



УДК 621.317.791  
doi:10.21685/2587-7704-2021-6-1-2



Open  
Access

RESEARCH  
ARTICLE

## Канал измерения сатурации крови кислородом системы для телемедицинского мониторинга состояния больного COVID-19

**Ольга Алексеевна Тимохина**

Пензенский государственный университет, Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40  
olga.timokhina.14.12@mail.ru

**Аннотация.** В ноябре 2020 г. Минздрав России рекомендовал оказывать медицинскую помощь с применением телемедицинских технологий пациентам с подтвержденным COVID-19 на дому. Это определяет актуальность задачи создания персонализированной информационно-измерительной системы домашнего пользования для телемедицинского мониторинга состояния больного COVID-19. Канал измерения сатурации данной информационно-измерительной системы предназначен для определения одного из главных показателей состояния больного COVID-19 – сатурации крови кислородом, т.е. содержания кислорода в крови.

**Ключевые слова:** COVID-19, телемедицина, мониторинг, информационно-измерительная система, измерительный канал, сатурация крови кислородом, пульсовая оксиметрия

**Финансирование:** исследование выполнено в рамках гранта Президента Российской Федерации для обучающихся по программам магистратуры (договор о предоставлении гранта № 146-м).

**Для цитирования:** Тимохина О. А. Канал измерения сатурации крови кислородом системы для телемедицинского мониторинга состояния больного COVID-19 // Инжиниринг и технологии. 2021. Т. 6(1). С. 1–4. doi:10.21685/2587-7704-2021-6-1-2

## Blood oxygen saturation measuring channel for telehealth monitoring system of COVID-19 patient's condition

**Ol'ga A. Timokhina**

Penza State University, 40 Krasnaya Street, Penza, Russia  
olga.timokhina.14.12@mail.ru

**Abstract.** In November 2020, the Ministry of Health of the Russian Federation recommended to provide medical care to patients with confirmed COVID-19 using telehealth technologies at home. This determines the relevance of the task to create a personalized information measuring system for telehealth monitoring of COVID-19 patient's condition at home. The saturation measuring channel of this system is designed to measure one of the main indicators of COVID-19 patient's condition – blood oxygen saturation level (oxygen concentration in blood).

**Keywords:** COVID-19, telehealth, monitoring, information measuring system, measuring channel, blood oxygen saturation, pulse oximetry

**Acknowledgments:** the research was supported by the Grant for Master's Degree Students from the President of the Russian Federation (Grant Agreement No. 146-m).

**For citation:** Timokhina O.A. Blood oxygen saturation measuring channel for telehealth monitoring system of COVID-19 patient's condition. *Inzhiniring i tekhnologii = Engineering and Technology*. 2021;6(1):1–4. (In Russ.). doi:10.21685/2587-7704-2021-6-1-2

Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья» ввел



понятие «телемедицинские технологии»<sup>1</sup>. 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. 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 организовать медицинскую помощь с применением телемедицинских технологий пациентам с подтвержденным COVID-19 на дому<sup>2</sup>. По данным Роспотребнадзора 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. В связи с этим актуальной задачей является создание информационно-измерительной системы (ИИС) для телемедицинского мониторинга состояния больного COVID-19, устанавливаемой в доме больного на время лечения.

В соответствии с Временными методическими рекомендациями по профилактике, диагностике и лечению новой коронавирусной инфекции COVID-19 (Версия 10, 08.02.2021) [1], измеряемыми показателями состояния больного COVID-19 являются температура тела, частота дыхательных движений, сатурация крови кислородом (далее – сатурация). Отсюда следует, что ИИС должна содержать три измерительных канала: канал измерения температуры тела, канал измерения показателей гемодинамики, канал измерения показателей дыхания.

Результаты измерений показателей состояния больного COVID-19 регистрируются в памяти ИИС, первично обрабатываются подсистемой обработки измерительной информации (ПОИИ) и в виде, удобном для использования лечащим врачом в процессе лечения, передаются средством приема-передачи информации в лечебное учреждение.

Каждый измерительный канал ИИС должен иметь беспроводный канал передачи измерительной информации подсистеме обработки измерительной информации по протоколу Bluetooth Low Energy на расстоянии до 10 м, батарейное питание и возможность закрепления первичного измерительного преобразователя на теле больного.

