



Оценка параметров импульсных сигналов, применяемых в электростимуляции, с использованием новой экспериментальной установки в курсе медицинской и биологической физики

©А. А. Казущик, Е. С. Петрова, А. И. Савицкий, Д. Б. Куликович

Гомельский государственный медицинский университет, г. Гомель, Беларусь

РЕЗЮМЕ

Цель исследования. Разработать экспериментальную установку, алгоритм визуальной и аналитической оценки параметров импульсных сигналов, используемых в электростимуляции, для применения в курсе медицинской и биологической физики.

Материалы и методы. В качестве материалов исследования использовали данные, полученные с помощью экспериментальной установки. Анализ полученных результатов (характеристики импульсного сигнала) проводился аналитическим и численным методами.

Результаты. Предложенная экспериментальная установка для получения и анализа импульсных сигналов, применяемых в электростимуляции, в процессе обучения студентов позволяет освоить методики определения параметров импульсного сигнала, изучить методы изменения характеристик импульсных сигналов, используемых в электростимуляции.

Заключение. Применение новой экспериментальной установки позволяет получить навыки оценки параметров и характеристик различных импульсных сигналов путем их визуализации и аналитической оценки.

Ключевые слова: медицинская и биологическая физика, физиотерапия, электростимуляция, импульсные сигналы, реабилитация.

Вклад авторов. Казущик А.А., Петрова Е.С., Савицкий А.И., Куликович Д.Б.: разработка оригинальной экспериментальной установки по изучению импульсных сигналов с дифференцирующей и интегрирующей цепями, обсуждение и анализ полученных с помощью лабораторной установки осциллограмм, редактирование, обзор публикаций по теме статьи, проверка критически важного содержания, утверждение рукописи для публикации.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источники финансирования. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Для цитирования: Казущик АА, Петрова ЕС, Савицкий АИ, Куликович ДБ. Оценка параметров импульсных сигналов, применяемых в электростимуляции, с использованием новой экспериментальной установки в курсе медицинской и биологической физики. *Проблемы здоровья и экологии*. 2021;18(3):80–85. DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2021-18-3-10>

Evaluation of the parameters of pulse signals applied in electrical stimulation using a new experimental device in the course of Medical and Biological Physics

© Alexander L. Kazushchyk, Elena S. Petrova, Alexander I. Savitsky,
Dmitry B. Kulikovich

Gomel State Medical University, Gomel, Belarus

ABSTRACT

Objective. To develop an experimental device, an algorithm for visual and analytical evaluation of the parameters of pulse signals used in electrical stimulation for further application in the course of Medical and Biological Physics.

Materials and methods. The data obtained with the help of the experimental device were used as research materials. The analysis of the obtained results (characteristics of the pulse signal) was carried out with the

analytical and numerical methods.

Results. The proposed experimental device for receiving and analyzing pulse signals applied in electrical stimulation in education allows mastering the methods of the determination of the parameters of pulse signals, studying the methods to alter the characteristics of pulse signals used in electrical stimulation.

Conclusion. The application of the experimental device makes it possible to acquire skills to evaluate the parameters and characteristics of difference pulse signals through their visualization and analytical evaluation.

Keywords: *Medical and Biological Physics, Physiotherapy, electrostimulation, pulse signals, rehabilitation.*

Author contributions. Kazushchik A.L., Petrova E.S., Savitsky A.I., Kulikovich: D.B.: development of an original experimental device to study pulse signals with differentiating and integrating circuits, discussion and analysis of oscillograms obtained using the laboratory device, editing, review of publications on the topic of the article, checking of critical content, approving the manuscript for publication.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The study was conducted without sponsorship.

