

21. Nakahara J., Sepehrdad P., Zhang B., Wang M. Linear (Hull) and Algebraic Cryptanalysis of the Block Cipher PRESENT, *8th International Conference on Cryptology and Network Security, CANS '09, New York, 2009*, pp. 58-75.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор К.Е. Румянцев.

**Бабенко Людмила Климентьевна** – Южный федеральный университет; e-mail: blk@fib.tsure.ru; 347928, г. Таганрог, ул. Чехова, 2; тел.: 88634312018; кафедра безопасности информационных технологий; профессор.

**Маро Екатерина Александровна** – e-mail: marokat@gmail.com; тел.: 88634371905; кафедра безопасности информационных технологий; ассистент.

**Babenco Lyudmila Klimentevna** – Southern Federal University; e-mail: blk@fib.tsure.ru; 2, Chehov street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634312018; the department of security of information technologies; professor.

**Maro Ekaterina Aleksandrovna** – e-mail: marokat@gmail.com; phone: +78634371905; the department of security of information technologies; assistant.

УДК 004.067

DOI 10.18522/2311-3103-2016-5057

**Ю.А. Брюхомицкий**

#### **ИММУНОЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ВЕРИФИКАЦИИ РУКОПИСИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕКТОРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ**

*Предлагается метод текстонезависимого онлайн-анализа рукописи, использующий принципы функционирования искусственных иммунных систем, ориентированный на задачу верификации личности по рукописи. Метод основан на использовании иммунологической модели отрицательного отбора. Метод может применяться для анализа произвольных текстов произвольного объема. Особенностью метода является представление информационных потоков рукописи в виде последовательности информационных единиц фиксированного формата и размера, с последующей их децентрализованной обработкой. Для этого применяется двойное квантование во времени исходных информационных потоков рукописи. Информационные единицы рукописи, в свою очередь, представляются векторами в многомерном пространстве признаков, характеризующих положение пера. Предлагаемый метод верификации рукописи обладает рядом преимуществ. По сравнению известным методом онлайн-анализа рукописи на основе частотного разложения, пригодным исключительно для анализа сильно ограниченных объемов текстов, представленных предопределенными словами или короткими фразами, предлагаемый метод не имеет таких ограничений и позволяет проводить анализ произвольных рукописных текстов произвольного объема. За счет значительного увеличения объема используемых рукописных данных, характеризующих особенности личности, точность анализа повышается. Другим принципиальным отличием предлагаемого иммунологического онлайн-анализа является переход от интегральной оценки рукописных данных за некоторый фиксированный период времени к непрерывной оценке их временной структуры с возможностью своевременного принятия правильного верификационного решения в темпе поступления рукописных данных. Такая схема распознавания дает преимущества при решении определенных классов задач, критичных ко времени принятия верификационного решения.*

*Текстонезависимый онлайн-анализ рукописи; верификация личности по рукописи; принципы работы искусственных иммунных систем; векторное представление информационных единиц рукописи.*

**Yu.A. Bryukhomitsky**

## **THE IMMUNOLOGICAL METHOD OF PENSRIPT VERIFICATION USING VECTOR REPRESENTATION OF DATA**

*The method of text-independent penscript online analysis is offered. It uses the principals of artificial immune systems functioning and is oriented on the task of personality verification by penscript. The method is based on using the immunological model of negative selection. The method can be used for analysis of any-size arbitrary text. A feature of the method is representation of information flows of the penscript in a form of the sequence of information units of the fixed format and size, with the following decentralized processing of them. For this purpose double quantization in time of initial information flows of the penscript is applied. Information units of penscript, in turn, are represented by vectors in multidimensional space of signs characterizing the position of the pen. The proposed method of verification of the penscript has several advantages. In comparison with the known method of online analysis of penscript based on frequency decomposition, suitable only for the analysis of strongly limited volumes of texts submitted by the predetermined words or short phrases, the offered method has no such restrictions, allowing analysis of arbitrary penscripts of any size. Due to a substantial expansion of volume of using hand-written data characterized features of the person the accuracy of analysis increases. The other fundamental difference of the offered immunological online analysis is the transition from the integrated evaluation of hand-written data by the fixed period of time to continuous evaluation of their temporal structure with the possibility of timely correct verification decision-making at rate of the hand-written data coming in. Such scheme of recognition gives advantages in solving the certain classes of tasks, which are critical to a time of adoption of the verification decision.*

