

УДК 621.317.791

doi:10.21685/2307-5538-2021-1-10

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ БОЛЬНОГО COVID-19

В. А. Баранов¹, Е. А. Печерская², М. И. Сафронов³, О. А. Тимохина⁴

^{1,2,3,4} Пензенский государственный университет, г. Пенза, Россия

¹baranov_va2202@mail.ru, ²peal@list.ru, ³safronov.maxim@inbox.ru, ⁴timokhina.olga.14.12@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Актуальность применения телемедицинских технологий резко возросла в условиях пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19. В связи с высокой загруженностью стационаров Минздрав России рекомендовал регионам организовать медицинскую помощь с применением телемедицинских технологий пациентам с подтвержденным COVID-19 на дому. Существующие телемедицинские информационно-коммуникационные системы позволяют осуществлять только запись на прием к врачу в клинике, дистанционные консультации больного (вторичный прием) и не имеют в своем составе средств измерений для непрерывного дистанционного наблюдения (мониторинга) состояния больного. Это определяет актуальность задачи дополнения существующих телемедицинских информационно-коммуникационных систем персонализированной информационно-измерительной системой для мониторинга состояния больного. *Материалы и методы.* Информационно-измерительная система разработана в полном соответствии с требованиями последних руководящих документов Минздрава РФ и Временных методических рекомендаций по профилактике, диагностике и лечению новой коронавирусной инфекции COVID-19 (Версия 9, 26.10.2020). *Результаты.* Разработана информационно-измерительная система для телемедицинского мониторинга состояния больного COVID-19. В ее состав входят основные (измерения температуры тела, показателей гемодинамики и дыхания) и дополнительные (измерения систолического и диастолического артериального давления, гликемии и показателей электрической активности сердца) измерительные каналы. Основные каналы применяются для лечения COVID-19, дополнительные – при наличии у больного COVID-19 хронических заболеваний. Представлен возможный вариант реализации информационно-измерительной системы на основе имеющихся на рынке отечественных средств измерений. *Вывод.* Предложенная информационно-измерительная система, функционирующая в составе информационно-коммуникационной системы, обеспечивает телемедицинский мониторинг состояния больного COVID-19 в полном соответствии с последними руководящими документами Минздрава РФ и Временными методическими рекомендациями по профилактике, диагностике и лечению новой коронавирусной инфекции COVID-19.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, мониторинг, телемедицинские технологии, коронавирусная инфекция COVID-19, электрокардиография, пульсовая оксиметрия, гемодинамика, сатурация крови

Для цитирования: Баранов В. А., Печерская Е. А., Сафронов М. И., Тимохина О. А. Информационно-измерительная система для телемедицинского мониторинга состояния больного COVID-19 // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 1. С. 85–92. doi:10.21685/2307-5538-2021-1-10

INFORMATION-MEASURING SYSTEM FOR TELE-HEALTH MONITORING OF COVID-19 PATIENT'S CONDITION

V.A. Baranov¹, E.A. Pecherskaya², M.I. Safronov³, O.A. Timokhina⁴

^{1,2,3,4} Penza State University, Penza, Russia

¹baranov_va2202@mail.ru, ²peal@list.ru, ³safronov.maxim@inbox.ru, ⁴timokhina.olga.14.12@mail.ru

Abstract. *Background.* The relevance of the use of telemedicine technologies has increased sharply in the context of the pandemic of the new coronavirus infection COVID-19. Due to the high workload of hospitals, the Russian Ministry of Health recommended that the regions organize medical care using telemedicine technologies for patients with confirmed COVID-19 at home. Existing telemedicine information and communication systems only allow making an appointment with a doctor in a clinic, remote consultations of a patient (secondary appointment) and do not include measuring instruments for continuous remote observation (monitoring) of a patient's condition. This determines the

