

Д.П. Рублев, В.М. Федоров

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ПО ДИНАМИЧЕСКИМ
ХАРАКТЕРИСТИКАМ РАБОТЫ С МАНИПУЛЯТОРОМ “МЫШЬ”
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

Рассмотрена проблема идентификации оператора по виброакустическому сигналу, возникающему при работе с манипулятором “мышь”. Показаны возможность съёма идентифицирующих пользователя данных по физическому (виброакустическому) каналу и преимущества данного метода, приведена модификация рабочего места оператора, описание стенда и программных средств. Рассмотрены особенности виброакустических сигналов, получаемых при работе пользователя с манипулятором “мышь”, произведён выбор устойчивых признаков, характеризующих работу с манипулятором из оценки амплитудно-временных характеристик сигнала из коэффициентов Фурье преобразования, кепстральных коэффициентов, вычисленных по коэффициентам линейного предсказания и коэффициентов линейного предсказания в их прямом и относительном по единичному смещению представлениях. Для формирования векторов признаков выбраны относительные по единичному смещению длины интервалов активности пользователя, являющиеся глобально-инвариантными по временной оси, приведена схема синхронизации журнала программного регистратора и полученного виброакустического сигнала, получены точные сведения о локализации моментов перемещений мыши для корректного формирования векторов признаков, приведены результаты идентификации пользователей при помощи нейросетей, обученных по дихотомической схеме, для классификации использовались векторы признаков, сформированные из потока длин интервалов активности скользящими окнами. Приведены зависимости оценок ошибок нейросетей от количества нейронов в скрытых слоях, выбора активационных функций и количества входных классов, установлено повышение вероятности корректной идентификации за счёт увеличения продолжительности информативного сигнала и получены оценки необходимой длительности для достижения показателей, сопоставимых с идентификацией по особенностям работы пользователя с клавиатурой.

Виброакустический сигнал; дискретное Фурье преобразование; кепстральные коэффициенты; нейронные сети; коэффициенты линейного предсказания; идентификация.

D.P. Rublev, V.M. Fedorov

**IDENTIFICATION OF USER BASED ON WORK DYNAMICS
WITH “MOUSE” POINTING DEVICE USING THE NEURAL NETWORKS**

In this paper identification problem for interacting with “mouse” pointing device by vibroacoustic signal originated from user is reviewed. Capabilities of data collection for user identification on vibroacoustic channel and advantages of this technique are shown. Operator’s workplace modifications, stand description and software are considered. Features of vibroacoustic signals obtained from user’s interaction with mouse are reviewed, stable features which allow mouse movement detection have been selected from Fourier transform, cepstral and linear prediction coefficients. Feature vectors have been formed by the relative in one-sample shift intervals of user activity which are global time-invariants. Sync scheme for keylogger’s log file and vibroacoustics signal for precise localization of keypress moments with mouse movement detection and feature vectors creation is reviewed, precise localization of mouse movements time moments for correct feature vectors forming have been done. Two and seven users identification results based on ANN learned with dichotomy scheme. The dependencies of neural network simulation errors on hidden layers dimensions, activation functions and input classes number have been considered, with correct identification probability verified increase dependent on informational signal length, according estimations of necessary length for identification rate comparable with typing techniques have been obtained. User identification is done on a basis of feature vec-

tors formed by sliding windows, vibroacoustics of mouse movement noises is shown, dependencies of neural network errors on hidden layers neurons quantity, activation functions and output classes are considered.

Vibroacoustic signal; discrete Fourier transform; cepstral coefficients; neural networks; linear prediction coefficients; identification.

Введение. При контроле состояния и действий операторов на рабочем месте часто используются средства скрытого контроля взаимодействия пользователя со штатными средствами устройствами ввода информации, наиболее распространенным методом является использование клавиатуры. Эффективность системы идентификации основана на анализе параметров ввода пользователем данных с клавиатуры, при этом качество распознавания зависит от степени уникальности параметров пользователя. Съём биометрических данных при работе с клавиатурой возможен двумя способами — контролем событий “нажатие/отпускание клавиши” на уровне интерфейса клавиатуры либо системного драйвера (клавиатурный почерк) и контролем взаимодействия с клавиатурой как с физическим объектом [1].