*Text-independent penscript online analysis; personality verification by penscript; principles of artificial immune systems operation; vector representation of information units of penscript.*

**Введение.** В информационной безопасности, криминалистике, психофизических исследованиях актуальным является анализ рукописных текстов, который направлен на выявление взаимосвязи между характером рукописи и личностью автора. Существуют два подхода для проведения такого анализа «офлайн» и «онлайн».

Офлайн-анализ (почерковедческая экспертиза) используется преимущественно в криминалистике. Объектом анализа в этом случае являются «мертвые», – воспроизведенные ранее неизвестными авторами рукописные тексты. Анализ проводится, как правило, вручную экспертами высокой квалификации. Поэтому результаты носят достаточно субъективный характер и зависят от опыта и профессионализма экспертов [1, 2].

Онлайн-анализ рукописного текста применяется в сфере информационных технологий и психофизических исследованиях для решения таких задач, как:

- ◆ верификация личности автора по рукописи;
- ◆ выявление отклонений психофизического состояния автора рукописи от нормального состояния;
- ◆ обнаружение фрагментов рукописи, обладающих повышенной эмоциональной значимостью для пишущего (аналог полиграфа);
- ◆ исследование рукописей с целью выявления психофизических особенностей автора и др.

Онлайн-анализ рукописи осуществляется непосредственно в процессе ее воспроизведения автором с помощью графического планшета (дигитайзера). Выходные данные дигитайзера несут информацию о параметрах положения и колебания пера автора при воспроизведении им рукописи в трехмерном пространстве. Объем получаемой информации об особенностях рукописи при этом существенно превышает тот, который доступен человеку-эксперту. Поэтому онлайн-анализ по точности верификации автора рукописи существенно превосходит офлайн-анализ.

Для извлечения индивидуальных параметров рукописи применяются различные подходы, включая: скрытые марковские модели; Байесовские методы; методы динамического программирования; двумерные дискретные косинусные преобразования, разложения по ортогональным базисам и др. [3-10]. Однако эти подходы ориентированы исключительно на короткие фиксированные тексты, в качестве которых выступают факсимильная подпись, определенное слово или короткая фраза. Другим их недостатком является не достаточно высокая точность, обусловленная малой представительностью коротких образцов рукописи и методическими погрешностями метода. Как следствие, это ограничивает сферу применения онлайн-анализа рукописных текстов.

**Постановка задачи.** Целью работы является разработка нового метода текстонезависимого онлайн-анализа рукописи, основанного на принципах функционирования искусственных иммунных систем (ИИС) [11–13]. В отличие от известных методов онлайн-анализа, предлагаемый метод может применяться на произвольных текстах произвольного объема.

Особенностью метода является представление информационных потоков рукописи в виде последовательности информационных единиц фиксированного формата и размера, с последующей их децентрализованной обработкой. В ИИС используются два варианта представления информационных единиц: строковый и векторный. В первом случае за единицу информационного потока принимается строка фиксированной длины  $l$ , во втором – вектор в пространстве мерности  $l$ . Строковое представление иммунологических данных является универсальным и может применяться практически для любых типов исходных данных (алфавитного, числового, логического). Метод текстонезависимого онлайн-анализа рукописи, основанный на принципах функционирования ИИС со строковым представлением данных описан в работе [14]. Однако методы сопоставления строковых данных имеют недостаточно высокую точность, что негативно сказывается на общей точности онлайн-анализа.

Вместе с тем, решение задачи верификации личности автора по рукописи позволяет ограничиться исключительно числовым представлением исходных данных. Это обстоятельство открывает возможность рассмотреть как актуальную – задачу разработки иммунологического метода текстонезависимой онлайн-верификации личности по рукописи, используя числовое векторное представление рукописных данных.