urgency of the task of supplementing the existing telemedicine information and communication systems with a personalized information and measuring system for monitoring the patient's condition. *Materials and methods.* The information-measuring system was developed in full compliance with the requirements of the latest guidelines of the Ministry of Health of the Russian Federation and the Temporary Guidelines for the Prevention, Diagnosis and Treatment of the New Coronavirus Infection COVID-19 (Version 9, 10/26/2020). *Results.* An information-measuring system for telemedicine monitoring of the patient's condition with COVID-19 has been developed. It includes the main (measurements of body temperature, hemodynamic and respiration indicators) and additional (measurements of systolic and diastolic blood pressure, glycemia and indicators of the electrical activity of the heart) measuring channels. The main channels are used to treat COVID-19, additional channels are used if a patient with COVID-19 has chronic diseases. A possible version of the information-measuring system implementation based on the domestic measuring instruments available on the market is presented. *Conclusion.* The proposed information and measurement system, functioning as part of the information and communication system, provides telemedicine monitoring of the patient's condition with COVID-19 in full compliance with the latest guidelines of the Ministry of Health of the Russian Federation and the Interim Guidelines for the Prevention, Diagnosis and Treatment of New Coronavirus Infection COVID-19.

Keywords: information-measuring system, monitoring, tele-health technologies, CoronaVirus Disease 2019, electrocardiography, pulse ox, hemodynamics, blood saturation

For citation: Baranov V.A., Pecherskaya E.A., Safronov M.I., Timokhina O.A. Information-measuring system for telehealth monitoring of COVID-19 patient's condition. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2021;1:85–92. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2021-1-10

Введение

Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья» ввел понятие «телемедицинские технологии» [1]. Телемедицинские технологии – информационные технологии, обеспечивающие дистанционное взаимодействие медицинских работников между собой, с пациентами и (или) их законными представителями, идентификацию и аутентификацию указанных лиц, документирование совершаемых ими действий при проведении консилиумов, консультаций, дистанционного медицинского наблюдения за состоянием здоровья пациента.

Телемедицинские технологии реализуются информационно-коммуникационными системами (ИКС) [2, 3]. Данные ИКС позволяют осуществлять только запись на прием к врачу в клинике, дистанционные консультации больного (вторичный прием) и не имеют в своем составе средств измерений для непрерывного дистанционного наблюдения (мониторинга) состояния больного. Необходимость применения телемедицинских технологий резко возросла в условиях пандемии новой коронавирусной инфекции COVID-19 (далее – COVID-19). В связи с высокой загруженностью стационаров Минздрав России рекомендовал регионам организовывать медицинскую помощь с применением телемедицинских технологий пациентам с подтвержденным COVID-19 на дому [4]. По сообщению Роспотребнадзора, опубликованному на портале «стопкоронавирус.рф», «длительность течения COVID-19 зависит от того, в какой форме проходит заболевание. Если болезнь протекает в легкой форме, продолжительность заболевания составляет около двух недель. Такие пациенты, как правило, не госпитализируются и лечатся амбулаторно».

Это определяет актуальность задачи дополнения существующих телемедицинских ИКС персонифицированной информационно-измерительной системой (ИИС) для мониторинга состояния больного.

Информационно-коммуникационная система для телемедицинского мониторинга больных COVID-19 на дому

ИКС для лечения на дому больных COVID-19 реализуется путем установки у каждого больного персонифицированной ИИС и подключения ее к имеющимся у больного средствам приема-передачи информации (СППрИ) через канал связи (КС). Структура ИКС для мониторинга состояния больных COVID-19 представлена на рис. 1.

В состав ИКС входят персонифицированный информационный канал (ПИК) больного N , подсистема приема информации и оценивания состояния больного N врачом и подсистема управления.

ПИК каждого больного включает в себя ИИС, СППрИ, КС. Подсистема приема информации и оценивания состояния N -го больного врачом состоит из персонального СППрИ врача и самого врача, формирующего оценку состояния N -го больного. Подсистема управления включает в себя персонифицированные каналы управления (ПКУ) лечением N -го больного, а также каналы управления (КУ) аптекой, участковым врачом, скорой медицинской помощью, формирующими группу объектов управления.

