

## БИОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ХРОНИЧЕСКИХ НЕИНФЕКЦИОННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ

Садыкова Е.В.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), улица Профессора Попова, дом 5, Санкт-Петербург, 197376, Российская Федерация

### Резюме

**Актуальность.** В настоящее время не существует единого методологического подхода к разработке биотехнической системы, которая помогает врачу в решении задач диагностики и лечения хронических неинфекционных заболеваний. Тем не менее, широкое внедрение информационных и телекоммуникационных технологий, современных медицинских аппаратов, приборов, систем и комплексов, обеспечивающих поддержку принятия решений врача в биотехнической системе удаленной медицинской диагностики, представляется сегодня бурно развивающимся направлением.

**Цель.** Синтез биотехнической системы дифференциальной диагностики и лечения хронических неинфекционных заболеваний для повышения эффективности оказания медицинской помощи населению РФ, при условии постоянного длительного наблюдения за пациентами с хроническими неинфекционными заболеваниями.

**Материалы и методы.** Рассмотрены принципы синтеза биотехнических систем дифференциальной диагностики и лечения хронических неинфекционных заболеваний при постоянном наблюдении за пациентом, на их основе предложены компоненты методического, программно-алгоритмического обеспечения системы, совокупность которых может быть определена как решение научной задачи большой социально-экономической значимости.

**Результаты и обсуждение.** Получены методы оптимизации принятия коллективного решения дифференциальной диагностики и лечения хронических неинфекционных заболеваний при условии постоянного длительного наблюдения за пациентами, позволяющие проводить коррекцию прогноза течения заболевания у конкретного пациента и принять решение по нормализации состояния пациента в период обострения хронического неинфекционного заболевания; способы сбора, обработки и анализа биомедицинской информации с использованием экспертных опросников о состоянии здоровья пациента, позволяющих принять решение врачу при диагностике и лечении хронических неинфекционных заболеваний, как в период обострения состояния, так и в период течения хронического неинфекционного заболевания; веб-сайты общения врача и пациента, содержащие системы поддержки принятия решений врача, позволяющие проводить дифференциальную диагностику и прогнозировать течение хронических неинфекционных заболеваний для конкретного пациента, а также осуществлять информационную поддержку пациента на основе экспертных опросников; методика оценки эффективности дифференциальной диагностики и лечения хронических неинфекционных заболеваний при условии постоянного длительного наблюдения за пациентами, обеспечивающая высокую чувствительность и специфичность диагностики обострения хронических неинфекционных заболеваний.

Экспериментально показано, что метод позволяет уменьшить вдвое оценку вероятности ошибки распознавания по сравнению с неоптимизированным коллективом врачей-экспертов.

Решены проблемы, связанные с разработкой программно-алгоритмического обеспечения биотехнической системы, получены экспериментальные образцы системы поддержки принятия решений врача при дифференциальной диагностике и лечении хронических неинфекционных заболеваний, веб-сайты диагностики редких заболеваний и их апробация в лечебно-профилактических учреждениях.

**Заключение.** Методология синтеза биотехнической системы дифференциальной диагностики и лечения хронических неинфекционных заболеваний должна основываться на: учете системной взаимосвязи методического и программно-алгоритмического обеспечения, индивидуальной особенности протекания хронических неинфекционных заболеваний у пациента; постоянном длительном наблюдении за пациентом с целью получения статистических данных, необходимых для уточнения и коррекции модели диагностики и лечения пациента, алгоритма сбора, обработки и анализа медико-биологической информации; методах принятия

---

Садыкова Е.В. Биотехническая система дифференциальной диагностики и лечения хронических неинфекционных заболеваний // *Физическая и реабилитационная медицина*. – 2020. – Т. 2. – № 2. – С. 58-64. DOI: 10.26211/2658-4522-2020-2-2-58-64

Sadykova E.V. (2020) Bioengineering System for Differential Diagnostics and Treatment of Chronic Diseases. *Physical and Rehabilitation Medicine*; vol. 2, no. 2, pp. 58-64. (In Russian). DOI: 10.26211/2658-4522-2020-2-2-58-64

Садыкова Елена Владимировна / Elena V. Sadykova; e-mail: elensadykova@yandex.ru

решения коллективом врачей-экспертов профильных специалистов; удаленном съеме, обработке и анализе биомедицинской информации на основе длительного постоянного наблюдения за пациентом; использовании критериев и методов оценки эффективности дифференциальной диагностики и лечения хронических неинфекционных заболеваний, учитывающих динамику заболевания по результатам длительного постоянного наблюдения за пациентом для уточнения и коррекции алгоритма лечения пациента.

