

Рекомендательная интеллектуальная система для управления рисками хронических заболеваний

О. Г. Григорьев¹, Б. А. Кобринский¹, Н. А. Благосклонов¹, Б. Г. Гинзбург¹

¹ Федеральный исследовательский центр "Информатика и управление" РАН, Москва, Россия

¹ Медицинский институт КГУ им. К.Э. Циолковского, г. Калуга, Россия

Аннотация. Представлена рекомендательная интеллектуальная система по проблеме здоровьесбережения, обеспечивающая возможность интегрального анализа разнотипной информации в целях оценки уровней риска развития хронических заболеваний и выдачи персональных рекомендаций для снижения вероятности или предотвращения развития патологического процесса. Система реализована на основе неоднородной семантической сети с решателем базы знаний, использующим алгоритм аргументационных рассуждений. Рекомендации, выдаваемые пользователям, являются практической реализацией современной концепции раннего выявления предрасположенности к развитию заболеваний с ориентацией на активное вовлечение человека в процесс превентивных мероприятий. Рассмотрены результаты апробации рекомендательной системы здоровьесбережения ИИ-ГИППОКРАТ на реальных данных, показана возможность использования предложенного подхода для оценки рисков хронических заболеваний (артериальная гипертензия, инфаркт миокарда, инсульт, депрессия) на основе анкеты-опросника. В настоящее время дальнейшее исследование направлено на модификацию разработанной интеллектуальной рекомендательной системы для контроля психоэмоционального состояния операторов критической инфраструктуры с использованием данных дистанционного мониторинга.

Ключевые слова: рекомендательная система; искусственный интеллект; оценка риска хронических болезней; мониторинг физиологических показателей; здоровьесбережение; мониторинг психоэмоционального состояния; персональные рекомендации.

DOI 10.14357/20718632230203

Введение

Здоровье человека целесообразно рассматривать как величину, которую можно наблюдать, измерять и изменять [1]. Такой взгляд позволяет ставить вопрос об «управлении здоровьем». К управлению, как деятельности, направленной

на изменение параметров системы или объекта, можно отнести профилактику риска заболеваний. При оценке здоровья и управлении им при отклонениях от оптимального уровня наблюдается значительная неопределенность в описании как объекта управления, так и воздействующих на него внешних сил, в связи с чем имеет место

* Исследование выполнено в рамках научной программы Национального центра физики и математики (проект №9 «Искусственный интеллект и большие данные в технических, промышленных, природных и социальных системах», направление 9.3 «Разработка и исследование технологий искусственного интеллекта для профилактической медицины, психодиагностики и биометрии»).

выделение ситуаций, в которых возможно получить оптимальное или субоптимальное решение задачи стабилизации [2].

Данные о здоровье можно получить из электронных медицинских карт (ЭМК), узнать у самого человека с помощью анкет-опросников или получить с мобильных персональных устройств. С позиций теории управления, в большинстве ситуаций, связанных с сохранением/улучшением здоровья, сам человек является первой и главной фигурой – регулятором, косвенно влияющим на собственные факторы риска. Врач является регулятором на этапе выдачи профилактических рекомендаций, сформированных в соответствии с выявленными у индивидуума факторами риска. Применительно к человеку, как объекту управления, в качестве регулятора может выступать и интеллектуальная рекомендательная система здоровьесбережения, ориентированная на выработку рекомендаций и построение плана профилактических мероприятий.

Рекомендательные медицинские системы (РС) для населения, в частности интеллектуальные, – это советующие системы, формирующие предложения для персонализированного выбора действий по здоровьесбережению. Эти рекомендации ориентированы на снижение рисков хронических заболеваний. В то же время, контролируя психоэмоциональное состояние человека, они могут способствовать уменьшению неопределенности или опасности принятия решений операторами объектов критической инфраструктуры.

В соответствии с приказом Министерства здравоохранения РФ от 24 апреля 2018 г. № 186 "Об утверждении Концепции предиктивной, превентивной и персонализированной медицины" [3], рекомендательные системы ориентированы на персонализированный подход в оценке состояния здоровья и индивидуальные рекомендации по коррекции отклонений в целях здоровьесбережения (на донозологическом этапе).

РС могут опираться на знания о факторах риска (ФР) и учитывать хранящиеся в их памяти персональные данные и принимавшиеся индивидуумом в этих случаях решения. В этом случае речь идет об интеллектуальных программных продуктах, динамически формиру-

ющих предложения для изменения поведения и снижения рисков у пользователей. РС медицинской ориентации предлагают персональный подход и такие рекомендации улучшают понимание пользователями своего состояния здоровья. Такие системы предлагают пациентам лучший накопленный опыт в оценке здоровья и его коррекции в конкретных ситуациях [4, 5].

