

Системы персонализированных воздействий

К. А. Уваров

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия
uvarovkirill73@gmail.com

Аннотация. В рамках статьи рассмотрено современное состояние систем персонализированных воздействий. Системы персонализированных воздействий на пользователя – одно из перспективных направлений в сферах, где требуется поддерживать состояние или поведение человека в определенных рамках. На данный момент подобные системы активно развиваются в сфере мобильного здравоохранения. Основные задачи, которые решают данные системы, – формирование новых полезных привычек, борьба с зависимостями, профилактика хронических заболеваний, а также поддерживающая терапия в заболеваниях, связанных с ментальным здоровьем. В статье представлены эволюция подобных систем и их современное состояние. Подробно рассмотрена структура системы JITAI как пример наиболее современных систем персонализированных воздействий. Проведен обзор используемых алгоритмов в системах JITAI, которые обеспечивают персонализированность воздействий.

Ключевые слова: персонализированные воздействия, мобильная медицина, JITAI, адаптивные воздействия «точно в срок»

Для цитирования: Уваров К. А. Системы персонализированных воздействий // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2024. Т. 17, № 4. С. 42–52. doi: 10.32603/2071-8985-2024-17-4-42-52.

Review article

Systems of Personalized Interventions

K. A. Uvarov

Saint Petersburg Electrotechnical University, Saint Petersburg, Russia
uvarovkirill73@gmail.com

Abstract. This article considers the current state of personalized interventions systems. Personalized user interventions systems comprise a promising research direction in fields, where it is necessary to maintain a person's condition or behavior within a certain framework. At present, such systems are being actively developed in the field of mobile healthcare. The main tasks that these systems aim to solve involve the formation of new healthy habits, fight against addictions, prevention of chronic diseases, as well as supportive therapy in diseases related to mental health. The article outlines the evolution of such systems and their status quo. The structure of an JITAI system as the most recent example of personalized impact systems is considered. A review of algorithms used in JITAI systems, which ensure the personalization of impacts, is carried out.

Keywords: personalized interventions, mobile health, JITAI, just-in-time adaptive interventions

For citation: Uvarov K. A. Systems of Personalized Interventions // LETI Transactions on Electrical Engineering & Computer Science. 2024. Vol. 17, no. 4. P. 42–52. doi: 10.32603/2071-8985-2024-17-4-42-52.

Введение. Существует большое количество областей человеческой деятельности, где требуется анализировать поведение человека и взаимодействие с ним для корректирования его поведе-

ния. Примером может служить вождение, где требуется контролировать поведение водителя, чтобы он был внимателен к дороге, или человека с ожирением и напоминать ему о физической ак-

тивности. Системы, которые могут анализировать и корректировать поведение человека, становятся все популярнее в связи с повсеместным распространением компактной и носимой техники, позволяющей как собирать различные данные, так и взаимодействовать с человеком. Благодаря усовершенствованному мобильному оборудованию, программному обеспечению и вычислительной мощности данные о поведении пользователя могут собираться и обрабатываться в режиме реального времени или почти в этом режиме.

На данный момент существуют системы, которые пытаются корректировать поведение человека, основываясь на общих закономерностях поведения человека. Но следует заметить, что каждый человек уникален и на одни и те же воздействия реагирует по-разному. На текущее когнитивное состояние человека влияют как внешние, так и внутренние факторы. По этой причине системы, которые рассчитаны на универсальный подход к взаимодействию с человеком, не всегда одинаково эффективны для отдельно взятого человека. Одним из решений данной проблемы является анализ и корректировка поведения персонализировано для человека. Таким образом, система, которая будет взаимодействовать с человеком, должна учитывать его индивидуальные особенности и благодаря этому более эффективно воздействовать на него.

Стратегии персонализированных воздействий на пользователя (также адаптивные вмешательства) – одно из перспективных направлений, которые позволяют аккуратно и без лишней настойчивости взаимодействовать с пользователем, направляя его на полезные привычки или уменьшая влияние негативных факторов на его жизнь. Подобные системы оценивают состояние и предоставляют помощь в то время, когда пользователи этого хотят или когда наиболее в ней нуждаются. Для обозначения таких воздействий используются различные термины: адаптивные воздействия «точно в срок» (Just in Time Adaptive Intervention, JTAI), контекстно-ориентированные воздействия (context-aware) и воздействия в реальном времени. В данной статье для подобных воздействий используется термин JTAI.

JTAI – это концепция адаптивных воздействий, направленных на обеспечение правильного типа/объема поддержки в нужное время на основе изменения внутреннего и внешнего состояний

человека [1]. Основные принципы JTAI и структура проектирования приложений JTAI были представлены авторами I. Nahum-Shani и др. [2]. Приложения, реализующие концепцию JTAI, должны обладать следующими функциями:

- обнаружение и «понимание» текущей ситуации и контекста пользователя без действий или ввода данных пользователем;

- определение на основе полученного контекста доступности или недоступности пользователя для воздействий и эффективности воздействия именно на данного пользователя;

- предпочтительное использование системой только пассивных способов получения информации о текущей ситуации или опрос пользователя минимальное количество раз (данный параметр может задаваться пользователем);

- использование методов машинного обучения для оптимизации выбора и дозировки воздействий;

- использование разнообразных типов воздействий на пользователя.

Системы персонализированных воздействий на данный момент получили наибольшее распространение в сфере мобильной медицины и показывают хорошие результаты в решении различных проблем. Мобильная медицина – отдельный раздел медицины, который представляет собой общую и профилактическую медицинскую помощь в дополнение к стандартной, оказываемой напрямую врачом или в медицинском учреждении. В основе мобильной медицины лежит использование мобильных устройств – смартфонов, фитнес-браслетов, устройств для мониторинга состояния пациента, КПК, а также других беспроводных и переносимых устройств. Подобные устройства содержат большое количество сенсоров, данные с которых позволяют оценить состояние пациента.

