

УДК 004.8:28.23.20:613.6

ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

© 2023 г. О. Г. Григорьев¹, Б. А. Кобринский^{1,*},
А. И. Молодченков¹, Н. А. Благосклонов¹

¹Федеральный исследовательский центр “Информатика и управление” РАН,
г. Москва, Россия

*e-mail: kba_05@mail.ru

Поступила в редакцию 15.09.2023 г.

После доработки 14.11.2023 г.

Принята к публикации 11.12.2023 г.

В статье представлена структура интеллектуальной рекомендательной системы мониторинга психоэмоционального и психофизиологического состояния операторов критической инфраструктуры, учитывающая имеющиеся у человека персональные риски развития хронических заболеваний, обнаруженные отклонения в поведении или неожиданно возникшие признаки болезни. Ввиду отсутствия прямых аналогов создаваемой системы, рассмотрены близкие по смыслу подходы и интеллектуальные системы в области здоровьесбережения. Также представлен сравнительный анализ устройств для съема параметров, характеризующих различные физиологические характеристики организма человека.

DOI: 10.56304/S2949609823020041, EDN: CWYEOA

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование медико-психофизиологического обеспечения работников атомной отрасли связано с внедрением методов и критериев дифференциальной экспресс-диагностики донезологических нарушений состояния здоровья [1]. Предложенные авторами критерии расширяют существующую методическую и критериальную базу периодических медицинских осмотров, усиливают их профилактическую направленность в целях своевременного применения медицинских, психофизиологических, организационных и других мероприятий по сохранению и поддержанию профессионального здоровья персонала объектов с повышенными требованиями к безопасности. Этим определяется перенос внимания, в значительной степени, на проблемы анализа и коррекции резервов здоровья, физической и психической работоспособности [2]. Для оперативного контроля состояния операторов критической инфраструктуры необходимо мониторировать их психоэмоциональное и психофизиологическое состояние и сопоставлять результаты анализа мониторируемых показателей с имеющимися в базе данных сведениями о состоянии их здоровья, включая известные риски опасных хронических болезней. В целом квазиконтинуум переходных состояний организма следует рассматривать как случайный процесс с дискретными состояниями, в котором скачкообразные, качественные изменения здоровья, можно представить в виде с процесса с фазовыми переходами [3].

Многомерный оперативный анализ разнотипной информации с формированием оценок и рекомендаций, ориентированных на врачей, на людей с риском заболеваний и на сотрудников объектов критической инфраструктуры, принимающих решения, является сложной задачей. Ее решение возможно с использованием методов искусственного интеллекта (ИИ), применяемых, в частности, для построения рекомендательных систем [4]. Все большие возможности для мониторинга различных аспектов психоэмоционального состояния и здоровья людей представляют Интернет-технологии и мобильные приложения. Богатый опыт применения информационных технологий в области клинической медицины может быть весьма полезным для сферы здоровьесбережения. Так, система управления здоровьем на основе искусственного интеллекта предлагает действенные меры для поддержания здоровья людей с прогнозируемым потенциальным риском заболеваний [5].

Целью публикации является рассмотрение подходов и архитектуры системы на основе методов искусственного интеллекта, ориентированной на контроль состояния операторов критической инфраструктуры и учитывающей как многочисленные влияющие факторы как при формировании персонализированных программ здоровьесбережения, так и при выдаче оперативных рекомендаций в процессе выполнения рабочих функций.

1. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В ТЕХНОЛОГИИ ЗДОРОВЬЕСБЕРЕЖЕНИЯ

Цель здоровьесберегающих технологий состоит не только в сохранении здоровья, но и в формировании здорового образа жизни (ЗОЖ), который должен способствовать предотвращению возникновения хронических заболеваний в раннем возрасте и отодвигать их начало в последующих возрастных периодах. Платформа DeepMind компании Google используется Национальной службой здравоохранения Великобритании, чтобы обнаружить риски для здоровья на основе данных, собранных через мобильные приложения. Кроме этого, сервис DeepMind позволяет генерировать рекомендации при проблемах со здоровьем, не требующих обращения к врачу. Корпорация Intel разрабатывает программы с ИИ, которые определяют пациентов, входящих в группу риска, и предлагают вариант лечения. Компания Medtronic совместно с IBM разрабатывают приложение для людей, страдающих сахарным диабетом.