**Решение поставленной задачи.** Исходными данными для онлайн-верификации являются снимаемые с выхода дигитайзера оцифрованные временные функции  $x(t_i), y(t_i), i = 1, 2, \dots$ , отражающие колебания пера в плоскости планшета и функция  $z(x_i)$  давления пера на плоскость планшета. В дополнение к тройке функций  $x(t_i), y(t_i), z(x_i)$  могут использоваться и другие характеристики положения и удержания пера: углы наклона к плоскости планшета X–Y, степень сжатия, круговая ориентации и др. При этом увеличение числа учитываемых степеней свободы приводит к нелинейно меньшему приросту точности верификации при линейном увеличении вычислительных затрат [6]. Для упрощения выкладок в данной работе число учитываемых степеней свободы  $n$  принято равным трем, что не ограничивает применимость и работоспособность метода для любых значений  $n$ .

С учетом указанного ограничения, каждая позиция пера с координатами  $x(t_i), y(t_i), z(x_i)$  может быть представлена вектором  $\mathbf{a}(t_i) = [a_x(t_i), a_y(t_i), a_z(t_i)]$  в ортогональной системе координат пространства  $E^n$ , где  $n = 3$ .

Процесс воспроизведения рукописи порождает информационный поток, представленный последовательностью информационных единиц фиксированного формата и размера. На этапе предварительной обработки данных дигитайзера из

последовательности исключаются длительные паузы, не обусловленные особенностями рукописи личности. Информационными единицами реконструированной таким образом последовательности являются векторы

$$\mathbf{A} = \{\mathbf{a}(t_i)\} = \{\mathbf{a}_i\}, \mathbf{a}_i = a_{xi}, a_{yi}, a_{zi}, i = 1, 2, \dots$$

Текстнезависимая верификация личности по рукописи подразумевает использование достаточно больших объемов произвольного текста для получения необходимого уровня точности верификации. Это приводит к необходимости использования вторичного квантования исходной последовательности  $\mathbf{A} = \{\mathbf{a}_i\}$  по времени:

$$\mathbf{A} \rightarrow \bar{\mathbf{A}} = \{\mathbf{a}_j\}, \mathbf{a}_j = a_{xj}, a_{yj}, a_{zj}, j = 1, 2, \dots, \delta t_j = r \cdot \delta t_i,$$

где  $\delta t_i$  – исходный шаг квантования по времени;  $\delta t_j$  – шаг вторичного квантования по времени;  $r$  – коэффициент вторичного квантования.

Шаг вторичного квантования выбирается, исходя из необходимости соблюдения пропорций между стремлением снизить вычислительные затраты на обработку последовательности  $\bar{\mathbf{A}} = \{\mathbf{a}_j\}$ , с одной стороны, и сохранением достаточной степени информационной связности между членами последовательности  $\bar{\mathbf{A}} = \{\mathbf{a}_j\}$ , отражающей индивидуальность рукописи, с другой стороны. В терминологии ИИС коэффициент  $r$  вторичного квантования можно трактовать, как параметр, имитирующий свойство аффинности иммунной системы.

В конечном итоге векторы  $\mathbf{a}_j$  вторично квантованной последовательности  $\bar{\mathbf{A}} = \{\mathbf{a}_j\}$  выступают в качестве иммунологических информационных единиц анализируемой рукописи.

Значения векторов  $\mathbf{a}_j$  представлены действительными числами, нормированными к диапазонам изменения данных в выходных каналах  $v$  дигитайзера:

$$d_v = (\min \mathbf{a}_v, \max \mathbf{a}_v), v = x, y, z.$$

При этом диапазоны  $d_x, d_y$  определяются графическим разрешением дигитайзера, а диапазон  $d_z$  определяется чувствительностью планшета к давлению пера. В общем случае диапазоны  $d_x, d_y, d_z$  могут быть различными и определяются характеристиками дигитайзера. С учетом минимаксных диапазонов  $(\min \mathbf{a}_v, \max \mathbf{a}_v)$  изменения координат векторов  $\mathbf{a}_j$  последовательности  $\bar{\mathbf{A}} = \{\mathbf{a}_j\}$ , задача онлайн-верификации личности по рукописи будет решаться в некотором рабочем подпространстве  $E_p^n$  пространства  $E^n$ , т.е.  $E_p^n \subset E^n$ .