Анализ рекомендательных систем, использующихся в разных областях, показывает, что для анализа данных и в процессе формирования рекомендаций в них применяются различные методы: марковские цепи, математическое моделирование, глубокое обучение, нечеткая логика, механизмы рассуждения [6-10]. Интеллектуальные РС позволяют более эффективно осуществлять оценку незначительных изменений, характерных для нечетких представлений, использовать логику аргументации, осуществлять содержательный анализ отдельных характеристик и их совокупностей. Совместная фильтрация позволяет сравнивать действия нескольких пользователей и использовать это для создания персонализированных предложений. Также рекомендательные системы по здоровью предлагают потенциал для мотивации пользователей к изменению их образа жизни на основе не только знаний предметной области, но с учетом данных конкретного индивидуума в динамике [11].

Рекомендательные медицинские системы отвечают вызову времени в плане новой модели здравоохранения, получившей название медицины Р4, что признано необходимым в системе охраны здоровья в Российской Федерации [12]. «Континуум здоровья Р4» [13] предлагается в качестве интегрированной модели для увеличения продолжительности жизни. Р4-медицина интегрирует в себе понятия персонализации (индивидуальный подход к каждому пациенту), предикации (выявление предрасположенности к развитию заболевания), превентивности (предотвращения появления заболеваний) и партисипативности (мотивированного участия пациента). Таким образом, участие индивидуума становится ключом к претворению в жизнь трех других аспектов Р4. Активное участие пациентов необходимо для обеспечения эффективного само-

контроля качества жизни и для обеспечения, при необходимости, участия в лечебно-оздоровительном процессе [14]. При этом следует отметить, что в РС именно человек является полноправным участником процесса управления своим здоровьем [15]. Он принимает участие в оценке состояния своего здоровья совместно с врачом, который обладает необходимыми знаниями об управлении здоровьем. Затем человек сам осуществляет воздействие на объект (себя) и сам же оценивает результаты. При этом он периодически обращается к врачу, который, в свою очередь, обращается к интеллектуальной рекомендательной системе формирования профилактических мероприятий. Это отвечает понятию «партиципативности» в концепции Р4-медицины.

Для рекомендательных систем медицинского назначения крайне важным является элемент своевременного направления необходимой пациенту информации при обеспечении ее точности, достоверности и конфиденциальности [10]. Комплекс рекомендаций может включать вопросы питания, применения лекарств, прогноз состояния здоровья, рекомендации медицинского работника [16].

Персональные данные о состоянии здоровья, накапливаемые в РС, могут служить не только целям коррекции образа жизни, но и использоваться при диагностике и выборе лечения, а также для оценки состояния водителей, летчиков, операторов критических объектов в процессе предсменных, внутрисменных и после-сменных осмотров.

Цель настоящего исследования – оценка персональных уровней риска развития хронических неинфекционных заболеваний (артериальная гипертензия, инфаркт миокарда, инсульт и депрессия) интеллектуальной РС для выдачи индивидуальных рекомендаций в отношении воздействия на управляемые факторы риска.

1. Рекомендательная система ИИ-ГИППОКРАТ

Архитектура интеллектуальной РС здоровьесбережения ИИ-ГИППОКРАТ [17] (Рис. 1) включает личный кабинет врача, персональную страницу пациента, базу данных с информацией о пользователях, базу знаний, включающую алгоритм аргументационных рассуждений. Система рассчитывает риски заболеваний на основе оценки разнородной информации, поступающей из различных (доступных) источников о состоянии здоровья и образе жизни пациента. На основе выявленных ФР система формирует рекомендации профилактического характера для воздействия на модифицируемые ФР. Врач, при необходимости, корректирует сформированные рекомендации (с учетом известных ему отклонений в состоянии здоровья пациента на текущий момент) и передает их пациенту. Таким образом, окончательно решения по управлению здоровьем пациента принимаются или подтверждаются врачом на основе заключения системы.

База знаний РС реализована на основе неоднородной семантической сети, а решатель использует алгоритм аргументационных рассуж-



Рис. 1. Архитектура РС ИИ-ГИППОКРАТ

дений [18], который позволяет не только подтвердить или отвергнуть гипотезу, но и уменьшить множество генерируемых гипотез. Для каждого пользователя системы формируется ряд гипотез о наличии у него рисков хронических неинфекционных заболеваний. Далее, с учетом характера и уровня риска, выдаются рекомендации (например, по двигательной активности, питанию и др.).

В РС ИИ-ГИППОКРАТ осуществляется оценка рисков развития для артериальной гипертензии, инфаркта миокарда, инсульта и депрессии по разработанной экспертами пяти-ранговой шкале с диапазоном значений риска: очень низкий, низкий, средний, высокий, очень высокий. В качестве фактора риска в системе рассматривается семантическое понятие, включающее наименование ФР – атрибут ФР – значение (характеристика) атрибута [19]. Такая структура позволила представить ФР не просто как понятие, например «ожирение», а дифференцировать различные его уровни, например «предожирение», «ожирение 1 степени» и т.д. Используя общепринятые методы инженерии знаний, ФР, извлеченные из литературных источников и подвергшиеся корректировке экспертами, были затем структурированы, вновь согласованы с экспертами, и формализованы. Противоречия, обнаруженные в процессе первичного тестирования, были в дальнейшем устранены.

