГД, SaO <sub>2</sub>
2	ВСП, ДА, РС

Передача биопараметров первого класса не сопряжена с техническими трудностями ввиду небольших информационных объемов передаваемых данных. Иначе обстоит дело с биопараметрами второго класса.

Одним из наиболее информативных БП

второго класса, позволяющих достоверно определять текущее функциональное и психоэмоциональное состояние автора документа, является ВСП. На рис. 3 представлена типичная спектрограмма кардиоинтервалов человека [8,9] – зависимость спектральной мощности в  $мс^2 \times 1000$  от частоты в герцах.

Весь измеряемый частотный спектр принято подразделять на диапазоны [10], границы которых представлены в табл. 2.

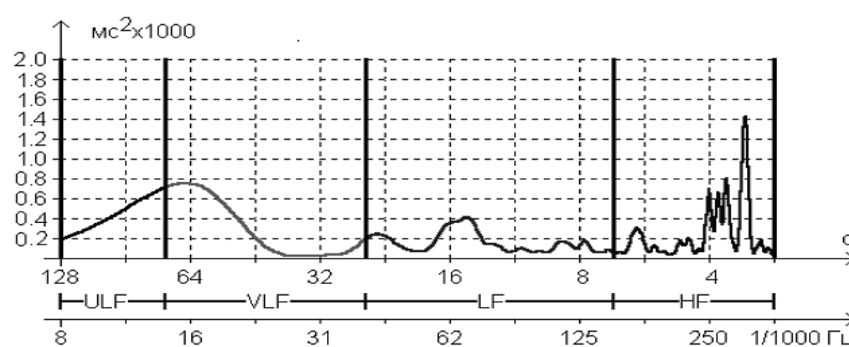


Рис. 3. Типичная спектрограмма кардиоинтервалов

Таблица 2  
Частотные диапазоны спектра кардиоинтервалов

№	Компонента спектра	Диапазон, Гц/1000	Период, с
1	HF	0,4 - 0,15	2,5 - 6,6
2	LF	0,15 - 0,04	6,6 - 25,0
3	VLF	0,04 - 0,015	25,0 - 66,0
4	ULF	<0,015	>66,0

Спектральная характеристика кардиоинтервалов уникальна для каждого человека и по этой причине может быть использована для передачи в составе БП для определения текущего состояния автора документа, а также для идентификации его личности. На рис. 4 представлены виды спектральных характеристик сердечного ритма [8].

Информацию о текущем состоянии автора документа позволяет получить параметр ДА. Его спектр дает возможность оценить характер двигательной активности, позволяя:

- определить, в частности, дрожь и тремор, характерные для случаев применения насилия;
- учесть влияние ДА на точность определения других БП;
- повысить эффективность БП при обработке виброизображения лица человека [10, 11].

Наибольшие требования по объему данных в составе БП связаны с передачей спектральной информации речевого сигнала. Методы и алгоритмы кодирования спектральной информации о биопараметрах второго класса аналогичны рассматриваемым для РС.

