

Приборы медицинского назначения, контроля среды, веществ, материалов и изделий

УДК 616-71

Оригинальная статья

<https://doi.org/10.32603/1993-8985-2021-24-6-71-83>

Оценка возможности применения смарт-трекеров в составе телемедицинских систем для удаленного мониторинга общего состояния здоровья пациентов в режиме реального времени

И. В. Поспелова[✉], И. В. Черепанова, Д. С. Брагин, В. Н. Серебрякова

Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, Томск, Россия

[✉] pospelova.irina88@gmail.com

Аннотация

Введение. Одной из перспективных областей развития современной науки является разработка телемедицинских систем, направленных на удаленный мониторинг состояния здоровья пациентов. Особенно актуальным является использование таких систем для слежения за состоянием здоровья пациентов, перенесших хирургические вмешательства. Такие пациенты обладают подвижностью, в связи с этим датчики, измеряющие жизненные показатели, не должны доставлять дискомфорта при постоянном использовании. В качестве таких датчиков возможно использовать носимые смарт-трекеры.

Цель работы. Изучить возможность использования смарт-трекеров в составе телемедицинской системы мониторинга состояния здоровья пациента.

Материалы и методы. В рамках исследования на базе смарт-браслетов модели GSMIN WR 41 проводится серия измерений для оценки точности определения пульса, давления и сатурации на разных испытуемых в состоянии покоя и при интенсивной физической нагрузке. Также определяется средний интервал выполнения измерений смарт-браслетом и исследуется функционирование смарт-браслета в составе телемедицинской системы мониторинга жизненных показателей.

Результаты. Исследования демонстрируют, что погрешность измерения показателей здоровья пациента смарт-браслетом, за исключением систолического давления, в среднем не превышает 10 %. Для корректировки высокой погрешности измерения систолического давления разработан алгоритм оценки общего состояния здоровья пациента. Также выяснилось, что смарт-браслет способен регистрировать резкое изменение показателей жизнедеятельности пациента, а среднее время измерения и передачи показаний на сервер в составе телемедицинской системы составляет в среднем 45 с.

Заключение. Анализируя результаты проведенных исследований, можно заключить, что смарт-браслеты возможно использовать для удаленного мониторинга текущего состояния здоровья пациента в режиме реального времени. Подтверждением данных выводов служит телемедицинская система, разработанная на базе исследуемых смарт-браслетов.

Ключевые слова: система локального позиционирования, телемедицина, смарт-трекеры, Bluetooth Low Energy, удаленный непрерывный мониторинг

Для цитирования: Оценка возможности применения смарт-трекеров в составе телемедицинских систем для удаленного мониторинга общего состояния здоровья пациентов в режиме реального времени / И. В. Поспелова, И. В. Черепанова, Д. С. Брагин, В. Н. Серебрякова // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2021. Т. 24, № 6. С. 71–83. doi: 10.32603/1993-8985-2021-24-6-71-83

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 27.08.2021; принята к публикации после рецензирования 19.10.2021; опубликована онлайн 29.12.2021



Feasibility Assessment of Using Smart Trackers in Telemedicine Systems to Remotely Monitor the Overall Health of Patients in Real-Time

Irina V. Pospelova[✉], Irina V. Cherepanova, Dmitriy S. Bragin, Victoria N. Serebryakova

Cardiology Research Institute, Tomsk National Research
Medical Center, Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

✉ pospelova.irina88@gmail.com

Abstract

Introduction. The development of telemedicine systems intended to remotely monitor the health status of patients constitutes one of the most promising areas of contemporary science. Particularly relevant is the use of such systems to track the health of surgically treated patients. Since such patients are mobile, sensors measuring vital signs should not cause any discomfort in regular use. Thus, wearable smart trackers can be used for these purposes.

Aim. The paper aims to study the possibility of using smart trackers in a telemedicine system for monitoring patient health.

Materials and methods. In the study, a series of measurements was performed using GSMIN WR 41 smart bracelets in order to estimate their accuracy when measuring pulse, blood pressure, and oxygen saturation for different research subjects at rest and during intense physical exercises. In addition, the average measurement interval of the smart bracelet was determined; the operation of the smart bracelet in the telemedicine system for monitoring vital signs was considered.

Results. The studies show that an average error in the measurement of vital signs (except for systolic pressure) using the smart bracelet does not exceed 10 %. In order to avoid the high error in measuring systolic pressure, an algorithm for assessing the general health of patients was developed. In addition, it is shown that the smart bracelet can detect an abrupt change in the vital signs of patients, with the average time of their measurement and data transmission to the server of the telemedicine system coming to 45 seconds.

Conclusion. The study results indicate that smart bracelets can be used to remotely monitor the health of patients in real-time. These findings are confirmed by the telemedicine system designed on the basis of the smart bracelets considered in the paper.

Keywords: indoor-positioning system, telemedicine, smart trackers, Bluetooth Low Energy, remote continuous monitoring

For citation: Pospelova I. V., Cherepanova I. V., Bragin D. S., Serebryakova V. N. Feasibility Assessment of Using Smart Trackers in Telemedicine Systems to Remotely Monitor the Overall Health of Patients in Real-Time. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2021, vol. 24, no. 6. pp. 71–83. doi: 10.32603/1993-8985-2021-24-6-71-83

Conflict of interest. The authors declare that there are no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Submitted 27.08.2021; accepted 19.10.2021; published online 29.12.2021

Введение. Научно-технический прогресс способствует развитию инновационных технологий, в том числе технологий, направленных на профилактику, диагностику, лечение и реабилитацию сердечно-сосудистых заболеваний. Одним из наиболее перспективных направлений в этой области является разработка телемедицинских систем, позволяющих осуществлять удаленный мониторинг жизненных показателей пациента.

Особенно актуально использование такого рода систем для удаленного непрерывного мониторинга состояния пациентов, перенесших хирургические вмешательства (например, аортокоронарное шунтирование). Чаще всего после проведения таких операций пациенты способны самостоятельно перемещаться по зданию медицинского учреждения и не всегда способны объективно оценивать свое текущее состояние здоровья. В

случае наступления послеоперационных осложнений и резкого ухудшения жизненных показателей важно вовремя отследить этот факт и оказать пациенту экстренную медицинскую помощь.

Основная сложность, возникающая в процессе разработки систем удаленного мониторинга показателей жизнедеятельности пациентов, заключается в подборе измерительного оборудования. Такое оборудование должно обладать рядом характеристик:

- компактность и удобство в использовании;
- гигиеничность;
- энергоэффективность;
- поддержка беспроводных каналов передачи данных;
- высокая точность измерения;
- надежность.