Для анализа могут использоваться персональные данные (риск-факторы) из анкет-опросников, электронных медицинских карт, носимых медицинских устройств и информации в социальной сети. Всего в базе знаний РС ИИ-ГИППОКРАТ содержатся сведения о 267 факторах риска, которые включают как управляемые или модифицируемые (например, масса

тела), так и условно управляемые (поддающиеся медикаментозному контролю заболевания – сахарный диабет и т.п.) и неуправляемые (на которые невозможно воздействовать, например возраст и пол).

2. Материалы и методы

Апробация 3-й версии РС ИИ-ГИППОКРАТ для оценки риска четырех заболеваний (в предыдущих версиях было три заболевания) – артериальной гипертензии, инфаркта миокарда, инсульта и депрессии (мониторинг депрессивности и тревожных состояний обусловлен тем, что эти состояния могут способствовать повышению артериального давления и приводить к развитию острых сердечно-сосудистых и цереброваскулярных болезней) была осуществлена на основе анкетных данных на выборке, которая состояла из 115 человек обоих полов (41 женщина и 74 мужчины) в возрасте от 20 до 91 года. Выборка была получена методом сплошного отбора. Сбор данных для апробации осуществлялся в период с 01.03.2022 по 30.09.2022 включительно путём проведения открытого деперсонифицированного анкетирования на сайте <https://ai-hippocrates.ru/>.

Анализ проводился по трем возрастным группам: I группа: с 18 до 39 лет включительно – 59 человек (51%), II группа: с 40 по 59 лет – 38 человек (33%), III группа: с 60 по 79 лет – 17 человек (15%), IV группа: старше 80 лет – 1 (1%). Соотношение полов представлено в Табл. 1. Ввиду того, что в последней возрастной группе был всего один человек, все последующие результаты приведены для 114 участников из групп I – III.

В анализ включались анкеты лиц в возрасте от 18 до 80 лет обоих полов, работающих или учащихся в настоящее время.

Табл. 1. Половозрастная характеристика выборки для апробации.

Возрастная группа	Количество человек	Количество женщин	Количество мужчин
18 – 39 лет	59	24	35
40 – 59 лет	38	13	25
60 – 79 лет	17	3	14
80+ лет	1	1	0
Всего	115	41	74

Участникам исследования предлагалось ответить на вопросы анкеты через web-интерфейс системы ИИ-ГИППОКРАТ. Анкета включала 8 основных разделов, содержащих 195 вопросов:

1) «О себе» – для сбора общей информации о пользователях;

2) «Физиология» – для сбора различных параметров, таких как рост, масса тела, частота пульса, артериальное давление и т.д.

3) «Образ жизни» – для сбора информации об образе жизни пользователей;

4) «Характер питания» – для сбора пищевых привычек пользователей;

5) «Лабораторные и функциональные исследования» – для получения результатов проведенных исследований;

6) «Болезни и семейный анамнез» – для сбора сведений об анамнезе пользователей;

7) «Среда и социальный статус» – для сбора различных средовых характеристик пользователей;

8) «События жизни» – для сбора информации о произошедших событиях в жизни пользователей, которые могли негативно повлиять на его психоэмоциональное состояние.

Выявленные у пользователей ФР в рамках настоящего исследования сгруппированы следующим образом:

- Управляемые – это факторы риска, ассоциированные с питанием (например, повышенное потребление соли), низкой двигательной активностью, образом жизни (например, курение) и другие воздействия на организм (в том числе средовые – например, малое пребывание на солнце), которые зависят от человека.

- Условно-управляемые – это факторы риска, к которым относятся некоторые хронические заболевания (например, сахарный диабет) и неспецифические жалобы (например, частые повышенная утомляемость, головные боли и др.), которые при адекватном подходе к терапии не оказывают вторичного влияния на здоровье пациента.

- Неуправляемые – это факторы риска, на которые невозможно оказать влияния. К ним относятся острые состояния в прошлом (например, перенесенный инсульт), генетические дефекты, некоторые хронические заболевания и отягощенная наследственность.

Оценка эффективности РС ИИ-ГИППОКРАТ проводилась на основе анализа выявленных системой ФР.

3. Результаты

Эффективность управления здоровьесбережением во многом определяется полнотой информации от пользователей [20]. В соответствии с этим была проведена оценка заполняемости полей анкеты-опросника. Заполнение полей карты-опросника ИИ-ГИППОКРАТ пользователями (наличие ответов на поставленные вопросы) составляло в среднем 30% (min 22%, max 89%), что определяется информированностью людей о собственном состоянии здоровья и о заболеваниях у родственников (родословная).

Ниже представлены результаты оценки рисков развития четырех анализируемых заболеваний (артериальная гипертензия, инфаркт миокарда, инсульт, депрессия) на основе выявленных факторов.

