

УДК 541.18.045.2

В.О. Агеев, М.В. Ильина, И.А. Мальков**РАЗРАБОТКА МЕТОДА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ НА ОСНОВЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ
МИКРОСКОПИИ**

Одной из основных проблем современных систем защиты, основанных на биометрической идентификации личности, является снижение их надежности. Введение дополнительных рубежей защиты: сканирования радужной оболочки глаза, геометрии кисти руки, распознавания черт лица и др., значительно повышает стоимость и сложность оборудования данных систем, поэтому не получило широкого распространения. В данной работе предложен метод биометрической идентификации повышенной надежности, основанный на измерении упругих свойств кожи пальца человека при сканировании его папиллярного узора. Методом атомно-силовой микроскопии проведены исследования кожи пальца человека и выявлены ее отличительные особенности от материалов, используемых для создания муляжей и слепков папиллярного узора. Показано, что разработанный метод идентификации позволяет с высокой степенью достоверности отличить кожу от неорганических материалов по ее значению модуля Юнга. Установлено, что упругость кожи изменяется при увеличении промежутка времени между ее срезом и измерением от 5 до 30 минут на 15 %, а также зависит от возраста человека и составляет $60,2 \pm 4,2$ и $42,4 \pm 2,6$ кПа для людей 20 и 40 лет соответственно. Данные зависимости позволяют создать дополнительные уровни защиты метода биологической идентификации и предотвратить такие методы его компрометации, как использование слепков и заранее подготовленных срезов кожи. Полученные результаты могут быть использованы при разработке систем биометрической идентификации с высоким уровнем защиты, сверяющих не только папиллярный узор кожи пальца человека, но и ее упругость.

Нанотехнологии; биометрия; биометрическая идентификация; кожа; упругость; атомно-силовая микроскопия.

V.O. Ageev, M.V. Iina, I.A. Malkov**DEVELOPMENT OF BIOLOGICAL IDENTIFICATION TECHNIQUE
OF HIGH RELIABILITY BASED ON ATOMIC FORCE MICROSCOPY**

One of the main problems of modern protection systems based on biometric identification is to reduce their reliability. The introduction of additional lines of protection: scanning the iris, hand geometry, facial recognition, etc., greatly increases the cost and complexity of the equipment of these systems, so not widespread. In this paper a method of biometric identification with high reliability based on measuring the elastic properties of the skin of a human finger while scanning his fingerprint is presented. The skin of a human finger is studied by atomic force microscopy and its distinctive features are revealed by the materials used to create plaster casts and casts fingerprint. It is shown that the developed method of the identification allows a high degree of veracity to distinguish the skin from inorganic materials for its Young's modulus. It is found that the elasticity of the skin varies at 15 % with increasing interval between the cut and dimension of the skin from 5 to 30 minutes. The elasticity of the skin also depends on the age of the person and amounts to $60,2 \pm 4,2$ and $42,4 \pm 2,6$ kPa to 20 and 40 years respectively. These dependencies can be used for creating additional levels of protection of biological identification method and preventing such methods of discredit as the use of snapshots and pre-made cuts of the skin. The results can be used in the development of biometric identification systems with a high level of protection that not only verifies the fingerprint pattern of the skin of a human finger, but its elasticity.

Nanotechnology; biometrics; biometric identification; skin; elasticity; atomic force microscopy.

Введение. Современные системы защиты данных важных государственных объектов и крупных компаний являются сложными аппаратно-программными комплексами, в основу которых положены методы идентификации уникальных биометрических параметров пользователей и субъектов информационных процессов [1–4]. На настоящий момент, одной из основных проблем метода биометрической идентификации является снижение надежности из-за разработки большого количества способов его компрометации [5, 6]. В частности, для успешного прохождения процесса биометрической идентификации, основанного на сканировании папиллярного узора пальца, могут использоваться муляжи и слепки папиллярного узора на основе различных проводящих и непроводящих пластических масс (медицинского силикона, поливинилацетата, пластилина и пр.), ампутированный палец субъекта или его фрагменты, а также сам субъект при насильственном принуждении. Эта проблема, как правило, решается введением дополнительных рубежей защиты: сканирования радужной оболочки глаза, геометрии кисти руки, распознавания черт лица и др. [7–9]. Однако подобный подход значительно повышает стоимость и сложность оборудования, что усложняет стандартизацию и ограничивает распространение систем биометрической идентификации [10].