Сатурация измеряется пульсовым оксиметром (далее – пульсоксиметр), который реализует оптический метод измерений. Принцип измерений, т.е. физический эффект, лежащий в основе измерений, состоит в различии значений коэффициента поглощения когерентного оптического излучения определенной длины волны оксигенированной HbO<sub>2</sub> и редуцированной Hb форм гемоглобина эритроцитов, которые осуществляют транспортировку кислорода к клеткам. В качестве показателя состояния больного используется отношение коэффициента поглощения оксигенированной формы к сумме коэффициентов поглощения оксигенированной HbO<sub>2</sub> и редуцированной Hb форм, выраженное в процентах. В норме в артериальной крови гемоглобин всех транспортирующих эритроцитов находится в оксигенированной форме, сатурация равна 100 % или близка к этому значению (98–99 %).

Для использования в информационно-измерительных системах для телемедицинского мониторинга в условиях свободной двигательной активности больного в пределах дома существующие модели пульсоксиметров имеют следующие недостатки:

- подавляющее большинство моделей предназначены для однократных измерений, в некоторых моделях реализуется ночной скрининг (больной находится в постели) и сессионная проводная передача результатов измерений;
- нет приборов с беспроводной передачей результатов многократных измерений сатурации в режиме реального времени;
- существующие модели имеют очень низкую точность измерений и, по существу, являются только индикаторами.

Информативный диапазон измерения, по значениям в котором принимается решение о необходимости госпитализации (ниже 94 %), составляет не более 10 единиц младшего разряда (1 %), т.е.

<sup>1</sup> О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросам применения информационных технологий в сфере охраны здоровья: Федеральный закон от 29.07.2017 № 242-ФЗ : принят Государственной Думой 21 июля 2017 г. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_221184](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_221184)

<sup>2</sup> О внесении изменений в приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 19 марта 2020 г. № 198н «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 от 30 октября 2020 г. № 1184н. URL: <https://www.garant.ru/hotlaw/federal/1421528>



90...100 % при абсолютной погрешности измерения  $\pm 2\%$  [2]. Это создает высокую вероятность принятия ошибочного решения о госпитализации больного при ухудшении состояния. Например, при действительном значении сатурации 93 %, требующем госпитализации, результат измерения может составлять 95 %, т.е. показывать, что в госпитализации нет необходимости. Для достоверного телемониторинга необходимо снизить погрешность измерения сатурации, как минимум, до  $\pm 0,5\%$ . Источником наиболее значимой составляющей погрешности измерения сатурации является присутствие в крови фракционных форм гемоглобина: карбоксигемоглобина  $\text{COHb}$  и метгемоглобина  $\text{MetHb}$ . Для минимизации данной составляющей погрешности измерения необходимо получить количественные оценки этих фракционных форм и учесть их при расчете сатурации.

Предлагаемая структурная схема канала измерения сатурации в составе ИИС для телемедицинского мониторинга, устраняющая указанные недостатки, показана на рис. 1. Измерительный канал является сложным [3], поскольку служит для измерений двух показателей гемодинамики [4, 5]: частоты пульса и сатурации.

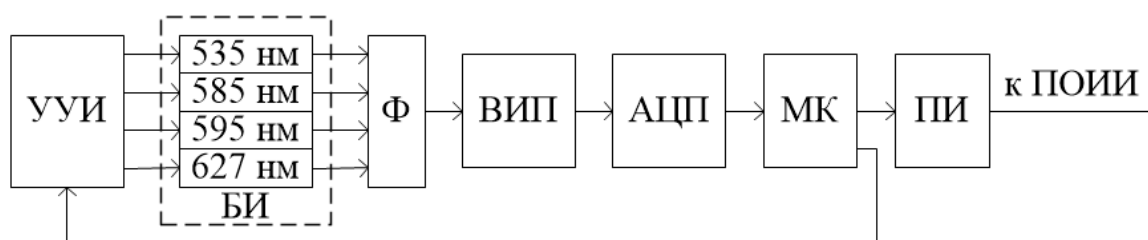


Рис. 1. Структурная схема канала измерения сатурации

Канал измерения сатурации состоит из устройства управления излучателями (УУИ), блока излучателей (БИ), фотоприемника (Ф), вторичного измерительного преобразователя (ВИП), аналого-цифрового преобразователя (АЦП), микроконтроллера (МК), передатчика информации (ПИ). Блок излучателей содержит четыре источника когерентного излучения с длиной волны излучения 535, 585, 595, 627 нм соответственно. Блок излучателей управляется устройством управления излучателями. Источники излучения коммутируются с частотой 1 кГц. В канале используется один, общий для всех излучателей фотоприемник. ВИП преобразует токовый сигнал с выхода фотоприемника в напряжение постоянного тока, которое подвергается аналого-цифровому преобразованию. Результаты аналого-цифрового преобразования поступают в микроконтроллер, вычисляющий концентрации четырех форм гемоглобина. Сатурация вычисляется по формуле, позволяющей получить более точное значение,

$$\text{SpO}_2 = \frac{\text{HbO}_2}{\text{HbO}_2 + \text{Hb} + \text{COHb} + \text{MetHb}} \times 100\%,$$