Среднее число ФР по каждой из трех возрастных групп было следующее: I группа – 13, II группа – 14, III группа – 23. В соответствии с полученными результатами можно отметить, что с возрастом количество факторов риска увеличивается, что соответствует результатам эпидемиологических исследований. В то же время, следует учитывать, что прошедшие анкетирование в системе ИИ-ГИППОКРАТ работающие люди могли быть недообследованными, не проходившими профосмотр и не имевшими результатов даже минимальных функциональных и лабораторных исследований.

3.1. Группы факторов риска в различных возрастных группах

Характеристика повозрастных различий групп факторов риска анкетированных лиц представлена в Табл. 2.

Обращает внимание, что значительное место во всех возрастных группах занимают факторы, связанные с образом жизни и питанием. Общими для всех трех возрастных групп часто встречающимися ФР являются нарушения режима питания, средовые факторы (малое пребывание при дневном свете). Особое внимание обращает на себя увеличение частоты встречаемости с возрастом неспецифических жалоб,

Табл. 2. Встречаемость отдельных групп факторов риска по возрастным группам (по убыванию частоты встречаемости)

18-39 лет	40-59 лет	60-79 лет
неправильное питание	повышенная масса тела	хронические заболевания в анамнезе
отягощенный семейный анамнез	неправильное питание	средовые факторы
образ жизни	средовые факторы	неспецифические жалобы
средовые факторы	неспецифические жалобы	повышенная масса тела
неспецифические жалобы	образ жизни	неправильное питание

которые могут указывать на повышение риска развития исследуемой патологии.

В то же время, с возрастом наблюдается тенденция постепенной смены ФР связанных с образом жизни на факторы, которые ассоциируются с постепенным развитием хронических заболеваний. Это требует внимания как самих пациентов, так и наблюдающих их врачей.

3.2. Уровни риска, характерные для артериальной гипертензии, инфаркта миокарда, инсульта, депрессии

Выявленные уровни риска по четырем контролируемым системой хроническим неинфекционным заболеваниям с указанием их встречаемости в наблюдаемой выборке по возрастным группам и в целом представлены в Табл. 3.

Как видно из Табл. 3, у большинства проанализированных системой пользователей обнаружены ФР, указывающие на низкий и средний уровни всех четырех заболеваний, лишь у некоторых встречаются крайние значения. В то же время, на данной выборке высокий риск встречается практически у половины (от 50 до 56%).

В проанализированной выборке часто отмечается ассоциация высокого и очень высокого уровней риска со следующими факторами:

- для артериальной гипертензии – артериальная гипертензия у близких родственников, высокий уровень стресса на протяжении последнего месяца, злоупотреблением алкоголем на протяжении более 10 лет, курение в настоящее время;
- для инфаркта миокарда – артериальная гипертензия III степени, частота сердечных сокращений выше 80 ударов в минуту, типичная стенокардия, ревматоидный артрит, курение в настоящее время, абдоминальное ожирение;

- для инсульта – повторные внезапные головокружения продолжительностью сутки и более, злоупотреблением алкоголем на протяжении более 10 лет, курение в настоящее время, ожирение первой степени, низкая двигательная активность на протяжении 5 лет и более;

- для депрессии – эпизоды депрессии в прошлом, депрессия у близких родственников, нарушения сна, эмоциональное насилие в детском возрасте, высокий уровень стресса на протяжении последнего месяца.

Определенное сходство в уровнях риска артериальной гипертензии, инфаркта миокарда и инсульта определяется сходством факторов встречающихся при сосудистых заболеваниях кардиальной и церебральной природы.

4. Обсуждение

Анализ показывает, что уже в молодом возрасте появляются факторы, угрожающие риском артериальной гипертензии, инфаркта, инсульта, депрессии, что определяет важность своевременно выдаваемых рекомендаций по коррекции образа жизни. Интеллектуальная РС позволила выявить персональные риск-факторы и определить для каждого пользователя его индивидуальные уровни риска артериальной гипертензии, инфаркта миокарда, инсульта и депрессии на текущий момент времени. На основе этой информации, с использованием правил базы знаний, для каждого индивидуума автоматически формировались персональные рекомендации.

Однако необходимо учитывать тот факт, что предлагаемые рекомендации формируются в основном на основе ограниченного объема данных, поступающего в систему от пользователей.

