

УДК. 004.93'11

DOI: 10.46548/21vek-2020-0952-0012

## НЕПРЕРЫВНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО КЛАВИАТУРНОМУ ПОЧЕРКУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОНТЕКСТА СОСТОЯНИЙ

©2020

**Пашенко Дмитрий Владимирович**, доктор технических наук, ректор ПензГТУ  
**Бальзанникова Елена Алексеевна**, младший научный сотрудник отдела научных исследований  
*Пензенский государственный технологический университет*  
*(440039, Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11,*  
*e-mails: dmitry.pashchenko@gmail.com, elenabalzannikova@gmail.com)*

**Аннотация.** В данной статье рассмотрен актуальный вопрос обеспечения безопасности информационных систем. Особое внимание уделяется биометрическим методам. В частности, подробно рассмотрены различные механизмы аутентификации и идентификации пользователей на основе анализа клавиатурного почерка. Рассмотрены его основные виды, свойства и параметры. На основании выделенных характеристик был предложен собственный способ представления биометрических данных клавиатурного почерка на основе формальной модели клавиатуры и описании её состояния. Предложенный метод рассматривает процесс набора текста как последовательную смену состояний, участок определённой длины которого обозначен «контекстом состояния». Кроме того, описана реализация программного компонента, который осуществляет формирования контекста состояний согласно предложенному методу.

**Ключевые слова:** клавиатурный почерк, биометрия, системное программное обеспечение

## CONTINUOUS KEYSTROKE DYNAMICS USER IDENTIFICATION USING STATE CONTEXT REPRESENTATION

© 2020

**Pashchenko Dmitriy Vladimirovich**, doctor of Technical Sciences,  
rector of Penza State Technological University  
**Balzannikova Elena Alekseevna**, junior researcher of the scientific research department  
*Penza State Technological University*  
*(440039, Penza, Baydukov passage / Gagarin street, 1a / 11,*  
*e-mails: dmitry.pashchenko@gmail.com, elenabalzannikova@gmail.com)*

**Abstract.** This article discusses the issue of ensuring the security of information systems. Particular attention is paid to biometric methods. In particular, various mechanisms of user authentication and identification based on the analysis of keystroke dynamics are considered in detail. Its main types, properties and parameters are considered. Based on the characteristics identified, a proprietary way of representing biometric data of the keystroke dynamics was proposed based on a formal keyboard model and a description of its state. The proposed method considers the process of typing as a sequential change of states, a section of a certain length which is designated by the "state context". In addition, the article describes implementation of a software component that implements the formation of the state context according to the proposed method.

**Keywords:** keyboard handwriting, biometrics, system software

**Введение.** Развитие современных информационных и интернет технологий предъявляет все большие требования к системам безопасности, которые выполняют ряд важнейших функций:

- предотвращение несанкционированного доступа к данным и системам;
- предотвращение незаконных действий от имени другого пользователя;
- предотвращение незаконного распространения конфиденциальной или личной информации.

Кроме того, зачастую для обеспечения безопасности дополнительно необходимо установление авторства того или иного электронного документа.

Подавляющее большинство методов обеспечения безопасности основаны, на знании (пароль или PIN-код), владении внешним объектом (например, смарт-картой) или использовании биометрических параметров для осуществления аутентификации или применения электронно-цифровой подписи для уста-

новления авторства.

Наиболее перспективными методами в данной области являются биометрические методы, поскольку предоставляют ряд преимуществ: источник данных неотделим от носителя, биометрические данные гораздо сложнее украсть или подделать. Помимо этого, отличительной особенностью биометрических методов является возможность реализации динамической идентификации пользователя, позволяя идентифицировать подмену оператора. Остальные методы аутентификации (знание или атрибут) предполагают однократную идентификацию только на момент входа пользователя в систему. Тем не менее, не все биометрические методы могут осуществлять непрерывную идентификацию. Такие методы, как сканирование отпечатка пальца, радужной оболочки или распознавание голоса трудно применимы для данных целей. Для подобных целей могут использоваться стандартные устройства ввода персонального компьютера: клави-

атура и мышь. Данные методы идентификации имеют несколько дополнительных достоинств: отсутствие лишнего оборудования и возможность реализации идентификации и аутентификации скрыто от пользователя.

**Целью** работы является исследование и выделение признаков для реализации непрерывной идентификации пользователей по клавиатурному почерку.