Все носимые устройства, применяемые для непрерывного удаленного мониторинга за состоянием здоровья пациентов, можно разделить на две большие категории [1]:

- 1) неимплантируемые носимые устройства, примыкающие к телу человека;
- 2) устройства, имплантируемые непосредственно в тело человека.

К неимплантируемым устройствам можно отнести:

– одежду на основе электронного текстиля [1–3]. Технология позволяет отслеживать электрокардиограмму (ЭКГ), температуру тела, частоту сердечных сокращений (ЧСС) и частоту дыхания. При внедрении в электронный текстиль биосенсоров технология позволяет анализировать состав биологических жидкостей пациента [3];

– смарт-трекеры, представляющие собой различные носимые устройства (браслеты, клипсы, очки, линзы и т. д.) [3–8]. Данная категория устройств позволяет следить за такими параметрами жизнедеятельности, как ЧСС, артериальное давление (АД), сатурация, уровень повседневной активности, фазы сна и т. д. [3–8]. При наличии биосенсоров в составе устройства становится возможным анализировать состав биологических жидкостей пациента [3];

– электронные патчи (или электронные пластыри) [7, 8], представляющие собой систему датчиков на гибкой клейкой основе, которая крепится на тело пациента и считывает его жизненные показатели (ЧСС, АД, температуру тела, частоту дыхания, уровень повседневной активности и сатурацию). Электронные патчи также могут оснащаться биосенсорами для анализа био-

химического состава телесных жидкостей пациента [3, 4, 6, 9, 10].

К имплантируемым устройствам можно отнести:

– электронные татуировки, наносимые непосредственно на кожу пациента, как и обычная татуировка. Чернила для электронных татуировок содержат беспроводные графеновые наносенсоры, не требующие источника питания, и позволяют отслеживать ЭКГ, электроэнцефалографию (ЭЭГ), электромиографию (ЭМГ), температуру тела и АД [1, 3]. При использовании биосенсоров в составе чернил умные татуировки также способны анализировать состав телесных жидкостей пациента;

– электронные таблетки с обратной связью, которые представляют собой датчики, помещаемые в специальную капсулу и имеющие вид обычной таблетки [3]. При проглатывании датчика капсула растворяется, а сам датчик анализирует состав желудочного сока и передает эту информацию на устройство сбора данных;

– растворимые имплантируемые датчики, которые чаще всего применяются для обследования пациентов или для выполнения лечебных процедур и по истечении заданного времени растворяются в организме человека [3];

– датчики и устройства, имплантируемые в тело человека на постоянной основе. К таким устройствам можно отнести кардиостимуляторы, мозговые имплантаты и пр.

На базе вышеперечисленных устройств возможна разработка телемедицинских систем для удаленного непрерывного мониторинга состояния здоровья пациентов [11–15]. Зачастую такие системы сложны в реализации и требуют изготовления собственных медицинских датчиков [12, 13]. Системы, обладающие высокой точностью измерений, используют сеть из нескольких датчиков. При этом часть датчиков может быть имплантирована непосредственно в тело пациента, тем самым доставляя ему неудобства и ограничивая его подвижность [11]. Также использование сети датчиков снижает надежность системы и осложняет процесс организации сбора и анализа данных. При выходе из строя или потере одного из датчиков возможно снижение точности измерений либо прекращение функционирования всей системы в целом.

Использование смарт-трекеров в качестве датчиков системы мониторинга здоровья пациентов является одним из наиболее удачных решений. Современные смарт-трекеры способны одновременно измерять несколько параметров здоровья человека

с приемлемой точностью (в частности, пульс, АД и сатурацию) и передавать эти данные по беспроводному каналу связи. Смарт-трекеры широко представлены на рынке и имеют оптимальное соотношение цены и качества, поэтому на их базе можно создавать гибкие и легко масштабируемые телемедицинские системы. При анализе научных источников почти не встречается статей, описывающих использование смарт-трекеров в качестве датчиков телемедицинских систем. Тем не менее в исследовании, описанном в [16], утверждается, что возможно использовать смарт-трекеры в качестве датчиков в составе систем непрерывного мониторинга здоровья пациентов.

Целью данной статьи является оценка возможности применения смарт-трекеров в составе телемедицинской системы, позволяющей осуществлять непрерывный мониторинг здоровья и местоположения пациентов, находящихся в здании клиники.

Методы. *Архитектура системы.* Система, представленная в данной статье, имеет четырехуровневую архитектуру (рис. 1):

- первый уровень включает в себя измерительное и коммуникационное оборудование. В качестве измерительного оборудования (токенов) используются смарт-трекеры с функцией измерения пульса, давления и сатурации, поддерживающие передачу данных по интерфейсу BLE. Коммуникационное оборудование представляет собой приемопередающие устройства на базе стека протоколов BLE, именуемые якорями. Якоря размещаются по периметру здания, и их местоположение заранее известно системе;

- на втором уровне располагаются шлюзы BLE/Ethernet, позволяющие объединять беспроводные датчики с проводной сетью системы;

- на третьем уровне находятся сервер и база данных (БД) системы. Сервер собирает данные с беспроводных датчиков системы и вычисляет текущее местоположение токена, а также текущий статус здоровья пациента, носящего этот токен. БД хранит в себе данные, необходимые для корректного функционирования системы (перечень токенов и якорей, координаты якорей и т. д.);

- четвертый уровень включает в себя автоматизированные рабочие места (АРМ) операторов системы. Основная функция АРМ – визуализация данных о позиционировании и показаниях жизнедеятельности пациентов, зарегистрированных в системе, а также оповещение оператора о возникновении критических ситуаций. Система, представленная в данной статье, предусматривает два

типа АРМ: настольный (Desktop) и мобильный (Mobile). Настольная версия АРМ функционирует на персональных компьютерах под управлением настольных операционных систем (Windows, Linux, BSD). Мобильная версия АРМ функционирует на устройствах под управлением операционной системы Android.

Используемое оборудование. В качестве токенов в системе используются смарт-браслеты. Выбор смарт-браслетов в качестве токенов системы обусловлен рядом факторов:

- обладают более низкой стоимостью по сравнению с другими типами смарт-трекеров;

- являются более гигиеничными в отличие от других типов смарт-трекеров;

- относятся к наиболее распространенной категории смарт-оборудования. Вследствие этого на рынке представлен широкий выбор устройств и есть возможность подобрать устройство с оптимальным соотношением цены и качества, а также совместимое с ним коммуникационное оборудование.