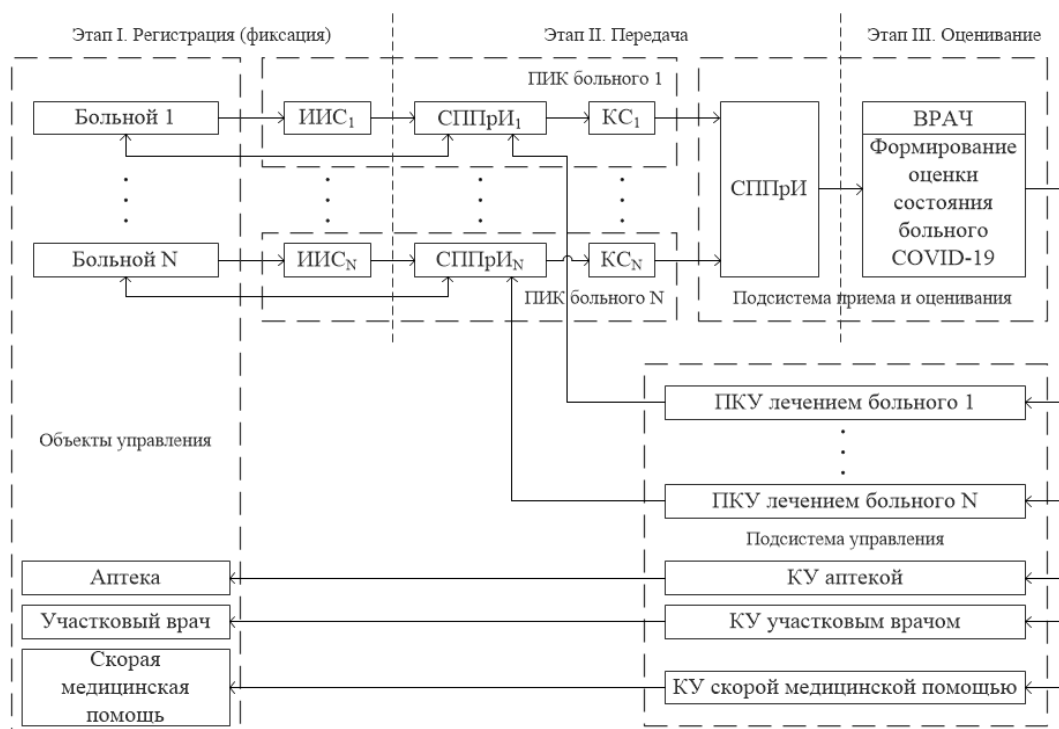


Рис. 1. Структура ИКС для мониторинга состояния больных COVID-19

В соответствии с ГОСТ Р 57757–2017 [5], дистанционный мониторинг состояния больного осуществляется в три этапа:

- 1-й этап – измерения и регистрация показателей;
- 2-й этап – передача информации;
- 3-й этап – оценка состояния больного врачом.

Первый этап реализуется ИИС. В соответствии с Временными методическими рекомендациями по профилактике, диагностике и лечению новой коронавирусной инфекции COVID-19 (Версия 9, 26.10.2020) [6] измеряемыми показателями больного являются температура тела, частота дыхательных движений, сатурация крови кислородом. Результаты измерений показателей регистрируются в памяти ИИС. Второй этап заключается в передаче зарегистрированной информации врачу по его запросу с помощью СППрИ через КС. Третий этап дистанционного мониторинга состоит в анализе врачом полученной информации и формировании оценки состояния больного. На основе полученной оценки врач принимает ряд управляющих решений. Среди них могут быть: рекомендации больному по корректировке процесса лечения, указание аптеке о выдаче больному лекарств в соответствии с электронным рецептом, указание участковому врачу о необходимости посещения больного. При необходимости срочной госпитализации врач дает соответствующее указание скорой медицинской помощи о необходимости транспортировать больного в стационар.