Альтернативным способом повышения надежности методов идентификации является разработка и внедрение технологий, основанных на новых принципах обработки, интеграции и анализа мультимодальных биометрических данных [11, 12]. Так, для идентификации, основанной на сканировании папиллярного узора пальца, эта задача может быть решена за счет совмещения в одном процессе измерения не только рельефа поверхности идентифицируемого материала, но и его механических, электрических или химических свойств, что позволит с высокой степенью достоверности отличать биологические ткани от биосовместимых и неорганических материалов. При этом процесс измерения должен исключать повреждение материала и не приводить к существенному увеличению длительности процедуры идентификации. Таким образом, разработка и исследование способов повышения надежности биометрической идентификации субъекта на основе обработки, интеграции и анализа мультимодальных биометрических данных является актуальной задачей.

Перспективным методом определения рельефа поверхности и различных свойств материала в процессе одного исследования является метод атомно-силовой микроскопии (АСМ) [13, 14], который уже нашел применение для определения упругости кожи, в том числе с целью усовершенствования систем биометрической идентификации личности, основанных на сканировании папиллярного узора пальца [15–17].

Для разработки методики биометрической идентификации личности, основанной на использовании метода АСМ, необходимо проведение большого количества вариативных исследований упругости кожи при разных внешних условиях. В частности, необходимо найти зависимость упругости кожи от таких показателей, как возраст исследуемого субъекта и время среза кожного покрова с пальца субъекта. Также необходимо установить отличительные особенности упругости кожного покрова человека от упругости материалов, используемых для создания муляжей и слепков папиллярного узора.

Целью данной работы является разработка метода биометрической идентификации повышенной надежности на основе атомно-силовой микроскопии.

Методика исследования. В качестве экспериментальных образцов использовались срезы эпидермиса кожи большого пальца людей в возрасте 20 и 40 лет. Исследования топологии экспериментальных образцов проводились методом АСМ в полуконтактном режиме с использованием зондовой нанолaborатории

Ntegra Vita («НТ-МДТ», г. Зеленоград) [18, 19]. В качестве зонда использовался кантилевер марки NSG-10 радиусом 10 нм и средней жесткостью $k = 5,5$ Н/м («НТ-МДТ») [19]. АСМ-изображение эпидермиса кожи представлено на рис. 1. Исследования упругих свойств экспериментальных образцов проводились методом АСМ в режиме силовой спектроскопии, при котором на прямом и обратном ходе кантилевера снимается зависимость величины его изгиба (сигнал DFL) от степени выдвижения z-пьезотрубки сканера (сигнал $Height$) [20]. Экспериментальные зависимости $DFL(Height)$, полученные для среза кожи большого пальца людей в возрасте 20 и 40 лет, показаны на рис. 2.

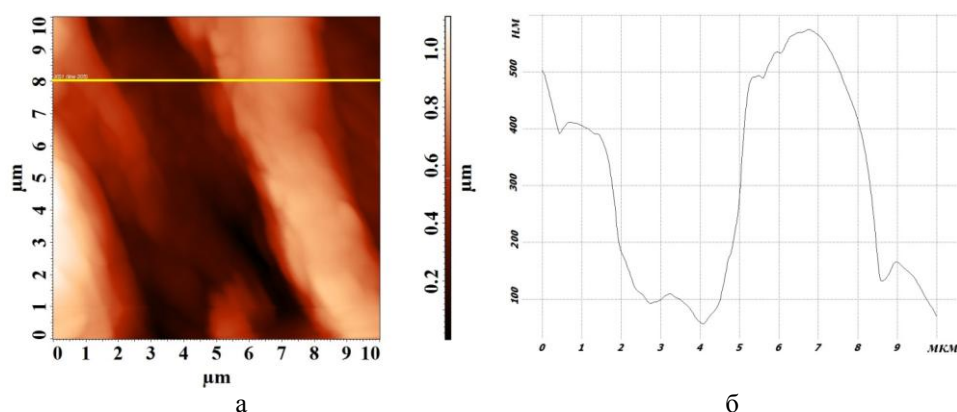


Рис. 1. АСМ-изображение эпидермиса кожи большого пальца: а – топология поверхности; б – профилограмма вдоль линии сечения

Для выявления отличительных особенностей зависимости $DFL(Height)$, полученной для среза эпидермиса кожи, от зависимостей $DFL(Height)$, характерных для биосовместимых и неорганических материалов, также проводились исследования упругих свойств медицинского силикона, пластилина и жевательной резинки. Результаты представлены на рис. 3.