Для разработки системы было решено использовать смарт-браслеты модели GSMIN WR41. Данная модель позволяет измерять такие жизненные показатели, как пульс, АД и сатурацию, а также поддерживает передачу данных по интерфейсу BLE. Производитель заявляет, что погрешность измерения устройства находится в пределах 7%, что является допустимым для общей оценки

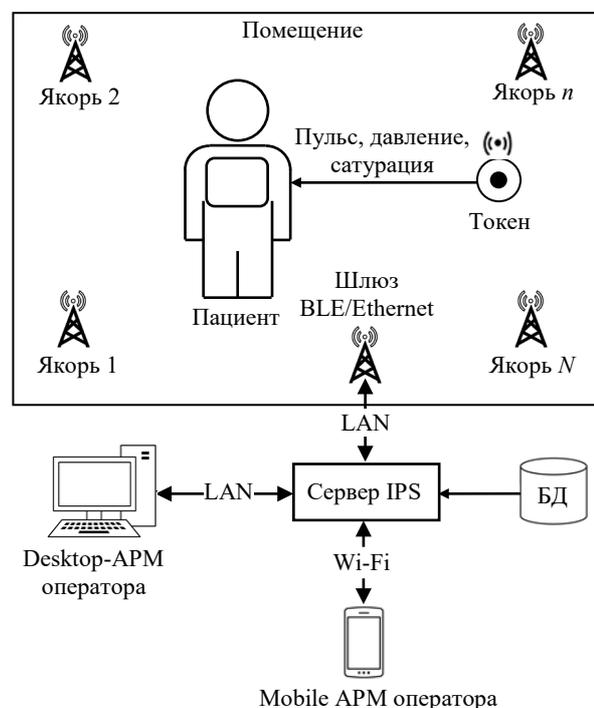


Рис. 1. Архитектура телемедицинской системы

Fig. 1. Architecture of the telemedicine system

текущего состояния пациента. Замеры жизненных показателей можно выполнять как посредством самого браслета, так и удаленно. При разработке системы авторские права производителя устройства не были нарушены. Технические характеристики устройства представлены в табл. 1 [17].

Табл. 1. Технические характеристики браслета GSMIN WR41

Table 1. Technical specification of the GSMIN WR41 smart bracelet

Характеристика	Значение
Поддержка (CPU)	Nordic 51822
Емкость аккумулятора, мА·ч	80
Время заряда аккумулятора, мин	90
Время работы без подзарядки аккумулятора	До 7 дней
Поддержка спецификации BLE	Да
Модель микросхемы для обмена данными по интерфейсу BLE	Nordic 51822
Влагозащита	IP67
Размеры, мм	245×24×11.6
Масса, г	23
Наличие дисплея	Да

Табл. 2. Технические характеристики микросхемы nRF52840

Table 2. Technical specification of the nRF52840 microcircuit

Характеристика	Значение
Поддержка спецификации BLE	Да
Поддерживаемые аппаратные интерфейсы	GPIO, UART, USB
Поддерживаемая скорость передачи данных по интерфейсу BLE	2 Мбит/с, 1 Мбит/с, 125 Кбит/с
Процессор (CPU)	ARM Cortex-M4 32-бит, 64 МГц
Оперативная память	1 Мб
Поддержка параллельной мультипротокольной работы	Да
Количество счетчиков реального времени	3

Выбор коммуникационного оборудования для разработки якорей системы напрямую зависит от BLE-микросхемы, используемой в смарт-браслете. Согласно табл. 1 браслет WR41 использует для связи по интерфейсу BLE микросхему Nordic 51822 от компании Nordic Semiconductor. Проанализировав ассортимент продукции данной компании, в качестве базовой станции решили выбрать мультипротокольную микросхему nRF52840. Согласно информации производителя [17] данная микросхема предназначена для взаимодействия с носимыми устройствами (такими как смарт-часы, смарт-браслеты, устройства бесконтактной оплаты и пр.), а также для мониторинга здоровья и для решений в области интернета вещей. Технические характеристики микросхемы представлены в табл. 2.

Исследование точности измерений смарт-трекером показателей жизнедеятельности. В процессе исследования применимости токенов в составе телемедицинской системы было решено выполнить две серии тестовых измерений на разных испытуемых. Первый эксперимент позволил оценить точность измерений, выполняемых токенами системы, а второй – способность токенов фиксировать резкие изменения измеряемых жизненных показателей. Все испытуемые были разделены на две группы:

1) пациенты кардиологической клиники в возрасте 40–75 лет – в испытании участвовало 20 человек;

2) условно здоровые добровольцы в возрасте 20–35 лет – в испытании участвовало 25 человек.

Измерения в ходе проведения испытаний выполнялись двумя способами с использованием:

- медицинского тонометра и пульсоксиметра;
- токенов в составе разработанной телемедицинской системы.

При оценке точности измерений, выполняемых токенами, испытуемые из каждой группы находились в состоянии покоя. Каждый медицинский показатель для каждого испытуемого измерялся по 10 раз.

При оценке способности токенов фиксировать резкие изменения измеряемых жизненных показателей испытуемым предлагалось выполнить ряд интенсивных физических упражнений: пациентам кардиологической клиники – 10 приседаний, условно здоровым испытуемым – спуск и подъем по лестнице с первого по седьмой этаж. В процессе эксперимента каждый жизненный

показатель каждого испытуемого измерялся следующим образом:

- в состоянии покоя посредством медицинского оборудования;
- в состоянии покоя посредством токенов в составе разработанной системы;
- после выполнения физической нагрузки посредством медицинского оборудования;
- после выполнения физической нагрузки посредством токенов в составе разработанной системы.

Исследование периодичности опроса смарт-браслетов в составе системы. Для того чтобы оценить возможность обмена данными между токеном и другими уровнями системы в режиме реального времени, необходимо опытным путем определить временной интервал, в течение которого происходит измерение жизненных показателей пациента и их последующая передача в сеть. Для этого было разработано программное обеспе-

чение, позволяющее отслеживать сбор и передачу измеренных токеном показателей жизнедеятельности. Приложение отслеживало значения передаваемых показателей и время передачи этих показателей на протяжении 10 ч и записывало полученные данные в файл текстового формата.