**Понятие клавиатурного почерка.** Среди методов анализа клавиатурного почерка можно выделить два основных направления: статический и динамический анализ.

Статический анализ предполагает проведение процедуры идентификации по вводу заранее определенной последовательности символов: парольной фразе. Типичной областью применения данного вида анализа является проведение процедуры авторизации пользователя при входе в систему с использованием пароля, что позволяет в сочетании с анализом клавиатурного почерка повысить безопасность системы в случае его компрометации. Для построения образа клавиатурного почерка для каждого пользователя достаточно нескольких образцов ввода парольной фразы, что, как правило, не требует временных затрат.

Динамический анализ, в свою очередь, позволяет идентифицировать пользователя все зависимости от набираемого им текста. Данный подход позволяет не только идентифицировать пользователя во время входа в систему, но и проводить непрерывный анализ клавиатурного почерка в течение всего сеанса работы, с целью распознавания смены активного пользователя. Кроме того, данный метод позволяет проводить процедуру идентификации не по заранее известному паролю, а по вводу небольшого произвольного текста, избавив тем самым пользователя и систему от необходимости хранить пароли. Данный вид анализа требует более длительного периода обучения системы для составления наиболее полного и точного биометрического образа.

Кроме того, следует отметить, что подобные системы могут применяться как в корпоративной сети или сети интернет, где зарегистрированы множество пользователей и сформированы большое количество биометрических образов, так и для индивидуального применения с целью защиты персональной информации. В первом случае задача системы состоит в основном в классификации полученного образа клавиатурного почерка среди зарегистрированных пользователей. Для обучения таких систем при регистрации нового пользователя допустимо использовать имеющиеся биометрические образы в качестве образов «чужих». Таким образом, чем больше база образов, тем больше системе предоставлено данных для обучения. В свою очередь, при наличии всего одного зарегистрированного пользователя не имеется база образов «чужих». В таком случае ставится задача оценки меры близости полученного и сохраненного биометрических образов и определения доверительного интервала, согласно которому принимается аутентификационное или

идентификационное решение.

В рамках проводимого исследования предполагается разработка системы динамического анализа клавиатурного почерка, на основании таких методов, которые позволили бы проводить процедуру идентификации как для одиночного, так и для сетевого пользователя.

Для этого первоначально необходимо рассмотреть понятие клавиатурного почерка и выделить его основные характеристики.

**Характеристики клавиатурного почерка.** Базовыми метриками ввода текста на клавиатуре являются временные отметки событий двух типов: нажатие клавиши и отпускание клавиши. Обозначим как событие нажатия клавиши  $i$  в момент времени  $t$  и как событие отпускания клавиши  $i$  в момент времени  $t$ .

На основании данных событий можно выделить ряд признаков, которые могут являться основой для проведения процедуры анализа клавиатурного почерка.

Первичными признаками являются временные интервалы между парой событий различного типа. К таким интервалам относятся: время удержания клавиши, задержка и время между нажатиями клавиш.

Время удержания клавиши  $i$  можно определить как интервал между отпусканием и нажатие одной и той же клавиши:

$$DT_i = R_i(t) - P_i(t)$$

Интервал между нажатиями определяется как интервал между последовательными событиями нажатий клавиш:

$$FT_i = P_{i+1}(t) - P_i(t)$$

В свою очередь определи задержку как интервал между опусканием предыдущей клавиши и нажатием последующей:

$$LT_i = P_{i+1}(t) - R_i(t)$$

В случае пересечения времени удержания клавиш, данный признак будет иметь отрицательно значение. Описанные события и первичные признаки графически можно представить, как показано на рисунке 1.

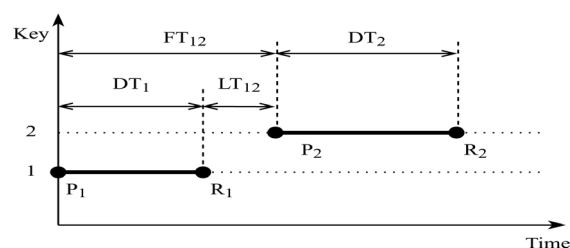


Рисунок 1 – Первичные признаки клавиатурного почерка

На основании сочетания рассмотренных первичных признаков могут быть сформированы составные признаки: диграфы, триграфы и т.д. Конкретный вид составного признака зависит от используемого метода анализа клавиатурного почерка.