**Ключевые слова:** биотехническая система, методология, хронические заболевания, диагностика, лечение, длительное наблюдение.

## BIOENGINEERING SYSTEM FOR DIFFERENTIAL DIAGNOSTICS AND TREATMENT OF CHRONIC DISEASES

Sadykova E.V.

*Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI",  
5 Professor Popov Street, 197376 Saint Petersburg, Russian Federation*

### Abstract

**Introduction.** Currently, there is no single methodological approach to the development of a biotechnical system that helps a doctor in solving the problems of diagnosis and treatment of chronic non-communicable diseases. Nevertheless, the widespread introduction of information and telecommunication technologies, modern medical devices, appliances, systems and complexes that support decision-making of doctors in biotechnical systems of remote medical diagnostics, is a rapidly developing direction nowadays.

**Aim.** Synthesis of a biotechnical system for differential diagnosis and treatment of chronic non-communicable diseases to improve the effectiveness of medical care to the population of the Russian Federation, subject to continuous long-term monitoring of patients with chronic non-communicable diseases.

**Materials and methods.** The principles of synthesis of biotechnical systems of differential diagnosis and treatment of chronic non-communicable diseases under constant supervision of the patient are considered, on their basis the components of methodological, software and algorithmic support of the system are proposed, the totality of which can be defined as a solution to a scientific problem of great socio-economic importance.

**Results and discussion.** The methods of the collective decision of differential diagnosis and chronic non-communicable diseases treatment optimization are obtained provided long-term, ongoing patient monitoring, allowing for the prognosis correction in the individual patient disease course and make the decision on the normalization of the patient's condition in the period of the chronic non-communicable diseases exacerbation; methods of collection, processing and analysis of biomedical information using expert questionnaires on the health status of the patient, allowing the physician in the diagnosis and treatment of chronic non-communicable diseases as in acute state and in the period of the chronic non-communicable disease course; the web sites of communication between a doctor and a patient that contain the doctor decision support systems, allowing to carry out differential diagnostics and to predict the course of chronic non-communicable disease for a particular patient, and to provide informational support to the patient based on the expert questionnaires; the method for evaluating the effectiveness of the chronic non-communicable diseases differential diagnosis and treatment under the condition of continuous long-term patients monitoring, which provides high sensitivity and specificity in the chronic non-communicable diseases exacerbation diagnostics.

It has been experimentally shown that the method allows reducing the probability of recognition error by half in comparison with an unoptimized team of medical experts.

Problems related to the development of software and algorithmic biotechnical system support were solved, experimental samples of the doctor decision support systems for chronic non-communicable diseases differential diagnosis and treatment were obtained, as well as web sites for the diagnosis of rare diseases and their testing in medical institutions.

**Conclusion.** The chronic non-communicable diseases differential diagnostics and treatment biotechnical system synthesis methodology should be based on: consideration of methodological and program-algorithmic support system relationship, individual characteristics of the patient chronic non-communicable disease course; a permanent long-term patient monitoring with the aim of obtaining statistical data needed to refine and correct model of diagnosis and treatment of the patient, the algorithm of collection, processing and analysis of biomedical information; methods of decision-making by a team of medical experts profile specialists; remote collection, processing and analysis of biomedical information based on long-term continuous patient monitoring; using criteria and methods for evaluating chronic diseases differential diagnosis and treatment effectiveness, taking into account the disease dynamics based on the results of long-term continuous patient monitoring to clarify and correct the algorithm of the patient treatment.