Алгоритм оценки жизненных показателей пациента. Так как измерение пульса, давления и сатурации пациента посредством смарт-браслета выполняется с погрешностью, оценка общего текущего состояния пациента на основе анализа значения каждого из показателей в отдельности является неточной, что может привести к ложным срабатываниям системы. Для повышения точности оценки текущего состояния пациента и уменьшения количества ложных срабатываний предлагается анализировать все измеренные показатели жизнедеятельности в совокупности. Алгоритм анализа показателей жизнедеятельности можно разделить на две части: алгоритм сервер-

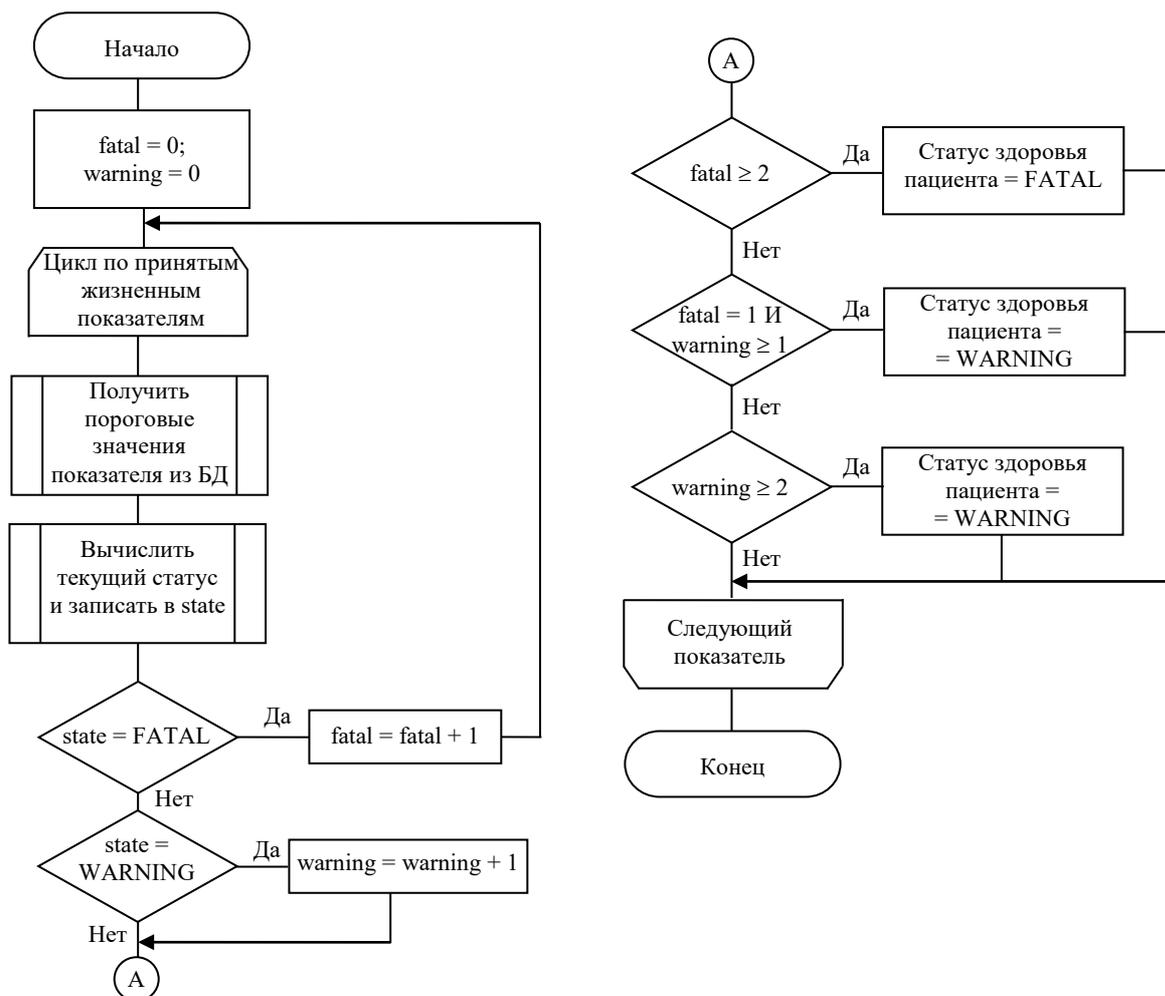


Рис. 2. Алгоритм оценки общего состояния здоровья пациента для серверной части системы

Fig. 2. Algorithm for assessing the general health of patients for the server side of the telemedicine system

ной части и алгоритм клиентской части. Блок-схема алгоритма оценки общего состояния здоровья пациента для серверной части системы представлена на рис. 2.

Система, описанная в данной статье, предполагает, что статус отдельного показателя и общего состояния здоровья пациента может принимать одно из трех значений:

NORMAL – значение показателя находится в пределах нормы;

WARNING – значение показателя на границе нормы;

FATAL – значение показателя является критическим.

В алгоритме (см. рис. 2) предусмотрены два счетчика: *fatal* и *warning*, которые подсчитывают количество показателей со статусом FATAL и WARNING соответственно. Измерения, получаемые серверной частью системы от каждого токена, представляют собой набор значений, который включает в себя текущие показания пульса, сатурации, систолического и диастолического давления. Пороговые значения для оценки каждого из показателей не являются универсальными и отличаются в зависимости от особенностей конкретного пациента (его пола, возраста, наличия сопутствующих заболеваний и т. д.). Установка пороговых значений для того или иного пациента осуществляется медицинским работником и записывается в соответствующие таблицы БД системы. При получении медицинских измерений от каждого токена сервер выполняет пошаговую обработку каждого принятого жизненного показателя. Сервер запрашивает у БД пороговые значения для текущего показателя текущего токена и определяет его текущий статус. Если статус показателя принимает значение FATAL, то счетчик *fatal* увеличивается на единицу. Если статус показателя принимает значение WARNING, то счетчик *warning* увеличивается на единицу. Если статус FATAL определен у двух и более принятых показателей, сервер определяет текущий статус здоровья пациента как FATAL. В случае когда при получении показателей один принимает значение FATAL, а второй – WARNING, сервер определяет текущий статус здоровья пациента как WARNING. Если два и более показателей имеют значение WARNING, сервер также определяет текущий статус здоровья пациента как WARNING. Определив текущий статус здо-

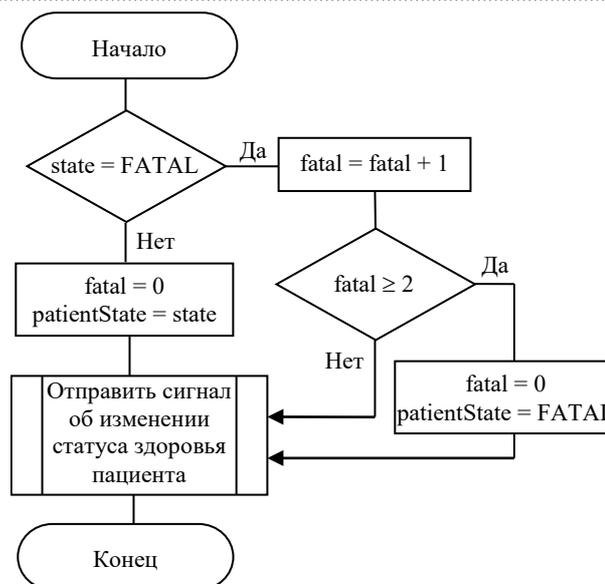


Рис. 3. Алгоритм оценки общего состояния здоровья пациента для клиентской части телемедицинской системы

Fig. 3. Algorithm for assessing the general health of patients for the client side of the telemedicine system

ровья пациента, сервер отправляет его вместе с результатами измерений на АРМ оператора, где полученные данные обрабатываются согласно алгоритму, представленному на рис. 3.