Мобильная медицина оказалась очень перспективным направлением для лечения различных болезней, например гиподинамии. По определению ВОЗ, физическая активность – это какое-либо движение тела, производимое скелетными мышцами, которое требует расхода энергии. Термин «физическая активность» относится к любым видам движений, в том числе движения во время отдыха, поездок в какие-либо места и обратно или во время работы. В трех метаанализах сравнивались мероприятия мобильной медицины, направленные на стимулирование физической активности при обычном уходе, и

подтверждалась их высокая перспективность. Метаанализ 21 рандомизированного контролируемого исследования показал, что воздействия с помощью мобильной медицины привели к значительному уменьшению сидячего образа жизни и незначительному увеличению общей физической активности, физической активности средней и высокой интенсивности и ходьбы по сравнению с обычным уходом [3]. Воздействие с помощью мобильных устройств более интерактивно и ведет к меньшему стрессу пациентов, и они больше реагируют на подобные воздействия [4]. Системы ЛТАИ применяются в различных сферах мобильной медицины: для поддержки пациентов с расстройством пищевого поведения, психическими заболеваниями, ожирением, для борьбы с курением и в других сферах.

Основная цель данной статьи состоит в обзоре систем персонализированных воздействий. В рамках статьи будут рассмотрены: эволюция систем персонализированных воздействий, структура ЛТАИ как наиболее современной системы персонализированных воздействий, современное состояние ЛТАИ. Также будет проведен обзор алгоритмов, которые используются для персонализации воздействий.

Эволюция систем персонализированных воздействий. Поскольку подобные системы наиболее распространены в сфере мобильной медицины, в данном разделе рассмотрена эволюция систем персонализированных воздействий в сфере медицины.

Традиционную систему взаимодействия пациента и врача можно описать следующим образом: человек посещает врача один-два раза в год или реже. Врач оценивает состояние пациента, затем назначает обследования, лекарства и, возможно, рекомендует изменить привычки и образ жизни. Потенциально через год пациент снова приходит к врачу, и процесс повторяется снова и снова. Главная проблема такого подхода заключается в том, что врачи упускают из виду историю событий, происходящих с пациентом в течение всего периода между визитами, и их оценка основывается на записях в истории болезни, воспоминаниях и комментариях пациента во время короткого визита пациента к врачу. Эта проблема была рано замечена специалистами в области социального поведения, которые разработали методику, названную экологической мгновенной оценкой (*англ.* Ecological Momentary Assessment) [5].

Целью экологической мгновенной оценки (ЭМО) служит помощь пациентам в документировании их собственного состояния, связанного с лечением и терапией. Используя электронный дневник, пациенты записывают местоположение и элементы окружающей обстановки, вызывающие, например, желание выпить, если их терапия относится к борьбе с алкоголизмом. Использование этих данных помогает врачам проводить более точную диагностику и динамику развития состояния пациента.

Следующий шаг развития в мобильной медицине – появление экологических мгновенных воздействий (*англ.* Ecological Momentary Intervention) – ЭМВ [6]. Целью экологических мгновенных воздействий служит предоставление лечения людям во время их повседневной жизни без посещения медицинского учреждения. Примером ЭМВ может быть напоминание о тренировке от приложения на смартфоне. ЭМВ может использоваться в сочетании с ЭМО. Таким образом, воздействие может осуществляться в ответ на запрос пациента. Например, пациент может отправить врачу или куратору лечебной поддерживающей группы текстовое сообщение с описанием своей тяги к алкоголю, и в ответ на это в реальном времени может быть отправлено воздействие, направленное на пациента, чтобы отбить у него желание выпить. Таким воздействием может быть обычное сообщение со словами поддержки или мотивационное видео. Воздействия, основанные на ЭМО–ЭМВ, работают в основном по требованию, т. е. они предоставляются в момент, когда пациент запросил помощь сам, а не в результате работы автоматической системы датчиков, которые определили состояние пациента, в котором ему требуется помощь.

Развитие моделей анализа данных, а также повсеместное использование смартфонов делает возможным мониторинг состояния здоровья пациента в режиме реального времени. Датчики, встроенные в смартфоны, и датчики, прикрепляемые к телу пациента, способны собирать потоки физиологических данных. В дальнейшем анализ этих данных позволит сделать вывод о деятельности пациента, его здоровье и психическом состоянии. Воздействие может быть осуществлено, когда физиологический показатель превысит пороговое значение или когда модель анализа данных обнаружит, что пациент испытывает пробле-

мы со здоровьем. Такой подход называется воздействием «точно в срок» (*англ.* Just-in-time Intervention – JTI). Преимущество такого подхода заключается в том, что иногда пациенты не осознают своего собственного состояния, поэтому они не будут просить о воздействии. Несколько исследований показали, что часто самоотчет пациента противоречит его собственному состоянию здоровья. Основная проблема таких систем заключается в разработке обоснованной модели анализа данных для распознавания физического и психического здоровья пациента. Примером такой системы служит AutoSens – система для лечения стресса [7]. AutoSens использует очень точный набор датчиков и моделей анализа данных для распознавания стресса в режиме реального времени. Однако в настоящее время система не имеет механизма, позволяющего ей адаптировать и персонализировать воздействия в соответствии с потребностями пациента. Кроме использования датчиков, которые регистрируют физиологические параметры для определения состояния человека, можно анализировать косвенные параметры, например текущее местоположение человека. В системе, которая разрабатывалась для борьбы с зависимостью от алкоголя, анализируются данные GPS, и если человек находится в непосредственной близости к «опасному» месту, где он может выпить (например, бар), то на него оказывается воздействие [8].