Табл. 3. Распределение выявленных уровней риска по возрастным группам

Уровень риска	Возрастная группа 18-39 лет		Возрастная группа 40-59 лет		Возрастная группа 60-79 лет		Все возрастные группы	
	N	%	N	%	N	%	n	%
Очень низкий риск артериальной гипертензии	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
Низкий риск артериальной гипертензии	6	10%	14	37%	6	35%	26	23%
Средний риск артериальной гипертензии	43	73%	35	92%	16	94%	94	82%
Высокий риск артериальной гипертензии	27	46%	20	53%	15	88%	62	54%
Очень высокий риск артериальной гипертензии	6	10%	3	8%	1	6%	10	9%
Очень низкий риск инфаркта	3	5%	4	11%	2	12%	9	8%
Низкий риск инфаркта	5	8%	11	29%	0	0%	16	14%
Средний риск инфаркта	44	75%	35	92%	11	65%	90	79%
Высокий риск инфаркта	26	44%	22	58%	16	94%	64	56%
Очень высокий риск инфаркта	8	14%	4	11%	8	47%	20	18%
Очень низкий риск инсульта	17	29%	1	3%	1	6%	19	17%
Низкий риск инсульта	40	68%	28	74%	9	53%	77	68%
Средний риск инсульта	43	73%	33	87%	15	88%	91	80%
Высокий риск инсульта	23	39%	20	53%	16	94%	59	52%
Очень высокий риск инсульта	5	8%	3	8%	3	18%	11	10%
Очень низкий риск депрессии	26	44%	35	92%	7	41%	68	60%
Низкий риск депрессии	42	71%	30	79%	16	94%	88	77%
Средний риск депрессии	31	53%	22	58%	12	71%	65	57%
Высокий риск депрессии	30	51%	19	50%	8	47%	57	50%
Очень высокий риск депрессии	9	15%	6	16%	3	18%	18	16%

Это объясняется тем, что люди имеют различную осведомлённость о состоянии своего здоровья. Кроме того, встречаются диаметрально противоположные ситуации: мнительные пациенты могут чрезмерно обращать внимание на минимальные отклонения в состоянии своего здоровья и, в противовес этому, люди могут не обращать внимания на ранние симптомы заболеваний и не сообщать о перенесенных в прошлом болезнях.

Таким образом, ограниченность знаний людей о своём здоровье и неполнота данных в медицинских документах являются объективными огра-

ничениями для оценки риска развития у них хронических болезней. Для частичной компенсации этого в системе ИИ-ГИППОКРАТ имеется возможность привлечения дополнительной информации, известной врачу, и предусмотрен механизм предварительного просмотра и коррекции автоматически сформированных рекомендаций. Врач должен оценить их с позиций известных ему заболеваний данного индивидуума и зафиксировать свое согласие или предложить необходимые изменения (например, ограничение определенной нагрузки при наличии патологии костно-суставной системы).

5. Перспективы применения рекомендательных систем в контроле состояния операторов критических инфраструктур

Для повышения объективности оценки состояния работников до, во время и после окончания смен должна опираться не на отклонение от возрастных средних показателей (например, артериального давления), а от их персональных характеристик, которые мониторируются РС в динамике. Выявление различных отклонений в состоянии здоровья в интеллектуальной РС повысит качество оценки текущего состояния работоспособности и прогноз потенциально возможных негативных реакций организма в ближайшей перспективе во время рабочего дня.

Сочетанный анализ данных профилактических осмотров, мониторируемых релевантных физиологических показателей организма и биометрических показателей, специфических для операторов критически важных объектов, в том числе удаленных (например, летчики дальней авиации на основе текущих данных дистанционного мониторинга параметров их состояния) обеспечит комплексную оценку различных систем организма и позволит определить уровень напряженности адаптационных механизмов. Это обеспечит более эффективную оценку рисков нарушения психоэмоционального состояния и выявления признаков, которые могут указывать на девиантное поведение. Модификация РС ИИ-ГИППОКРАТ в направлении сочетанного анализа разнообразной и разнотипной информации, включающей текущий дистанционный контроль биометрических показателей психоэмоционального состояния, позволит повысить качество выдаваемых решений о состоянии людей, во многом определяющее функционирование сложных технологических объектов.

Важность повышенного медицинского контроля определяется нервно-эмоциональным напряжением операторов критических инфраструктур, их ответственностью за безопасность объекта, необходимостью экстренной оценки сложившейся ситуации, прогнозированием ее развития в условиях дефицита времени и срочностью принятия решения.

Заключение

Интеллектуальная рекомендательная система ИИ-ГИППОКРАТ предоставляет пользователю и наблюдающему его врачу агрегированные оценки риска хронических неинфекционных заболеваний и одновременно дает возможность анализировать вклад отдельных факторов. Апробация системы ИИ-ГИППОКРАТ на реальных данных продемонстрировала возможность оценки персональных уровней риска хронических заболеваний (артериальной гипертензии, инфаркта миокарда, инсульта и депрессии) у лиц разного возраста на основе данных анкет-опросников, даже при неполном их заполнении.

Соответственно, информация, получаемая при анализе факторов персонального риска, позволит более точно оценивать состояние физиологических систем организма при предсменных осмотрах и в процессе работы операторов, управляющих системами (объектами) критической инфраструктуры. Поэтому контроль психоэмоционального состояния операторов критических объектов в перспективе должен включать накапливаемые данные об их здоровье и оценки рисков РС, что позволит перейти от оценок на основе усредненных данных к персонализированному подходу.

Аккумуляция больших данных в РС в перспективе позволит выявлять комбинации ФР, являющиеся наиболее важными предикторами заболеваний, и повысит эффективность выдаваемых рекомендаций.

В ИИ-ГИППОКРАТ будет интегрирован модуль контроля выполнения рекомендаций, что позволит врачу видеть вовлеченность пациента в процесс управления здоровьем. Наличие этого модуля позволит повысить объективность и эффективность системы за счет информации о выполнении рекомендаций.