В России создаются приложения по сбору и анализу разных показателей здоровья. В основном эти приложения ориентированы на фитнес- и wellness аудиторию. Но ведутся и более серьезные разработки с применением методов искусственного интеллекта.

В интеллектуальной системе здоровьесбережения ИнСиЗ [6] основной идеей является создание здоровьесберегающей среды, в которой до каждого человека доносится качественная информация о современных методах здоровьесбережения и поддержка в решении задачи оптимизации применения этих методов с учетом личных особенностей и предпочтений человека. Интеллектуальная цифровая платформа персонализированного управления качеством жизни "Health Heuristics" направлена на персонализированное управление качеством жизни на основе автоматизированного сбора и комплексного анализа мультимодальных данных о человеке, его образе жизни и окружающей среде [7].

Интеллектуальная система поддержки здоровьесбережения [8] ориентирована на определение персональных уровней риска развития хронических неинфекционных заболеваний (ХНИЗ) на основе анализа разнородной информации о состоянии здоровья и образе жизни пациента, поступающей из различных (доступных) источников. Среди показателей, характеризующих состояние здоровья пациента, в системе выявляются и анализируются риск-факторы. Это признаки, которые могут являться причиной возникновения болезни или способствовать развитию ХНИЗ. На основе выявленных факторов риска система определяет уровни риска для тех или иных болезней и формирует рекомендации профилактического характера для воздействия на модифицируемые (управляемые) факторы риска. Все решения по управлению здоровьем пациента подтверждаются или корректируются врачом на основе предварительно сформированных рекомендаций системы.

Интеллектуальная система здоровьесбережения обеспечивает многофакторный анализ показателей и комплексную оценку риска (угрозы развития болезни) с учетом взаимовлияния совокупно воздействующих факторов.

Архитектура рекомендательной системы здоровьесбережения представлена на рисунке 1.

В качестве внешних источников данных в системе здоровьесбережения рассматриваются следующие: электронные медицинские карты (ЭМК), анкеты-опросники для пациентов, носимые мобильные устройства, социальные сети. Поступившая информация сохраняется в базе данных системы. Далее актуальная информация о пациенте передается в подсистему оценки рисков ХНИЗ. Подсистема включает базу знаний и решатель. База знаний системы здоровьесбережения реализована на основе неоднородной семантической сети, которая состоит из узлов (факторов риска) и отношений между ними (связей). Такая структура позволяет организовать признаковое пространство практически неограниченного объема, при этом имеется возможность прописывать довольно сложные комбинации факторов риска. Решатель реализован на основе алгоритма аргументационных рассуждений, который специально адаптирован для работы с сетевой моделью представления знаний.

Для каждого пользователя, в случае наличия у него рисков ХНИЗ, в системе формируются гипотезы о риске определенных заболеваний и соответствующие рекомендации, направленные на снижение негативного влияния выявленных факторов риска. Эта информация передается врачу,