**Материалы и результаты исследования.** На сегодняшний день существует множество исследо-

ваний в области анализа клавиатурного почерка [1-6]. Для статического анализа чаще всего применяются вероятностный метод, основанный на предположении, что признаки не противоречат нормальному закону распределения. Данный подход более подробно рассмотрен в работах [7, 8]. Кроме того, применяются также гистограммный метод [9], методы нечетких множеств, метод  $K$ -ближайших соседей, различные виды искусственных нейронных сетей, а также методы оценки расстояния между образами [10-13].

Для реализации непрерывного анализа используется мера близости отдельных признаков в сочетании с моделью доверия, рассмотренные в работах [14-16].

#### Представление не основе контекста состояний.

Целью исследования является разработка системы динамической идентификации пользователя по клавиатурному почерку, реализующей клиент-серверную архитектуру. Система должна выполнять регистрацию пользователей, формирование биометрического образа клавиатурного почерка, а также реализовать динамическую идентификацию пользователя согласно временным характеристикам набора текста на клавиатуре в течение всего сеанса работы [17].

В отличие от распознавания на основе парольной фразы, в которой последовательность событий заранее определена, непрерывный анализ предполагает идентификацию пользователя на основе последовательности событий, поступающих произвольным образом. Исходя из этого, для решения данной задачи необходимо выделить базовую структурную единицу, состоящую из одного или нескольких последовательных событий, на основе которой будет производиться анализ. В качестве базовой последовательности рассмотрим события нажатия двух клавиш.

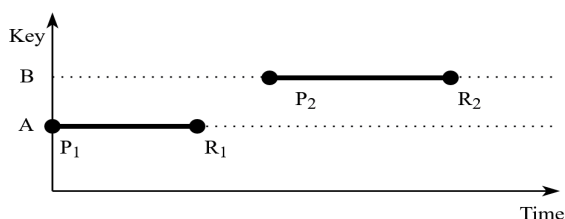


Рисунок 2 – Модель последовательности без пересечения

Таким образом, базовая последовательность будет состоять из четырех событий:  $P_1, R_1, P_2, R_2$ . Порядок следования данных событий может варьироваться. Рассмотрим возможные варианты следования данных событий, которые соответствуют различным способам нажатия пары клавиш.

Самая простая модель последовательности предполагает отсутствие пересечения интервала удержания клавиш: клавиши нажимаются последовательно одна за другой. Графически эту модель можно представить, как показано на рисунке 2. Таким образом, последовательность возникновения событий для представленной модели будет следующей:

$$P_1 \rightarrow R_1 \rightarrow P_2 \rightarrow R_2.$$

Данная модель типична для большинства случаев нажатий символьных клавиш.

Другие рассмотренные модели предполагают пересечение интервала удержания клавиши. В одном случае нажатие второй клавиши происходит во время удержания первой, а отпускание – после отпускания первой. Обозначим эту модель, как модель с частичным перекрытием. На рисунке 3 показано графическое представление данного процесса. Последовательность возникновения событий будет следующей:  $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow R_1 \rightarrow R_2$ . Такая последовательность часто встречается при использовании служебных клавиш, таких как сочетание *Alt + Shift*.

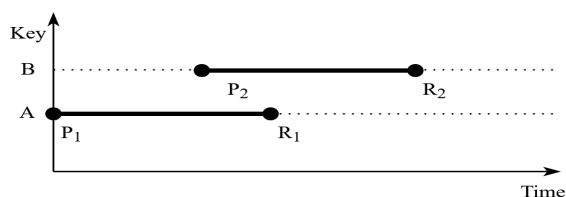


Рисунок 3 – Модель последовательности с частичным перекрытием

Еще одним вариантом пересечения интервалов является полное перекрытие интервалом удержания первой клавиши интервала удержания второй. Графически этот процесс можно представить, как показано на рисунке 4.

Последовательность событий для данной модели будет иметь следующий вид:  $P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow R_2 \rightarrow R_1$ .

Типичный пример – набор дополнительного символа клавиши с использованием клавиши *Shift*.