При приеме данных о жизненных показателях пациента АРМ оператора проверяет статус здоровья пациента, определенный сервером. Если сервер дважды определил статус здоровья пациента как FATAL, то АРМ считает, что текущее состояние пациента является критическим и отправляет соответствующий сигнал оператору системы. В противном случае АРМ изменяет текущий статус здоровья пациента на тот, который пришел от сервера системы.

Результаты. Оценка точности измерений показателей жизнедеятельности смарт-трекером. В табл. 3 представлены максимальная, минимальная и средняя погрешности измерения жизненных показателей смарт-браслетом для двух групп испытуемых, находящихся в состоянии покоя. Согласно данным, полученным в ходе проведения эксперимента, оказалось, что средняя погрешность измерения систолического давления для группы условно здоровых добровольцев составляет 19 %, а для группы пациентов кардиологической клиники – 18 %, что не соответствует заявлениям производителя устройства. Погрешность измерения пульса, сатурации и диастолического давления для обеих групп пациентов находится в пределах 7 %.

Табл. 3. Оценка погрешности измерений смарт-браслетом в состоянии покоя

Table 3. Measurement error of the smart bracelet at rest

Измеряемый показатель	Погрешность, %		
	мини-мальная	макси-мальная	средняя
<i>Условно здоровые добровольцы</i>			
Пульс	0.6	5.4	4
Систолическое давление	16	22	19
Диастолическое давление	1	4.4	4
Сатурация	0.2	0.9	0.7
<i>Пациенты кардиологической клиники</i>			
Пульс	1.7	3.3	1.6
Систолическое давление	15	21	18
Диастолическое давление	1.8	4.5	3.2
Сатурация	0.1	0.8	0.6

В процессе совершения испытуемыми интенсивной физической нагрузки смарт-браслет зафиксировал значительный рост пульса и давления, а также падение сатурации (табл. 4).

Оценка интервала опроса смарт-браслетов представлена в табл. 5. Как видно из табл. 5, средний интервал отклика браслета составляет 45 с и не превышает 64 с.

Результаты использования смарт-трекеров в составе телемедицинской системы. На базе проведенного исследования была разработана телемедицинская система, позволяющая отслеживать текущие показатели здоровья пациента, а также определять его текущее местоположение в здании клиники. Результаты обработки данных, полученных со смарт-браслета, отображаются на АРМ оператора (рис. 4).

Интерфейс АРМ оператора состоит из четырех окон (рис. 4, а):

– в окне "Пациенты" (1) отображается перечень пациентов, зарегистрированных в системе, а также их текущие жизненные показатели (пульс,

Табл. 4. Изменение показателей жизнедеятельности испытуемых в процессе совершения физической нагрузки

Table 4. Changes in the vital signs of the research subjects during physical activity

Измеряемый показатель	Погрешность, %		
	мини-мальная	макси-мальная	средняя
<i>Условно здоровые добровольцы</i>			
Пульс	6.17	6.17	6.17
Систолическое давление	52.12	52.12	52.12
Диастолическое давление	12.57	12.57	12.57
Сатурация	-0.25	-0.25	-0.25
<i>Пациенты кардиологической клиники</i>			
Пульс	12.47	12.47	12.47
Систолическое давление	54.53	54.53	54.53
Диастолическое давление	13.48	13.48	13.48
Сатурация	-1.54	-1.54	-1.54

Табл. 5. Оценка интервала опроса смарт-браслета

Table 5. Polling interval of the smart bracelet

Интервал отклика, с		
максимальный	минимальный	средний
64	1	45

сатурация, систолическое и диастолическое давление);

– в окне "Помещения" (2) отображается дерево помещений, охватываемых системой;

– в окне "Карта здания" (3) отображается план текущего этажа здания с указанием текущего местоположения выбранного пациента. Переход на план другого этажа можно сделать через окно "Помещения". В настоящее время система тестируется в рамках одной лаборатории, состоящей из четырех помещений;

– в окне "Оповещения" (4) отображаются сообщения о событиях, происходящих в процессе функционирования системы.

В рамках АРМ оператора реализована цветовая индикация. Так, зеленый цвет графиков жизненных показателей на панели "Пациенты" и

обозначение пациента на карте означает, что состояние здоровья пациента находится в пределах нормы. Сообщения информационного характера