Привлекательность использования для аутентификации особенностей клавиатурного почерка основана на возможности непрерывного мониторинга состояния оператора, непрерывности рабочего процесса, отсутствии необходимости дорогостоящих устройств ввода биометрических параметров и возможности контроля за процессом использования данной ПЭВМ легальным пользователем. Тем не менее, данный метод не позволяет достичь низкого уровня ошибок первого и второго рода [2, 3]. Авторами предложен метод, основанный на регистрации виброакустических шумов при наборе данных с клавиатуры позволяет повысить точность идентификации пользователей при незначительном увеличении дополнительного оборудования: виброакустические датчики, устанавливаются непосредственно на рабочем столе пользователя, данные с которых вводятся в звуковую карту для дальнейшего анализа.

В другом методе контроля состояния и действий оператора на рабочем месте могут быть использованы средства скрытого контроля взаимодействия пользователя с другими штатными средствами устройствами ввода информации, в частности манипулятором мышь, как наиболее распространённым устройством ввода информации позиционирования, входящим в стандартный набор.

Постановка задачи. Целью работы является разработка нового метода идентификации пользователя, основанного на характере работы оператора с манипулятором «мышь», как наиболее распространённым устройством ввода информации позиционирования, входящим в стандартный набор средств при работе с графическими интерфейсами. Предлагаемый метод основан на регистрации виброакустических шумов, возникающих при перемещении манипулятора “мышь”, что позволяет производить идентификацию пользователей как при одновременном использовании манипулятора совместно с клавиатурой, так и при его независимом применении при работе в графических интерфейсах, поддерживающих операции “позиционирование-подтверждение”, “Drag&Drop” и аналогичные.

Решение поставленной задачи. Исходными данными для идентификации пользователя с помощью манипулятора «мышь» при работе со сторонними каналами является регистрация с последующей обработкой виброакустической информации, возникающей при его перемещении. Аналогично методу идентификации по работе на клавиатуре допустим сбор данных с нескольких датчиков, что позволяет разделить сигналы при механическом контакте рабочих поверхностей мест операторов, а также повысить точность идентификации.

К преимуществам подхода, при котором для получения идентифицирующей пользователя информации и формирования векторов биометрических признаков используются сторонние каналы, относится возможность производить идентификацию пользователя вне зависимости от целостности программно-аппаратного окружения, нарушение которой может иметь место при атаках на систему (подключении аппаратных эмуляторов, модифицированных драйверов клавиатуры).

Для проведения идентификации пользователя по работе с манипулятором мышь требуется решение задачи выделения из записанного виброакустического сигнала событий “движение мыши”, “отсутствие движения мыши”. Для этого необходимо:

- ◆ очистить сигнал от стационарных помех;
- ◆ выделить фрагменты сигнала, соответствующие работе пользователя с мышью;
- ◆ сформировать массивы с координатами “старт-стоп” для отдельных микродвижений;
- ◆ сформировать векторы признаков по полученным фрагментам и массивам.

Основная сложность при выделении сигнала перемещения манипулятора “мышь” связана с проблемой выделения сигнала, возникающего при перемещениях манипулятора, из зашумлённого виброакустического сигнала [4].

На рис. 1 приведён пример фрагмента виброакустического сигнала при перемещениях манипулятора “мышь” и его спектр.

Был разработан алгоритм выделения информативных участков сигнала, соответствующих перемещениям манипулятора по энергетическому критерию, состоящий из следующих этапов:

1. Оконное разбиение виброакустического сигнала s на фрагменты длиной 1024 отсчёта (21,3 мс) с коэффициентом перекрытия 0,87;
2. Построение амплитудного спектра сигнала $SP = |FFT(s)|$.
3. Нормализация спектра вычитанием медианных значений частотных элементов из предположения $t_{акт} \ll t_{неакт} : SP_i^* = SP_i - med(SP_i)$.
4. Нахождение оценки энергии сигнала $E_i = \mu(SP_i^*)$ в сформированных окнах.
5. Оценка уровня сигнала по дисперсии первой производной оценки: $thres_L = 3 \cdot \sigma(\mu(SP_i^*))^2$.
6. Определение длин последовательности отсчётов с превышением уровня сигнала $lenIn = \{E_i\} : i \in [indexes(E > thres_L)]$.
7. Переход к относительному представлению длин $lenInD_i = \frac{E_{i-1} - E_i}{E_i}$.