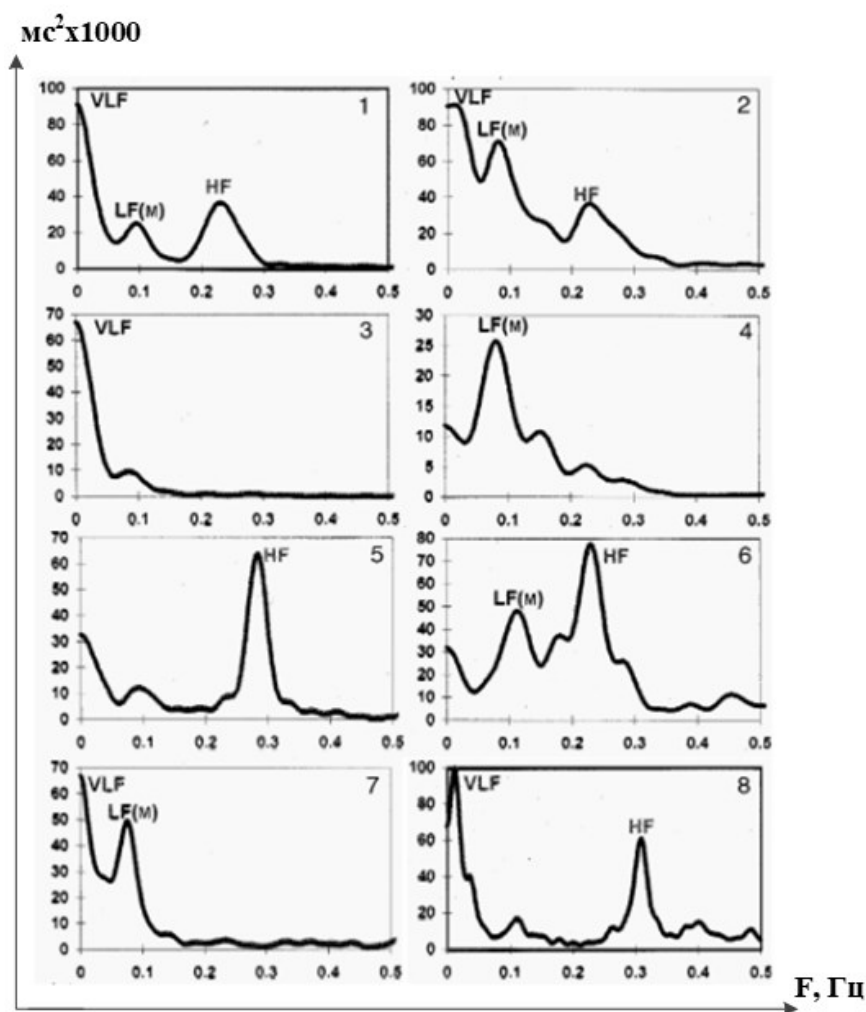


Рис. 4. Типы спектральных характеристик сердечного ритма

## 2. Синтез и распознавание биоподписи

Основным назначением методик и алгоритмов синтеза и распознавания биоподписи является повышение надежности последней за счет передачи в ее составе текущего ФПЭС автора документа.

Для этой цели, как говорилось выше, предусмотрена передача в составе БП информации о состоянии сердечно-сосудистой, нервной и дыхательной системы автора. Перечисленная персональная биометрическая информация может быть получена при обработке видеоизображения лица автора документа в оптическом и инфракрасном диапазонах излучения [12-15].

Получить указанную информацию можно получить, используя:

- тепловизионную камеру, встроенную в современные модели смартфонов;
- видеокамеры высокого разрешения для анализа виброизображения лица;
- сенсоры линейных и угловых перемещений, позволяющих определить

уровень вибраций и тремора лица и рук автора;

- браслеты, броши и часы для регистрации биопараметров и их передачу по каналу связи Bluetooth на смартфоны.

Представляемый в статье метод, а также методические и технические средства подтверждения валидности документов на бумажных носителях могут быть использованы для подтверждения валидности документов на электронных носителях. Отличие заключается в некотором упрощении разработанных методик, алгоритмов и практических средств.

В первую очередь, это касается выполнения операций по преобразованию изображений БП, полученных путем сканирования бумажного документа, в цифровой компьютерный формат, а также операций по преобразованию компьютерной графической информации в печатное изображение БП. При защите документов на

электронных носителях эти операции не выполняются. Кроме этого, сама БП документа изначально представляется в цифровом виде.

### 3. Обсуждение и выводы

Для оценки подтверждения валидности документов проведено сравнение по интегрированному показателю (ИП) различных методов, базирующихся на основе биоподписи, речевой подписи, электронный подписи, штрих-кода, полиграфических технологий. В таблице 3 приведены результаты сравнения величин интегрированного аддитивного показателя, отражающего важные особенности каждого из методов.