Используемый иммунологический принцип анализа рукописных данных, в конечном счете, решает свойственную живой иммунной системе – задачу распознавания «чужого», что соответствует первой из упомянутых выше задач онлайн-анализа – верификации личности по рукописи. Другие задачи, по существу, являются производными от нее. Кроме того, эта задача распознавания «чужого» имеет прямое отношение к информационной безопасности. В этой связи последующее описание метода и используемая терминология ориентированы в значительной степени на эту основную задачу.

Для распознавания «чужих» в данной работе используется иммунологическая модель отрицательного отбора (МОО) [15–20]. Модель содержит две фазы функционирования: обучение и распознавание.

В фазе обучения ИИС вначале создается биометрический шаблон  $\mathbf{M}$  рукописи данной личности, представленный ограниченным числом членов последовательности  $\bar{\mathbf{A}} = \{\mathbf{a}_j\}$ :

$$\mathbf{M} = \{\mathbf{a}_j\} = \mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_{N_M}, \mathbf{a}_j = a_{xj}, a_{yj}, a_{zj}, j = 1, 2, \dots, N_M.$$

Элементы  $\{\mathbf{a}_j\}$  шаблона  $\mathbf{M}$  представлены векторами в подпространстве  $E_p^n$ . Шаблон  $\mathbf{M}$  используется далее для создания совокупности  $\mathbf{D}$  распознающих элементов – детекторов  $\mathbf{d}_j$ ,

$$\mathbf{D} = \{\mathbf{d}_j\} = \mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2, \dots, \mathbf{d}_{N_D}, \mathbf{d}_j = d_{xj}, d_{yj}, d_{zj}, j = 1, 2, \dots,$$

которые выполняют роль лимфоцитов иммунной системы. Детекторы  $\mathbf{d}_j$  должны реагировать только на элементы  $\mathbf{a}_j$  контролируемой рукописи, отсутствующие в шаблоне  $\mathbf{M} = \{\mathbf{a}_j\}$ .

Кандидаты в детекторы  $\{\dot{\mathbf{d}}_j\}$ , так же как и элементы  $\{\mathbf{a}_j\}$  шаблона  $\mathbf{M}$ , представлены векторами  $\mathbf{d}_j = d_{xj}, d_{yj}, d_{zj}$  и генерируются случайно с равномерным законом распределения в подпространстве  $E_p^n$ . Далее векторы  $\{\dot{\mathbf{d}}_j\}$  сопоставляются с векторами  $\{\mathbf{a}_j\}$  шаблона  $\mathbf{M}$ . Сопоставление осуществляется с использованием меры близости Евклида:

$$\delta(\mathbf{a}_j, \dot{\mathbf{d}}_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (a_{jk} - \dot{d}_{jk})^2}.$$

Если  $\delta(\mathbf{a}_j, \dot{\mathbf{d}}_j) > \delta_0$ , то кандидат  $\dot{\mathbf{d}}_j$  приобретает статус рабочего детектора  $\mathbf{d}_j$ , в противном случае, когда  $\delta(\mathbf{a}_j, \dot{\mathbf{d}}_j) \leq \delta_0$ , кандидат  $\dot{\mathbf{d}}_j$  уничтожается. По такой процедуре формируется все множество рабочих детекторов  $\mathbf{D} = \{\mathbf{d}_j\}$ . Останов процедуры может задаваться различными критериями, например: временем обучения; числом итераций; размером популяции детекторов; предельно допустимым числом не эффективных итераций, не добавляющих новых детекторов. После останова процедуры, популяция детекторов ограничится некоторым числом  $N_D$ :

$$\mathbf{D} = \{\mathbf{d}_j\} = \mathbf{d}_1, \mathbf{d}_2, \dots, \mathbf{d}_{N_D}, j = 1, 2, \dots, N_D.$$

В фазе распознавания векторы последовательности  $\bar{\mathbf{A}} = \{\mathbf{a}_i\}$  контролируемой рукописи сопоставляется с детекторами  $\mathbf{D} = \{\mathbf{d}_j\}$  с использованием той же меры близости Евклида:

$$\delta(\mathbf{a}_i, \mathbf{d}_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (a_{jk} - d_{jk})^2}.$$