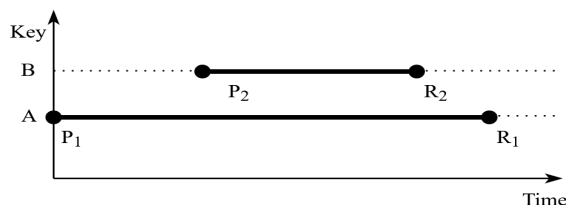


Рисунок 4 – Модель последовательности с полным перекрытием

Таким образом, для формирования наиболее полного образа клавиатурного почерка предлагается выделять данные модели и учитывать их временные характеристики. Для реализации данной задачи предложим следующую модель представления биометрического образа клавиатурного почерка.

#### Формат представления состояния клавиатуры.

Для упрощения модели клавиатуры представим её как фиксированный набор клавиш, каждая из которых в каждый момент времени может находиться в одном из двух состояний: нажата или отпущена. В зависимости от конкретной клавиатуры, количество клавиш может варьироваться. Для построения модели ограничим набор клавиш лишь теми, которые, как правило, участвуют в наборе текста. К таким клавишам относятся: символьные и цифровые клавиши (47 клавиш основной клавиатуры), а также служебные кла-

виши: *Space, Enter, Right Ctrl, Left Ctrl, Right Shift, Left Shift, Right Alt, Left Alt, Caps Lock, Tab, Back Space*. Таким образом, модель клавиатуры будет содержать 58 клавиш, на основании которых будет проводиться оценка временных характеристик.

Представим состояние клавиатуры в виде вектора, каждый элемент которого содержит состояние отдельной клавиши. Множество состояний, исходя из предложенной модели, состоит из двух элементов:

$State = \{Pressed, Released\}$

Следовательно, вектор состояния клавиатуры *Keyboard* будет выглядеть следующим образом:

$Keyboard = [State_1, State_2, \dots, State_i, \dots, State_{58}]$

где  $i$  – номер клавиши.

Поскольку в предложенной модели имеется 58 элементов, каждый из которых может находиться в одном из двух состояний, общее количество возможных состояний модели составляет  $2^{58}$ , что равно более квадрильона состояний. Очевидно, что обработка такого количества состояний практически невозможно и подавляющее большинство состояний никогда не возникнет. Поэтому для упрощения модели и сокращения числа возможных состояний введем ограничение на количество клавиш, которые одновременно находятся в нажатом состоянии, до двух. Данное ограничение позволяет практически полностью описать процесс ввода текста на клавиатуре. Исключение составляет использование управляющих комбинаций, которые предполагают одновременное нажатие трех или более клавиш. Данные сочетания можно исключить из модели или рассматривать отдельно в качестве дополнительных признаков. Таким образом, с учетом описанного ограничения, количество возможных состояний можно вычислить как одно начальное состояние, когда все клавиши отпущены, количество возможных состояний, когда нажата одна клавиша и количество состояний с двумя одновременно нажатыми клавишами:  $1 + C_{58}^1 + C_{58}^2 = 1712$ , что является более приемлемым количеством для построения модели клавиатурного почерка.

Таким образом, данный подход позволяет представить процесс набора текста на клавиатуре не как последовательность событий нажатия или отпущения произвольной клавиши, а как последовательную смену состояний клавиатуры, представленных в виде векторов фиксированного размера, каждому из которых сопоставлена метка времени. Временные интервалы между двумя последовательными состояниями являются признаками, на основании которых может быть построен биометрический образ клавиатурного почерка [18].

Однако, в данной работе предлагается иной подход, который позволял бы учитывать описанные модели последовательностей нажатий пар клавиш. В качестве примера рассмотрим модель клавиатуры, состоящую всего из двух клавиш: *A* и *B*. Исходя из этого, представим матрицу состояний для данной модели, которая показана в таблице 1. Столбцы *A* и

В обозначают состояние клавиши: 0 – отпущена, 1 – нажата. Совокупность состояний отдельных клавиш обозначена как состояние  $S_i$ .

Таблица 1 – Матрица состояний для модели клавиатуры, состоящей из двух клавиш

A	B	Состояние
0	0	S0
0	1	S1
1	0	S2
1	1	S3

В таком случае, последовательность состояний для двух последовательных нажатий клавиш без пересечений будет следующей:

$$S_0 \xrightarrow{\Delta t_1} S_2 \xrightarrow{\Delta t_2} S_0 \xrightarrow{\Delta t_3} S_1 \xrightarrow{\Delta t_4} S_0.$$

Графически данный процесс можно представить, как показано на рисунке 5.

