

УДК 004.045

Н. М. Кравченко<sup>1</sup>, Т. Д. Ключанова<sup>1</sup>, В. В. Бондарчук<sup>1</sup>,  
А. А. Гринцова<sup>2</sup>, А. Ф. Денисенко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Государственное учреждение «Институт проблем искусственного интеллекта», г. Донецк 83048, г. Донецк, ул. Артема, 118-б,

<sup>2</sup> Республиканский центр профпатологии и реабилитации МЗ ДНР, отделение интенсивной терапии гипербарической оксигенации, г. Донецк

<sup>3</sup> Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького, г. Донецк 83003, г. Донецк, пр. Ильича, 18

## ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА ПРОЦЕССА БАРОТЕРАПИИ

N. M. Kravchenko<sup>1</sup>, T. D. Klyushanova<sup>1</sup>, V. V. Bondarchuk<sup>1</sup>,  
A. A. Grintsova<sup>2</sup>, A. F. Denisenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Public institution «Institute of Problems of Artificial intelligence», Donetsk 83048, Donetsk, Artema str., 118-b,

<sup>2</sup> Republican Center for Occupational Pathology and Rehabilitation of the Ministry of Health of the DPR, intensive care unit of hyperbaric oxygenation, Donetsk

<sup>3</sup> Donetsk State Medical University M. Gorky, Donetsk 83003, Donetsk, Ilyicha ave., 18

## EXPERT SYSTEM OF THE BAROTHERAPY PROCESS

В статье представлена экспертная система сбора, обработки информации и принятия решений в процессе гипербарической оксигенации, функциональные возможности программного обеспечения. Формирование базы данных информации о пациентах и параметрах сеансов. Технологии реализации: Borland Delphi, SQL, Paradox. Схема обработки и передачи данных, программные модули. Визуализация процесса баротерапии. Оригинальный алгоритм выбора начального режима баротерапии. Прогноз динамики показателей вариабельности сердечного ритма пациента для следующих сеансов баротерапии.

**Ключевые слова:** экспертная система, вариабельность сердечного ритма, гипербарическая оксигенация, визуализация процесса баротерапии, технологии реализации, прогноз динамики показателей для следующего сеанса.

The article presents an expert system for collecting, processing information and making decisions in the process of hyperbaric oxygenation, the functionality of the software. Formation of a database of information about patients and session parameters. Implementation technologies: Borland Delphi, SQL, Paradox. Scheme of data processing and transmission, program modules. Visualization of the barotherapy process. An original algorithm for choosing an initial barotherapy regimen. Forecast of the dynamics of the patient's heart rate variability indicators for the next sessions of barotherapy.

**Key words:** expert system, heart rate variability, hyperbaric oxygenation, visualization of the barotherapy process, implementation technologies, forecast of the dynamics of indicators for next session.

Современные тенденции цифровой медицины позволяют создавать конкурентоспособные продукты, представляющие интерес во всем мире. В результате совместного сотрудничества ГУ «Институт проблем искусственного интеллекта» (г. Донецк, ДНР) и Донецкого национального медицинского университета им. М. Горького разработана экспертная система процесса баротерапии [1].

Актуальная прикладная система рекомендована как приоритетное научное исследование д.м.н., профессором, зав. кафедрой гигиены и экологии, проректором по науке ДонНМУ Ластковым Дмитрием Олеговичем. Резонансный интерес к инновационным результатам проявила 81 страна, о чем свидетельствует статистика посещаемости научных публикаций (более 3 000) за полгода.

**Целью работы** является разработка актуальной современной экспертной системы процесса баротерапии на основе развития новейших инструментальных средств, методов информационных технологий, новых цифровых платформ в медицине.

## Основное содержание работы

Система представляет собой программный комплекс, предназначенный для поддержки принятия решений в процессе баротерапии для формирования режимов гипербарической оксигенации [2, с. 114-116].

Во время сеанса баротерапии комплекс «Кардио+» в процессе первичной обработки электрокардиограммы производит запись величин интервалов между последовательными сокращениями сердца – R-R-интервалов в файл определенной структуры. При последующей обработке R-R-интервалов комплекс производит расчет параметров variability сердечного ритма (BCP) и визуализирует их на экране [3, с. 391-399].