Критический уровень близости  $\delta(\mathbf{a}_i, \mathbf{d}_j) = \delta_0$  определяет границу для принятия системой решения «свой/чужой» и задается, исходя из допустимых ошибок первого и второго рода. Срабатывание некоторого детектора  $\mathbf{d}_l$  из множества  $\mathbf{D}$  при его сопоставлении с некоторым элементом  $\mathbf{a}_m$  контролируемой последовательности  $\bar{\mathbf{A}}$ , приводящее к тому, что  $\delta(\mathbf{a}_m, \mathbf{d}_l) \leq \delta_0$ , свидетельствует о том, что элемент  $\mathbf{a}_m$  контролируемой последовательности  $\bar{\mathbf{A}}\{\mathbf{a}_i\}$  с высокой степенью вероятности принадлежит «чужому».

Особенностью рукописных идентификационных параметров является их зависимость от психофизического состояния автора рукописи, что приводит к значимой вариации этих параметров для одной и той же личности. Это обстоятельство определяет целесообразность применения статистического подхода, при котором решение «свой/чужой» принимается не по фактам одиночных срабатываний детекторов, а по частоте  $f$  их срабатываний:

$$\hat{P}^ч \approx f = \frac{n_d^+}{n_d},$$

где  $\hat{P}^ч$  – статистическая вероятность принадлежности контролируемой рукописи «чужому»;  $n_d^+$  – число срабатываний детекторов в проведенных операциях сопоставления;  $n_d$  – общее число проведенных операций сопоставления.

Принятие решения о принадлежности контролируемой рукописи  $A$  «чужому» можно считать обоснованным, при превышении частоты  $f$  заданного порогового значения  $f_{п}$ :

$$A \equiv \begin{cases} A^c, & \text{если } f < f_{п}; \\ A^ч, & \text{если } f \geq f_{п}. \end{cases}$$

**Заключение.** Предлагаемый метод верификации рукописи обладает рядом преимуществ. По сравнению онлайн-анализом на основе частотного разложения, пригодного только для анализа сильно ограниченных объемов текстов, представленных предопределенными словами или короткими фразами, данный метод не имеет такого ограничения и позволяет проводить текстонезависимый анализ произвольных текстов произвольного объема. Как следствие, за счет значительного увеличения объема используемых рукописных данных, характеризующих особенности личности, точность анализа повышается. Другим принципиальным отличием иммунологического онлайн-анализа является переход от интегральной оценки рукописных данных за некоторый фиксированный период времени к непрерывной оценке их временной структуры с возможностью своевременного принятия правильного верификационного решения в темпе поступления рукописных данных. Такая схема распознавания дает преимущества при решении определенных классов задач информационной безопасности, критичных ко времени принятия верификационного решения [14, 21].

Использование в иммунологической модели векторного представления рукописных данных вместо строкового также потенциально позволяет повысить вероятность распознавания.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Govindan V.K.* Character recognition – a review // *Pattern Recognition*. – 1990. – Vol. 23, No. 7. – P. 671-683.
2. *Шейбак А.Н., Афанасьев Г.К.* Разработка и анализ алгоритмов идентификации почерка // Информационные технологии, электронные приборы и системы ITEDS'2010: Материалы Международной научно-практической конференции (6-7 апреля 2010 г., Минск). – Мн.: Белорусский государственный университет, 2010.
3. *Tappert, C.C.* The state of art in on-line handwriting recognition // *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* – 1990. – Vol. 12, No. 8. – P. 787-808.
4. *Nalwa V.S.* Automatic On-Line Signature Verification // *Proceedings of the IEEE*. – 1997. – Vol. 85, No. 2. – P. 215-2394.
5. *Munich M. E., Perona P.* Visual Signature Verification using Affine Arc-length // *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition CVPR*. – 1999. – P. 2180-2186.
6. *Иванов А.И.* Биометрическая идентификация личности по динамике подсознательных движений. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. – 188 с.
7. *Брюхомицкий Ю.А., Казарин М.Н.* Система аутентификации личности по почерку // Сборник трудов научно-практической конференции с международным участием «Информационная безопасность». – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. – С. 22-29.
8. *Колядин Д.В.* Анализ динамических кривых применительно к задаче верификации рукописной подписи // Математические методы распознавания образов (ММО-11). – 2003. – С. 330-332.
9. *Ложников П.С.* Распознавание динамики подписи с использованием стратегии Байеса // Доклады V Междунар. конф. «Цифровая обработка сигналов и её применение. DSPA-2003». – М.: РНТОРЭС им. А.С. Попова, 2003. – Т. 2. – С. 599-601.
10. Пат. РФ № 2469397. Способ биометрической идентификации по почерку в компьютеризированной системе контроля доступа / Милых В.А., Лапина Т.И., Лапин Д.В. – 2012.
11. *Dasgupta D.* Artificial Immune Systems and Their Applications, Springer-Verlag, 1998.
12. *De Castro L.N., Timmis, J.I.* Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach, London: Springer-Verlag 2000 September. – 357 p.