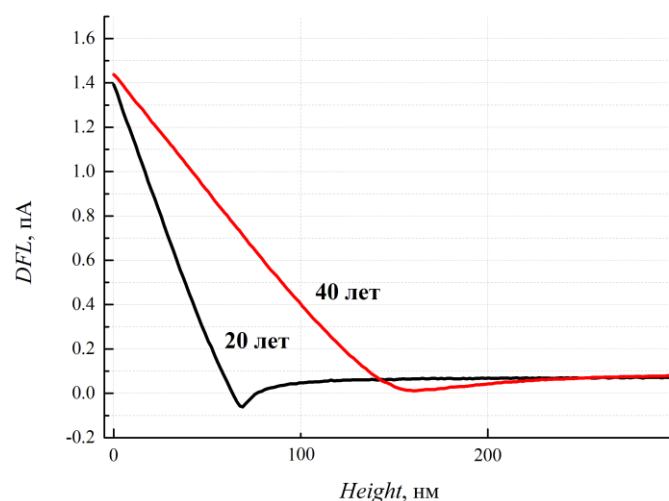


Рис. 2. Результаты экспериментальных исследований упругости кожи, полученные методом АСМ в режиме силовой спектроскопии при подводе зонда

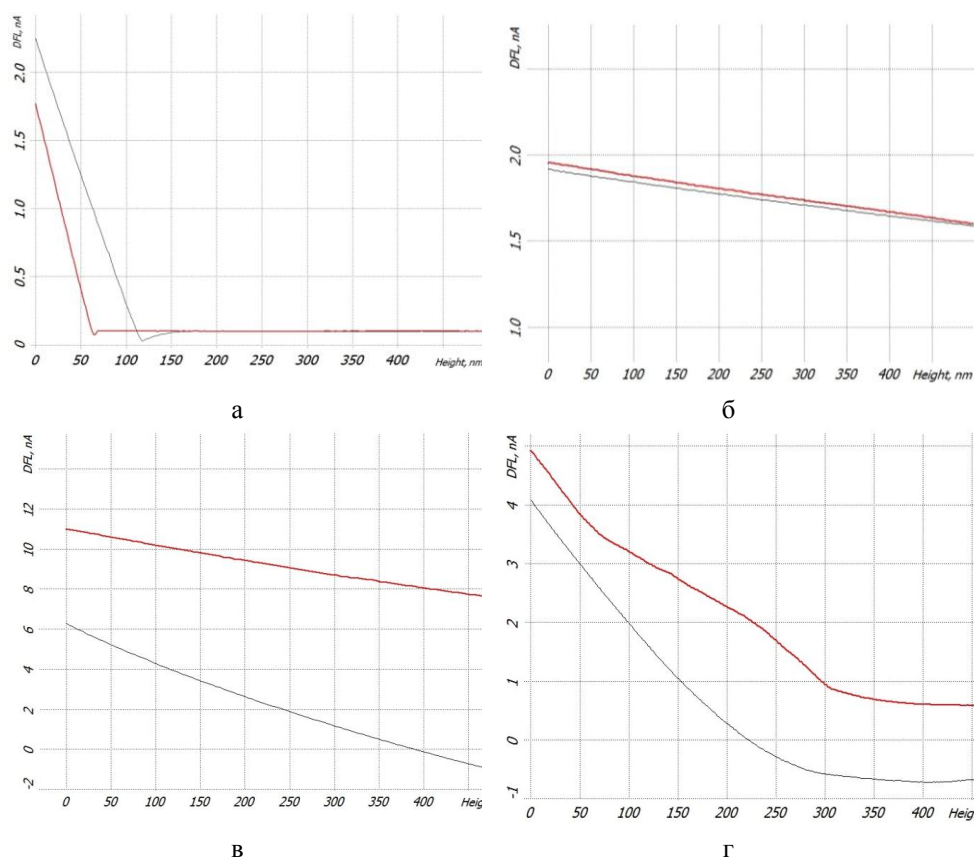


Рис. 3. Результаты экспериментальных исследований упругих свойств, полученные при подводе и отводе зонда к/от поверхности: а – кожи; б – медицинского силикона; в – жевательная резинка; г – пластилина

Для исключения возможности преодоления системы защиты биометрической идентификации путем использования предварительно подготовленного среза кожи проводились измерения упругости кожи человек в возрасте 20 лет через 5 и 30 минут после среза.