Для сравнения параметров этапов врач вручную с экрана компьютера заносит данные в документ Excel и анализирует динамику сеанса. Далее, на основе полученных данных и опыта, врач производит корректировку режимов барокамеры для следующего сеанса. Основной проблемой данного метода лечения является сложность в подборе оптимального режима лечения индивидуально для каждого больного [4, с. 137-142].

Программное обеспечение представляет собой оконный диалоговый интерфейс, с помощью которого пользователь может:

- прочитать из базы данных «Кардио+» информацию о пациентах и сеансах лечения и сохранить в базе данных системы;
- прочитать из таблиц Microsoft Excel данные о параметрах сеансов лечения и сохранить в базе данных системы;
- просмотреть данные о пациентах и сеансах с возможностью выбора по заданным критериям;
- редактировать данные о пациентах и сеансах;
- рассчитать показатели BCP по определенному сеансу лечения выбранного пациента;
- определить динамику показателей в течение одного сеанса (с возможностью их графического представления в виде диаграмм);
- рассчитать средние за сеанс значения показателей BCP;
- оценить динамику средних показателей BCP по курсу лечения (от сеанса к сеансу): положительная, отрицательная, без динамики;
- представить результаты расчетов в виде электронных таблиц формата Microsoft Excel в нескольких вариантах: один сеанс лечения одного пациента – для сравнения между собой показателей BCP 5-минутных этапов сеанса и оценки реакции пациента на сеанс лечения; все сеансы одного пациента – для оценки изменения состояния

больного от сеанса к сеансу; сеансы лечения группы пациентов (например, с общим диагнозом) – для сравнения результатов лечения и оценки правильности выбранных режимов;

- сформировать протокол сеанса лечения для выбранного пациента в формате PDF для сохранения в истории болезни;

- на основе данных о пациентах, ранее проходивших лечение методом баротерапии, выбрать режим работы барокамеры для первого сеанса нового пациента;

- с учетом показателей ВСР в ходе первого сеанса откорректировать режим работы барокамеры для последующих сеансов.

Методологические аспекты моделирования системы поддержки принятия решений для формирования режимов гипербарической оксигенации, расчет параметров variability сердечного ритма по кардиосигналу в процессе баротерапии изложены в публикациях. Принципы построения и реализации экспертных интеллектуальных систем процесса взаимодействия гипербарического состояния и контролируемых параметров объектов системы, структура формализованной математической модели, изложены в [5, с. 16-21]. Реализация системы осуществлена в среде программирования Borland Delphi, для реализации запросов к базе данных применяется язык SQL. Для хранения данных используется СУБД Paradox 7.0 [6, с. 28-35].

Схема обработки и передачи данных в системе представлена на рис. 1.

Главное окно Системы содержит главное меню для доступа к основным возможностям системы. Кроме того, здесь отображается информация о пациентах и сеансах лечения, хранящаяся в базе данных.

Модуль импорта из базы данных системы Cardio+. Чтение данных о пациентах и их состоянии во время сеансов баротерапии из формата MS Access и двоичных файлов, преобразование их к нужному виду и затем запись в базу данных Paradox.

Модуль импорта данных из Excel. Чтение данных о режимах работы барокамеры во время сеансов лечения каждого пациента. Запись данных в базу Paradox.

Модуль работы с базой данных. Реализация доступа к базе данных для ее пополнения новыми данными, поиска нужной информации.

Модуль сбора информации о пациенте. Ввод данных о новом пациенте и сохранение их в базе данных.

Модуль расчета параметров ВСР. Расчет различных статистических показателей, характеризующих variability сердечного ритма пациента в ходе каждого 5-минутного этапа сеанса баротерапии.

Модуль графического отображения динамики показателей ВСР. Представление в виде диаграмм динамики изменения показателей variability по каждому сеансу и по всему курсу лечения.

Модуль записи результатов расчета показателей variability в электронные таблицы MS Excel. Необходимо предусмотреть различные варианты формирования таблиц: по одному сеансу пациента – для сравнения 5-минутных этапов между собой, по всем сеансам для одного пациента – для оценки динамики состояния пациента в процессе лечения, по выбранной определенным образом группе пациентов.

Модуль записи протокола сеанса в формате PDF. Записываются основные данные о пациенте и результатах баротерапии в ходе одного сеанса. Представление показателей ВСР в числовом и графическом виде.