**Keywords:** biotechnical system, methodology, chronic diseases, diagnostics, treatment, long-term observation.

## Введение / Introduction

По мере развития информационных технологий происходит бурное внедрение интеллектуальных систем в медицину и медицинское приборостроение. Автоматизированная диагностика, моделирование прогноза течения хронических неинфекционных заболеваний (ХНИЗ) становятся ключевыми элементами для многих систем мониторинга за пациентом. Они приобретают особую важность для непрерывного контроля за состоянием пациента, как в стационарах, так и в повседневной жизни. Для полноценной информационной поддержки лиц, принимающих решения, необходимы средства мониторинга и оценки качества лечения, обобщения статистических данных, прогнозирования обострения заболеваний в отношении тех или иных хронических заболеваний. Все это приводит к целесообразности создания биотехнической системы (БТС) дифференциальной диагностики и лечения ХНИЗ при постоянном наблюдении за пациентом.

Актуальность представленного научного исследования определяется:

- необходимостью сохранения трудового потенциала страны и увеличением продолжительности жизни населения РФ;
- необходимостью совершенствования научно обоснованного комплекса мер и мероприятий по мониторингу здоровья человека, диагностики и лечения ХНИЗ;
- необходимостью положительной динамики физиологического состояния и качества жизни пациентов с ХНИЗ, в значительной степени определяющих точность диагностики и своевременность лечения этих пациентов;
- необходимостью снижения смертности от ХНИЗ.

Вопросы методологии, технологии исследования оценки функционального состояния здоровья и диагностики ХНИЗ человека постоянно требуют совершенствования.

В настоящее время в РФ происходит реформирование здравоохранения, ориентированное на пациента, которое заключается в том, что система здравоохранения должна быть организована так, чтобы она могла отвечать потребностям пациентов (“patient-centered healthcare”) [1]. Современный уровень развития медицины, информационных технологий, развития техники требует решения подобных вопросов на качественно новом уровне.

## Цель / Aim

Создание биотехнической системы дифференциальной диагностики и лечения ХНИЗ, при условии постоянного длительного наблюдения за пациентами, для своевременного оказания медицинской помощи пациентам.

В статье предложено возможное решение двух задач синтеза БТС: методического и программно-алгоритмического обеспечения БТС.

## Материалы и методы / Materials and methods

Синтез БТС. В общем виде в задачи синтеза любой системы управления входят: определение структуры и параметров системы, исходя из заданных требований к значениям показателей эффективности ее функционирования, а также способов обеспечения целей функционирования системы.

Для синтеза БТС дифференциальной диагностики и лечения пациентов с ХНИЗ при постоянном наблюдении за пациентом разработаны структура и компоненты этой системы, которые представлены на рисунке 1.

Для диагностики, лечения и прогнозирования состояния здоровья пациента с ХНИЗ, понимания, в каком направлении изменяется текущее состояние здоровья пациента при длительном наблюдении за ним, необходимо иметь комплекс моделей {MS} состояния организма пациента, включающий модель состояния физиологической нормы (N) и модели трех стратегий (СТ) ХНИЗ: модели диагностики (МД), модели прогноза (МП), модели лечения (МЛ), модели риска развития (МРР) ХНИЗ:

$$MS^j [\{\Phi_E^k\}, \{\Phi_P^l\}, \{\Omega_S^m\}],$$

где  $j = 1, J$  — множество состояний организма.

Три стратегии определяют предложенную классификацию ХНИЗ по изученности клинической картины заболевания: с яркими клиническими симптомами (часто встречаемые); с симптомами, подвергающимися сомнению (нечасто встречаемые); орфанные (редкие).

Модели описываются совокупностью диагностически значимых показателей (ДЗП) для конкретного ХНИЗ [2]:

- показателей электрофизиологических сигналов  $\{\Phi_E^k\}$ ,  $k = 1, K$ ;
- показателей функционирования систем организма  $\{\Phi_P^l\}$ ,  $l = 1, L$ ;
- показателей проявления симптомов болезни  $\{\Omega_S^m\}$ ,  $m = 1, M$ , которые в общем случае могут иметь несколько уровней (градаций) проявления симптома. Каждое конкретное состояние организма  $MS^j$  характеризуется своим набором показателей  $K^j, L^j, M^j$ . Для диагностики состояния здоровья необходимо, чтобы текущее состояние здоровья пациента  $TS$  описывалось совокупностью показателей  $\{\Phi_E^u\}$ ,  $\{\Phi_P^v\}$  и  $\{\Omega_S^w\}$ , которые позволили бы диагностировать возможное множество состояний организма  $J$  (рис. 2). Это означает, что пространство признаков  $U, V, W$  для диагностики множества состояний  $J$  должно охватывать  $K^j, L^j, M^j$ .