For citation: Kazushchik AL, Petrova ES, Savitsky AI, Kulikovich DB. Evaluation of the parameters of pulse signals applied in electrical stimulation using a new experimental device in the course of Medical and Biological Physics. *Health and Ecology Issues*. 2021;18(3):80–85. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51523/2708-6011.2021-18-3-10>

Введение

Профильная направленность курса медицинской и биологической физики в медицинском вузе обусловлена рассмотрением физических законов и явлений применительно к решению многих медицинских задач (например, нормальной физиологии, физиотерапии, лучевой диагностики и лучевой терапии, медицинской визуализации и др.). Междисциплинарные связи курса «Медицинская и биологическая физика» базируются на фундаментальных законах естественно-научных дисциплин, прежде всего физики, биологии, химии, далее имеют свое развитие в курсах медицинской биологии, нормальной физиологии, биофизических основах физиотерапии [1]. Курс медицинской и биологической физики формирует у будущих специалистов медицинского профиля фундаментальные знания, необходимые для понимания физических, физико-химических, биофизических и физиологических процессов, лежащих в основе функционирования организма, дает возможность получения практических навыков при работе с медицинским оборудованием и освоения физических методов исследования биологических систем. В частности, в связке с курсом физиотерапии медицинская и биологическая физика является теоретической и практической базой для клинической медицины [2–4].

Цель исследования

Разработать экспериментальную установку, алгоритм визуальной и аналитической оценки параметров импульсных сигналов, используемых в электростимуляции, для

применения в курсе медицинской и биологической физики.

Материалы и методы

В качестве материалов исследования использовали данные, полученные с помощью экспериментальной лабораторной установки (рисунок 1), состоящей из осциллографа С8-46/3 (1), источника постоянного тока Б5-84 (2), генератора импульсных сигналов УТГ1005А (3), разработанного модуля (4), включающего в себя электростимулятор ЭТНС-100-2 (4.1), дифференцирующую (4.2) и интегрирующую (4.3) цепи. Анализ полученных результатов (характеристики импульсного сигнала) проводился аналитическим и численным методами: по полученной осциллограмме определялись амплитуда импульсного сигнала (A), длительность импульса (t_n) и паузы (t_p). Рассчитывались период (T) и частота импульсного сигнала (f), а также скважность (Q) и коэффициент заполнения (k).

Период следования импульсов рассчитывался по следующей формуле (1):

$$T = t_n + t_p \quad (1)$$

Частота импульсного сигнала — по формуле (2):

$$f = 1/T \quad (2)$$

Скважность рассчитывалась по формуле (3):

$$Q = T/t_n \quad (3)$$

Коэффициент заполнения рассчитывался по формуле (4):

$$k = 1/Q \quad (4)$$

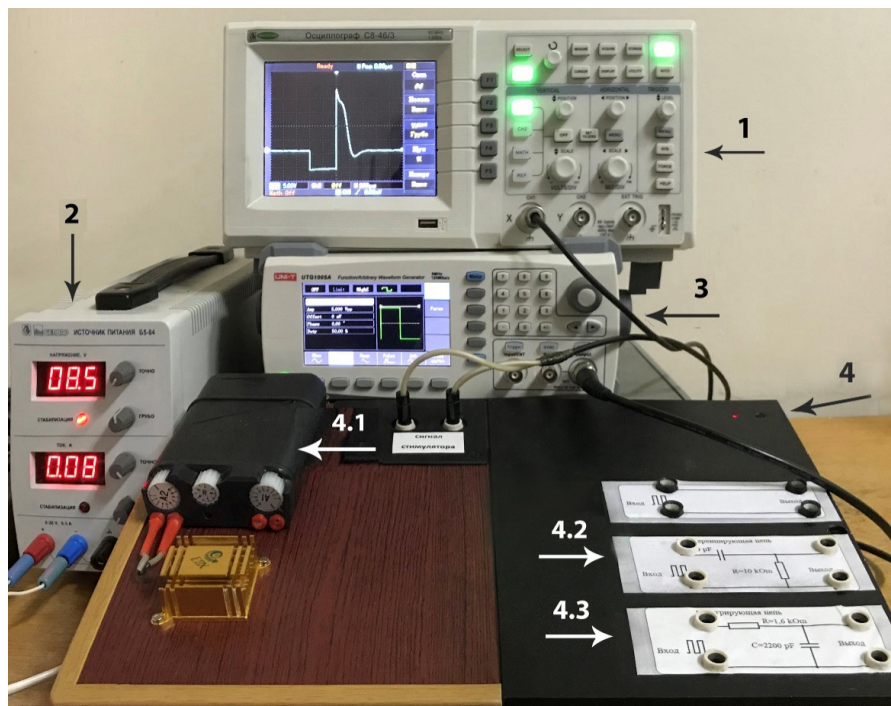


Рисунок 1. Экспериментальная установка для определения параметров импульсных сигналов
Figure 1. Experimental device for the determination of the parameters of pulse signals