На вершине иерархии развития систем персонализированных воздействий стоят адаптивные воздействия «точно в срок» (JTAI). Основная идея заключается в том, что система распознает различия между пациентами и учится тому, какое воздействие наиболее полезно для каждого пациента. Другие элементы JTAI определяют дозы, время и частоту воздействий. Основная предпосылка развития данной системы состоит в том, что воздействие, которое хорошо для одного пациента, не обязательно подходит другому. В табл. 1 обобщена эволюция систем персонализированных воздействий на пользователя в медицине.

Структура JTAI. Чтобы описать структуру JTAI, подробно остановимся на двух ее ключевых концепциях: «точно в срок» и «адаптивность».

Концепция «точно в срок» имеет давние традиции в различных областях. Например, в исследованиях промышленного менеджмента «точно в срок» – это философия, которая направлена на

«производство нужного товара в нужное время в нужных количествах» [9]. В контексте мобильной медицины «точно в срок» можно определить как точное оказание поддержки или лечения всякий раз, когда человек уязвим или открыт для позитивных изменений и восприимчив к этим воздействиям. Теория психологии стресса и совладающего поведения определяет уязвимое состояние как временную склонность человека испытывать неблагоприятные последствия для здоровья или участвовать в неадаптивном поведении. Очень важно поддерживать человека, находящегося в уязвимом состоянии. Например, уязвимым можно считать состояние человека между ссорой с коллегой и решением выкурить сигарету. В этом случае должна быть оказана поддержка «точно в срок», которая поможет этому человеку регулировать негативные эмоции, вызванные конфликтом.

Табл. 1. Эволюция систем персонализированных воздействий
Tab. 1. Evolution of personalized intervention systems

Тип системы воздействий	Недостатки
Традиционный	Взаимодействие в медицинском учреждении в рамках приема
ЭМО	Пациент самостоятельно документирует данные о своем состоянии и окружении вне приема. Эти данные используются позже на последующих приемах у врача
ЭМВ	Пациент обращается за «поддержкой» и с помощью мобильных технологий получает помощь в повседневной жизни
JTI	В пассивном режиме осуществляется сбор данных о состоянии человека и окружающей среде. Момент воздействия определяется с помощью анализа собранных данных в автоматическом режиме
JTAI	Аналогично JTI, но система адаптируется под каждого пользователя учитывая контекст, дозировку, воздействие

Что касается возможностей для позитивных изменений, различные теории обучения и мотивации подчеркивают важность таких концепций, как подкрепление (т. е. обучение путем усиления последовательно улучшающихся приближений к желаемому поведению) и момент обучения (т. е. время, когда человек с большей вероятностью будет усваивать информацию). Основное предположение заключается в том, что для содействия улучшению в какой-либо поведенческой или когнитивной области важно выявлять временные возможности для обучения и предо-

ставлять необходимый тип поддержки только тогда, когда это необходимо для постепенного продвижения действий/когнитивных способностей человека в желаемом направлении.

Для эффективности воздействий крайне важно убедиться, что человек находится в состоянии, когда он восприимчив к воздействиям. Восприимчивость к воздействиям можно определить как условия, в которых человек может получать, обрабатывать и использовать предоставляемые воздействия.

Приведенное описание предполагает, что воздействия «точно в срок» могут быть реализованы предоставлением воздействий правильного типа только тогда, когда человек уязвим или открыт для позитивных изменений и восприимчив к воздействиям.

Концепция «адаптивность» отвечает за адаптивность предоставления воздействий. Стратегия адаптации использует информацию о человеке для принятия решений относительно того, когда, где и как воздействовать. Следует различать статичную адаптацию, при которой относительно стабильная информация (например, пол, исходная тяжесть симптомов) используется для принятия решений, и динамическую, когда изменяющаяся во времени информация (например, изменения текущего состояния человека, реакция на воздействие) используется для принятия решений о воздействии. Концепция «адаптивность» в JTAI предполагает динамичную форму адаптации предоставления поддержки.

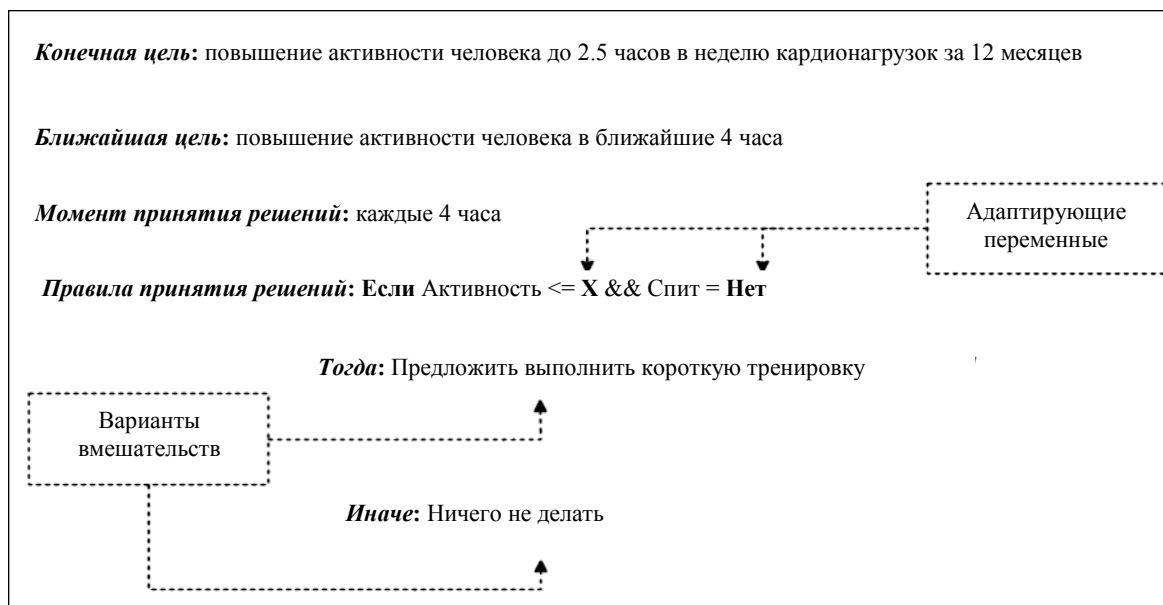
Таким образом, можно концептуализировать JTAI как систему воздействий, которая использует

динамическую форму адаптации для практической реализации предоставления воздействий ТВС. Цель JTAI состоит в том, чтобы предложить правильный тип воздействий именно тогда и только тогда, когда человек находится в состоянии уязвимости/возможности и готов воспринимать воздействия.