Модуль поиска первоначального режима лечения. На основе информации о новом пациенте и данных о результатах баротерапии других пациентов выбирается наиболее подходящий режим работы барокамеры для первого сеанса лечения нового пациента.

Модуль корректировки режима лечения. По результатам первого сеанса лечения (динамике показателей ВСР в ходе сеанса) режим работы барокамеры для последующих сеансов может быть изменен.

Модуль формирования рекомендаций для врача. Результаты выбора первоначального режима лечения и корректировки настроек работы барокамеры в последующих сеансах представляются в удобном для использования виде (формат MS Word). На рис. 2 показано главное окно Системы. Результаты расчета ВСР по выбранному в списке пациенту и сеансу можно просмотреть на экране (рис. 3). Выбрав необходимые параметры ВСР, можно отследить его изменение в ходе сеанса на диаграмме (рис. 4) [2]. Также можно сравнить параметры в ходе нескольких сеансов пациента (рис. 5).



Рисунок 1 – Схема обработки и передачи данных

Предварительные экспериментальные апробации системы успешно состоялись в августе 2020 г. и апреле 2021 г. в Республиканском центре профпатологии и реабилитации МЗ ДНР. Научным экспертом разработки являлась заведующий отделением интенсивной терапии гипербарической оксигенации, к.м.н., доцент кафедры профболезней и радиационной медицины Донецкого Национального медицинского университета им. М. Горького Ладария Елена Григорьевна.