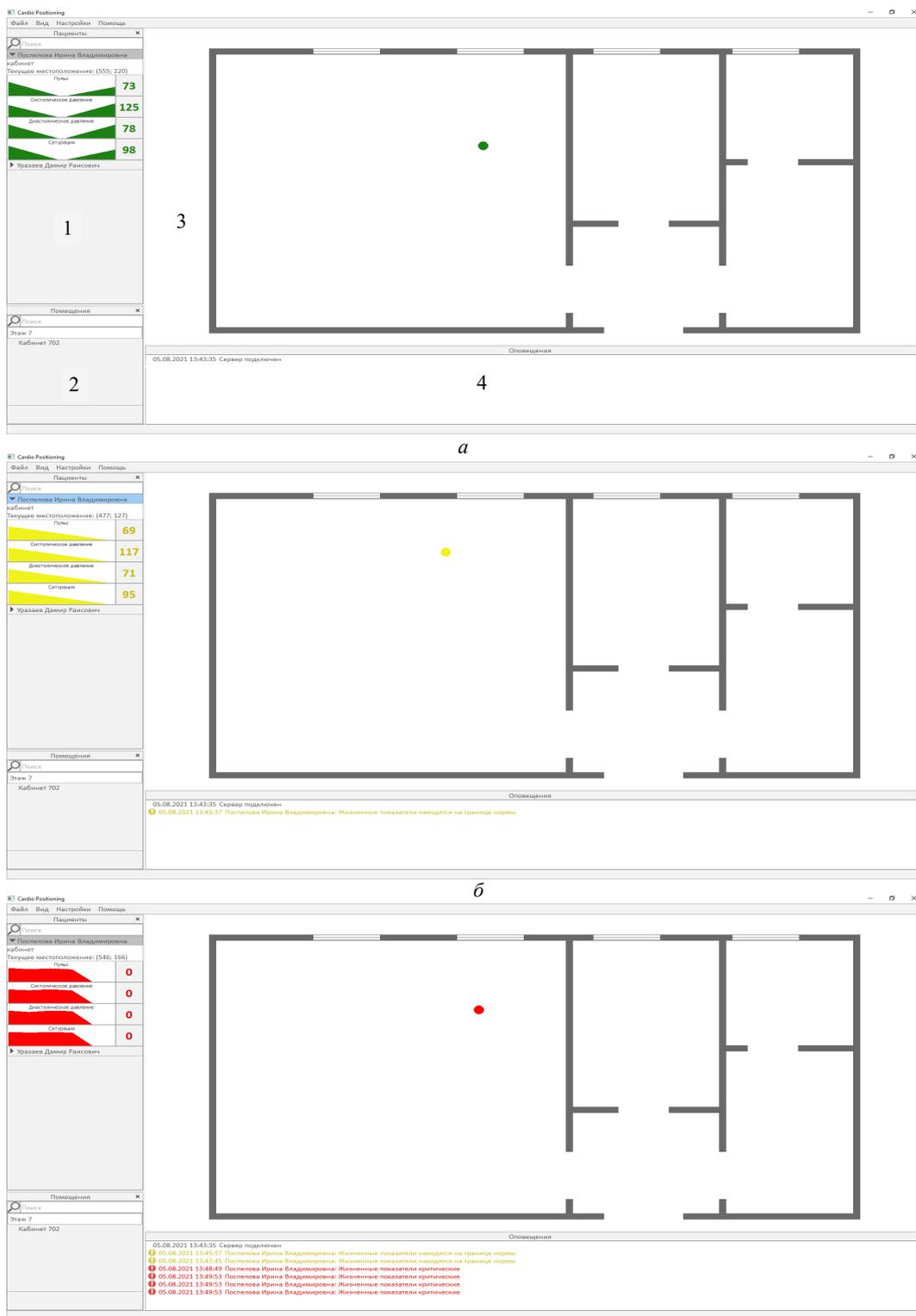


Рис. 4. АРМ оператора: а – при нормальных жизненных показателях пациента; б – при жизненных показателях пациента на границе нормы; в – при критических жизненных показателях пациента

Fig. 4. Operator workstation: a – normal vital signs; б – vital signs bordering the normal range; в – critical vital signs

на панели "Оповещения" окрашены в черный цвет (рис. 4, а). Если жизненные показатели пациента находятся на границе нормы, то его показатели и обозначение на карте окрашиваются в желтый цвет, а в окно "Оповещения" выводится сообщение предупреждающего характера, также окрашенное желтым (рис. 4, б). Если состояние здоровья пациента является критическим, то его показатели в окне "Пациенты" и обозначение на карте окрашиваются в красный цвет, а в окно "Оповещения" выводится соответствующее сообщение, окрашенное красным (рис. 4, в).

Несмотря на использование алгоритма, позволяющего снизить количество ложных срабатываний системы, они все же происходят. Это зачастую связано со смещением токена пациентом в процессе использования в сторону участков тела с меньшим количеством кровеносных сосудов. При тестировании системы периодичность возникновения ложных срабатываний для одного пациента составила в среднем один раз в 5 ч.

Обсуждение. В результате проведенных экспериментов было выявлено, что погрешность измерений исследуемых смарт-браслетов не превышает 10 % (за исключением систолического давления), что находится в допустимых пределах для оценки общего состояния здоровья пациента. Также выяснилось, что смарт-браслеты способны фиксировать резкое изменение жизненных показателей пациента. Интервал между измерениями составляет в среднем 45 с, что позволяет использовать браслеты для непрерывного мониторинга здоровья пациентов в режиме реального времени. Для того чтобы уменьшить влияние большой погрешности измерения систолического давления на результаты оценки текущего состояния здоровья пациента и уменьшить количество ложных срабатываний системы, был разработан алгоритм, учитывающий значение всех жизненных показателей, измеряемых смарт-браслетом. Несмотря на использование данного алгоритма, ложные срабатывания все же случаются. Средняя периодичность ложных срабатываний системы для одного пациента составляет один раз в 5 ч.

На базе рассмотренного смарт-браслета была разработана телемедицинская система, выполня-

ющая функции непрерывного мониторинга за текущим состоянием здоровья и текущим местоположением пациентов в здании клиники. АРМ оператора системы позволяет просматривать значения показателей здоровья по каждому из пациентов, зарегистрированных в системе, а также следить за их перемещениями посредством интерактивной карты, входящей в состав графического интерфейса приложения. Каждый из пациентов, отображаемых в АРМ, имеет цветовую индикацию, которая зависит от текущего состояния его жизненных показателей. Все события, происходящие в системе, отображаются в АРМ на панели оповещений. Все оповещения, отображаемые в АРМ, также обладают цветовой индикацией в зависимости от характера события, наступившего в системе.

Выводы. Результаты проведенного исследования показывают, что смарт-браслеты способны фиксировать резкое изменение пульса, АД и сатурации. Скорость проведения измерений и их последующая передача по беспроводной сети позволяют отслеживать общее состояние здоровья пациента в режиме реального времени. Смарт-браслеты способны измерять показатели жизнедеятельности пациента с достаточно высокой точностью (не превышающей 10 %). В случаях когда погрешность измерения одного из отслеживаемых параметров превышает допустимое значение, результирующую оценку состояния здоровья можно скорректировать посредством алгоритмической обработки данных с целью уменьшения количества ложных срабатываний системы. Тем не менее ложные срабатывания периодически случаются, поэтому в будущем планируется сократить вероятность их возникновения путем улучшения алгоритмической обработки данных. В целом результаты исследования показали, что смарт-браслеты позволяют оценивать общее текущее состояние здоровья пациента, а следовательно, они могут применяться в составе различных телемедицинских систем. Практическим подтверждением данных выводов является телемедицинская система, разработанная на базе исследуемых браслетов и описанная в данной статье.

Авторский вклад

Поспелова Ирина Владимировна – аннотация, введение, подбор литературы.

Черепанова Ирина Владимировна – материалы и методы.

Брагин Дмитрий Сергеевич – результаты, обсуждение.

Серебрякова Виктория Николаевна – введение, заключение.

Author's contribution

Irina V. Pospelova, abstract, introduction, selection of literature sources.

Irina V. Cherepanova, materials and methods.

Dmitriy S. Bragin, results, discussion.

Victoria N. Serebryakova, introduction, conclusion.