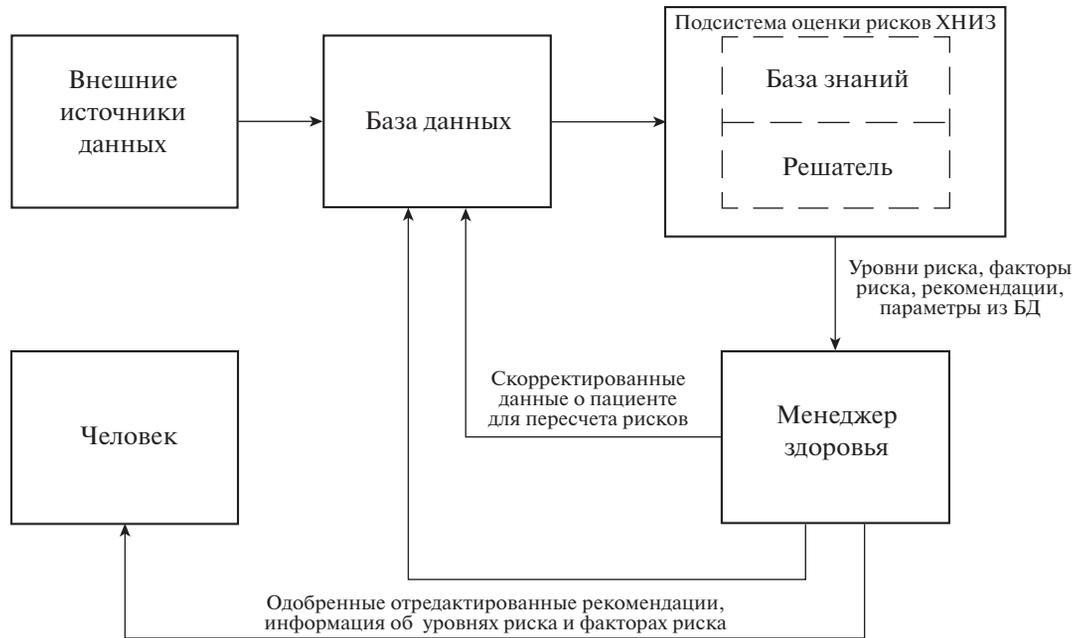


Рис. 1. Архитектура интеллектуальной системы здоровьесбережения.

который имеет возможность (с учетом известных ему особенностей пациента) указать дополнительную информацию, приводящую к необходимости скорректировать сформированные системой рекомендации. После подтверждения/коррекции рекомендаций, подтвержденных электронной подписью врача, информация сохраняется в базе данных и становится доступна пациенту.

База знаний функционирует на известных данных о пациенте, то есть допускается возможность расчета уровней риска по неполной информации, однако следует учитывать, что в таких условиях точность оценок системы может снижаться.

2. МОБИЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И ИНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЗДОРОВЬЕСБЕРЕЖЕНИЯ

При реализации технологий здоровьесбережения возникают проблемы мониторинга и оценки состояния здоровья, определения эмоционального состояния, причин изменения состояния здоровья, отношения к здоровому образу жизни и здоровьесберегающим технологиям. Но первой задачей, которую необходимо решить при реализации рекомендательной системы в области ЗОЖ – это сбор данных о состоянии здоровья человека.

Существуют различные способы организации сбора показателей, характеризующих здоровье, в том числе с помощью беспроводных сетей [9–13]. Используемые устройства можно разделить на две группы: (1) имплантируемые или находящиеся на теле пациента и (2) устанавливаемые в помещениях. К первой группе относятся: акселерометры, датчики пульса, датчики частоты и объема дыхания, датчики температуры тела, датчики артериального давления, пульсоксиметр, глюкометр. Вторая группа включает в себя: датчики концентрации газа, дыма, наличия огня, датчики объема (выхода из помещения), весы и определители состава тела, камеры, с помощью которых можно анализировать поведение человека или фиксировать, например, падения.

В таблице 1 приведено сравнение некоторых популярных устройств для сбора показателей здоровья человека.

Различные комбинации датчиков позволяют оценить уровень подвижности пациента, его общее физическое состояние, а в некоторых случаях проводить и специальную диагностику. Удаленная коммуникация между врачом и пациентом обычно реализуется с помощью: текстовых сообщений, голосовой или видеосвязи, напоминаний о выполнении рекомендаций, а также опросников. Системы мониторинга и оценки состояния здоровья людей, как правило, строятся

Таблица 1. Сравнение характеристик разных устройств

Название девайса	ЭКГ	Пульс	Термометр	Уровень кислорода в крови	Калории	Мониторинг сна	Акселерометр	Мониторинг физической активности	Тоннометр
Samsung Galaxy Watch	+ (2 отведения)	+	–	+/-	+	+	+	+	+ (изменение объема крови в сосудах)
HUAWEI Watch	+ (1 отведение)	+	–	+	+	+	+	+	–
Health Watch Pro (Россия)	+ (2 отведения)	+	+	+	+	+	+	+	+
OMsignal	–	+	+	–	+	–	+	+	–
Cityzen Sciences	–	+	+	+	+	–	+	+	–
Astroskin	–	+	+	+	+	+	+	+	–
Health Watch Wear	+ (3–15 электродов)	+	+	+	–	–	–	+	–

по трехзвенной архитектуре: сеть датчиков, локальное агрегирующее устройство (его роль, как правило, выполняет смартфон [13]), центральный сервер.