По мере широкого использования мобильных устройств (гаджетов), - что является перспективным для мониторингирования физиологических показателей в РС, - будет повышаться объективность и оперативность получения оценок и формирования рекомендаций.

Литература

1. Дартау Л.А. Теоретические аспекты управления здоровьем и возможности его реализации в условиях Рос-

- сийской Федерации // Проблемы управления. 2003. №2. С.43-52.
2. Емельянов С.В. Избранные труды С.В. Емельянова: В 2-х томах: Том 1 / Отв. ред. акад. С.К. Коровин. –М.: Издательство Московского университета. 2009.
 3. Приказ Министерства здравоохранения РФ от 24 апреля 2018 г. № 186 «Об утверждении Концепции предиктивной, превентивной и персонализированной медицины» Доступно по: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71847662/>. Ссылка активна на 22.09.2022.
 4. Schafer H., Hors-Fraile S., Karumur R.P., Calero Valdez A., Said A., Torkamaan H., Ulmer T., Trattner C. Towards health (aware) recommender systems. Proceedings of the International Conference on Digital Health, DH'17; 2-5 July 2017; London United Kingdom. Association for Computing Machinery, New York, United States; 2017. doi: 10.1145/3079452.3079499.
 5. Wiesner M., Pfeifer D. Health recommender systems: Concepts, requirements, technical basics and challenges. *Int J Environ Res Public Health*. 2014;11(3):2580–2607. doi: 10.3390/ijerph110302580.
 6. Mlika F., Karoui W. Proposed Model to Intelligent Recommendation System based on Markov Chains and Grouping of Genres. *Procedia Computer Science*. 2020; 176:868-877. doi: 10.1016/j.procs.2020.09.082.
 7. Cui Y. Intelligent Recommendation System Based on Mathematical Modeling in Personalized Data Mining. *Mathematical Problems in Engineering*. 2021;2021:1-11. doi:10.1155/2021/6672036.
 8. Aguilar J., Valdiviezo-Díaz P., Riofrio G. A general framework for intelligent recommender Systems. *Applied Computing and Informatics*. 2017;13(2):147–160. doi: 10.1016/j.aci.2016.08.002.
 9. Ojokoh B., Omisore M., Samuel O., Ogunniyi T. A fuzzy logic based personalized recommender system. *International Journal of Computer Science and Information Security*. 2012;2(5):1008–1015.
 10. Sahoo A.K., Pradhan C., Barik R.K., Dubey H. Deepreco: Deep learning based health recommender system using collaborative filtering. *Computation*. 2019;7(2):25. doi: 10.3390/computation7020025.
 11. De Croon R., Van Houdt L., Htun N.N., Štiglic G., Abeele V.V., Verbert K. Health Recommender Systems: Systematic Review. *Journal of Medical Internet Research*. 2021;23(6):e18035. doi: 10.2196/18035.
 12. Пальцев М.А., Белушкина Н.Н., Чабан Е.А. 4П-медицина как новая модель здравоохранения в Российской Федерации // ОРГЗДРАВ: новости, мнения, обучение. 2015. №2. С.48-54.
 13. Sagner M., McNeil A., Puska P., Auffray Ch., Price N.D., Hood L., Lavie C.J., Han Z.-G., Chen Z., Brahmachari S.K., McEwen B.S., Soares M.B., Balling R., Epel E., Arena R. The P4 Health Spectrum – A Predictive, Preventive, Personalized and Participatory Continuum for Promoting Healthspan. *Progress in Cardiovascular Diseases*. 2017;59(5):506-521. doi: 10.1016/j.pcad.2016.08.002.
 14. Baiardini I., Heffler E. Chapter 21 – The Patient-Centered Decision System as per the 4Ps of Precision Medicine. In: Agache I, Hellings P, editors. *Implementing Precision Medicine in Best Practices of Chronic Airway Diseases*. London: Academic Press; 2019. P.147-151. doi: 10.1016/B978-0-12-813471-9.00024-4.
 15. Flores M., Glusman G., Brogaard K., Price N.D., Hood L. P4 medicine: how systems medicine will transform the healthcare sector and society. *Personalized Medicine*. 2013;10(6):565-576. doi: 10.2217/PME.13.57.
 16. Tran Th.N.T., Felfernig A., Trattner Ch., Holzinger A. Recommender systems in the healthcare domain: state-of-the-art and research issues. *Journal of Intelligent Information Systems*. 2021;57:171–201. doi: 10.1007/s10844-020-00633-6.
 17. Kobrinskii B.A., Grigoriev O.G., Molodchenkov A.I., Smirnov I.V., Blagosklonov N.A. Artificial Intelligence Technologies Application for Personal Health Management. *IFAC-PapersOnLine*. 2019;52(25):70-74. doi: 10.1016/j.ifacol.2019.12.448.
 18. Осипов Г.С. Методы искусственного интеллекта. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2016.
 19. Кобринский Б.А., Кадыков А.С., Полтавская М.Г., Благодослов Н.А., Ковелькова М.Н. Принципы функционирования интеллектуальной системы динамического контроля факторов риска и формирования рекомендаций по здоровьесбережению // Профилактическая медицина. 2019. Т.22. №5. С.78-84. doi: 10.17116/profmed20192205178.
 20. Крутько В.Н., Молодченков А.И. Концептуальные основы и архитектура интернет-системы персонализированной поддержки здоровьесбережения на основе интенсивного анализа данных // Аналитика и управление данными в областях с интенсивным использованием данных: труды XVIII Международной конференции ДАМДИД/RCDL'2016 (11-14 октября 2016 года, Ершово, Московская обл., Россия). М.: ФИЦ ИУ РАН. 2016. С. 393-401.