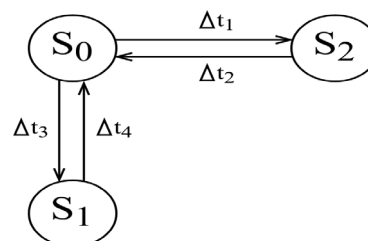


Рисунок 5 – Последовательность состояний для модели без пересечений

Для второй модели с неполным перекрытием, последовательность будет иметь следующий вид:

$$S_0 \xrightarrow{\Delta t_1} S_2 \xrightarrow{\Delta t_2} S_3 \xrightarrow{\Delta t_3} S_1 \xrightarrow{\Delta t_4} S_0.$$

Графически данный процесс представлен на рисунке 6.

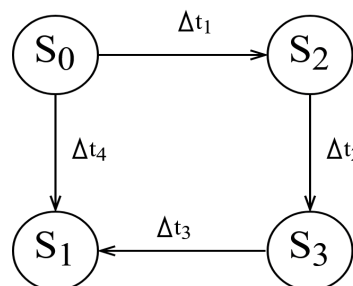


Рисунок 6 – последовательность состояний для модели с частичным перекрытием

Последовательность состояний для модели с полным перекрытием будет выглядеть как:

$$S_0 \xrightarrow{\Delta t_1} S_2 \xrightarrow{\Delta t_2} S_3 \xrightarrow{\Delta t_3} S_2 \xrightarrow{\Delta t_4} S_0, \text{ что показано на рисунке 7.}$$

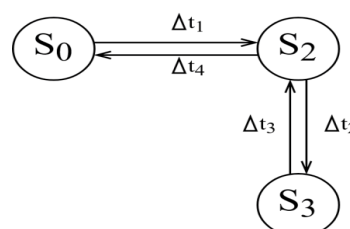


Рисунок 7 – Последовательность состояний для модели с полным перекрытием



Понятие контекста состояний. При последовательной смене состояний, которая соответствует процессу набора текста на клавиатуре, конечное состояние каждой модели  $S_0$  в выделенном шаблоне является начальным состоянием для следующего блока состояний. Поэтому предлагается определить контекст цепочки состояний, который содержит 4 последовательных состояния, между которыми вычисляется три временных интервала. Таким образом, составной признак клавиатурного почерка будет иметь следующий вид:

$$F_{ijkl} = \{\{S_i, S_j, S_k, S_l\}; \{\Delta t_{ji}, \Delta t_{kj}, \Delta t_{ik}\}\},$$

где  $i, j, k, l$  – коды состояний клавиатуры.

Данный подход позволит не просто выделить первичные признаки клавиатурного почерка, но и разделять их в зависимости от используемой модели последовательности нажатий, которые были рассмотрены ранее. Предполагается, что данный метод позволит строить наиболее полную и точную модель клавиатурного почерка пользователей.

Программный компонент сбора и предварительного анализа параметров клавиатурного почерка. Для проведения практических испытаний был разработан программный компонент. Данное приложение запускается перед началом работы пользователя, осуществляет в фоновом режиме перехват и сбор событий клавиатуры, не влияя на привычные процессы работы пользователя в системе [19].

Согласно предложенной модели представления клавиатурного почерка, данное приложение путем перехвата событий нажатия и отпускания клавиш, формирует вектор состояния клавиатуры и фиксирует время наступления события. В процессе работы хранится контекст четырех последних состояний клавиатуры, а так же вычисляются временные интервалы между ними. На основании данного контекста формируется массив признаков. По завершению работы приложения или накоплению определенного количества признаков все полученные данные сохраняются в файл, доступный для дальнейшего анализа.

В связи с тем, что небезопасно хранить и передавать последовательность нажатых клавиш, поскольку они могут содержать конфиденциальную информацию, предлагается совместить процедуру сбора параметров нажатий клавиш и предварительную обработку событий. Компонент клиента должен хранить и передавать только обобщенную информацию, на основании которой можно сформировать биометрический образ клавиатурного почерка или идентифицировать его. С другой стороны, на основании данного представления должна отсутствовать возможность восстановить исходную последовательность вводимых символов. С данной целью предлагается производить перестановку элементов множества полученных характеристик, например путем использованием сортировки.

Поскольку параметры клавиатурного почерка могут существенно различаться в зависимости от ис-

пользуемой раскладки клавиатуры, биометрический образ будет формироваться отдельно для каждой из них. Исходя из этого, текущая раскладка будет являться дополнительным атрибутом характеристик нажатий клавиш.