Результаты и обсуждение

Предложенная новая учебная экспериментальная установка позволила получить осциллограммы импульсных сигналов, представленные на рисунке 2. По полученным осциллограммам проводилась визуальная и количественная оценка параметров импульсных сигналов (амплитуда импульсного сигнала (A), длительность импульса ($t_{и}$) и паузы ($t_{п}$)).

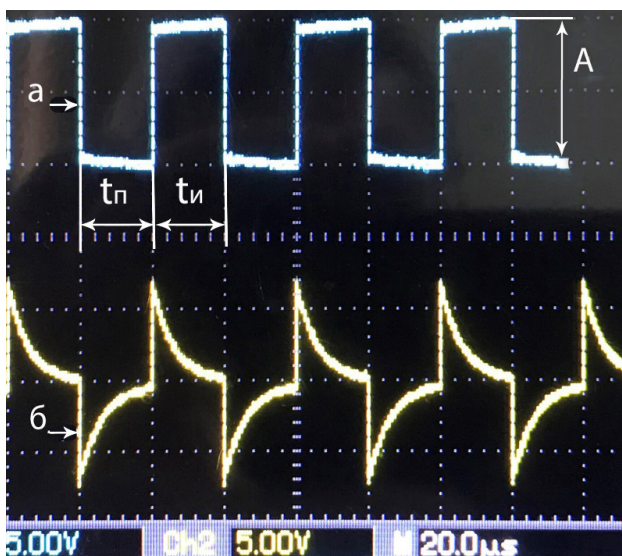


Рисунок 2. Осциллограммы импульсных сигналов:
а — сигнал прямоугольной формы, б — сигнал, измененный дифференцирующей цепью
Figure 2. Oscillograms of pulse signals: a — rectangular signal, b — signal modified by the differentiating circuit

По осциллограмме прямоугольного сигнала (рисунок 2а), используя расчетные формулы (1–4), проводилась оценка основных характеристик импульсных сигналов: амплитуда импульсного сигнала достигает 8 В, при этом длительность импульса составляет 20 мкс, длительность паузы — 20 мкс, период следования импульсов — 40 мкс. Согласно расчетам, частота импульсного сигнала составляет 25 кГц, коэффициент заполнения — 0,5, скважность — 2.

Отметим, что каждый вид электростимуляции требует особой формы и характеристик импульсного сигнала, например, длительности импульса и частоты сигнала [5–6], а также крутизны фронта [7]. Экспериментальная установка дает возможность наблюдать изменения базового сигнала прямоугольной формы (рисунок 2а) корректирующими (интегрирующими и дифференцирующими) цепями, используемыми в электростимуляторах. Пример изменения характеристик базового сигнала дифференцирующей цепью приведен на рисунке 2б.

Используя полученные навыки определения параметров сигнала прямоугольной формы, проводилась оценка импульсного сигнала, сгенерированного противоболевым двухканальным электростимулятором ЭТНС-100-2, который предназначен для лечения болевых синдромов посттравматического и

неврологического генеза, проявляющихся в двух очагах одновременно. Данный электростимулятор применяется как в лечебно-профилактических учреждениях,

так и в домашних условиях для временной или постоянной стимуляции. Осциллограмма сигнала электростимулятора ЭТНС-100-2 представлена на рисунке 3.