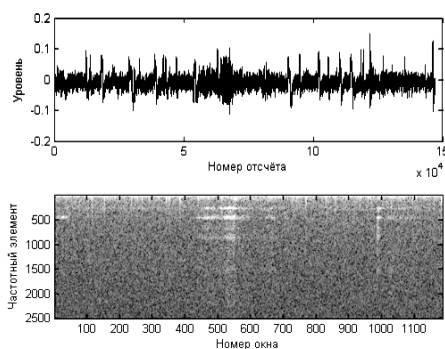


Рис. 1. Амплитудный спектр фрагмента виброакустического сигнала перемещения манипулятора “мышь”

Стандартные драйвер и интерфейс манипулятора “мышь”, наряду с передачей идентификаторов нажатых клавиш и информации об относительных и абсолютных перемещениях, позволяют измерить следующие временные характеристики: время удержания кнопок нажатыми, временных интервалов между нажатиями кнопок, скорость движения и форму траектории движения “мыши”.

Привлекательность использования для аутентификации как особенностей работы с манипулятором “мышь”, так и клавиатурного почерка основана на возможности непрерывного мониторинга состояния оператора, непрерывности рабочего процесса, отсутствии необходимости дорогостоящих устройств ввода биометрических параметров и возможности контроля за процессом использования данной ПЭВМ легальным пользователем.

В ходе экспериментов было установлено, что ввиду высокой чувствительности метода определения активности пользователя необходимо введение дополнительного этапа сегментации сигнала на заведомо информативные отрезки как на этапе разработки и исследования метода аутентификации, так в рабочем режиме.

На этапе исследования метода проблема была решена применением программного регистратора нажатий клавиш (“кейлоггер”) “Basic Key Logger”. В результате работы регистратора формируется файл журнала работы пользователя с мышью, содержащий ASCII-строки с указанием экранных координат, временных меток, событий нажатия/отпускания кнопок манипулятора “мышь”. Временные метки из файла журнала имеют выраженный сдвиг относительно реального времени начала аудиозаписи по причине влияния времени загрузки программ и перехода в рабочие режимы окружения операционной системы, меняющегося при каждом запуске процесса записи, а также особенностей динамики работы пользователя. Установлено изменение величины сдвига от записи к записи и для тестового стенда оно составило 150-9000 отсчётов (0,003-0,18 с) при частоте дискретизации 48 кГц. Информативным виброакустическим сигналом было принято считать интервал между отпусканием предыдущей и нажатием очередной кнопки “мыши”. Для формирования векторов признаков необходима точность выделения фрагментов сигнала порядка 0,01 сек. При определении величины смещения для последующего выравнивания моментов нажатия/отпускания использовалась мгновенная фаза сигнала для формирования значений взаимной корреляции с единичными импульсами, соответствующих моментам нажатий/отпусканий кнопок, полученным из журнала кейлоггера.

Для получения мгновенной фазы использовалось преобразование Гильберта, аналитический сигнал согласно преобразованию Гильберта имеет следующий вид:

$$s_a(t) = s(t) + j\tilde{s}(t) = a(n)\exp(j\varphi(n)),$$

где $s(n)$ и $\tilde{s}(n)$ – сопряженные по Гильберту исходные сигналы, $\varphi(n)$ – фаза сигнала, тогда можно определить огибающую сигнала $a(n) = \sqrt{s^2(n) + \tilde{s}^2(n)}$ и –

фазу сигнала $\varphi(n) = \arctg\left(\frac{\tilde{s}(n)}{s(n)}\right)$.

Полученные значения мгновенной фазы образуют информативный сигнал, $\varphi(n), n = 1 \dots N$, где N – количество отсчётов сигнала, который используется для формирования первой компоненты векторов признаков, позволяющих классифицировать фрагмент исходного акустического сигнала на множестве классов, соответствующих пользователям:

1. Сигнал разбивался на перекрывающиеся окна $win_n = \langle \varphi(n), \varphi(n+1), \dots, \varphi(n + winlen) \rangle$ длиной $winlen > 8192$ отсчёта с коэффициентом перекрытия равным 0,85 с формированием массива окон.

2. Для каждого окна (столбца массива) вычислялось нормированное значение автокорреляции:

$$CC_{k,m} = \begin{cases} \sum_{n=0}^{N-m-1} \varphi_{n+m} \varphi_n / \varphi_0 & m \geq 0 \\ CC_{k,-m}(win) & m < 0 \end{cases}.$$

Первая компонента вектора признаков f_{vect1} формировалась значениями коэффициентов при $m \geq 0$, получаемых в p смежных окнах: $f_{vect1} = \langle CC_{k,m} \oplus CC_{k+1,m} \oplus \dots \oplus CC_{k+p,m} \rangle$, $m \geq 0$. В результате экспериментов было установлено, что наилучшие результаты обеспечивает $p = 3$. Вторая компонента вектора признаков f_{vect2} формировалась двоичной картой оценки активности пользователя по спектрограмме в пределах окна.