Согласно Nahum-Shani и др. [2], JTAI состоит из нескольких ключевых элементов:

- конечная цель – результат, который ожидается от JTAI;
- ближайшие цели – это краткосрочные цели, на достижение которых направлено воздействие, и часто служат посредниками в достижении конечного результата;
- моменты принятия решений – это моменты, когда выбирается вариант воздействия на основе имеющейся в данный момент информации (например, в 14:00 или каждый час);
- варианты воздействий – это набор возможных видов оказания поддержки, которые могут быть использованы в любой конкретный момент принятия решения;
- адаптирующие переменные – это исходная и изменяющаяся во времени информация, которая сообщает, какой вариант воздействия следует предложить в каждый момент принятия решения;
- правила принятия решений – правила, которые реализуют индивидуализацию, указывая, какой вариант воздействия следует предлагать в каждый момент принятия решения.

На рисунке приведен пример элементов JTAI для борьбы с низкой физической активностью.



Пример элементов JTAI для борьбы с низкой физической активностью
An example of JTAI elements to combat low physical activity

Текущее состояние JТАI. В настоящее время проводится значительное количество исследований, посвященных JТАI, при этом особое внимание уделяется как теории системы, так и ее реализации. Большинство существующих на сегодняшний день реализаций работают через смартфон и используют текстовые воздействия. Таким образом, существует множество возможностей для дальнейших инноваций. Существует широкий спектр областей применения JТАI – от потери веса [10] до борьбы со стрессом [11], но рамки JТАI остаются неизменными. Различия можно рассматривать с точки зрения того, как реализуется каждый элемент JТАI.

В табл. 2 представлен обзор 10 наиболее цитируемых исследований JТАI, где для каждой публикации были определены следующие параметры:

- название системы – название программного продукта или исследования, которая реализует JТАI;
- ПСД (пассивный сбор данных) – признак, использует ли система датчики, мобильные устройства для пассивного сбора данных;
- ТВС (точно в срок) – стратегия определения времени принятия решения о необходимости воздействия;
- интеллектуальность – использует ли система методы интеллектуального анализа данных для определения:
 - момента воздействия,
 - анализа текущего контекста пользователя,
 - выбора воздействия.

Хорошо спроектированные системы JТАI стараются минимизировать нагрузку на пользова-

теля при максимальном благоприятном воздействии на него. В настоящее время реализация JТАI находится на ранней стадии развития, особенно при внедрении адаптивного компонента. Некоторые представленные в табл. 2 системы такого компонента не имеют. В A-CHESS (система, предназначенная для помощи пользователям в борьбе с алкоголизмом) система фокусируется на барах, которые уже посещались, и уведомляет пользователя, когда он снова оказывается рядом с ними. Эти данные полезны при принятии решения о том, когда следует оказать воздействие, но не позволяют определить, какое именно воздействие необходимо предпринять. Системы DietAlert и Diamante, напротив, активно используют адаптивный компонент в части выбора воздействия, чтобы предоставить наиболее эффективное воздействие, но никак не оценивают момент воздействия и текущий контекст пользователя. В данном случае данные системы могут столкнуться с проблемой, когда пользователь в момент воздействия недоступен. Подобные ограничения в основном связаны с отсутствием детального персонального и экологического наблюдения. Однако при более широком наблюдении за пользователем и контекстом пользователя системы JТАI могут работать с высокой точностью, предлагая оптимальные и персонализированные воздействия. Однако объем сбора данных с датчиков часто должен быть сбалансирован с их ненавязчивостью. Сенсорная техника может работать безупречно, но если она существенно мешает повседневной деятельности, то такая система, скорее всего, не будет использоваться.

Табл. 2. Обзор 10 наиболее цитируемых работ JТАI
Tab. 2. A review of the 10 most cited works by JТ

Название системы JТАI	ПСД	ТВС	Интеллектуальность системы JТАI		
			Момент воздействия	Анализ контекста пользователя	Выбор воздействия
PopTherapy [12]	–	Фиксированное время	–	–	–
FOCUS [13]	–	Фиксированное время	–	–	–
A-CHESS [8]	+	Адаптивна по контексту пользователя	–	+	–
DietAlert [14]	+	Фиксированное время	–	–	+
MyQuit USC [15]	–	Фиксированное время	–	–	–
mStress [11]	+	Адаптивна по состоянию пользователя	+	+	+
HealthAware [16]	+	Адаптивна по состоянию пользователя	+	+	–
KNOWME [17]	+	Определение состояния в режиме реального времени	+	–	–
Diabete [18]	+	Фиксированное время	+	+	+
Diamante [19]	–	Фиксированное время	–	–	+

Адаптивный компонент ЛТАИ. Адаптивный компонент – основной компонент системы ЛТАИ, который позволяет точно и наиболее эффективно взаимодействовать с пациентом. Разработка адаптивного компонента – вероятно, наиболее сложная задача при разработке ЛТАИ. Адаптивный компонент в режиме реального времени анализирует контекст пользователя и принимает решение о том, как именно в данный момент необходимо воздействовать на пользователя (или воздействие не требуется вовсе). В ручном режиме такую работу произвести нельзя, поэтому основной реализацией адаптивного компонента служат алгоритмы машинного обучения. Рассмотрим несколько работ существующих систем ЛТАИ, которые имеют адаптивный компонент, и алгоритмы машинного обучения, которые они используют.