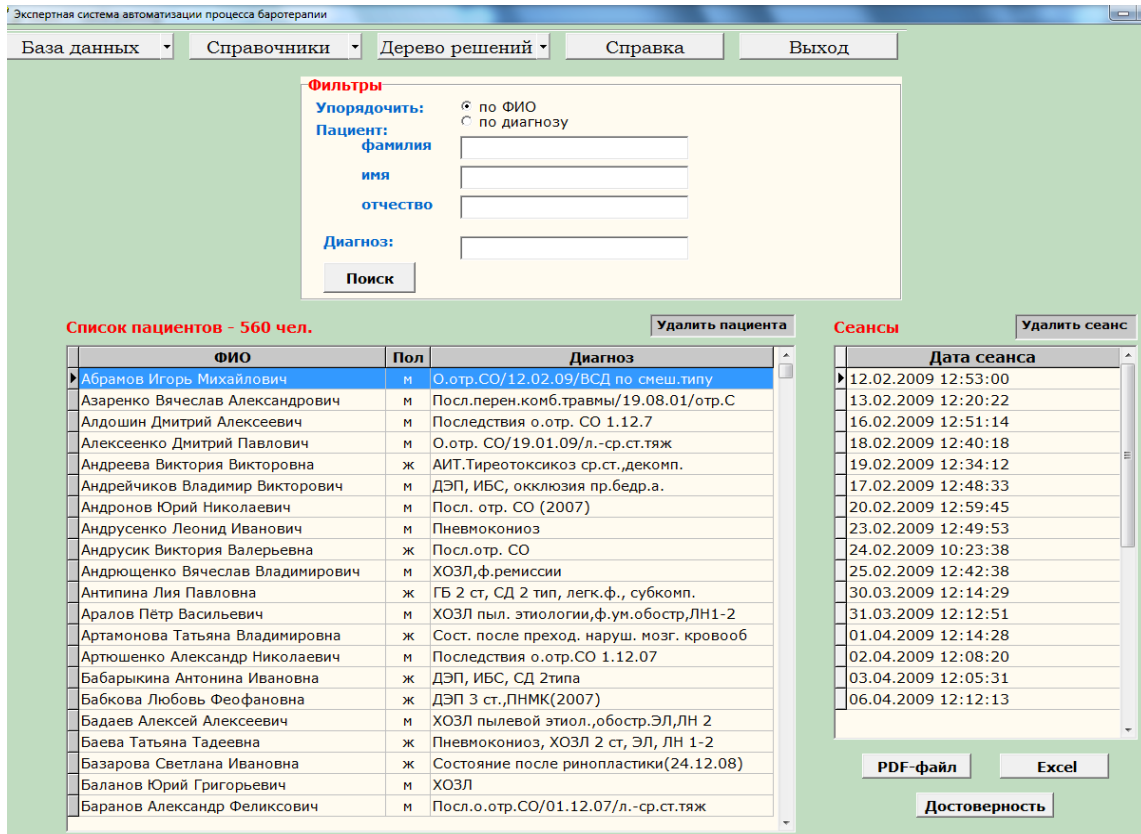


Рисунок 2 – Главное окно экспертной системы баротерапии

Пациент <b>Абрамов Игорь Михайлович</b>									
Возраст <b>49</b> Дата сеанса <b>12.02.2009</b>									
Статистические показатели		Вариационная пульсометрия			Спектральный анализ			ПАРС	
№ этапа	Mean, мс	HR, уд./мин.	SDNN, мс	RMSSD, мс	SDSD, мс	pNN50, %	CVr, %	As	Ex
<b>НОРМЫ</b>	<b>832 - 1017</b>	<b>60 - 90</b>	<b>30 - 100</b>	<b>20 - 55.3</b>		<b>4.5 - 31.9</b>	<b>3 - 12</b>		
1	741	81	53	23	16	4.1	7.2	0.0	-0.2
2	770	78	51	24	15	3.9	6.6	-0.1	-0.8
3	774	78	48	23	15	4.2	6.2	-0.7	0.3
4	765	78	61	24	16	3.6	8.0	-0.2	0.1
5	779	77	51	25	17	4.0	6.5	0.0	0.3
6	761	79	55	25	17	4.9	7.2	0.1	-0.5
7	788	76	51	26	17	4.8	6.5	0.0	-0.1
8	787	76	49	26	18	7.0	6.2	-0.1	0.4
9	799	75	50	26	16	7.1	6.3	-0.1	0.1
10	821	73	58	27	18	6.4	7.1	-0.4	-0.2
11	813	74	54	27	18	7.2	6.6	-0.2	-0.5
12	783	77	56	24	16	4.0	7.2	0.1	-0.2
13	816	74	62	30	19	9.7	7.6	-0.4	-0.3
14	810	74	56	27	18	4.6	6.9	0.1	-0.2
<b>Среднее значение</b>	<b>786.2</b>	<b>76.4</b>	<b>53.9</b>	<b>25.5</b>	<b>16.9</b>	<b>5.4</b>	<b>6.9</b>	<b>-0.1</b>	<b>-0.1</b>