### Компоненты синтеза биотехнической системы

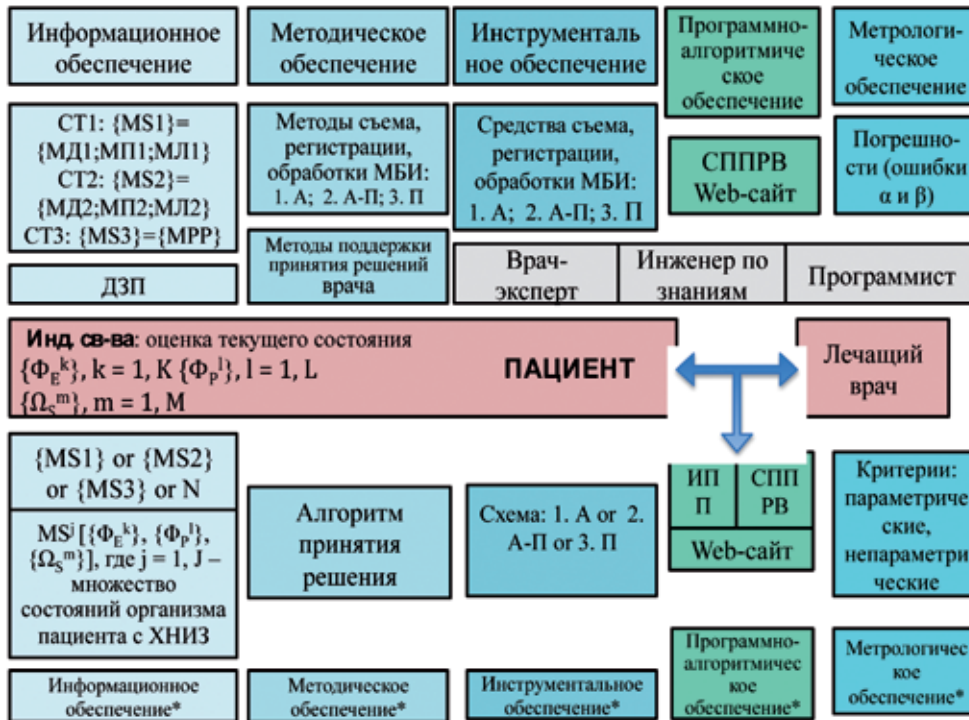


Рис. 1. Структура и компоненты биотехнической системы  
 Figure 1. Structure and components of the biotechnical system