Экспериментальное исследование. Идентификация производилась по фрагментам сигнала, содержащим виброакустические шумы перемещения манипулятора “мышь”. В качестве векторов признаков использовались относительные длительности периодов активности пользователя, вычисленные на участках виброакустического сигнала, выделенных при помощи сопоставления записанного сигнала с журналом событий клавиатурного регистратора. В качестве признаков были также рассмотрены следующие: коэффициенты линейного предсказания, кепстральные коэффициенты, вычисленные по коэффициентам линейного предсказания [5, 6], оценки области коэффициентов преобразования Фурье [7], оценки мощности сигнала, оценки длительностей активности пользователя [8] и их первые производные. Основным требованием, предъявляемым к векторам, являлась их устойчивость. Размерность вектора признака определялась эмпирически для всех типов рассматриваемых векторов. Проведенные исследования показали, что для идентификации пользователя по виброакустическим сигналам, возникающим при работе с манипулятором “мышь”, наиболее устойчивыми признаками являются оценки длительностей активности пользователя [9]. Формирование векторов признаков производилось в окнах виброакустического сигнала максимальной длиной 8192 отсчётов, при этом рассматривались отрезки активности в окнах длин от 4 до 256. В качестве нейронной сети использовался двухслойный персептрон с двумя скрытыми слоями, двумя выходами и тангенциальными активационными функциями [10]. Идентификация производилась по дихотомической схеме [11, 12]. На рис. 2 приведены отклики нейронной сети на обучающей и тестовой выборках. Векторы признаков были сформированы на фрагментах виброакустического сигнала, соответствующих работе двух пользователей.

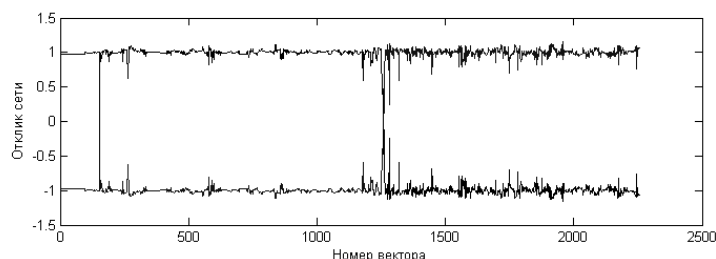


Рис. 2. Выходы нейронной сети при классификации 2-х операторов

Была получена зависимость ошибки от изменения количества коэффициентов в пределах от 4 до 256 и количества нейронов из ряда 10, 20, 50, 100. Обучение и тестирование проводилось на выборках, содержащих по 1000 векторов.

Наилучшие результаты были получены для нейросети со 100 нейронами в скрытом слое при длине вектора признаков 128 (вероятность правильной идентификации фрагмента составила 0,838). Дальнейшее увеличение количества нейронов и длины вектора не приводило к повышению точности идентификации.

Заключение. Введение этапа постобработки результатов, полученных с многослойного персептрона, заключающегося в измерении количества пересечений откликами границы классов за единицу времени позволило повысить вероятность корректной идентификации до 0,92 при потере временного разрешения до 30 секунд информативного сигнала.