Информационно-измерительная система для телемедицинского мониторинга больных COVID-19 на дому

Главным компонентом информационного канала ИКС является ИИС. Структура системы представлена на рис. 2. Система содержит основные измерительные каналы (ОИК) (для всех больных) и дополнительные измерительные каналы (ДИК) (для особых групп больных).

В соответствии с ОИК являются каналы измерения температуры, показателей гемодинамики, показателей дыхания [6].



Рис. 2. Структура ИИС для мониторинга состояния больного COVID-19

Персонализация функций ИИС зависит от тяжести состояния больного COVID-19, отнесения его к одной или нескольким особым группам и осуществляется путем организации ДИК. Состав ДИК определяется врачом после первичного приема. Типичными ДИК могут быть канал измерения систолического и диастолического артериального давления (артериальная гипертензия), показателей электрической активности сердца (ЭАС) (сердечно-сосудистые заболевания), гликемии (сахарный диабет).

Каждый измерительный канал должен иметь:

- 1) беспроводной канал передачи измерительной информации подсистеме обработки измерительной информации по протоколу Bluetooth Low Energy на расстоянии до 10 м;
- 2) батарейное питание;
- 3) возможность закрепления на теле больного.

Метрологические характеристики ОИК и ДИК представлены в табл. 1 и 2 соответственно. Возможные варианты реализации измерительных каналов представлены в табл. 3.

Таблица 1

Метрологические характеристики основных измерительных каналов

Основной измерительный канал	Измеряемая величина	Диапазон измерений	Пределы допускаемой абсолютной погрешности результатов измерений
Канал измерения температуры	Температура t , °C	25–45	±0,1
Канал измерения показателей гемодинамики	Частота пульса ЧП, мин ⁻¹	30–250	±2
	Сатурация крови SpO ₂ , %	80–100 70–79	±2 ±3
Канал измерения частоты дыхательных движений	Частота дыхательных движений ЧДД, мин ⁻¹	10–60	±2

Таблица 2

Метрологические характеристики дополнительных измерительных каналов

Дополнительный измерительный канал	Измеряемая величина	Диапазон измерений	Характеристики точности
Канал измерения артериального давления	Систолическое артериальное давление САД, мм рт.ст.	20–290	Пределы допускаемой абсолютной погрешности результатов измерений: ± 3
	Диастолическое артериальное давление ДАД, мм рт.ст.	20–290	Пределы допускаемой абсолютной погрешности результатов измерений: ± 3
Канал измерения гликемии	Уровень глюкозы крови, ммоль/л	1,1–27,8	Коэффициент вариации результатов измерений: не более 4,0 %

Таблица 3

Возможные варианты реализации измерительных каналов

Основной измерительный канал	Прибор	Источник информации
Канал измерения температуры	Термометр медицинский RELSIB WT50	https://relsib.com/product/termometr-meditsinskij-tsifrovoj-elektronnyj-relsib-wt50
Канал измерения показателей гемодинамики	Пульсоксиметр MD300W запястный	https://choicemed.ru/catalog/pulsoksimetry/271/
Канал измерения частоты дыхательных движений	Импедансный измеритель частоты дыхательных движений	[8]
Канал измерения артериального давления	Суточный монитор артериального давления «Валента»	http://valenta.spb.ru/card.html?monitor_ad#/neighborhood1
Канал мониторинга электрической активности сердца	Монитор электрической активности сердца «Portable Cardioanalyzer»	[7]
Канал измерения гликемии	Монитор уровня глюкозы Abbott FreeStyle Libre	https://www.abbott.com

Размещение измерительных каналов на теле больного представлено на рис. 3.