Исходя из этого, требования к компоненту сбора и предварительного анализа клавиатурного почерка будут следующими:

- Перехватывать события клавиатуры: нажатия и отпускания клавиш, регистрируя время события и раскладку клавиатуры;
- Осуществлять перехват событий в фоновом режиме, не влияя на работу пользователя в системе;
- Реализовать быструю обработку событий относительно стандартной процедуры обработки событий клавиатуры, исходя из предыдущего требования;
- Выполнять предварительную обработку событий рассмотренным ранее способом.

Для реализации фоновой сборки событий клавиатуры был использован механизм системных перехватчиков операционной системы *Windows (Windows hooks)*. Данный механизм заключается в вызове специальной предопределенной фильтрующей функции при наступлении определенного события до его обработки целевой оконной процедурой. При срабатывании фильтрующей функции получает информацию о событии клавиатуры: виртуальный код клавиши, скан-код клавиатуры, и признаки события, такие как была ли клавиш нажата или отпущена. Кроме того, данная процедура получает временную отметку события и текущую раскладку клавиатуры.

Для того чтобы фильтрующая функция не вносила значительной задержки в общую процедуру обработки событий клавиатуры, данная функция только формирует объект события и помещает в его в общую очередь с использованием разделяемой памяти [20].

Предварительная обработка реализована в отдельном процессе, который извлекает элементы из очереди по мере их поступления и формирует вектор состояния клавиатуры. Контекст состояний представляет собой кольцевой буфер из четырех векторов состояний. По мере формирования нового состояния, вектор, который соответствует более раннему состоянию, извлекается из буфера, и новый вектор добавляется в конец. Для хранения временных интервалов, соответствующих хранимому контексту реализован аналогичный кольцевой буфер из трех элементов. В случае нажатия клавиши, которой нет в предложенной модели, контекст состояния сбрасывается в исходное состояние и его формирование происходит с начального состояния. Данный подход позволяет исключить влияние таких событий на временные интервалы других.

Разработанное приложение не обладает графическим интерфейсом и потребляет незначительный объем вычислительных ресурсов. Таким образом, компонент-клиента не оказывает влияния на процесс работы пользователя.

**Закключение.** Таким образом, предложен способ описания процесса набора текста на клавиатуре в виде последовательной смены состояний. На основе данного представления предложено выделение определенных последовательностей, названных контекстом состояния, в качестве признаков биометрического образа.

Был реализован компонент-клиента системы анализа клавиатурного почерка, который реализует перехват событий клавиатуры и их предварительную обработку, формируя последовательность контекстов состояний рассмотренным ранее способом. Функционирование приложения не влияет на процесс работы пользователя, и не сохраняет последовательность нажатий клавиш, которые могут являться вводимыми паролями или конфиденциальной информацией.