13. Искусственные иммунные системы и их применение / под ред. Д. Дасгупты: пер. с англ. А.А. Романюхи. – М.: Физматлит, 2006. – 344 с.
14. Брюхомицкий Ю.А. Иммунологический метод идентификации личности по рукописи // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 5 (166). – С. 174-183.
15. Forrest S., Perelson A.S., Allen L., Cherukuri R. Self-nonsel self discrimination in a computer // In: Proc. of Ieee symposium on research in security, Oakland, CA, 16-18 May 1994. – P. 202-212.
16. Dasgupta D., Forrest S. Tool breakage detection in milling operations using a negative-selection algorithm // Technical report CS95-5, Department of computer science, University of New Mexico, 1995.
17. Dasgupta D., Forrest S. Novelty detection in time series data using ideas from immunology // In: ISC A 5th international conference on intelligent systems, Reno, Nevada, June 19-21, 1996.
18. Dasgupta D., Yu S., Majumdar N. MILA – Multilevel Immune Learning Algorithm // Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference – 2003, Springer – Verlag: Berlin Heidelberg, 2003. – P. 183-194.
19. Брюхомицкий Ю.А. Мониторинг информационных процессов методами искусственных иммунных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 12 (137). – С. 82-90.
20. Брюхомицкий Ю.А. Модель адаптивной самоорганизующейся искусственной иммунной системы для решения задач компьютерной безопасности // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 12 (149). – С. 63-69.
21. Брюхомицкий Ю.А. Иммунологический подход к организации клавиатурного мониторинга // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 2 (151). – С. 33-41.

## REFERENCES

1. Govindan V K. Character recognition – a review, *Pattern Recognition*, 1990, Vol. 23, No. 7, pp. 671-683.
2. Sheybak A.N., Afanas'ev G.K. Razrabotka i analiz algoritmov identifikatsii pocherka [The development and analysis of algorithms for identification of handwriting], *Informatsionnye tekhnologii, elektronnye pribory i sistemy ITEDS'2010: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (6-7 aprelya 2010 g., Minsk)* [Information technologies, electronic devices and systems ITEDS'2010: proceedings of the International scientific-practical conference (April 6-7, 2010, Minsk)]. Minsk: Belorusskiy gosudarstvennyy universitet, 2010.
3. Tappert, C.C. The state of art in on-line handwriting recognition, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 1990, Vol. 12, No. 8, pp. 787-808.
4. Nalwa V.S. Automatic On-Line Signature Verification, *Proceedings of the IEEE*, 1997, Vol. 85, No. 2, pp. 215-2394.
5. Munich M. E., Perona P. Visual Signature Verification using Affine Arc-length, *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition CVPR*, 1999, pp. 2180-2186.
6. Ivanov A.I. Biometricheskaya identifikatsiya lichnosti po dinamike podsoznatel'nykh dvizheniy [Biometric personal identification by dynamics of subconscious movements]. Penza: Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2000, 188 p.
7. Bryukhomitskiy Yu.A., Kazarin M.N. Sistema autentifikatsii lichnosti po pocherku [The system of authenticating the identity of the handwriting], *Sbornik trudov nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Informatsionnaya bezopasnost'»* [Proceedings of scientific-practical conference with international participation "Information security"]. Taganrog: Izd-vo TRTU, 2002, pp. 22-29.
8. Kolyadin D.V. Analiz dinamicheskikh krivyykh primenitel'no k zadache verifikatsii rukopisnoy podpisi [Analysis of dynamic curves applied to the problem of handwritten signature verification], *Matematicheskie metody raspoznavaniya obrazov (MMRO-11)* [Mathematical methods of pattern recognition (MMPR-11)], 2003, pp. 330-332.
9. Lozhnikov P.S. Raspoznavanie dinamiki podpisi s ispol'zovaniem strategii Bayesa [The detection of the signature using a strategy Bayes], *Doklady V Mezhdunar. konf. «Tsifrovaya obrabotka signalov i ee primenenie. DSPA-2003»* [Reports of International conference "Digital signal processing and its application. DSPA-2003"]. Moscow: RNTORES im. A.S. Popova, 2003, Vol. 2, pp. 599-601.