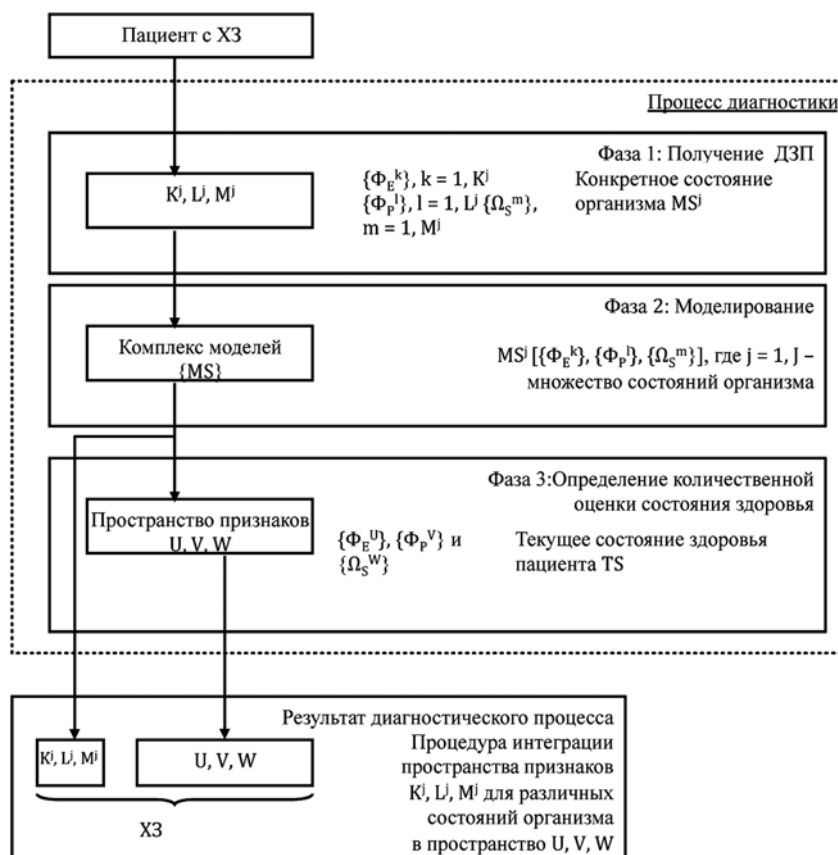


Рис. 2. Формализованная схема процесса диагностики хронических неинфекционных заболеваний  
 Figure 2. Formalized diagnosis of chronic non-communicable diseases

Для синтеза БТС дифференциальной диагностики и лечения пациентов с ХЗ необходимо инструментальное обеспечение. Инструментальное обеспечение включает в себя совокупность технических средств для съёма, регистрации, обработки и хранения медико-биологической информации, а также их пересылки врачу и на сервер лечебно-профилактического учреждения (ЛПУ). Технические средства могут быть аппаратными (А), аппаратно-программными (АП) и программными (П).

**Результаты и обсуждение / Results and discussion**

Методическое обеспечение. Получен метод дифференциальной диагностики и лечения пациентов с ХНИЗ при постоянном наблюдении за пациентом, который заключается в том, что вводится процедура оптимизации в процесс коллективного принятия решения врачами-экспертами на основании теории распознавания образов.

Разработан алгоритм принятия коллективного решения, который отличается от известных своевременностью (оперативностью) принятия решения в случае обострения у пациента ХНИЗ. Для оптимизации принятия коллективного решения при выбранных ДЗП необходима процедура структурной адаптации, которая отвечает показателям эффективности: точности, воспроизводимости.

Для диагностики, как в период лечения, так и в случае возникновения эпизодов обострения ХНИЗ, необходим алгоритм принятия коллективного решения, который позволяет избежать трудностей, связанных с тем, что пациент с ХНИЗ обращается к нескольким врачам разного профиля и уровня компетентности. Процедура синтеза решающих правил коллектива является многоуровневой, и успех ее определяется знанием врачей-экспертов и имеющимся накопленным статистическим материалом для каждого ХНИЗ. В этой связи вводится экспертное решающее правило

(ЭРП), представляющее собой обобщение алгоритмов врачей, участвующих в процессе диагностики ХЗ, и являющееся сверткой различных алгоритмов распознавания.

ЭРП консилиума врачей ( $R$ ) представляется в виде:  $R = (\varphi, F, V)$ , где  $\varphi$  задает структуру свертки ЭРП алгоритма диагностики, лечения и определения обострения ХНИЗ (рис. 3),  $F$  — решающая функция,  $V$  — параметры свертки. Решение консилиума специалистов (врачей) при помощи ЭРП можно представить следующим образом:

$$P = f(\varphi(F_1(X), \dots, F_L(X), V)),$$

где  $\{F_1(X), \dots, F_L(X)\}$  — множество решающих функций консилиума врачей,  $P$  — коллективное решение, принимаемое ЭРП,  $f$  — характеристическая функция, определяемая в случае дихотомии как:

$$f(u) = \begin{cases} +1 & \text{если } u \geq 0 \\ -1 & \text{если } u < 0. \end{cases}$$