Локальное агрегирующее устройство отвечает за сбор и предварительную фильтрацию информации с датчиков, которая затем отправляется на сервер. В работе [14] рассмотрена информационная больничная система, состоящая из смартфона, сети беспроводных датчиков (GPS, ЭКГ, акселерометра и глюкометра) и центрального сервера.

Важной задачей мониторинга состояния здоровья является процесс передачи огромного количества разноплановых данных с целью их анализа и хранения. Для обмена информацией между разными системами, из которых поступает информация о здоровье человека, применяют стандартизированные протоколы и форматы передачи данных: XML, Health Level 7, DICOM, JSON и др.

3. ПРОБЛЕМА КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ОПЕРАТОРОВ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Безопасность объектов критической инфраструктуры во многом зависит от ситуационной осведомленности операторов [15], которая определяется их когнитивными способностями и психоэмоциональным состоянием в конкретный момент времени, что определяется, в частности, и донозологической диагностикой заболеваний [1]. В целом состояние операторов во время работы является следствием многочисленных постоянных и временных воздействий. В их число входит наличие или отсутствие хронических и недавно перенесенных заболеваний, стрессоустойчивость и наличие стрессорных факторов, уровень депрессивности, физиологические параметры организма и многое другое. Периодический углубленный профилактический контроль, предсменные осмотры и мониторинг ключевых показателей являются основой для выявления риска развития угрожающих состояний (гипертонический криз, инфаркт, инсульт, судорожные приступы и др.), отклонений в поведении и замедленной реакции (ресурса внимания). Биометрический мониторинг психоэмоционального состояния операторов в реальном времени, в сочетании с контролем перечисленных выше параметров организма, должен явиться основой для предотвращения ими нарушения ситуационной осведомленности на контролируемом объекте.

Для реализации представленных задач разрабатывается интеллектуальная система, которая должна обеспечить мониторинг состояния операторов на основе многочисленных показателей, поступающих в дискретном и непрерывном режимах. Такая многомодульная система будет в перспективе включать:

– модифицированную версию созданной ранее интеллектуальной системы здоровьесбережения, обеспечивающую оценку рисков социально значимых хронических болезней (артериальная гипертония, инфаркт миокарда, инсульт, депрессия и др.);