Григорьев Олег Георгиевич. Институт проблем искусственного интеллекта Федерального исследовательского центра "Информатика и управление" Российской академии наук" (ИПИИ ФИЦ ИУ РАН), Москва, Россия. Руководитель отделения. Доктор технических наук. Область научных интересов: ИИ-методы обработки текстов, извлечение знаний из текстов, рекомендательные системы для здоровьесбережения на основе ИИ-методов, медицинские базы знаний. E-mail: olegpolikvart@yandex.ru

Кобринский Борис Аркадьевич. Институт проблем искусственного интеллекта Федерального исследовательского центра "Информатика и управление" Российской академии наук" (ИПИИ ФИЦ ИУ РАН), Москва, Россия. Заведующий отделом. Доктор медицинских наук. Область научных интересов: инженерия знаний, нечеткая логика, системы интеллектуальной поддержки принятия решений, гибридные системы, рекомендательные системы. E-mail: kba_05@mail.ru

Благосклонов Николай Алексеевич. Институт проблем искусственного интеллекта Федерального исследовательского центра "Информатика и управление" Российской академии наук" (ИПИИ ФИЦ ИУ РАН), Москва, Россия. Младший научный сотрудник. Область научных интересов: информационные технологии в медицине, системы поддержки принятия решений, искусственный интеллект в медицине. E-mail: nblagosklonov@frccsc.ru

Гинзбург Борис Григорьевич. Медицинский институт КГУ им. К. Э. Циолковского, Калуга, Россия. Профессор кафедры. Доктор медицинских наук. Область научных интересов: профилактическая медицина. E-mail: bginz@mail.ru

Recommender Intelligent System for Chronic Disease Risk Management

O. G. Grigoriev¹, B. A. Kobriskii¹, N. A. Blagosklonov¹, B. G. Ginzburg²

¹ Federal Research Center "Computer Science and Control" of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

² K.E. Tsiolkovski KSU Medical Institute, Kaluga, Russia

Abstract. A recommender intelligent system for the problem of health maintenance is presented, which provides the possibility of integral analysis of different types of information to assess the risk levels of chronic diseases and issue personal recommendations to reduce the likelihood or prevent the development of a pathological process. The system is based on a heterogeneous semantic network with a knowledge base solver that uses an argumentative reasoning algorithm. The recommendations given to the users are the practical realization of the modern concept of early detection of predisposition to the development of diseases with the focus on the active involvement of the person in the process of preventive measures. The results of testing the AI-HIPPOCRATES health-saving recommendation system on real data is considered; the possibility of using the proposed approach to assess the risks of chronic diseases (arterial hypertension, myocardial infarction, stroke, depression) based on a questionnaire is shown. At present, further research is aimed at modifying the developed intelligent recommendation system to monitor the psychoemotional state of critical infrastructure operators using remote monitoring data.

Keywords: Recommender system; Artificial intelligence; Chronic disease risk assessment; Monitoring of physiological indicators; Health preservation; Monitoring of psycho-emotional state; Personal recommendations.

DOI 10.14357/20718632230203

References

1. Dartau L.A. Theoretical aspects of health management and the possibilities of its implementation in the Russian Federation. *Problemy upravleniya*. 2003;(2): 43-52.
2. Emel'yanov S.V. Selected works S.V. Emelyanova: in 2 volumes (Korovin S.K. (Ed)) Moscow: Izdatelstvo Moskovskogo universiteta.
3. Order of the Ministry of Health of Russian Federation No. 186 of 24 April 2018 «Ob utverzhdenii Konceptii prediktivnoj, preventivnoj i personalizirovannoj mediciny». Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71847662/> (accessed: September 22, 2022).
4. Schafer H., Hors-Fraile S., Karumur R.P., Calero Valdez A., Said A., Torkamaan H., Ulmer T., Trattner C. Towards health (aware) recommender systems. *Proceedings of the International Conference on Digital Health, DH'17*; 2-5 July 2017; London United Kingdom. Association for Computing Machinery, New York, United States; 2017. doi: 10.1145/3079452.3079499.
5. Wiesner M., Pfeifer D. Health recommender systems: Concepts, requirements, technical basics and challenges. *Int J Environ Res Public Health*. 2014;11(3):2580–2607. doi: 10.3390/ijerph110302580.
6. Mlika F., Karoui W. Proposed Model to Intelligent Recommendation System based on Markov Chains and Grouping of Genres. *Procedia Computer Science*. 2020; 176:868-877. doi: 10.1016/j.procs.2020.09.082.
7. Cui Y. Intelligent Recommendation System Based on Mathematical Modeling in Personalized Data Mining. *Mathematical Problems in Engineering*. 2021;2021:1-11. doi:10.1155/2021/6672036.
8. Aguilar J., Valdiviezo-Díaz P., Riofrio G. A general framework for intelligent recommender Systems. *Applied Computing and Informatics*. 2017;13(2):147–160. doi: 10.1016/j.aci.2016.08.002.
9. Ojokoh B., Omisore M., Samuel O., Ogunniyi T. A fuzzy logic based personalized recommender system. *Internat-*