Количественно упругость экспериментальных образцов оценивалась на основе зависимостей $DFL(Height)$ с использованием выражения [14]

$$E = \frac{\pi}{2} \left(\frac{\Delta F^{1/2}}{\Delta Height} \right)^2 \frac{1-\nu^2}{\text{tg} \alpha}, \quad (1)$$

где E – модуль Юнга; $F = \Delta Height \cdot k$ – сила, действующая на образец в заданной точке; ν – модуль Пуассона, для кожи $\nu \approx 0,5$; $\alpha = 11^\circ$ – полуугол раствора зонда кантилевера.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследований поверхности эпидермиса кожи методом АСМ показали, что топология поверхности кожи человека в возрасте 20 и 40 лет не имеет принципиальных отличий в рельефе, что не позволяет отличить их друг от друга. Шероховатость поверхности эпидермиса кожи составляет 216,8 нм с максимальными перепадами высот до 1,1 мкм и средней высотой выступов $555,7 \pm 245,4$ нм (см. рис. 1). Однако наклон зависимости $DFL(Height)$, отражающей упругие свойства эпидермиса человека в возрасте

20 лет, значительно отличается от наклона зависимости $DFL(Height)$, полученной на образце эпидермиса человека в возрасте 40 лет (см. рис. 2), что связано с уменьшением упругости кожи человека с возрастом. Количественные значения упругости эпидермиса кожи, рассчитанные на основании (1), составили $60,2 \pm 4,2$ и $42,4 \pm 2,6$ кПа для людей 20 и 40 лет, соответственно. Таким образом, упругость кожи человека 40 лет уменьшилась почти на 30 % по сравнению с упругостью кожи человека в возрасте 20 лет. Данный факт может быть использован для создания дополнительного уровня защиты метода биометрической идентификации.

Результаты исследований упругих свойств неорганических материалов, используемых для создания слепков папиллярного узора пальца, показали (рис. 3), что вид зависимостей $DFL(Height)$ для силикона, жевательной резинки и пластилина значительно отличается от зависимости $DFL(Height)$ для кожи. Так, характерные пики в области от 50 до 200 нм на зависимости $DFL(Height)$ для кожи, связанные с контактом и отрывом зонда АСМ с/от поверхности кожи (рис. 2, 3,а), отсутствуют на аналогичных зависимостях для неорганических материалов (рис. 3,б,в,г). Кроме того, изгиб кантилевера (сигнал DFL) с приближением к поверхности неорганических материалов увеличивается постепенно, начиная на расстоянии более чем 400 нм от их поверхности, а при исследовании кожи изгиб кантилевера равен нулю до расстояния 50–200 нм (в зависимости от возраста человека), а затем резко возрастает. Такие существенные различия в зависимостях $DFL(Height)$ для кожи и данных неорганических материалов связаны с тем, что для создания слепков используются очень мягкие, неупругие и легко сохраняющие деформацию материалы, в то время, когда кожа человека – довольно упругий и легко восстанавливающий форму материал. Таким образом, значение упругости материала является эффективным критерием отличия кожи пальца человека от неорганических материалов, используемых для воспроизведения его папиллярного узора.

Также было установлено, что упругость кожи зависит от промежутка времени между ее срезом и измерением. Результаты силовой спектроскопии АСМ кожи через 5 и 30 мин после ее среза показали, что упругость кожи за 25 минут изменилась от значения $35,6 \pm 2,1$ до $41,9 \pm 1,1$ кПа. Данный факт позволяет сделать вывод, что упругость кожи непосредственно живого пальца человека и подготовленного заранее среза будет существенно отличаться, что является еще одним уровнем защиты предложенного метода биологической идентификации.