10. Milykh V.A., Lapina T.I., Lapin D.V. Sposob biometricheskoy identifikatsii po pocherku v komp'yuterizirovannoy sisteme kontrolya dostupa [Method of biometric identification by handwriting in the computer, and-measured the system access control]. Patent RF No. 2469397. 2012.
11. Dasgupta D. Artificial Immune Systems and Their Applications, Springer-Verlag, 1998.
12. De Castro L.N., Timmis, J.I. Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach, London: Springer-Verlag 2000 September, 357 p.
13. Iskusstvennye immunnye sistemy i ikh primeneniye [Artificial immune systems and their applications], ed. by D. Dasgupty: from the English by A.A. Romanyukhi. Moscow: Fizmatlit, 2006, 344 p.
14. Bryukhomitskiy Yu.A. Immunologicheskiy metod identifikatsii lichnosti po rukopisi [Immunotechnique metod of penscript analysis], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2015, No. 5 (166), pp. 174-183.
15. Forrest S., Perelson A.S., Allen L., Cherukuri R. Self-nonsel self discrimination in a computer, In: *Proc. of Ieee symposium on research in security, Oakland, CA, 16-18 May 1994*, pp. 202-212.
16. Dasgupta D., Forrest S. Tool breakage detection in milling operations using a negative-selection algorithm, *Technical report CS95-5, Department of computer science, University of New Mexico, 1995*.
17. Dasgupta D., Forrest S. Novelty detection in time series data using ideas from immunology, In: *ISC A 5th international conference on intelligent systems, Reno, Nevada, June 19-21, 1996*.
18. Dasgupta D., Yu S., Majumdar N. MILA – Multilevel Immune Learning Algorithm, *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference – 2003, Springer – Verlag: Berlin Heidelberg, 2003*, pp. 183-194.
19. Bryukhomitskiy Yu.A. Monitoring informatsionnykh protsessov metodami iskusstvennykh immunnykh sistem [Monitoring information processes methods of artificial immune system], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 12 (137), pp. 82-90.
20. Bryukhomitskiy Yu.A. Model' adaptivnoy samoorganizuyushcheysya iskusstvennoy immunnoy sistemy dlya resheniya zadach komp'yuternoy bezopasnosti [Adaptive self-organizing artificial immune system model for a computer security particular purpose], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2013, No. 12 (149), pp. 63-69.
21. Bryukhomitskiy Yu.A. Immunologicheskiy podkhod k organizatsii klaviaturnogo monitoringa [The immunologic approach to keyboard monitoring organization], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 2 (151), pp. 33-41.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор К.Е. Румянцев.

**Брюхомицкий Юрий Анатольевич** – Южный федеральный университет; e-mail: bya@tgn.sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, ул. Чехова, 2; тел.: 88634371905; кафедра безопасности информационных технологий; доцент.

**Bryukhomitsky Yuriy Anatoly** – Southern Federal University; e-mail: bya@tgn.sfedu.ru; 2, Chekhov street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371905; the department of security in data processing technologies; associate professor.