Список литературы

1. Advances in healthcare wearable devices / Sh. M. A. Iqbal, I. Mahgoub, E. Du, M. A. Leavitt, W. Asghar // npj Flexible Electronics. 2021. Vol. 5, № 1. P. 1–14. doi: 10.1038/s41528-021-00107-x
2. De Fazio R., De Vittorio M., Visconti P. Innovative IoT Solutions and Wearable Sensing Systems for Monitoring Human Biophysical Parameters: A Review // Electronics. 2021. Vol. 10, № 14. P. 1660. doi: 10.3390/electronics10141660
3. Evolution of wearable devices with real-time disease monitoring for personalized healthcare / K. Guk, G. Han, Ja. Lim, K. Jeong, Taejoon Kang, Eu. Lim, Ju. Jung // Nanomaterials. 2019. Vol. 9, № 6. P. 813. doi: 10.3390/nano9060813
4. Khan S., Alam M. Wearable Internet of Things for Personalized Healthcare: Study of Trends and Latent Research // Health Informatics: A Computational Perspective in Healthcare. Singapore: Springer, 2021. P. 43–60. doi: 10.1007/978-981-15-9735-0_3
5. Massoomi M. R., Handberg E. M. Increasing and evolving role of smart devices in modern medicine // European Cardiology Review. 2019. Vol. 14, № 3. P. 181–186. doi: 10.15420/ecr.2019.02
6. Emerging telemedicine tools for remote COVID-19 diagnosis, monitoring, and management / L. Heather, Changhao Xu, You Yu, Wei Gao // ACS Nano. 2020. Vol. 14, № 12. P. 16180–16193. doi: 10.1021/acsnano.0c08494
7. Tamura T. Current progress of photoplethysmography and SPO2 for health monitoring // Biomedical engineering lett. 2019. Vol. 9, № 1. P. 21–36. doi: 10.1007/s13534-019-00097-w
8. Ding X., Zhang Y. T. Pulse transit time technique for cuffless unobtrusive blood pressure measurement: from theory to algorithm // Biomedical engineering lett. 2019. Vol. 9, № 1. P. 37–52. doi: 10.1007/s13534-019-00096-x
9. Liu X., Wei Y., Qiu Y. Advanced Flexible Skin-Like Pressure and Strain Sensors for Human Health Monitoring // Micromachines. 2021. Vol. 12, № 6. P. 695. doi: 10.3390/mi12060695
10. Advanced electronic skin devices for healthcare applications / Zh. Ma, Sh. Li, H. Wang, Wen Cheng, Yu. Li, L. Pan, Yi Shi // J. of Materials Chemistry B. 2019. Vol. 7, № 2. P. 173–197. doi: 10.1039/C8TB02862A
11. Jijesh J. J., Shivashankar & Keshavamurthy A Supervised Learning Based Decision Support System for Multi-Sensor Healthcare Data from Wireless Body Sensor Networks // Wireless Personal Communications. 2021. Vol. 116, № 3. P. 1795–1813. doi: 10.1007/s11277-020-07762-9
12. On Architecture of Self-Sustainable Wearable Sensor Node for IoT Healthcare Applications / S. Mohsen, A. Zekry, K. Y. Youssef, M. Abouelatta-Ebrahim // Wireless Personal Communications. 2021. Vol. 119, № 5. P. 1–15. doi: 10.1007/s11277-021-08229-1
13. Self-sustainable smart ring for long-term monitoring of blood oxygenation / M. Magno, G. A. Salvatore, P. Jokicet, L. Benini // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 115400–115408. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2928055
14. Patient Monitoring System with Miniaturization of Sensors / S. Geetha, Shilpa Pande, P. Deepalakshmi, R. Sheetal // International J. of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). 2019. Vol. 9, iss. IS4. P. 495–501. doi: 10.35940/ijeat.A1111.12915419
15. Радиочастотные технологии локального позиционирования в здравоохранении / Д. С. Брагин, И. В. Поспелова, И. В. Черепанова, В. Н. Серебрякова // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2020. Т. 23, № 3. С. 62–79. doi: 10.32603/1993-8985-2020-23-3-62-79
16. Quévat A., Heinze A. The digital transformation of preventive telemedicine in France based on the use of connected wearable devices // Global Business and Organizational Excellence. 2020. Vol. 39, № 6. P. 17–27. doi: 10.1002/joe.22054
17. System-on-Chip nRF52840 // Nordic Semiconductor. URL: <https://www.nordicsemi.com/Products/nRF52840/GetStarted> (дата обращения 09.08.2021)

Информация об авторах

Поспелова Ирина Владимировна – инженер по специальности "Радиоэлектронные системы" (2012, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники), мл. науч. сотр. лаборатории регистров сердечно-сосудистых заболеваний, высокотехнологичных вмешательств и телемедицины Научно-исследовательского института кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра Российской академии наук. Автор 9 научных публикаций. Сфера научных интересов – связь, медицина. Адрес: Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, ул. Киевская, д. 111а, Томск, 634012, Россия
E-mail: pospelova.irina88@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-4215-285X>

Оценка возможности применения смарт-трекеров в составе телемедицинских систем для удаленного мониторинга общего состояния здоровья пациентов в режиме реального времени
Feasibility Assessment of Using Smart Trackers in Telemedicine Systems to Remotely Monitor the Overall Health of Patients in Real-Time

Черепанова Ирина Владимировна – инженер по специальности "Радиоэлектронные системы" (2012, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники), мл. науч. сотр. лаборатории регистров сердечно-сосудистых заболеваний, высокотехнологичных вмешательств и телемедицины Научно-исследовательского института кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра Российской академии наук. Сфера научных интересов – связь, медицина.

Адрес: Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, ул. Киевская, д. 111а, Томск, 634012, Россия

E-mail: iv-sushkova@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0002-6626-4979>

Брагин Дмитрий Сергеевич – инженер по специальности "Радиосвязь, радиовещание и телевидение" (2005, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники), мл. науч. сотр. лаборатории регистров сердечно-сосудистых заболеваний, высокотехнологичных вмешательств и телемедицины Научно-исследовательского института кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра Российской академии наук. Автор 6 научных публикаций. Сфера научных интересов – связь, медицина.

Адрес: Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, ул. Киевская, д. 111а, Томск, 634012, Россия

E-mail: braginds@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0002-0875-3301>

Серебрякова Виктория Николаевна – кандидат медицинских наук (2010), руководитель лаборатории регистров сердечно-сосудистых заболеваний, высокотехнологичных вмешательств и телемедицины Научно-исследовательского института кардиологии Томского национального исследовательского медицинского центра Российской академии наук. Автор более 80 научных работ. Сфера научных интересов – медицина, кардиология.