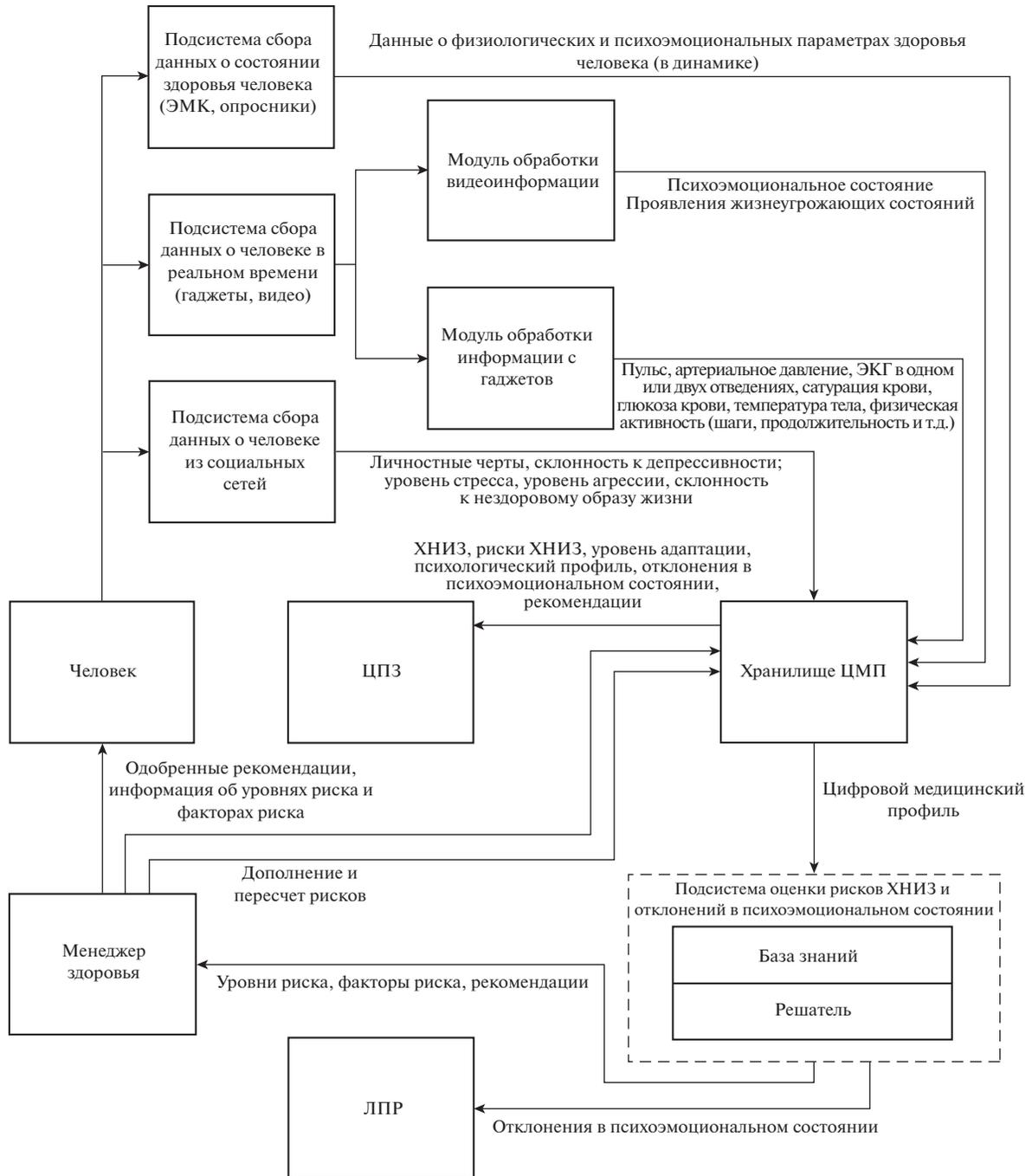


Рис. 2. Архитектура системы мониторинга здоровья и психоэмоционального состояния.

- подсистему обработки и анализа данных предменструальных осмотров;
- подсистему обработки в реальном времени физиологических параметров (пульс, артериальное давление и др.), мониторируемых с использованием специальных носимых устройств (гаджетов);
- подсистему анализа адаптационных возможностей индивидуума;
- подсистему оценки психологического профиля на основе обработки информации, получаемой из психологических опросников и социальных сетей;

– аппаратно-программный комплекс обработки аудио- и видеопотоков информации с рабочего места оператора для анализа психоэмоциональных реакций в целях обнаружения потенциально опасных отклонений в поведении.

Вся поступающая информация будет интегрирована в Цифровом медицинском профиле, являющемся хранилищем постоянно пополняемых данных.

В базе знаний создаваемой системы, на основе анализа разнотипных данных будут оцениваться риски возникновения различных ситуаций и выдаваться рекомендации как медицинского характера для принятия решений в плановом порядке, так и экстренные уведомления для лиц, принимающих решение о соответствии оператора выполнению обязанностей в данный момент времени.

В Цифровой профиль здоровья индивидуума будут передаваться данные о хронических заболеваниях, персональных профилях риска, состоянии адаптационных механизмов (уровень адаптации), отклонениях в психоэмоциональном состоянии, о психологическом профиле операторов, а также рекомендации медицинского характера (для человека и врача) о потенциально опасных для выполнения работы отклонениях в психоэмоциональном состоянии и отклонениях в поведении (для ЛПП на объекте). Это позволит оперативно получать информацию о текущем состоянии операторов и оценивать динамику изменений.

Архитектура создаваемой системы представлена на рис. 2.

Врач или менеджер здоровья будет получать выдаваемые системой рекомендации (с факторами риска и оценкой рисков) для проверки и коррекции (при необходимости) с учетом имеющейся у него актуальной информации о здоровье контролируемого контингента.