Рисунок 3 – Просмотр параметров ВСР

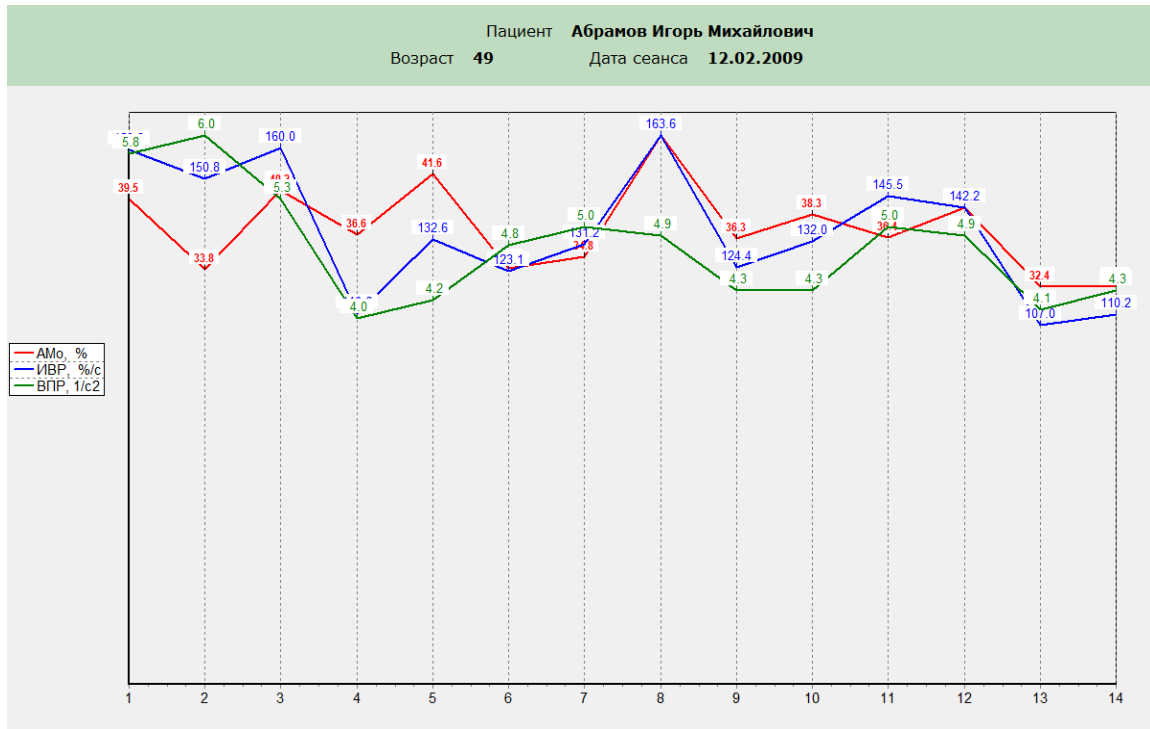


Рисунок 4 – Диаграмма параметров ВСП

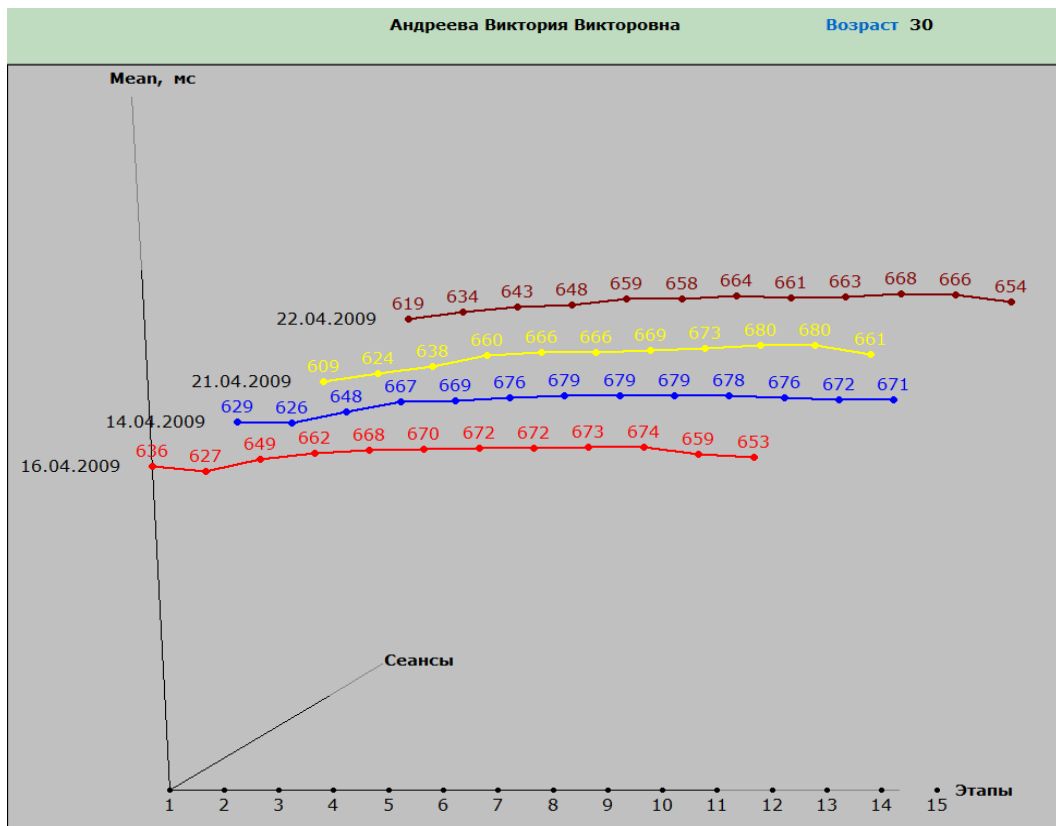


Рисунок 5 – Диаграмма параметров по нескольким сеансам

## Выводы

Для повышения эффективности гипербарической оксигенации и автоматизации процесса баротерапии целесообразно использовать компьютеризированную систему поддержки принятия решения.