где  $\text{SpO}_2$  – сатурация,  $\text{HbO}_2$  – оксигенированный гемоглобин,  $\text{Hb}$  – редуцированный гемоглобин,  $\text{COHb}$  – карбоксигемоглобин,  $\text{MetHb}$  – метгемоглобин.

Результаты измерений сатурации передаются в ПОИИ по протоколу Bluetooth Low Energy.

### Список литературы

1. Временные методические рекомендации по профилактике, диагностике и лечению новой коронавирусной инфекции COVID-19 (Версия 10, 08.02.2021).
2. Федотов А. А., Акулов С. А. Измерительные преобразователи биомедицинских сигналов систем клинического мониторинга. М.: Радио и связь, 2013. 250 с.
3. Данилов А. А. Метрологическое обеспечение измерительных систем. 4-е изд., перераб. и доп. СПб.: Политехника-Принт, 2017. 146 с.
4. Тимохина О. А., Баранов В. А., Сафронов М. И. Неинвазивные методы и средства измерений показателей системной гемодинамики для амбулаторного мониторинга // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2019. Т. 2. С. 225–227. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38555825>
5. Баранов В. А., Сафронов М. И., Тимохина О. А. Неинвазивные методы измерений показателей центральной гемодинамики сердечно-сосудистой системы // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации: материалы XI науч.-техн. конф. с элементами науч. школы и конкурсом науч.-исслед. работ для студентов, аспирантов и молодых ученых («Шляндинские чтения – 2019») / под ред. Е. А. Печерской (г. Пенза, 28–30 октября 2019 г.). Пенза: Изд-во ПГУ, 2019. С. 278–281. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41373332>



## References

1. *Vremennye metodicheskie rekomendatsii po profilaktike, diagnostike i lecheniyu novoy koronavirusnoy infektsii COVID-19 (Versiya 10, 08.02.2021) = Interim Guidelines on Prevention, Diagnosis and Clinical Management of Novel Coronavirus Disease COVID-19 (Version 10, February 08, 2021).* (In Russ.)
2. Fedotov A.A., Akulov S.A. *Izmeritel'nye preobrazovateli biomeditsinskikh signalov sistem klinicheskogo monitoringa = Measuring transducers of biomedical signals in medical monitoring systems.* Moscow: Radio i svyaz', 2013:250. (In Russ.)
3. Danilov A.A. *Metrologicheskoe obespechenie izmeritel'nykh sistem. 4-e izd., pererab. i dop. = Metrological support for measuring systems. 4th ed., rev. and augmented.* Saint-Petersburg: Politekhnik-Print, 2017:146. (In Russ.)
4. Timokhina O.A., Baranov V.A., Safronov M.I. Non-invasive methods and instruments for measuring systemic hemodynamic parameters for outpatient monitoring. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo = Proceedings of the International Symposium on Reliability and Quality.* 2019;2:225–227. (In Russ.). Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38555825>
5. Timokhina O.A., Safronov M.I., Timokhina O.A. Non-invasive methods for measuring indicators of central hemodynamics of the cardiovascular system. *Metody, sredstva i tekhnologii polucheniya i obrabotki izmeritel'noy informatsii: materialy XI nauch.-tekhn. konf. s elementami nauch. shkoly i konkursom nauch.-issled. rabot dlya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh («Shlyandinskie chteniya – 2019»)* (g. Penza, 28–30 oktyabrya 2019 g.) = *Methods, Tools and Technologies for Obtaining and Processing Measurement Information: Proceedings of the XIth Scientific and Technical Conference (Shlyandin Readings – 2019).* (Penza, October 28-30, 2019). Penza: Izd-vo PGU, 2019:278–281. (In Russ.). Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41373332>

**Поступила в редакцию / Received** 25.02.2021

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised** 27.03.2021

**Принята к публикации / Accepted** 02.04.2021