На рисунке 4 приведена схема принятия решения группой врачей-экспертов, где:

$$u = \varphi(F_1(X), \dots, F_L(X), V).$$

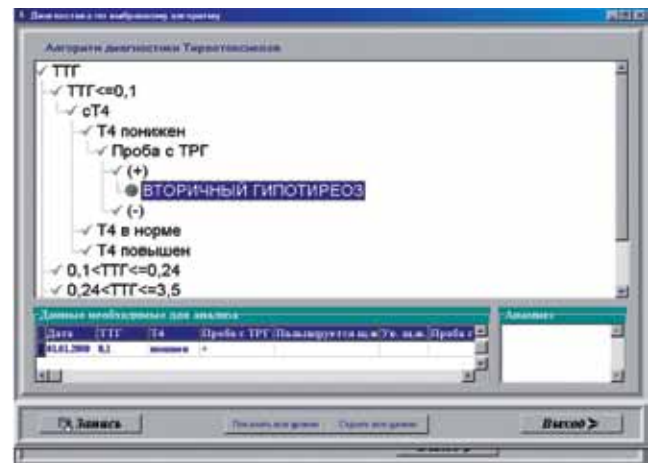


Рис. 3. Результат структурной свертки  
Figure 3. Result of structural convolution

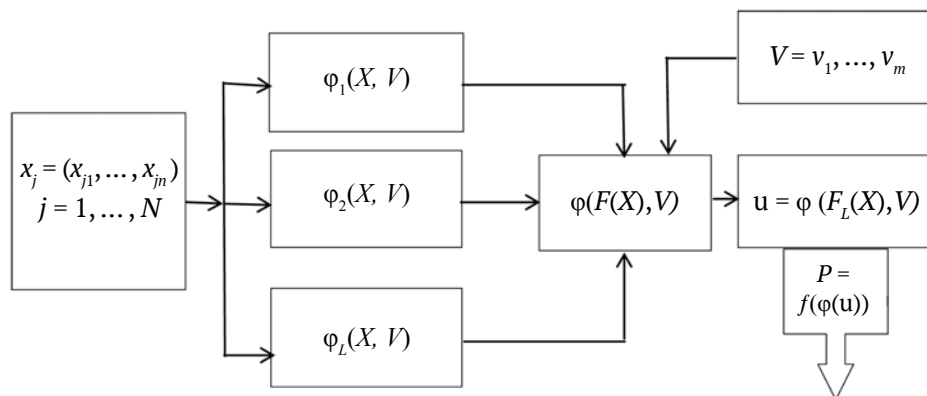


Рис. 4. Принятие решения консилиумом врачей при помощи экспертного решающего правила  
Figure 4. Decision-making by the consultation of doctors with the help of expert decisive rule

Получен метод выбора коллектива врачей-экспертов для дифференциальной диагностики и лечения пациентов с ХНИЗ на основе подбора различных сочетаний обучающей выборки с целью оптимального принятия коллективного решения.

Результаты проведенных экспериментов на предложенных моделях показали минимизацию вероятности ошибки дифференциальной диагностики и лечения пациентов с ХНИЗ выбранным коллективом врачей-экспертов.

Экспериментально показано, что метод позволяет уменьшить вдвое вероятность ошибки распознавания по сравнению с неоптимизированным коллективом врачей-экспертов.

#### *Программно-алгоритмическое обеспечение*

Для разработки программно-алгоритмического обеспечения БТС дифференциальной диагностики и лечения ХНИЗ (веб-сайты общения врача и пациента с системой поддержки принятия решений врача и информационной поддержкой пациента) использованы средства: PyCharm Community, Flask, Django, HTTP\REST, Apache. Проблема заключается в интеграции разрабатываемых программно-алгоритмических средств для БТС дифференциальной диагностики и лечения ХНИЗ с единой государственной информационной системой в сфере здравоохранения ЕГИСЗ.

Программно-алгоритмическое обеспечение представлено следующими алгоритмами: алгоритмом обработки и анализа физиологических показателей от сигналов датчиков, неинвазивно регистрируемых с пациента в процессе его повседневной жизнедеятельности, в случае БТС с аппаратно-программными (А-П) техническими средствами; алгоритмом формирования косвенных диагностически значимых показателей, используемых для определения состояния пациента на основе экспертных знаний врачей высокой квалификации; алгоритмом интеллектуального мониторинга состояния здоровья пациента; алгоритмом прогнозирования обострения заболевания; алгоритмом информационной поддержки пациента в условиях обострения заболевания. Алгоритмы обработки и анализа физиологических показателей выполняются последовательно, согласно структуре БТС.