Таким образом, полученные результаты могут быть использованы для совершенствования систем биометрической идентификации, позволяющих отличать кожу субъекта от слепков из неорганических материалов, заранее подготовленного среза или кожи другого субъекта. Необходимо отметить, что измерение упругости кожи пальца субъекта должно не исключать процедуру сканирования папиллярного узора, а дополнять ее и проводиться в едином процессе идентификации.

Заключение. В работе методом атомно-силовой микроскопии проведены экспериментальные исследования топологии и упругости эпидермиса кожи человека. Показано, что упругость кожи с увеличением возраста человека уменьшается. Так, упругость эпидермиса кожи человека в возрасте 40 лет почти на 30 % меньше упругости кожи человека в возрасте 20 лет ($60,2 \pm 4,2$ и $42,4 \pm 2,6$ кПа соответственно). Данный факт может быть использован для создания дополнительного уровня защиты метода биометрической идентификации.

Установлено, что упругие свойства медицинского силикона, жевательной резинки и пластилина, используемых для создания слепков папиллярного узора пальца, значительно отличаются от упругих свойств кожи, что отражается на полученных методом силовой спектроскопии АСМ-зависимостях изгиба кантилевера от степени его прижима к поверхностям данных материалов и является эффектив-

ным критерием отличия кожи пальца человека от неорганических материалов. Также показано, что упругость кожи увеличивается при увеличении промежутка времени между процедурами ее среза и измерения: за 25 минут упругость кожи увеличивается более чем на 15 %. Данная зависимость позволит идентифицировать кожу живого пальца человека от заранее подготовленного среза.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке систем биометрической идентификации с высоким уровнем защиты, сверяющих не только папиллярный узор кожи пальца человека, но и ее упругость.

Результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования и Научно-образовательного центра "Нанотехнологии" Южного федерального университета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Wayman J.L.* Fundamentals of Biometric Authentication Technologies // International Journal of Image and Graphics. – 2001. – Vol. 1, No. 1. – P. 93-113.
2. *Олейник Ю.И., Малыгина Е.А., Малыгин А.Ю.* Биометрия: проблемы тестирования // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2005. – Т. 1. – С. 94-98.
3. *Jain A.K., Ross A., Prabhakar S.* An Introduction to Biometric Recognition // IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. – 2004. – Vol. 14. – P. 1-29.
4. *Мазниченко Н.И.* Области применения и принципы построения биометрических систем идентификации личности // Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. Сер. Информатика и моделирование. – 2013. – Т. 19. – С. 127-132.
5. *Писарев Д.Ю.* Проблемные вопросы биометрической идентификации в раскрытии преступлений // Пробелы в российском законодательстве. – 2008. – № 2. – С. 326-329.
6. *Барсуков В.С., Зайцев А.В., Пономарев А.А.* Идентификация личности – ключевая проблема безопасности // Специальная техника. – 2005. – № 3. – С. 84-91.
7. *Hong L., Jain A.K.* Integrating Faces and Fingerprints for Personal Identification // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1998. – Vol. 20, No. 12. – P. 1295-1307.
8. *Kumar A., Wong D.C., Shen H.C., Jain A.K.* Personal Verification using Palmprint and Hand Geometry Biometric // 4th International Conference on Audio- and Video-based Biometric Person Authentication. – 2003. – P. 668-675.
9. *Daugman J.G.* High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1993. – Vol. 15, No. 11. – P. 1148-1161.
10. *Иванов А.И., Петруненок А.А.* Развитие биометрических технологий: объединение усилий и переход к этапу стандартизации // Современные технологии безопасности. – 2004. – № 3 – С. 2-4.
11. *De Luis-Garcia R., Alberola-Lopez C., Aghzout O., Ruiz-Alzola J.* Biometric identification systems // Signal Processing. – 2003. – Vol. 83. – P. 2539-2557.
12. *Brunelli R., Falavigna D.* Person Identification Using Multiple Cues // IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1995. – Vol. 12, No. 10. – P. 955-966.
13. *Коноплев Б.Г., Агеев О.А.* Элионные и зондовые нанотехнологии для микро- и наносистемной техники // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2008. – № 12 (89). – С. 165-175.
14. *Carl Ph., Schillers H.* Elasticity measurement of living cells with an atomic force microscope: data acquisition and processing // Pflugers Arch - Eur J Physiol. – 2008. – Vol. 457 (551). – P. 551-559.
15. *Dokukin M.E., Guz N.V., Sokolov I.* Quantitative Study of the Elastic Modulus of Loosely Attached Cells in AFM Indentation Experiments // Biophysical Journal. – 2013. – Vol. 104. – P. 2123-2131.
16. *Berdyyeva T.K., Woodworth C.D., Sokolov I.* Human epithelial cells increase their rigidity with ageing in vitro: direct measurements // Phys. Med. Biol. – 2005. – Vol. 50. – P. 81-92.