Также, одним из направлений дальнейшего развития является реализация на основании полученных данных алгоритмов анализа клавиатурного почерка, основанных на методах математической статистики, алгоритмах машинного обучения, выполнение их сравнительной оценки. Так же планируется поддержка адаптивного усиления полученных алгоритмов, используя преимущества отдельных методов, для повышения точности распознавания.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Сидоркина Ирина Геннадьевна, Савинов Александр Николаевич Три алгоритма управления доступом к КСИИ на основе распознавания клавиатурного почерка оператора // Вестник ЧГУ. 2013. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tri-algoritma-upravleniya-dostupom-k-ksii-na-osnove-raspoznavaniya-klaviaturnogo-pocherka-operatora> (дата обращения: 03.09.2020).
2. Шарипов Р.Р., Катасёв А.С., Кирпичников А.П. Методы анализа клавиатурного почерка пользователей с использованием эталонных гауссовских сигналов // Вестник Казанского технологического университета. 2016. №13. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-analiza-klaviaturnogo-pocherka-polzovateley-s-ispolzovaniem-etalonnyh-gaussovskih-signalov> (дата обращения: 03.09.2020).
3. Аверин Андрей Игоревич, Сидоров Дмитрий Петрович Аутентификация пользователей по клавиатурному почерку // Орабёв-Online. 2015. №20 (61). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/autentifikatsiya-polzovateley-po-klaviaturnomu-pocherku> (дата обращения: 03.09.2020).
4. Shen Teh P., Beng Jin Teoh A, Yue S. "A Survey of Keystroke Dynamics Biometrics," The Scientific World Journal, –Hindawi Publishing Corporation, 24 c, 2013.
5. Vuyuru, Sampath K. et al. "Computer User Authentication using Hidden Markov Model through Keystroke Dynamics." (2006).
6. Syed Idrus, Syed Zulkarnain & Cherrier, Estelle & Rosenberger, Christophe & Bours, Patrick. (2014). Soft Biometrics for Keystroke Dynamics.
7. Д. В. Пашенко, Е. А. Бальзанникова, И. Г. Сергина, "Метод идентификации пользователей по биометрическому образу клавиатурного почерка с использованием двусвязного представления," Вопросы радиоэлектроники, № 12, С 83–89, 2018, DOI 10.21778/2218-5453-2018-12-83-89.
8. Ю.А. Брюхомицкий "Статистические методы распознавания клавиатурного почерка," Известия Южного федерального университета. Технические науки, Тематический выпуск, С 139 – 147, 2010.
9. Ю.А. Брюхомицкий "Гистограммный метод распознавания клавиатурного почерка," Известия Южного федерального университета. Технические науки, т.112, №11, 8с, 2010.
10. И.А. Ходашинский, М.В.Савчук, И.В.Горбунов, Р.В.Мещеряков "Технология усиленной аутентификации пользователей информационных процессов" Управление, вычислительная техника и информатика. Доклады ТУСУРа, № 2 (24), часть 3., С 236 – 248, 2011.
11. Д.С Крутохостов, В.Е. Хиценко, "Парольная и непрерывная аутентификация по клавиатурному почерку средствами математической статистики," Вопросы кибербезопасности, №5(24), 2017, С 91 – 99, DOI: 10.21681/2311-3456-2017-5-91-99.
12. A Bhatia, Hanmandlu, M. "Keystroke Dynamics Based Authentication Using Information Sets," Journal of Modern Physics, Vol.8 No.9, August 2017, DOI: 10.4236/jmp.2017.89094.
13. P. Bours, S. Mondal "Continuous Authentication with Keystroke Dynamics," 2015, DOI:10.13140/2.1.2642.5125.
14. P. Bours, H. Barghouti "Continuous authentication using keystroke dynamics," Proceedings of the Norsk Informasjonssikkerhetkonferanse (NISK'09). 1-11, 2009.
15. P. Pinto, B. Patrão, H. Santos "Free Typed Text Using Keystroke Dynamics for Continuous Authentication", Communications and Multimedia Security : 15th IFIP TC 6/TC 11 International Conference, CMS 2014, Aveiro, Portugal, September 25-26, 2014 pp.33-45, DOI:10.1007/978-3-662-44885-4\_3.
16. Martyshkin, A.I. & Pashchenko, D.V. & Trokoz, D.A.. (2019). Queueing Theory to Describe Adaptive Mathematical Models of Computational Systems with Resource Virtualization and Model Verification by Similarly Configured Virtual Server. 1-6. 10.1109/RUSAUTOCON.2019.8867620.
17. Alexey, I. Martyshkin and V. Pashchenko Dmitry. "Development and Research of Means for the Collection and Reporting of Open-Source Information for Use in Decision-Making Systems." Journal of Computational and Theoretical Nanoscience 16 (2019): 3103-3114.
18. Dubravin, Aleksey & Zinkin, Sergey & Paschenko, Dmitry. (2015). Formal and conceptual definitions of the hybrid model of distributed computings in networks. 1-6. 10.1109/SIBCON.2015.7147047.
19. Pashchenko, Dmitry & Trokoz, Dmitry & Martyshkin, Alexey & Sinev, Mihail & Svistunov, Boris. (2020). Search for a substring of characters using the theory of non-deterministic finite automata and vector-character architecture. Bulletin of Electrical Engineering and Informatics. 9. 10.11591/eei.v9i3.1720.
20. Pashchenko, Dmitry et al. "Using Algebra of Hyper-Dimensional Vectors for Heuristic Representation of Data While Training Wide Neural Networks." 2019 XXI International Conference Complex Systems: Control and Modeling Problems (CSCMP) (2019): 168-171.

**Исследование выполнено при финансовой поддержке  
РФФИ в рамках научного проекта № 19-37-90127**

*Статья поступила в редакцию 27.07.2020*

*Статья принята к публикации 14.09.2020*