Разработка экспертной системы поддержки принятия решений для автоматизации процесса баротерапии выполнена в результате совместного сотрудничества ГУ «Институт проблем искусственного интеллекта» (г. Донецк, ДНР) и Донецкого национального медицинского университета им. М. Горького. Разработанная Система формирует базу данных информации о пациентах и параметрах сеансов; позволяет на основе систематизации данных по алгоритму дерева решений C4.5 выбрать начальный режим баротерапии и выполнить прогноз динамики показателей ВСП пациента для следующих сеансов баротерапии.

## Список литературы

1. Информатизация здоровья. Стандартный протокол коммуникаций. Часть 91064. Компьютерная электрокардиография (ISO 11073-91064:2009, IDT).
2. Ladaria, Elena G. Principles for Implementing an Intelligent Decision Support System in the Barotherapy Process [Текст] / Ladaria Elena G., Bondarchuk Victoria V., Kravchenko Nataliya M. // The 5th International scientific and practical conference "Perspectives of world science and education" (January 29-31, 2020) CPN Publishing Group, Osaka, Japan. 2020. 884 p. – P. 114–116.
3. Бондарчук В. В. Методологические аспекты моделирования интеллектуальной системы поддержки принятия решений для формирования режимов гипербарической оксигенации [Текст] / В. В. Бондарчук, Е. Г. Ладария, Н. М. Кравченко // The 6th International scientific and practical conference «Dynamics of the development of world science» (February 19-21, 2020) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2020. 1324 p. – С. 391–399.
4. Bondarchuk Victoria V. Generation of the Intellectual Decision-Making Software for Forming Hyperbaric Oxidation Modes Prospects for Development [Текст] / Bondarchuk Victoria V., Ladaria Elena G., Kravchenko Nataliya M. // The 2nd International scientific and practical conference «Eurasian scientific congress» (February 24-25, 2020) Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. 2020. 525 p. – P. 137–142.
5. Бондарчук В. В. Принципы построения и реализации экспертных интеллектуальных систем процесса взаимодействия гипербарического состояния и контролируемых параметров объектов [Текст] / В. В. Бондарчук // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). Ежемесячный научный журнал. – № 81/ декабрь 12 / 2020 – С. 16–21. DOI: 10.3168/ESU.2020.1.75.8282.
6. Распознавание параметров варибельности сердечного ритма по кардиосигналу в процессе баротерапии [Текст] / Кравченко Н. М., Ладария Е. Г., Ключанова Т. Д., Бондарчук В. В. // Международный рецензируемый научно-теоретический журнал «Проблемы искусственного интеллекта». – 2020. – № 2 (17). – С. 28–35.

## References

1. *Informatizatsiya zdorov'ya. Standartnyy protokol kommunikatsiy. Chast' 91064. Komp'yuternaya elektrokardiografiya* (ISO 11073-91064:2009, IDT) Informatization of health. Standard communication protocol. Part 91064. Computer electrocardiography (ISO 11073-91064:2009, IDT)
2. Ladaria, Elena G., Bondarchuk Victoria V., Kravchenko Nataliya M. Principles for Implementing an Intelligent Decision Support System in the Barotherapy Process [Текст]. *The 5th International scientific and practical conference "Perspectives of world science and education"* (January 29-31, 2020) CPN Publishing Group, Osaka, Japan. 2020. 884 p. – P. 114–116.
3. Bondarchuk, V. V., Ladaria E. G., Kravchenko N. M. *Metodologicheskiye aspekty modelirovaniya intellektual'noy sistemy podderzhki prinyatiya resheniy dlya formirovaniya rezhimov giperbaricheskoy oksigenatsii* [Methodological aspects of modeling an intelligent decision support system for the formation of hyperbaric oxygenation modes]. *The 6th International scientific and practical conference "Dynamics of the development of world science"* (February 19-21, 2020) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2020. 1324 p., P. 391-399.