17. Смирнов В.А., Шилов А.К., Агеев В.О., Рубашкина М.В. Метод биометрической идентификации на основе атомно-силовой микроскопии // Информационное противодействие угрозам терроризма. – 2014. – № 23. – С. 15-18.
18. Алексеев А.Н., Соколов И.А., Агеев О.А., Коноплёв Б.Г. Комплексный подход к технологическому оснащению центра прикладных разработок. Опыт реализации в НОЦ «Нанотехнологии» ЮФУ // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 4 (117). – С. 207-210.
19. Официальный сайт ЗАО «НТ-МДТ» <http://www.ntmdt.ru>.
20. Миронов В.Л. Основы сканирующей зондовой микроскопии. – М.: Техносфера, 2004. – 143 с.

REFERENCES

1. Wayman J.L. Fundamentals of Biometric Authentication Technologies, *International Journal of Image and Graphics*, 2001, Vol. 1, No. 1, pp. 93-113.
2. Oleynik Yu.I. Malygina E.A. Malygin A.Yu. Biometriya: problemy testirovaniya [Biometrics: the problem of testing], *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo»* [Proceedings of the international symposium "Reliability and quality"], 2005, Vol. 1, pp. 94-98.
3. Jain A.K., Ross A., Prabhakar S. An Introduction to Biometric Recognition, *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2004, Vol. 14, pp. 1-29.
4. Maznichenko N.I. Oblasti primeneniya i printsipy postroeniya biometricheskikh sistem identifikatsii lichnosti [Areas of application and principles of of biometric systems of identification], *Vestnik Natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta Khar'-kovskiy politekhnicheskiiy institut. Seriya: Informatika i modelirovanie* [Bulletin of the National Technical University Kharkiv Polytechnic Institute. Series: Computing and Modeling], 2013, Vol. 19, pp. 127-132.
5. Pisarev D.Yu. Problemnye voprosy biometricheskoy identifikatsii v raskrytii prestupleniy [Problem questions of biometric identification in solving crimes], *Probely v rossiyskom zakonodatel'stve* [Gaps in Russian legislation], 2008, No. 2, pp. 326-329.
6. Barsukov V.S., Zaytsev A.V., Ponomarev A.A. Identifikatsiya lichnosti – klyuchevaya problema bezopasnosti [Personal identification - a key security problem], *Spetsial'naya tekhnika* [Special equipment], 2005, No. 3, pp. 84-91.
7. Hong L., Jain A.K. Integrating Faces and Fingerprints for Personal Identification, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1998, Vol. 20, No. 12, pp. 1295-1307.
8. Kumar A., Wong D.C., Shen H.C., Jain A.K. Personal Verification using Palmprint and Hand Geometry Biometric, *4th International Conference on Audio- and Video-based Biometric Person Authentication*, 2003, pp. 668-675.
9. Daugman J.G. High Confidence Visual Recognition of Persons by a Test of Statistical Independence, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1993, Vol. 15, No. 11, pp. 1148-1161.
10. Ivanov A.I., Petrunenkov A.A. Razvitie biometricheskikh tekhnologiy: ob"edinenie usilii i perekhod k etapu standartizatsii [The development of biometric technologies: unification of efforts and the transition to the stage of standardization], *Sovremennyye tekhnologii bezopasnosti* [Modern security technology], 2004, No. 3, pp. 2-4.
11. De Luis-Garcia R., Alberola-Lopez C., Aghzout O., Ruiz-Alzola J. Biometric identification systems, *Signal Processing*, 2003, Vol. 83, pp. 2539-2557.
12. Brunelli R., Falavigna D. Person Identification Using Multiple Cues, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1995, Vol. 17, No. 10, pp. 955-966.
13. Konoplev B.G., Ageev O.A. Elionnye i zondovye nanotekhnologii dlya mikro- i nanosistemnoy tekhniki [Elion and probe nanotechnologies for nano- and microsystems technology], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskyye nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2008, No. 12 (89), pp. 165-175.
14. Carl Ph., Schillers H. Elasticity measurement of living cells with an atomic force microscope: data acquisition and processing, *Pflugers Arch - Eur J Physiol.*, 2008, Vol. 457 (551), pp. 551-559.
15. Dokukin M.E., Guz N.V., Sokolov I. Quantitative Study of the Elastic Modulus of Loosely Attached Cells in AFM Indentation Experiment, *Biophysical Journal*, 2013, Vol. 104, pp. 2123-2131.
16. Berdyeva T.K., Woodworth C.D., Sokolov I. Human epithelial cells increase their rigidity with ageing in vitro: direct measurements, *Phys. Med. Biol.*, 2005, Vol. 50, pp. 81-92.