Таблица 3  
Интегрированный показатель качества сравниваемых подходов

Метод подтверждения валидности документа	И П, %
Метод подтверждения валидности на основе БП	99,4
Метод подтверждения валидности на основе РП	53,4
Метод на основе ЭП	12,4
Метод на основе штрих-кодов	10,0
Метод на основе использования полиграфических технологий	5,6

Например, для РП – это разборчивость и естественность речи. Кроме того, в интегрированном показателе учтены возможности криптографической защиты, маскирования биопараметров, обработки искаженных фрагментов биоподписи и др.

Таким образом, созданный в работе метод подтверждения валидности документов за счет использования БП характеризуется наивысшим показателем интегрального качества – 99,4%. По сравнению с ближайшим методом РП выигрыш по интегральному качеству составил 46%.

### Заключение

Основным научным результатом, представленным в статье, является обоснование и разработка метода биомаркирования, позволяющего повысить защищенность документов, представляемых в бумажном и электронном видах.

Для этого обосновано применение технологии, позволяющей кодировать контекстную информацию и биометрическую информацию об его авторе, которая позволяет выявлять случаи неадекватного состояния, а также факты принуждения последнего к подписи и утверждению документа.

Значение интегрированного показателя качества разработанных алгоритмических и программных средств подтверждения валидности документов за счет использования биоподписи составило 99,4%. Сравнение с аналогом в виде речевой подписи показало выигрыш по эффективности – 46%.

### Список литературы

1. Electronic Signatures in Global and National Commerce Act (Public Law 106–229–June 30, 2000). [Электронный ресурс] <https://www.govinfo.gov/content/pkg/PLAW-106publ229/pdf/PLAW-106publ229.pdf>. – Рр. 463–476. – Режим доступа: (дата обращения: 21.06.2019).
2. Федеральный закон от 06.04.2011 № 63-ФЗ (ред. от 28.06.2014) «Об электронной подписи». [Электронный ресурс]. <https://icrp.ru/docs/legislation/fz-63.pdf> дата обращения: 21.06.2019).
3. Uniform Electronic Transactions Act. [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Uniform\\_Electronic\\_Transactions\\_Act](https://en.wikipedia.org/wiki/Uniform_Electronic_Transactions_Act) (дата обращения: 21.06.2019).
4. Сереженко Н. П. Научное обоснование выбора оптимального математического обеспечения для анализа биоэлектрической активности мозга в норме и патологии: Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук по специальности 05.13.01. Воронеж: ВГМА им. Н.Н. Бурденко, 2009. – 20 с.
5. Дворянкин С. В. Взаимосвязь цифры

и графики, звука и изображения // Открытые системы. 2000. № 3. – С. 34–42.

6. Дворянкин С. В. Речевая подпись. М.: РИО МТУСИ, 2003. – 184 с.

7. Alyushin M. V., Kolobashkina L. V., Rozhanskaya Y. N. Measurement of static and dynamic bio-parameters of a person in remote systems for current psycho-emotional and functional state monitoring // Proceedings of the IEEE 2018 Third International Conference on Human Factors in Complex Technical Systems and Environments (ERGO). Russia. St. Petersburg. – 2018. – Pp. 161–165.

8. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем // Вестник аритмологии. 2002. № 24. – С. 65–86.

9. Kiss G., Sztahó D., Vicsi K., Golemis A. Connection between body condition and speech parameters – especially in the case of hypoxia // Proceedings of the 5th IEEE Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom), Vietri sul Mare, Italy. 2014. – Pp. 333–336.

10. Alyushin M. V., Kolobashkina L. V., Parakhin V. R., Dvoryankin S. V. Obtaining reliable biometric information in the analysis of vibration images of the operator's face to ensure the reliability of the human factor of potentially dangerous objects / XXIII International Conference on Soft Computing and

Measurements (SCM). 27–29 May 2020. St. Petersburg, Russia. IEEE. – Pp. 265–268.