Предлагаемый метод позволяет производить идентификацию пользователя по виброакустическому сигналу, возникающему во время работы с манипулятором “мышь”. По сравнению с методами идентификации на основе работы с клавиатурой [7, 13–15], достигаемая точность по одному вектору существенно ниже и для достижения сопоставимых показателей [16–20] требуется увеличение продолжительности информативного сигнала от 30 секунд и выше. Совместное использование данного метода и метода идентификации пользователя по виброакустическим шумам, возникающим при наборе текста на клавиатуре, позволит повысить достоверность работы всей системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Rublev D.P., Fedorov V.M., Makarevich O.B. Digital Camera Identification System // Aksaray, Turkey SIN '13. – 2013. – P. 297-300.
2. Ikonen J. Keystroke Dynamics // Lappeenranta University of Technology. – 2008. – P. 108-111.
3. Федоров, В.М., Рублев Д.П., Панченко Е.М. Сегментация виброакустических сигналов, возникающих при нажатии/отпуске клавиш клавиатуры // Материалы докладов конференции «Информационная безопасность 2013». – 2013. – С. 130-136.
4. Федоров В.М., Рублёв Д.П. Методы предварительной обработки виброакустических сигналов от клавиатуры возникающих при наборе текста // Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2012. – № 18. – С. 172-175.
5. Федоров В.М., Рублёв Д.П. Фильтрация виброакустических сигналов от клавиатуры и манипулятора мышь, возникающих при работе оператора // Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2012. – № 19. – С. 160-162.
6. Бабенко Л.К., Федоров В.М., Юрков П.Ю. Аутентификация диктора с использованием изменяемого множества ключевых слов // Известия ТРТУ. – 2004. – № 1 (36). – С. 289-295.
7. Федоров В.М., Рублев Д.П. Обработка виброакустических шумов, возникающих при работе пользователя с клавиатурой // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 12. – С. 75-78.
8. Федоров В.М., Рублев Д.П. Идентификация пользователя по виброакустическим шумам, возникающим при наборе парольной фразы на клавиатуре // Сборник трудов конференции «Системотехника». – 2013. – С. 158-163.
9. Федоров В.М., Рублев Д.П. Идентификация набираемого на клавиатуре текста по виброакустическим шумам // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 2 (151). – С. 67-73.
10. Bergadano F., Gunetti D., and Picardi C. User authentication through keystroke dynamics // ACM Transactions on Information and System Security. – 2002. – № 5. – P. 367-397.
11. Salima Douhou Jan R. Magnus The reliability of user authentication through keystroke dynamics // Statistica Neerlandica. – 2009. – Vol. 63, No. 4. – P. 432-449.
12. Hu J., Gingrich D. A k-Nearest Neighbor Approach for User Authentication through Biometric Keystroke Dynamics // ICC '08. IEEE International Conference on Communications. – 2008. – P. 1556-1560.

13. Rezaei A. and Mirzakochaki S. A Novel Approach for Keyboard Dynamics Authentication based on Fusion of Stochastic Classifiers // IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security. – 2012. – Vol. 12, No. 8. – P. 60-68.
14. Shanmugapriya D., Padmavathi G. A Survey of Biometric keystroke Dynamics: Approaches, Security and Challenges // (IJCSIS) International Journal of Computer Science and Information Security. – 2009. – Vol. 5, No. 1. – P. 1-8.
15. Yu Zhong, Yunbin Deng, Anil K. Jain. Keystroke Dynamics for User Authentication // IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW). – 2012. – P. 117-123.
16. Sheng Y, Phoha V, Rovnyak S. A parallel decision tree-based method for user authentication based on keystroke patterns // IEEE Trans Syst Man Cybern B Cybern. – 2005. – No. 35. – P. 826-833.
17. Bleha S., Slivinsky C., Hussein B. Computer-access security systems using keystroke dynamics // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 2012. – No. 12. – P. 1217-1222.
18. Shrijit S., Joshi V. Investigating Hidden Markov Models capabilities in Anomaly Detection // ACM-SE 43 Proceedings of the 43rd annual Southeast regional conference. – 2005. – Vol. 1. – P. 98-103.
19. Vinar T. Enhancements to Hidden Markov Models for Gene Finding and Other Biological Applications // Computer Science, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada. – 2005. – P. 162-164.
20. Mansfield A.J., Wayman J.L. Best Practices in Testing and Reporting Performance of Biometric Devices // Center for Mathematics and Scientific Computing, National Physics Laboratory. – 2002. – P. 13-25.