4. Bondarchuk Victoria V., Ladaria Elena G., Kravchenko Nataliya M. Generation of the Intellectual Decision-Making Software for Forming Hyperbaric Oxidation Modes Prospects for Development. *The 2nd International scientific and practical conference «Eurasian scientific congress»* (February 24-25, 2020), Barca Academy Publishing, Barcelona, Spain. 2020. 525 p., P. 137–142.
5. Bondarchuk V.V. Printsipy postroyeniya i realizatsii ekspertnykh intellektual'nykh sistem protsessa vzaimodeystviya giperbaricheskogo sostoyaniya i kontroliruyemykh parametrov ob'yektov [Principles of construction and implementation of expert intelligent systems for the interaction of the hyperbaric state and the controlled parameters of objects] *Yevraziyskiy Soyuz Uchenykh (YESU). Yezhemesyachnyy nauchnyy zhurnal* [Eurasian Union of Scientists (ESU). Monthly scientific journal] № 81 / December 12/2020 - P. 16-21. DOI: 10.3168/ESU.2020.1.75.8282.
6. Kravchenko N.M., Ladaria E.G., Klyushanova TD, Bondarchuk V.V. Raspoznavaniye parametrov variabel'nosti serdechnogo ritma po kardiosignalu v protsesse baroterapii [Recognition of heart rate variability parameters by cardiac signal in the process of barotherapy]. *Mezhdunarodnyy retsenziruyemyy nauchno-teoreticheskiy zhurnal «Problemy iskusstvennogo intellekta»* [International peer-reviewed scientific and theoretical journal "Problems of Artificial Intelligence"], 2020, No. 2 (17), P. 28–35.

## RESUME

*N. M. Kravchenko, T. D. Klyushanova, V. V. Bondarchuk,  
A. A. Grintsova, A. F. Denisenko*  
*Expert system of the barotherapy process*

Modern trends in digital medicine make it possible to create competitive products that are of worldwide interest. As a result of joint cooperation of the Public Institution "Institute of Problems of Artificial Intelligence" (Donetsk, DPR) and the Donetsk National Medical University M. Gorky developed and successfully passed the experimental implementation of the expert system of the barotherapy process. The functionality of the software makes it possible to collect, process information, form a database of information about patients and session parameters; on the basis of data systematization according to the original algorithm, select the initial barotherapy mode and forecast the dynamics of the patient's heart rate variability parameters for the next barotherapy sessions. The scientific novelty of the development lies in the principles of construction and implementation of the expert system of the barotherapy process, the mechanism of optimal interaction, which establishes an unambiguous connection between the information system, the object and the controlled environment to obtain stable and unambiguous characteristics of the system corresponding to the hyperbaric state of the object. The proposed approach provides a good tracking of the pressure profile, the prehistory of the barotherapy process. Changing the pressure chamber modes depending on the real state of heart rate variability makes it possible to reduce the dynamic actions of the hyperbaric oxygenation process, exclude unsafe alarming situations or suspend the dynamics of the process, and thereby support the stable operation of the system with powerful treatment tools. Thus, mutual adaptation of the object, the environment and the measuring system is ensured.



## РЕЗЮМЕ

*Н. М. Кравченко, Т. Д. Ключанова, В. В. Бондарчук,  
А. А. Гринцова, А. Ф. Денисенко*

*Экспертная система процесса баротерапии*

Современные тенденции цифровой медицины позволяют создавать конкурентоспособные продукты, представляющие интерес во всем мире. В результате совместного сотрудничества ГУ «Институт проблем искусственного интеллекта» (г. Донецк, ДНР) и Донецкого национального медицинского университета им. М. Горького разработана и успешно прошла экспериментальное внедрение экспертная система процесса баротерапии.

Функциональные возможности программного обеспечения позволяют осуществить сбор, обработку информации, формирование базы данных информации о пациентах и параметрах сеансов; на основе систематизации данных по оригинальному алгоритму выбрать начальный режим баротерапии и выполнить прогноз динамики показателей variability сердечного ритма пациента для следующих сеансов баротерапии.

Научная новизна разработки заключается в принципах построения и реализации экспертной системы процесса баротерапии, механизме оптимального взаимодействия, который устанавливает однозначную связь между информационной системой, объектом и контролируемой внешней средой для получения стабильных и однозначных характеристик системы, соответствующих гипербарическому состоянию объекта. Предлагаемый подход обеспечивает точное отслеживание профиля давления, предысторию процесса баротерапии. Изменение режимов барокамеры в зависимости от реального состояния variability сердечного ритма позволяет уменьшить динамические действия процесса гипербарической оксигенации, исключить небезопасные тревожные ситуации или приостановить динамику процесса, и тем самым поддержать устойчивую работу системы с мощными инструментами лечения. Таким образом, обеспечивается взаимная адаптация объекта, окружающей среды и измерительной системы.

Статья поступила в редакцию 16.04.2021.