11. Safonov I., Gartsev I. An approach for benchmarking of activity recognition / Proceedings of 11<sup>th</sup> Int. Conf. Pattern Recognition and Image Analysis: new information technologies. Samara. 23–28 September 2013 г. 2013. Vol. 2. – Pp. 457–460.

12. Bevilacqua F., Engström H., Backlund P. Changes in heart rate and facial actions during a gaming session with provoked boredom and stress // Entertainment Computing. 2018. Vol. 24. – Pp. 10–20.

13. Calvo M. G., Lang P. J. Gaze patterns when looking at emotional pictures: motivationally biased attention // Motivation and Emotion. 2004. Vol. 28. No. 3. – Pp. 221–243.

14. Ruiz-Padial E., Sollers J. J., Vila J., Thayer J. F. The rhythm of the heart in the blink of an eye: emotion-modulated startle magnitude covaries with heart rate variability // Psychophysiology. 2003. Vol. 40. No. 2. – Pp. 306–313.

15. Alyushin A. M., Alyushin M. V., Kolobashkina L. V. Laboratory approbation of a new approach for contrast enhancement of human face thermal image based on selective multifunction pixel brightness conversion function // Procedia Computer Science. 2018. – Vol. 123. – Pp. 1–6.

Московский университет МВД РФ им. В.Я. Кикотя  
Moscow University of the Internal Affairs Ministry of Russia

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ  
National Research Nuclear University MEPhI

Поступила в редакцию 15.06.2023

#### Информация об авторах

**Минаев Владимир Александрович**, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры специальных информационных технологий, Московский университет МВД РФ им. В.Я. Кикотя, Москва, e-mail: mlva@yandex.ru.

**Дворянкин Сергей Владимирович** – д-р техн. наук, профессор, начальник Научно-образовательного центра "Безопасность интеллектуальных киберфизических систем" Института интеллектуальных кибернетических систем НИЯУ МИФИ, e-mail: s\_dvrn@mail.ru.

**Алюшин Александр Михайлович** – ассистент кафедры информатики и процессов управления Института общей профессиональной подготовки НИЯУ МИФИ, e-mail: alyshin@list.ru.

---

**METHODS OF BIOMARKING PROTECTED OBJECTS****V.A. Minaev, S.V. Dvoryankin, A.M. Alyushin**

The article considers a comprehensive approach to using biometric signatures for paper and electronic forms of data storage and transmission in order to improve the technologies for confirming the validity of documents. The methods of electronic and speech signatures are compared, while the latter is considered as the carrier of the most important contextual information of the protected document, as well as the individual biometric characteristics of the author. For this purpose, the transfer of information about the state of the author's cardiovascular, nervous and respiratory system as part of the bio-signature is provided. It is shown that these additional bioparameters can significantly increase the reliability of the assessment of the current functional and psycho-emotional state of the author of the document. The use of biomarking technology makes it possible to identify cases of inadequate condition, as well as facts of coercion to sign and approve a document. The value of the integrated quality indicator of the developed algorithmic and software tools for confirming the validity of documents through the use of bio-signatures was 99.4%. A comparison of a bio-signature with a speech signature showed a 46% gain for the first one.

Keywords: validity of the document, biometric signature, state of the cardiovascular, nervous, respiratory systems, integrated indicator.

Submitted 15.06.2023

**Information about the authors**

**Vladimir A. Minaev** – Dr. Sc. (Technical), Professor, Professor of the Special Information Technologies Department, V. Ya. Kikot Moscow University of the Internal Affairs Ministry of the Russian Federation, e-mail: mlva@yandex.ru.

**Sergey V. Dvoryankin** – Dr. Sc. (Technical), Professor, Head of the Scientific and Educational Center "Security of Intelligent Cyberphysical Systems" of the Institute of Intelligent Cybernetic Systems of MEPhI, e-mail: s\_dvrn@mail.ru.

**Alexander M. Alushin** – Assistant of the Computer Science and Management Processes Department of the Institute of General Professional Training of MEPhI, e-mail: alyshin@list.ru.