REFERENCES

1. Rublev D.P. Fedorov V.M., Makarevich O.B. Digital Camera Identification System, *Aksaray, Turkey SIN '13*, pp. 297-300.
2. Ilonen J. Keystroke Dynamics, *Lappeenranta University of Technology*, 2008, pp. 108-111.
3. Fedorov, V.M., Rublev D.P., Panchenko E.M. Segmentatsiya vibroakusticheskikh signalov, vznikayushchikh pri nazhatii/otpuskanii klavish klaviatry [Segmentation of vibro-acoustic signals generated when you press/release key], *Materialy dokladov konferentsii «Informatsionnaya bezopasnost' 2013»* [Materials of the conference "Information security 2013"], 2013, pp. 130-136.
4. Fedorov V.M., Rublev D.P. Metody predvaritel'noy obrabotki vibroakusticheskikh signalov ot klaviatry vznikayushchikh pri nabore teksta [Methods pre-processing vibro-acoustic signals from the keyboard occurs when typing], *Informatsionnoe protivodeystvie ugrozam terrorizma* [Information Counteraction to Terrorism Threats], 2012, No. 18, pp. 172-175.
5. Fedorov V.M., Rublev D.P. Fil'tratsiya vibroakusticheskikh signalov ot klaviatry i manipulyatora mysh', vznikayushchikh pri rabote operatora [Filtering acoustic signals from the keyboard and mouse that occurs when the operator], *Informatsionnoe protivodeystvie ugrozam terrorizma* [Information Counteraction to Terrorism Threats], 2012, No. 19, pp. 160-162.
6. Babenko L.K., Fedorov V.M., Yurkov P.Yu. Autentifikatsiya diktora s ispol'zovaniem izmenyaemogo mnozhestva klyuchevykh slov [Speaker authentication using a mutable set of key words], *Izvestiya TRTU* [Izvestiya TSURE], 2004, No. 1 (36), pp. 289-295.
7. Fedorov V.M., Rublev D.P. Obrabotka vibroakusticheskikh shumov, vznikayushchikh pri rabote pol'zovatelya s klaviaturoy [Processing of vibroacoustic noise originated from user work with keyboard], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 12, pp. 75-78.
8. Fedorov V.M., Rublev D.P. Identifikatsiya pol'zovatelya po vibroakusticheskim shumam, vznikayushchikh pri nabore parol'noy frazy na klaviature [User identification for vibro-acoustic noise that occurs when typing in a passphrase on the keyboard], *Sbornik trudov konferentsii «Sistemotekhnika»* [Proceedings of the conference "systems Engineering"], 2013, pp. 158-163.

9. Fedorov V.M., Rublev D.P. Identifikatsiya nabiraemogo na klaviature teksta po vibroakusticheskim shumam [Identification of text typed on keyboard by vibroacoustics noises], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2014, No. 2 (151), pp. 67-73.
10. Bergadano F., Gunetti D., and Picardi C. User authentication through keystroke dynamics, *ACM Transactions on Information and System Security*, 2002, No. 5, pp. 367-397.
11. Salima Douhou Jan R. Magnus The reliability of user authentication through keystroke dynamics, *Statistica Neerlandica*, 2009, Vol. 63, No. 4, pp. 432-449.
12. Hu J., Gingrich D. A k-Nearest Neighbor Approach for User Authentication through Biometric Keystroke Dynamics, *ICC '08. IEEE International Conference on Communications*, 2008, pp. 1556-1560.
13. Rezaei A. and Mirzakochaki S. A Novel Approach for Keyboard Dynamics Authentication based on Fusion of Stochastic Classifiers, *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 2012, Vol. 12, No. 8, pp. 60-68.
14. Shanmugapriya D., Padmavathi G. A Survey of Biometric keystroke Dynamics: Approaches, Security and Challenges, (*IJCSIS*) *International Journal of Computer Science and Information Security*, 2009, Vol. 5, No. 1, pp. 1-8.
15. Yu Zhong, Yunbin Deng, Anil K. Jain. Keystroke Dynamics for User Authentication, *EEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 2012, pp. 117-123.
16. Sheng Y, Phoha V, Rovnyak S. A parallel decision tree-based method for user authentication based on keystroke patterns, *IEEE Trans Syst Man Cybern B Cybern*, 2005, No. 35, pp. 826-833.
17. Bleha S., Slivinsky C., Hussein B. Computer-access security systems using keystroke dynamics, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2012, No. 12, pp. 1217-1222.
18. Shrijit S., Joshi V. Investigating Hidden Markov Models capabilities in Anomaly Detection, *ACM-SE 43 Proceedings of the 43rd annual Southeast regional conference*, 2005, Vol. 1, pp. 98-103.
19. Vinar T. Enhancements to Hidden Markov Models for Gene Finding and Other Biological Applications, *Computer Science, University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada*, 2005, pp. 162-164.
20. Mansfield A.J., Wayman J.L. Best Practices in Testing and Reporting Performance of Biometric Devices, *Center for Mathematics and Scientific Computing, National Physics Laboratory*, 2002, pp. 13-25.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. М.Ю. Руденко.

Федоров Владимир Михайлович – Южный федеральный университет; e-mail: vladmih@rambler.ru; 347928, г. Таганрог, ул. Чехова, 2; тел.: 88634371905; к.ф.-м.н.; доцент.

Рублёв Дмитрий Павлович – e-mail: rublev-d@yandex.ru; к.т.н.; доцент.

Fedorov Vladimir Mikhailovich – Southern Federal University; e-mail: vladmih@rambler.ru; 2, Chekhova street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371905; cand. of phys.-math. sc; associate professor.

Rublev Dmitry Pavlovich – e-mail: rublev-d@yandex.ru; cand. of eng. sc; associate professor.