Машинное обучение с учителем. Обучение с учителем – это направление машинного обучения, объединяющее алгоритмы и методы построения моделей на основе множества примеров, содержащих пары «известный вход – известный выход». Иными словами, чтобы алгоритм относился к обучению с учителем, он должен работать с примерами, которые содержат не только вектор независимых переменных (атрибутов, признаков), но и значение, которое должна выдавать модель после обучения (такое значение называется целевым).

В системе по борьбе с лишним весом – DietAlert, адаптивный компонент реализован обучением с учителем. Пользователям неоднократно предлагается ввести информацию об отклонениях от их рациона питания и множестве факторов, которые потенциально могут повлиять на отклонение (например, настроение, пищевая среда, социальные взаимодействия и т. д.). Когда пользователь сообщает о наличии потенциальных факторов отклонения, DietAlert использует алгоритм прогнозирования для расчета уровня риска нарушения диеты и определения трех основных факторов, способствующих риску. В качестве алгоритма прогнозирования используется алгоритм случайного леса. Если алгоритмом определено, что участник может быть подвержен риску, то для каждого основного фактора пользователю предоставлялись текстовые воздействия [14]. Дальнейшим развитием работы DietAlert стало мобильное приложение OnTrack, которое также в качестве алгоритма прогнозирования уже использует ансамбль алгоритмов обучения с учителем [20].

Обучение с учителем позволяет реализовывать адаптивный компонент в системах персона-

лизированных воздействий, но данный подход не позволяет получить полную адаптивность для каждого человека. Алгоритмы обучения с учителем позволяют разделить пользователей на различные группы пользователей, что позволяет воздействовать более эффективно, но не индивидуально в рамках этой группы. Другой подход к реализации адаптивного компонента – это обучение с подкреплением.

Машинное обучение с подкреплением. Основными участниками обучения с подкреплением служат окружающая среда и агент. Агент взаимодействует с окружающей средой, получая вознаграждение после взаимодействия (т. е. подкрепление) в качестве сигнала о том, насколько хорошо или плохо предпринятое действие. После воздействия окружающая среда принимает новое состояние. Основная задача обучения с подкреплением состоит в том, чтобы обучить агента получать максимальное вознаграждение. В процессе обучения агент оптимизирует свое поведение, основываясь на опыте взаимодействия со средой. Агент знает текущее состояние окружающей среды и выбирает действия, которые должны принести наибольшую награду, исходя из имеющегося у него опыта.

Алгоритмы обучения с подкреплением позволяют решить проблему с персонализацией воздействий, которую имеют алгоритмы обучения с учителем. Данные алгоритмы взаимодействуют индивидуально с пользователем и стараются действовать максимально эффективно именно для этого пользователя. Большинство систем персонализированных воздействий, которые реализуют адаптивный компонент, используют обучение с подкреплением. В задачах персонализированных воздействий «средой» в терминах обучения с подкреплением служит сам человек. Его состояние определяется в зависимости от задачи, которую пытаются скорректировать с помощью агента. Для каждой работы, рассматриваемой далее, будут выделены основные компоненты задачи обучения с подкреплением: параметры, которые определяют состояние среды, тип алгоритма обучения с подкреплением, виды действий, который использует агент, и условия расчета награды для агента.

Diabete [18]. В системе повышения физической активности человека Diabete адаптивный компонент реализован с помощью обучения с подкреплением. Авторы используют собственную реализацию такого алгоритма, которую можно

относит к алгоритмам типа «контекстный бандит». Каждое утро алгоритм обучения с подкреплением оценивал для каждого пациента, какое SMS-сообщение, вероятно, повысит его физическую активность в предстоящий день, и это сообщение отправлялось пациенту. Пользователи были представлены алгоритму по их демографическим данным, прошлой активности, истории сообщений. Эффективность каждого сообщения оценивалась на следующее утро вычислением объема активности пациента с момента отправки ему последнего сообщения, и этот сигнал служил наградой за обучение алгоритма.

Diamante [12] используется для повышения физической активности человека как способ борьбы с сахарным диабетом и депрессией. Система воздействует на пользователя различными текстовыми сообщениями, которые должны мотивировать пользователя на физическую активность. Алгоритм выбирает, какое сообщение и в какое время отправить. Авторы в качестве алгоритма для персонализации воздействий используют алгоритм контекстного бандита: Linear TS. Контекст для алгоритма – данные, в том числе: какие сообщения были отправлены ранее и в течение каких периодов времени, демографические показатели (пол, возраст), предыдущая физическая активность. В качестве награды для агента используется значение пройденных после отправки сообщения шагов пациентом.

mStress [5] – система, для борьбы с психологическим стрессом. Для борьбы со стрессом в рамках системы было создано 18 различных воздействий, которые представляют собой когнитивно-поведенческие упражнения, применяемые в психологии. Система анализирует состояние человека с помощью умного браслета и определяет

уровень стресса у человека. Данное значение считается состоянием среды. Алгоритма для выбора воздействий основан на алгоритме Q-learning. После выбора и проведения воздействия у человека повторно измеряется уровень стресса и определяется награда для алгоритма: 100 – если человек перестал быть в стрессовом состоянии, 50 – если уровень стресса снизился незначительно и 0 – если уровень стресса не снизился.