- tional Journal of Computer Science and Information Security. 2012;2(5):1008–1015.
10. Sahoo A.K., Pradhan C., Barik R.K., Dubey H. Deepreco: Deep learning based health recommender system using collaborative filtering. *Computation*. 2019;7(2):25. doi: 10.3390/computation7020025.
 11. De Croon R., Van Houdt L., Htun N.N., Štiglic G., Abeele V.V., Verbert K. Health Recommender Systems: Systematic Review. *Journal of Medical Internet Research*. 2021;23(6):e18035. doi: 10.2196/18035.
 12. Paltsev M.A., Belushkina N.N., Chaban E.A. 4P-Medicine as a new model of healthcare in the Russian Federation. *HEALTHCARE MANAGEMENT: news, views, education*. 2015;(2):48–54.
 13. Sagner M., McNeil A., Puska P., Auffray Ch., Price N.D., Hood L., Lavie C.J., Han Z.-G., Chen Z., Brahmachari S.K., McEwen B.S., Soares M.B., Balling R., Epel E., Arena R. The P4 Health Spectrum – A Predictive, Preventive, Personalized and Participatory Continuum for Promoting Healthspan. *Progress in Cardiovascular Diseases*. 2017;59(5):506–521. doi: 10.1016/j.pcad.2016.08.002.
 14. Baiardini I., Heffler E. Chapter 21 – The Patient-Centered Decision System as per the 4Ps of Precision Medicine. In: Agache I, Hellings P, editors. *Implementing Precision Medicine in Best Practices of Chronic Airway Diseases*. London: Academic Press; 2019. P.147–151. doi: 10.1016/B978-0-12-813471-9.00024-4.
 15. Flores M., Glusman G., Brogaard K., Price N.D., Hood L. P4 medicine: how systems medicine will transform the healthcare sector and society. *Personalized Medicine*. 2013;10(6):565–576. doi: 10.2217/PME.13.57.
 16. Tran Th.N.T., Felfernig A., Trattner Ch., Holzinger A. Recommender systems in the healthcare domain: state-of-the-art and research issues. *Journal of Intelligent Information Systems*. 2021;57:171–201. doi: 10.1007/s10844-020-00633-6.
 17. Kobrinskii B.A., Grigoriev O.G., Molodchenkov A.I., Smirnov I.V., Blagosklonov N.A. Artificial Intelligence Technologies Application for Personal Health Management. *IFAC-PapersOnLine*. 2019;52(25):70–74. doi: 10.1016/j.ifacol.2019.12.448.
 18. Osipov G.S. *Metody iskusstvennogo intellekta*. Moscow: FIZMATLIT. 2016.
 19. Kobrinskii B.A., Kadykov A.S., Poltavskaya M.G., Blagosklonov N.A., Kovelkova M.N. The principles of the operation of an intellectual system of dynamic risk control and the formation of health recommendations. *Profilakticheskaya Meditsina*. 2019;22(5):78–84. doi: 10.17116/profmed20192205178.
 20. Krutko V.N., Molodchenkov A.I. Conceptual foundation and architecture of the Internet system for personalized healthcare support using data intensive analysis. *Proceedings of Data Analytics and Management In Data Intensive Domains XVIII International Conference DAMDID / RCDL'2016 October 11–14, 2016, Ershovo, Moscow, Russia*. Moscow: FRC CSC RAS. 2016. Pp.393–401.

Grigoriev O.G. Russian Artificial Intelligence Research Institute of Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences (RAIRI FRC CSC RAS), Moscow, Russia. E-mail: oleggpolikvart@yandex.ru

Kobrinskii B.A. Russian Artificial Intelligence Research Institute of Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences (RAIRI FRC CSC RAS), Moscow, Russia. E-mail: kba_05@mail.ru

Blagosklonov N.A. Russian Artificial Intelligence Research Institute of Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences (RAIRI FRC CSC RAS), Moscow, Russia. E-mail: nblagosklonov@frcsc.ru

Ginzburg B.G. K.E. Tsiolkovski KSU Medical Institute, Kaluga, Russia. E-mail: bginz@mail.ru