Лицо, принимающее решения на объекте, будет оперативно получать сведения об отклонениях в психоэмоциональном состоянии и поведении операторов, которые могут быть потенциально опасны для безопасности предприятия.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлен проект создаваемой интеллектуальной системы для оперативного контроля состояния операторов критической инфраструктуры. Интеграция данных о состоянии здоровья, адаптационных возможностях, психологическом профиле, текущих показателях физиологического и психоэмоционального состояния позволит комплексно подойти к оценке потенциально опасных отклонений в состоянии операторов критической инфраструктуры и, в случае необходимости, обеспечить оперативное оповещение руководителей соответствующего уровня, что повысит безопасность контролируемых объектов.

Исследование выполнено в рамках научной программы Национального центра физики и математики, направление № 9 “Искусственный интеллект и большие данные в технических, промышленных, природных и социальных системах”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобров А.Ф., Новикова Т.М., Седин В.И., Фортунатова Л.И. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2023. Т. 68. № 2. С. 29–34.
<https://doi.org/10.33266/1024-6177-2023-68-2-29-34>
2. Крутько В.Н. Россия и современный мир. 2014. Т. 83. № 2. С. 81–92.
3. Кобринский Б.А. // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия “Технические науки”. 2023. Т. 17. № 1. С. 79–86.
<https://doi.org/10.46573/2658-5030-2023-1-79-86>
4. Кобринский Б.А. Искусственный интеллект и принятие решений. 2022. № 3. С. 51–62.
DOI: 10.14357/20718594220304
5. Kurasawa H., Fujino A., Hayashi K. NTT Technical Review. 2022. V. 16. № 8. P. 24–28.
6. Крутько В.Н., Большаков А.М., Брико А.Н. и др. Вестник восстановительной медицины. 2018. Т. 83. № 1. С. 14–20.
7. Крутько В.Н., Дёминов М.М., Брико Н.И. и др. Национальное здравоохранение. 2021. Т. 2. № 2. С. 55–63.
<https://doi.org/10.47093/2713-069X.2021.2.2.55-63>
8. Kobrinskii B.A., Grigoriev O.G., Molodchenkov A.I. et al. IFAC-PapersOnLine. 2019. V. 52. № 25. P. 70–74.
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.448>

9. Крутько В.Н., Донцов В.И., Потемкина Н.С. Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2019. Т. 69. № 1. С. 50–60.
<https://doi.org/10.14357/20790279190105>
10. Vavrinskya E., Teleka P., Donovalb M. et al. Procedia Chemistry. 2012. V. 6. P. 155–164.
<https://doi.org/10.1016/j.proche.2012.10.142>
11. Namazova-Baranova L., Vishneva E., Antonova E. et al. Value in health. 2015. V. 18. № 7. P. A693–A694.
<https://doi.org/10.1016/j.jval.2015.09.2581>
12. Doherty S.T., Oh P. Telemedicine and e-Health. 2012. V. 18. № 3. P. 185–192.
<https://doi.org/10.1089/tmj.2011.0138>
13. Lee Y.G., Jeong W.S., Yoon G. Telemedicine and e-Health. 2012. V. 18. № 8. P. 585–590.
<https://doi.org/10.1089/tmj.2011.0245>
14. Намазова-Баранова Л.С., Суворов Р.Е., Смирнов И.В. и др. Вестник Российской академии медицинских наук. 2015. Т. 70. № 1. С. 82–89.
<https://doi.org/10.15690/vramn.v70i1.1235>
15. Rummukainen L., Oksama L., Timonen J., Vankka J. // 2015 IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST), Waltham, MA, USA, 2015. P. 1–6.
<https://doi.org/10.1109/THS.2015.7225326>

APPROACHES TO CREATING A MONITORING SYSTEM FOR THE CONDITION OF CRITICAL INFRASTRUCTURE OPERATORS

O. G. Grigoriev¹, B. A. Kobrinskii¹, A. I. Molodchenkov¹, and N. A. Blagoslonov¹

¹*Federal Research Center “Computer Science and Control” of Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

The article presents the structure of an intelligent recommender system for monitoring the psychoemotional and psychophysiological state of critical infrastructure operators, taking into account one’s personal risks of developing chronic diseases. Due to the lack of direct analogues of the system which is being created, similar approaches and intelligent systems in the field of health protection are considered. A comparative analysis of devices for capturing parameters characterizing various physiological characteristics of the human body is also presented.