Система по снижению лишнего веса [10]. В данной публикации авторы разрабатывали систему для борьбы с лишним весом и поддержания сниженного веса. В адаптивный компонент также был реализован с помощью обучения с подкреплением с помощью алгоритма UCB1, который относится к алгоритмам многорукого бандита. Награда для алгоритма рассчитывается комплексно, ее значение учитывает следующие параметры: количество дней самоконтроля веса, количество дней самоконтроля питания, количество дней соблюдения цели по калориям, количество дней достижения цели по физической активности и значение потери веса в фунтах. В отличие от остальных, в данном исследовании множество действий алгоритма состояло не только из текстовых вмешательств, но также алгоритм мог выбрать вмешательство, которое требовало, чтобы с пациентом поговорил тренер. В случае такого вмешательства награда корректируется на заданный коэффициент.

MyBehavior [21] – приложение для смартфонов, использующее новый подход к созданию глубоко персонализированной обратной связи о состоянии здоровья. MyBehavior автоматически изучает физическую активность и диетическое поведение пользователя и предлагает изменения в этом поведении для более здорового образа жизни. Авторы используют алгоритм многорукого

Табл. 3. Алгоритмы, которые используются для адаптации воздействий
Tab. 3. Algorithms that are used to adapt interventions

Название системы JTAI	Тип машинного обучения	Алгоритм машинного обучения
DietAlert	Обучение с учителем	Случайный лес
OnTrack	Обучение с учителем	Ансамбль алгоритмов
Diabete	Обучение с подкреплением	Контекстный бандит (собственная реализация)
Diamante	Обучение с подкреплением	LinearTS
mStress	Обучение с подкреплением	Q-Learning
Система по снижению лишнего веса	Обучение с подкреплением	UCB1
MyBehavior	Обучение с подкреплением	EXP3

бандита – EXP3, в качестве алгоритма обучения с подкреплением для реализации адаптивного элемента. Состоянием среды для данного алгоритма служит физическая активность пользователя, автоматически фиксируемая смартфоном, а также дневник питания, который ведет пользователь. Воздействия в данной системе представлены в виде текстовых рекомендаций деятельности, направленной на повышение активности.

В табл. 3 представлена краткая сводка алгоритмов, которые используются для реализации адаптации воздействий в публикациях, которые были рассмотрены ранее.

Заключение. В рамках этой статьи проведен обзор систем персонализированных воздействий. Подобные системы позволяют решать различные задачи, которые требуют поддержки пользователя в определенном заданном состоянии. На данный

момент подобные системы активно развиваются в сфере мобильной медицины. Рассмотрена эволюция подобных систем в контексте мобильной медицины. На данный момент наиболее современной системой персонализированных воздействий считается JITAI. Современные системы JITAI активно развиваются, но на данный момент они имеют ряд проблем. Основная проблема и вызов современных систем JITAI – разработка компонента адаптации, который позволяет работать с каждым пользователем индивидуально и подбирать воздействия персонализировано. В статье также представлены алгоритмы, используемые для реализации системы адаптивности. Решение проблем адаптивности и сбора данных для JITAI сможет значительно преобразовать систему здравоохранения, а также позволит решать подобные задачи в других областях.

Список литературы

1. Just-in-time adaptive interventions (JITAI): An organizing framework for ongoing health behavior support / I. Nahum-Shani, S. N. Smith, A. Tewari, K. Witkiewitz, L. M. Collins, B. Spring, S. A. Murphy. University Park, PA: The Methodology Center, Penn State. 2014. Tech. Report. No. 14-126. 37 p.
2. Nahum-Shani I., Hekler E. B., Spruijt-Metz D. Building health behavior models to guide the development of just-in-time adaptive interventions: A pragmatic framework // *Health Psychol.* 2015. Vol. 34 (Suppl). P. 1209–1219.
3. mHealth Technologies to influence physical activity and sedentary behaviors: Behavior change techniques, systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials / A. Direito, E. Carraça, J. Rawstorn, R. Whittaker, R. Maddison // *Ann. of Behav. Med.* 2017. Vol. 51, № 2. P. 226–239.
4. The effectiveness of e- & mHealth interventions to promote physical activity and healthy diets in developing countries: A systematic review / A. M. Müller, S. J. Alley, S. Schoeppe, C. Vandelanotte // *Intern. J. of Behav. Nutrition and Physical Activity.* 2016. Vol. 13, № 1. P. 1–14.
5. Shiffman S., Stone A. A., Hufford M. R. Ecological momentary assessment // *Ann. Rev. of Clinical Psychol.* 2008. Vol. 4, № 1. P. 1–32.
6. Heron K. E., Smyth J. M. Ecological momentary interventions: Incorporating mobile technology into psychosocial and health behaviour treatments // *Br. J. Health Psychol.* 2010. Vol. 15, № 1. P. 1–39.
7. AutoSense: unobtrusively wearable sensor suite for inferring the onset, causality, and consequences of stress in the field / E. Ertin, N. Stohs, S. Kumar, A. Raij, M. Absi, S. Shah // *Proc. of the 9th Intern. Conf. on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys).* Seattle, WA, USA, 2011. P. 437–438.
8. A smartphone application to support recovery from alcoholism a randomized clinical trial / D. Gustaf-