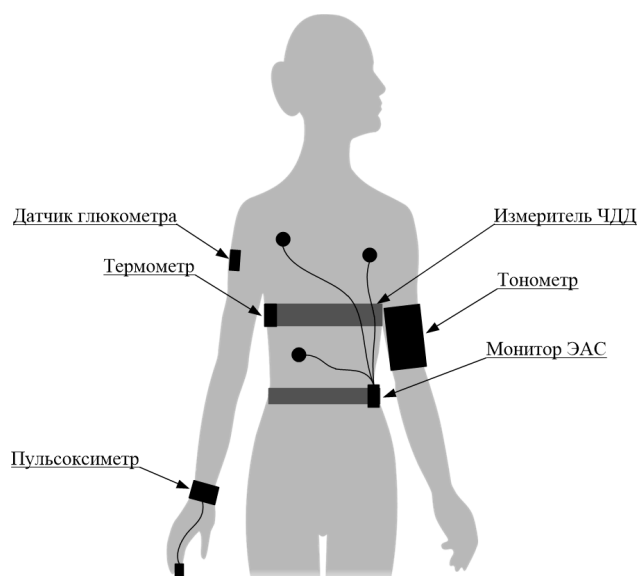


Рис. 3. Размещение измерительных каналов на теле больного

Для мониторинга ЧДД предпочтителен импедансный метод измерения. При измерении ЧДД импедансным методом канал состоит из первичного измерительного преобразователя (ПИП) импеданса Z_x , вторичного измерительного преобразователя (ВИП), аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и блока обработки измерительной информации (БОИИ). Датчик импеданса представляет собой плоский конденсатор, обе обкладки которого закрепляются на эластичном поясе на груди (рис. 3). Циклическое движение грудной клетки при дыхании вызывает циклическое изменение электрического импеданса датчика из-за изменений относительного положения обкладок конденсатора и относительной диэлектрической проницаемости грудной клетки.

В качестве ВИП целесообразно использовать преобразователь «модуль импеданса – напряжение постоянного тока» [8], структурная схема которого представлена на рис. 4.

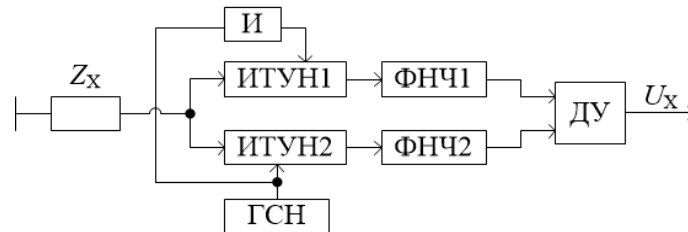


Рис. 4. Структурная схема ВИП

ВИП состоит из генератора синусоидального напряжения ГСН, инвертора И, управляемых напряжением источников тока ИТУН1 и ИТУН2, фильтров низких частот ФНЧ1 и ФНЧ2, дифференциального усилителя ДУ. Наличие в схеме двух ИТУН обеспечивает в отличие от аналогов гармоническое напряжение на датчике и позволяет формировать выходное напряжение в течение обоих полупериодов синусоидального напряжения, чем достигается предельная для данного класса преобразователей чувствительность.

Для реализации канала измерения частоты дыхания можно использовать любой мощный АЦП, имеющий 8–12 двоичных разрядов и частоту преобразования 0,5–1,0 кГц.

При заболевании COVID-19 у всех пациентов с сахарным диабетом наступает декомпенсация углеводного обмена, что требует непрерывного наблюдения за уровнем глюкозы крови для коррекции сахароснижающей терапии. Осуществить такой мониторинг позволяет монитор уровня глюкозы (см. табл. 3) Abbott FreeStyle Libre 3 компании Abbott Diabetes Care Ltd. Основой системы является одноразовый электрохимический датчик, конструктивно совмещенный с АЦП и беспроводным интерфейсом. Датчик вживляется под кожу и непрерывно функционирует в течение 14 дней. Измерения уровня глюкозы в межклеточной жидкости, зависящего от уровня глюкозы в крови, бесконтактно считываются специальным сканером. Сканер показывает не только значение в реальном времени, но и общее направление изменения уровня глюкозы на основании данных, фиксируемых каждые 15 мин в течение предшествующих 8 ч.