На основе алгоритмов разработаны экспериментальные образцы веб-сайтов, где диагностическая информация поступает к врачу в реальном времени за счет удаленного мониторинга и автоматизированного опроса пациентов: «Веб-сайт диагностики редких заболеваний»; Web Application for Quality of Life Analysis (WAQLA); «Веб-приложение

для аппаратно-программного комплекса диагностики апноэ»; «Веб-сайт врача для удаленного мониторинга за пациентами с хроническими заболеваниями (оптиконейромиелитом)».

#### **Заключение / Conclusion**

В результате проведенного научного исследования для создания биотехнической системы дифференциальной диагностики и лечения ХНИЗ, при условии постоянного длительного наблюдения за пациентами, предложено решение задач методического и программно-алгоритмического обеспечения БТС.

Методология синтеза БТС дифференциальной диагностики и лечения ХНИЗ должна основываться на: учете системной взаимосвязи методического и программно-алгоритмического обеспечения, индивидуальной особенности протекания ХНИЗ у пациента; постоянном длительном наблюдении за пациентом с целью получения статистических данных, необходимых для уточнения и коррекции модели диагностики и лечения пациента, алгоритма сбора, обработки и анализа медико-биологической информации (МБИ); методах принятия решения коллективом врачей-экспертов профильных специалистов; удаленном съеме, обработке и анализе биомедицинской информации на основе длительного постоянного наблюдения за пациентом; использовании критериев и методов оценки эффективности дифференциальной диагностики и лечения хронических заболеваний, учитывающих динамику заболевания по результатам длительного постоянного наблюдения за пациентом для уточнения и коррекции алгоритма лечения пациента.

#### **Этика публикации / Publication ethics.**

Представленная статья ранее опубликована не была.

#### **Конфликт интересов / Conflict of interest.**

Информация о конфликте интересов отсутствует.

#### **Источник финансирования / Source of financing:**

Исследование не имело спонсорской поддержки.

#### **Литература**

1. Государственная программа Российской Федерации «Развитие здравоохранения»: утверждена распоряжением Правительства РФ № 2511-р от 24 декабря 2012 г. // Министерство здравоохранения Российской Федерации. URL: <http://www.rosminzdrav.ru/health/72/gprzo.pdf>.
2. Садыкова Е.В., Юлдашев З.М. Система удаленного мониторинга состояния здоровья и оказания экстренной медицинской помощи пациентам с хроническими заболеваниями // Биотехносфера. 2017. № 1. С. 2-7.

**References**

1. Gosudarstvennaya programma Rossijskoj Federacii «Razvitie zdavoohraneniya»: utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva RF № 2511-p ot 24 dekabrya 2012 g. State program of the Russian Federation «development of healthcare»: approved by decree of the Government of the Russian Federation No. 2511-p of December 24, 2012]. Ministry of health of the Russian Federation. URL: <http://www.rosminzdrav.ru/health/72/gprzo.pdf> (In Russian).
2. Sadykova E.V., Yuldashev Z.M. Sistema udalennogo monitoringa sostoyaniya zdorov'ya i okazaniya ekstremnoj medicinskoj pomoshchi pacientam s hronicheskimi zabolevaniyami [Remote health state monitoring and emergency medical aid system for the patients with chronic diseases]. Biotechnosphere. 2017. No 1. pp. 2-7.

Рукопись поступила / Received: 27.04.2020

Принята в печать / Accepted for publication: 22.05.2020

**Автор**

Садькова Елена Владимировна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 197376, Россия, г. Санкт-Петербург, улица Профессора Попова, дом 5, тел. +7(812)2340133.

**Author**

Sadykova Elena Vladimirovna, PhD in engineering, Saint-Petersburg Electrotechnical University "LETI", Department of Bioengineering Systems, Associate Professor, 5 Professor Popov Street, 197376 St. Petersburg, Russian Federation, ph. +7(812)2340133, +7(921)9820910, e-mail: elensadykova@yandex.ru