- son, F. McTavish, M. Chih, A. Atwood, R. Johnson, M. Boyle, M. Levy, H. Driscoll, S. Chisholm, L. Dillenburg, A. Isham, D. Shah // *JAMA Psychiatry.* 2014. Vol. 71, № 5. P. 566–572.
9. Canel C., Rosen D., Anderson E. A. Just-in-time is not just for manufacturing: A service perspective // *Industrial Management & Data Systems.* 2000. Vol. 100, № 2. P. 51–60.
10. Can the artificial intelligence technique of reinforcement learning use continuously-monitored digital data to optimize treatment for weight loss? / E. M. Forman, S. Kerrigan, M. Butryn, A. Juarascio, S. Manasse, S. Ontañón, D. Dallal, R. Crochiere, D. Moskow // *J. of Behav. Med.* 2019. Vol. 42, № 2. P. 276–290.
11. Clarke S., Jaimes L. G., Labrador M. A. mStress: A mobile recommender system for just-in-time interventions for stress // *14th IEEE Ann. Consumer Communications & Networking Conf. (CCNC).* Las Vegas, NV, USA: IEEE, 2017. P. 1–5. doi: 10.1109/CCNC.2017.8015367.
12. PopTherapy: Coping with Stress through Pop-Culture / P. Paredes, R. Gilad-Bachrach, M. Czerwinski, A. Roseway, K. Rowan, J. Hernandez // *8th Intern. Conf. on Pervasive Comp. Technol. for Healthcare (PERVASIVEHEALTH).* Oldenburgh, German, 2014. P. 109–117.
13. Just-in-time adaptive interventions (JITAI) in mobile health: Key components and design principles for ongoing health behavior support / I. Nahum-Shani, S. Smith, B. Spring, L. M. Collins, K. Witkiewitz, A. Tewari, S. A. Murphy // *Ann. of Behav. Med.* 2018. Vol. 52, № 6. P. 446–462.
14. Return of the JITAI: Applying a just-in-time adaptive intervention framework to the development of m-health solutions for addictive behaviors / S. Goldstein, B. Evans, D. Flack, A. Juarascio, S. Manasse, F. Zhang, E. Forman // *Intern. J. of Behav. Med.,* 2017. Vol. 24, № 5. P. 673–682.

15. Development of a Just-in-Time adaptive intervention for smoking cessation among Korean American emerging adults / C. Cerrada, E. Dzubur, K. Blackman, V. Mays, S. Shoptaw, J. Huh // *Intern. J. of Behav. Med.* 2017. Vol. 24, № 5. P. 665–672.

16. Sano A., Johns P., Czerwinski M. Designing opportune stress intervention delivery timing using multimodal data // *Seventh Intern. Conf. on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)*. San Antonio, TC, USA: IEEE, 2017. P. 346–353. doi: 10.1109/ACII.2017.8273623.

17. Innovations in the Use of Interactive Technology to Support Weight Management / D. Spruijt-Metz, C. Wen, G. O'Reilly, M. Li, S. Lee, B. Emken, U. Mitra, M. Annavaram, G. Ragusa, S. Narayanan // *Current Obesity Reports*. 2015. Vol. 4, № 4. P. 510–519.

18. Encouraging physical activity in patients with diabetes: Intervention using a reinforcement learning system / E. Yom-Tov, G. Feraru, M. Kozdoba, S. Mannor, M. Tennenholtz, I. Hochberg // *J. of Med. Internet Research*. 2017. Vol. 19, № 10. URL: <https://www.jmir.org/2017/10/e338/> (дата обращения 15.11.2023).

19. mHealth app using machine learning to increase physical activity in diabetes and depression: clinical trial protocol for the DIAMANTE study / A. Aguilera, C. Figueroa, R. Hernandez-Ramos, U. Sarkar, A. Cembali, L. Gomez-Pathak, J. Miramontes, E. Yom-Tov, B. Chakraborty, X. Yan, J. Xu, A. Modiri, J. Aggarwal, J. Jay Williams, C. Lyles // *BMJ Open*. 2020. Vol. 10, № 8. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32819981/> (дата обращения 15.11.2023).

20. OnTrack: development and feasibility of a smartphone app designed to predict and prevent dietary lapses / E. Forman, S. Goldstein, F. Zhang, B. Evans, S. Manasse, M. Butryn, A. Juarascio, P. Abichandani, G. Martin, G. Foster // *Transl. Behav. Med.* 2019. Vol. 9, № 2. P. 236–245.

21. MyBehavior: Automatic personalized health feedback from user behaviors and preferences using smartphones / M. Rabbi, M. Aung, M. Zhang, T. Choudhury // *ACM Intern. Joint Conf. (UbiComp)*. Osaka, Japan, 2015. P. 707–718.

Информация об авторе

Уваров Кирилл Андреевич – аспирант кафедры информационных систем СПбГЭТУ «ЛЭТИ».
E-mail: uvarovkirill73@gmail.com

References

1. Just-in-time adaptive interventions (JITAs): An organizing framework for ongoing health behavior support / I. Nahum-Shani, S. N. Smith, A. Tewari, K. Witkiewitz, L. M. Collins, B. Spring, S. A. Murphy. University Park, PA: The Methodology Center, Penn State. 2014. Tech. Report. No. 14-126. 37 p.

2. Nahum-Shani I., Hekler E. B., Spruijt-Metz D. Building health behavior models to guide the development of just-in-time adaptive interventions: A pragmatic framework // *Health Psychol.* 2015. Vol. 34 (Suppl). P. 1209–1219.

3. mHealth Technologies to influence physical activity and sedentary behaviors: Behavior change techniques, systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials / A. Direito, E. Carraça, J. Rawstorn, R. Whittaker, R. Maddison // *Ann. of Behav. Med.* 2017. Vol. 51, № 2. P. 226–239.

4. The effectiveness of e- & mHealth interventions to promote physical activity and healthy diets in developing countries: A systematic review / A. M. Müller, S. J. Alley, S. Schoeppe, C. Vandelanotte // *Intern. J. of Behav. Nutrition and Phys. Activity*. 2016. Vol. 13, № 1. P. 1–14.

5. Shiffman S., Stone A. A., Hufford M. R. Ecological momentary assessment // *Ann. Rev. of Clinical Psychol.* 2008. Vol. 4, № 1. P. 1–32.