Канал мониторинга ЭАС может быть реализован на основе монитора ЭАС «Portable Cardioanalyzer», разработанного на кафедре «Информационно-измерительная техника и метрология» Пензенского государственного университета [7]. Мониторинг ЭАС осуществляется путем съема и регистрации электрокардиосигнала (ЭКС) в условиях свободной двигательной активности больного и передачи его лечащему врачу. Монитор ЭАС «Portable Cardioanalyzer» обладает следующими техническими характеристиками: 3 канала; частота дискретизации 500 Гц; однополярное питание 3,7 В. Габаритные размеры прибора: 100×50×30 мм. Масса прибора: не более 0,2 кг. Портативный кардиоанализатор выполняет следующие функции: регистрация ЭКС; запись ЭКС в файл; предварительная обработка ЭКС; анализ ЭКС; передача ЭКС по протоколу Bluetooth Low Energy.

Подсистема обработки измерительной информации в соответствии с работой [6] обеспечивает формирование экстренных сообщений в следующих случаях:

- 1) температура тела больного $\geq 38,5$ °С в течение 3 дней;
- 2) выполняются два из следующих критериев: $SpO_2 < 95$ %; $t \geq 38$ °С; ЧДД > 22 мин⁻¹;
- 3) САД < 90 мм рт.ст. и (или) ДАД < 60 мм рт.ст.;
- 4) затрудненное дыхание, нарушение ритма дыхания, $SpO_2 < 93$ %.

Заключение

Включение в состав существующих телемедицинских информационно-коммуникационных систем автоматической информационно-измерительной системы для мониторинга (дистанционного наблюдения) состояния больного открывает возможность лечения больных COVID-19 на дому в полном соответствии с последними руководящими документами Минздрава РФ и Временными методическими рекомендациями по профилактике, диагностике и лечению новой коронавирусной инфекции COVID-19. В состав ИИС входят основные (измерения температуры тела, показателей гемодинамики и дыхания) и дополнительные (измерения систолического и диастолического артериального давления, гликемии и показателей ЭАС) измерительные каналы. Основные каналы применяются для лечения COVID-19, дополнительные – при наличии у больного COVID-19 хронических заболеваний. Представлен возможный вариант реализации ИИС на основе имеющихся на рынке отечественных средств измерений.

Список литературы

1. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья : федер. закон № 242-ФЗ от 29.07.2017 : принят Государственной Думой 21 июля 2017 г. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221184
2. Телемедицинская информационная система Минздрава РФ. URL: <http://tmk.rosminzdrav.ru>
3. ООО «ДокДок Территория Здоровья», сервис «СберЗдоровье». URL: <https://sberhealth.ru>
4. О внесении изменений в приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации № 198н от 19 марта 2020 г. «О временном порядке организации работы медицинских организаций в целях реализации мер по профилактике и снижению рисков распространения новой коронавирусной инфекции COVID-19» : приказ Министерства здравоохранения РФ № 1184н от 30 октября 2020 г. URL: <https://www.garant.ru/hotlaw/federal/1421528>
5. ГОСТ Р 57757-2017. Дистанционная оценка параметров функций, жизненно важных для жизнедеятельности человека. Общие требования. М., 2017. 11 с.
6. Временные методические рекомендации по профилактике, диагностике и лечению новой коронавирусной инфекции COVID-19 (Версия 9, 26.10.2020).
7. Bodin O. N., Safronov M. I., Ozhikenov K. A. [et al.]. Portable cardioanalyzer // 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM). Erlagol, 2017. P. 605–609. doi: 10.1109/EDM.2017.7981826
8. Патент 1711094 МКИ G 01 R27/26 Преобразователь емкости датчика / А. Б. Андреев, В. А. Баранов, Вл. А. Баранов. Заявл. 21.11.1989 ; опубл. 07.02.1992, Бюл. № 5.