Адрес: Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук, ул. Киевская, д. 111а, Томск, 634012, Россия

E-mail: vsk75@yandex.ru

<http://orcid.org/0000-0002-9265-708X>

References

1. Iqbal Sh. M. A., Mahgoub I., Du E., Leavitt M. A., Asghar W. Advances in healthcare wearable devices. *Npj Flexible Electronics*. 2021, vol. 5, no. 1, pp. 1–14. doi: 10.1038/s41528-021-00107-x
2. De Fazio R., De Vittorio M., Visconti P. Innovative IoT Solutions and Wearable Sensing Systems for Monitoring Human Biophysical Parameters: A Review. *Electronics*. 2021, vol. 10, no. 14, pp. 1660. doi: 10.3390/electronics10141660
3. Guk K., Han G., Lim Ja., Jeong K., Taejoon Kang, Lim Eu., Jung Ju. Evolution of wearable devices with real-time disease monitoring for personalized healthcare. *Nanomaterials*. 2019, vol. 9, no. 6, pp. 813. doi: 10.3390/nano9060813
4. Khan S., Alam M. Wearable Internet of Things for Personalized Healthcare: Study of Trends and Latent Research. *Health Informatics: A Computational Perspective in Healthcare*. Singapore, Springer, 2021, pp. 43–60. doi: 10.1007/978-981-15-9735-0_3
5. Massoomi M. R., Handberg E. M. Increasing and evolving role of smart devices in modern medicine. *European Cardiology Review*. 2019, vol. 14, no. 3, pp. 181–186. doi: 10.15420/ecr.2019.02
6. Heather L., Changhao Xu, You Yu, Wei Gao. Emerging telemedicine tools for remote COVID-19 diagnosis, monitoring, and management. *ACS Nano*. 2020, vol. 14, no. 12, pp. 16180–16193. doi: 10.1021/acsnano.0c08494
7. Tamura T. Current progress of photoplethysmography and SPO2 for health monitoring. *Biomedical engineering letters*. 2019, vol. 9, no. 1, pp. 21–36. doi: 10.1007/s13534-019-00097-w
8. Ding X., Zhang Y. T. Pulse transit time technique for cuffless unobtrusive blood pressure measurement: from theory to algorithm. *Biomedical engineering letters*. 2019, vol. 9, no. 1, pp. 37–52. doi: 10.1007/s13534-019-00096-x
9. Liu X., Wei Y., Qiu Y. Advanced Flexible Skin-Like Pressure and Strain Sensors for Human Health Monitoring. *Micromachines*. 2021, vol. 12, no. 6, pp. 695. doi: 10.3390/mi12060695
10. Ma Zh., Li Sh., Wang H., Cheng Wen, Li Yu., Pan L., Shi Yi. Advanced electronic skin devices for healthcare applications. *J. of Materials Chemistry B*. 2019, vol. 7, no. 2, pp. 173–197. doi: 10.1039/C8TB02862A
11. Jijesh J. J., Shivashankar & Keshavamurthy. A Supervised Learning Based Decision Support System for Multi-Sensor Healthcare Data from Wireless Body Sensor Networks. *Wireless Personal Communications*. 2021, vol. 116, no. 3, pp. 1795–1813. doi: 10.1007/s11277-020-07762-9
12. Mohsen S., Zekry A., Youssef K. Y., Abouelatta-Ebrahim M. On Architecture of Self-Sustainable Wearable Sensor Node for IoT Healthcare Applications. *Wireless Per-*

sonal Communications. 2021, vol. 119, no. 5, pp. 1–15. doi: 10.1007/s11277-021-08229-1

13. Magno M., Salvatore G. A., Jokicet P., Benini L. Self-sustainable smart ring for long-term monitoring of blood oxygenation. IEEE Access. 2019, vol. 7, pp. 115400–115408. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2928055

14. Geetha S., Shilpa Pande, Deepalakshmi P., Sheetal R. Patient Monitoring System with Miniaturization of Sensors. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT). 2019, vol. 9, iss. IS4, pp. 495–501. doi: 10.35940/ijeat.A1111.12915419

15. Bragin D. S., Pospelova I. V., Cherepanova I. V.,

Serebryakova V. N. Radiofrequency Technologies of Local Positioning in Healthcare. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2020, vol. 23, no. 3. pp. 62–79. doi: 10.32603/1993-8985-2020-23-3-62-79

16. Quévat A., Heinze A. The digital transformation of preventive telemedicine in France based on the use of connected wearable devices. Global Business and Organizational Excellence. 2020, vol. 39, no. 6, pp. 17–27. doi: 10.1002/joe.22054

17. System-on-Chip nRF52840. Nordic Semiconductor. Available at: <https://www.nordicsemi.com/Products/nRF52840/GetStarted> (accessed 09.08.2021)

Information about the authors

Irina V. Pospelova, Engineer of Computer Software and Automated Systems (2016, National Research Tomsk Polytechnic University), Junior Researcher Scientist of the Laboratory of registries of cardiovascular diseases, high-tech interventions and telemedicine, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences. The author of 9 scientific publications. Area of expertise: communication, medicine. Address: Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences (Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC), 111a, Kievskaya St., Tomsk 634012, Russia
E-mail: pospelova.irina88@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-4215-285X>

Irina V. Cherepanova, Engineer of Electronic systems (2012, Tomsk state university of control systems and radioelectronics). Junior Researcher Scientist of the Laboratory of registries of cardiovascular diseases, high-tech interventions and telemedicine, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences. Area of expertise: communication, medicine. Address: Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences (Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC), 111a, Kievskaya St., Tomsk 634012, Russia
E-mail: iv-sushkova@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-6626-4979>

Dmitriy S. Bragin, Engineer of Radio, broadcasting and Television (2005, Tomsk state university of control systems and radioelectronics). Junior Researcher Scientist of the Laboratory of registries of cardiovascular diseases, high-tech interventions and telemedicine, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences. The author of 6 scientific publications. Area of expertise: communication, medicine. Address: Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences (Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC), 111a, Kievskaya St., Tomsk 634012, Russia
E-mail: braginds@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-0875-3301>

Victoria N. Serebryakova, PhD (2010), Head of the Laboratory of registries of cardiovascular diseases, high-tech interventions and telemedicine, Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences. The author of more than 80 scientific publications. Area of expertise: medicine, cardiology. Address: Cardiology Research Institute, Tomsk National Research Medical Center, Russian Academy of Sciences (Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC), 111a, Kievskaya St., Tomsk 634012, Russia
E-mail: vsk75@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-9265-708X>