6. Heron K. E., Smyth J. M. Ecological momentary interventions: Incorporating mobile technology into psychosocial and health behaviour treatments // *Br. J. Health Psychol.* 2010. Vol. 15, № 1. P. 1–39.

7. AutoSense: unobtrusively wearable sensor suite for inferring the onset, causality, and consequences of stress in the field / E. Ertin, N. Stohs, S. Kumar, A. Raij,

M. Absi, S. Shah // *Proc. of the 9th Intern. Conf. on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys)*. Seattle, WA, USA, 2011. P. 437–438.

8. A smartphone application to support recovery from alcoholism a randomized clinical trial / D. Gustafson, F. McTavish, M. Chih, A. Atwood, R. Johnson, M. Boyle, M. Levy, H. Driscoll, S. Chisholm, L. Dillenburg, A. Isham, D. Shah // *JAMA Psychiatry*. 2014. Vol. 71, № 5. P. 566–572.

9. Canel C., Rosen D., Anderson E. A. Just-in-time is not just for manufacturing: A service perspective // *Industrial Management & Data Systems*. 2000. Vol. 100, № 2. P. 51–60.

10. Can the artificial intelligence technique of reinforcement learning use continuously-monitored digital data to optimize treatment for weight loss? / E. M. Forman, S. Kerrigan, M. Butryn, A. Juarascio, S. Manasse, S. Ontañón, D. Dallal, R. Crochiere, D. Moskow // *J. of Behav. Med.* 2019. Vol. 42, № 2. P. 276–290.

11. Clarke S., Jaimes L. G., Labrador M. A. mStress: A mobile recommender system for just-in-time interventions for stress // *14th IEEE Ann. Consumer Communications & Networking Conf. (CCNC)*. Las Vegas, NV, USA: IEEE, 2017. P. 1–5. doi: 10.1109/CCNC.2017.8015367.

12. PopTherapy: Coping with Stress through PopCulture / P. Paredes, R. Gilad-Bachrach, M. Czerwinski, A. Roseway, K. Rowan, J. Hernandez // *8th Intern. Conf. on Pervasive Comp. Technol. for Healthcare (PERVASIVEHEALTH)*. Oldenburgh, German, 2014. P. 109–117.

13. Just-in-time adaptive interventions (JITAs) in mobile health: Key components and design principles for

ongoing health behavior support / I. Nahum-Shani, S. Smith, B. Spring, L. M. Collins, K. Witkiewitz, A. Tewari, S. A. Murphy // *Ann. of Behav. Med.* 2018. Vol. 52, № 6. P. 446–462.

14. Return of the JITAI: Applying a just-in-time adaptive intervention framework to the development of m-health solutions for addictive behaviors / S. Goldstein, B. Evans, D. Flack, A. Juarascio, S. Manasse, F. Zhang, E. Forman // *Intern. J. of Behav. Med.*, 2017. Vol. 24, № 5. P. 673–682.

15. Development of a Just-in-Time adaptive intervention for smoking cessation among korean american emerging adults / C. Cerrada, E. Dzubur, K. Blackman, V. Mays, S. Shoptaw, J. Huh // *Intern. J. of Behav. Med.* 2017. Vol. 24, № 5. P. 665–672.

16. Sano A., Johns P., Czerwinski M. Designing oportune stress intervention delivery timing using multi-modal data // *Seventh Intern. Conf. on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)*. San Antonio, TC, USA: IEEE, 2017. P. 346–353. doi: 10.1109/ACII.2017.8273623.

17. Innovations in the use of interactive technology to support weight management / D. Spruijt-Metz, C. Wen, G. O'Reilly, M. Li, S. Lee, B. Emken, U. Mitra, M. Annavaram, G. Ragusa, S. Narayanan // *Current Obesity Reports*. 2015. Vol. 4, № 4. P. 510–519.

18. Encouraging physical activity in patients with diabetes: Intervention using a reinforcement learning system / E. Yom-Tov, G. Feraru, M. Kozdoba, S. Mannor, M. Tennenholtz, I. Hochberg // *J. of Med. Internet Research*. 2017. Vol. 19, № 10. URL: <https://www.jmir.org/2017/10/e3338/> (дата обращения 15.11.2023).

19. mHealth app using machine learning to increase physical activity in diabetes and depression: clinical trial protocol for the DIAMANTE study / A. Aguilera, C. Figueroa, R. Hernandez-Ramos, U. Sarkar, A. Cemballi, L. Gomez-Pathak, J. Miramontes, E. Yom-Tov, B. Chakraborty, X. Yan, J. Xu, A. Modiri, J. Aggarwal, J. Jay Williams, C. Lyles // *BMJ Open*. 2020. Vol. 10, № 8. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32819981/> (дата обращения 15.11.2023).

20. OnTrack: development and feasibility of a smartphone app designed to predict and prevent dietary lapses / E. Forman, S. Goldstein, F. Zhang, B. Evans, S. Manasse, M. Butryn, A. Juarascio, P. Abichandani, G. Martin, G. Foster // *Transl. Behav. Med.* 2019. Vol. 9, № 2. P. 236–245.

21. MyBehavior: Automatic personalized health feedback from user behaviors and preferences using smartphones / M. Rabbi, M. Aung, M. Zhang, T. Choudhury // *ACM Intern. Joint Conf. (UbiComp)*. Osaka, Japan, 2015. P. 707–718.

Information about the author

Kirill A. Uvarov – postgraduate student of the Department of Information systems Saint Petersburg Electrotechnical University.

E-mail: uvarovkirill73@gmail.com

Статья поступила в редакцию 19.12.2023; принята к публикации после рецензирования 20.02.2024; опубликована онлайн 23.04.2024.

Submitted 19.12.2023; accepted 20.02.2024; published online 23.04.2024.