References

1. *O vnesenii izmeneniy v ot del'nye zakonodatel'nye akty Rossiyskoy Federatsii po voprosam primeneniya informatsionnykh tekhnologiy v sfere okhrany zdorov'ya: feder. zakon № 242-FZ ot 29.07.2017: prinyat Gosudarstvennoy Dumoy 21 iyulya 2017 g.* = *On amendments to certain legislative acts of the Russian Federation on the application of information technologies in the field of health protection: feder. Law No. 242-FZ of 29.07.2017: adopted by the State Duma on July 21, 2017.* Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221184 (In Russ.)
2. *Telemeditsinskaya informatsionnaya sistema Minzdrava RF* = *Telemedicine Information System of the Ministry of Health of the Russian Federation.* Available at: <http://tmk.rosminzdrav.ru> (In Russ.)
3. *ООО «DokDok Territoriya Zdorov'ya», servis «SberZdorov'e»* = *LLC "DokDok Territory of Health", service "Sberbank Health".* Available at: <https://sberhealth.ru> (In Russ.)
4. *O vnesenii izmeneniy v prikaz Ministerstva zdavookhraneniya Rossiyskoy Federatsii № 198n ot 19 marta 2020 g. «O vremennom poryadke organizatsii raboty meditsinskikh organizatsiy v tselyakh realizatsii mer po profilaktike i snizheniyu riskov rasprostraneniya novoy koronavirusnoy infektsii COVID-19»: prikaz Ministerstva zdavookhraneniya RF № 1184n ot 30 oktyabrya 2020 g.* = *On amendments to the Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 198n of March 19, 2020 "On the Temporary Procedure for organizing the work of medical organizations in order to implement measures to prevent and reduce the risks of spreading the new coronavirus infection COVID-19": Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 1184n of October 30, 2020.* Available at: <https://www.garant.ru/hotlaw/federal/1421528> (In Russ.)
5. *GOST R 57757-2017. Distantcionnaya otsenka parametrov funktsiy, zhiznenno vazhnykh dlya zhiznedeyatel'nosti cheloveka. Obshchie trebovaniya* = *Remote assessment of the parameters of functions that are vital for human life. General requirements.* Moscow, 2017:11. (In Russ.)

6. *Vremennye metodicheskie rekomendatsii po profilaktike, diagnostike i lecheniyu novoy koronavirusnoy infektsii COVID-19 (Versiya 9, 26.10.2020)* = Interim guidelines for the prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection CAVID-19 (Version 9, 26.10.2020). (In Russ.)
7. Bodin O.N., Safronov M.I., Ozhikenov K. A. [et al.]. Portable cardioanalyzer. 18th *International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM)*. Erlagol, 2017:605–609. doi: 10.1109/EDM.2017.7981826
8. Patent 1711094 МКІ G 01 R27/26 *Preobrazovatel' emkosti datchika* = *Sensor capacity converter*. A. B. Andreev, V. A. Baranov, Vl. A. Baranov. Appl. 21.11.1989; publ. 07.02.1992, bull. no. 5. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Виктор Алексеевич Баранов

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры информационно-измерительной
техники и метрологии,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: baranov_va2202@mail.ru

Viktor A. Baranov

candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of sub-department
of information and measuring equipment
and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Екатерина Анатольевна Печерская

доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой информационно-
измерительной техники и метрологии,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: peal@list.ru

Ekaterina A. Pecherskaya

Doctor of technical sciences, associate professor,
head of sub-department of information
and measuring equipment and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Максим Игоревич Сафронов

аспирант,
инженер кафедры информационно-
измерительной техники и метрологии,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: safronov.maxim@inbox.ru

Maksim I. Safronov

Postgraduate student,
engineer of sub-department of information
and measuring equipment and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Ольга Алексеевна Тимохина

магистрант,
лаборант-исследователь кафедры информационно-
измерительной техники и метрологии,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: timokhina.olga.14.12@mail.ru

Ol'ga A. Timokhina

Master degree student,
research assistant of sub-department of information
and measuring equipment and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)