17. Smirnov V.A., Shilov A.K., Ageev V.O., Rubashkina M.V. Metod biometricheskoy identifikatsii na osnove atomno-silovoy mikroskopii [Method of biometric identification on the basis of atomic-force microscopy], *Informatsionnoe protivodeystvie ugrozam terrorizma* [Information counteraction to threats of terrorism], 2014, No. 23, pp. 15-18.
18. Alekseev A.N., Sokolov I.A., Ageev O.A., Konoplev B.G. Kompleksnyy podkhod k tekhnologicheskomu osnashcheniyu tsentra prikladnykh razrabotok. Opyt realizatsii v NOTs «Nanotekhnologii» YuFU [Complex approach to the technological equipment of the center of applied research. Experience in the implementation of the REC "Nanotechnology" SFEDU] *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2011, No. 4 (117), pp. 207-210.
19. Ofitsial'nyy sayt ZAO «NT-MDT» [Official site CJSC "NT-MDT"]. Available at: <http://www.ntmdt.ru>.
20. Mironov V.L. Osnovy skaniruyushchey zondovoy mikroskopii [Basics of the scanning probe microscopy]. Moscow: Tekhnosfera, 2004, 143 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор А.А. Лаврентьев.

Агеев Владислав Олегович – Южный федеральный университет; 347900, г. Таганрог, ул. Шевченко, 2, корп. «Е»; e-mail: agee-vlad@yandex.ru; кафедра безопасности информационных технологий; аспирант.

Ильина (Рубашкина) Марина Владимировна – e-mail: marubashkina@sfedu.ru; тел.: +78634371611; кафедра нанотехнологий и микросистемной техники; ассистент.

Мальков Игорь Андреевич – e-mail: cpt.svechkin@gmail.com; тел.: +78634371611; кафедра нанотехнологий и микросистемной техники; студент.

Ageev Vladislav Olegovich – Southern Federal University; e-mail: agee-vlad@yandex.ru; 2, Shevchenko street, corp. "E", Taganrog, 347900, Russia; the department of information technology security; postgraduate student.

Irina (Rubashkina) Marina Vladimirovna – e-mail: marubashkina@sfedu.ru; phone: +78634371611; the department of nanotechnologies and microsystems; assistant.

Malkov Igor Andreevich – e-mail: cpt.svechkin@gmail.com; phone: +78634371611; the department of nanotechnologies and microsystems; student.

УДК 53.047

И.В. Малышев, Н.В. Паршина

УСТАНОВКА ДЛЯ МНОГОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОГО ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО (МЧЭМРТ) ВОЗДЕЙСТВИЯ

Предложена новая установка для электромагнитно-резонансного терапевтического воздействия, позволяющая сочетать эффект КВЧ активации на известных метаболических частотах с определенными в результате предварительной диагностической локализации НЧ терапевтических частот, которые могут быть использованы в практике воздействия на биообъекты. В основе предложенной установки лежит способ регистрации метаболических частот по изменению проводимости биосреды и получению соответствующего сигнала отклика, частота которого используется для модуляции КВЧ излучения. В работе рассмотрена амплитудная модуляция, однако перспективной представляется и импульсная. Приведены структурная и блок-схемы установки, а также основные соотношения, поясняющие её работу. Весь комплекс представлен в виде рабочих модулей, содержащих приёмно-излучающие и преобразовательные узлы, которые реализованы в диапазонах НЧ и КВЧ. Принцип регистрации метаболических низких частот основан на свойстве биосреды