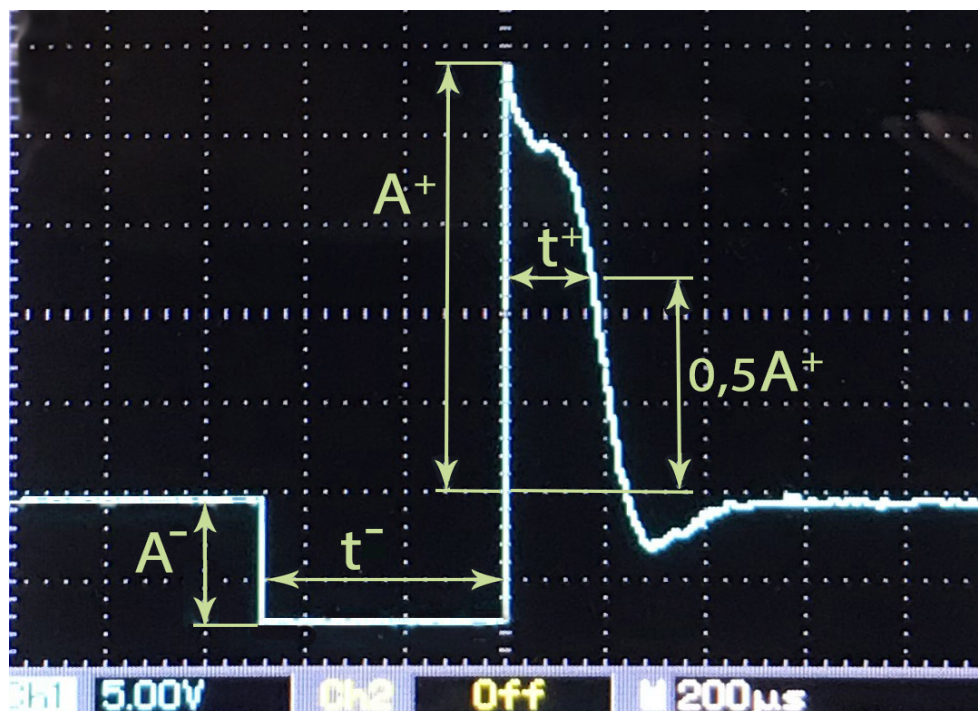


Рисунок 3. Осциллограмма сигнала электростимулятора ЭТНС-100-2
Figure 3. Oscillogram of the ETNS-100-2 electrical stimulator signal

По осциллограмме электростимулятора амплитуда отрицательной части импульса A^- составляет 7,5 В, положительной части A^+ — 24 В. Длительность положительной части импульса t^+ , измеренная на уровне половины амплитуды A^+ , составляет 160 мкс, отрицательной — 500 мкс.

Анализ полученных осциллограмм показывает изменение базового сигнала прямоугольной формы корректирующими цепями, что необходимо при использовании таких импульсных сигналов в различных видах электростимуляции и реабилитации, например, в электросон-терапии [8], при травмах спинного мозга [9–10], в мышечной

стимуляции [11] и интраспинальной микро-стимуляции [12].

Заключение

Таким образом, предложенная новая экспериментальная установка для получения и анализа импульсных сигналов, применяемых в электростимуляции, в рамках учебной программы курса «Медицинская и биологическая физика» в процессе обучения студентов медицинского вуза позволяет получить практические навыки визуализации и определения параметров импульсных сигналов, используемых в электростимуляции.

Список литературы

1. Петрова ЕС, Стародубцева МН, Куликович ДБ, Игнатенко ВА, Кузнецов БК. Методические аспекты реализации межпредметных связей в курсах медицинской и биологической физики и информатики в медицине. В: *Мультидисциплинарный подход к диагностике и лечению коморбидной патологии: сборник статей Респ. науч.-практ. конф.*; 2018, 29-30 нояб; Гомель: ГомГМУ, 2018. с. 375-378. [дата обращения 2021 Апрель 7]. Режим доступа: <http://elib.gsmu.by/handle/GomSMU/4532>

2. Белова АН, Балдова СН. Методы электростимуляции в восстановлении двигательных функций после позвоночно-спинномозговой травмы. Обзор литературы. *Трудный пациент*. 2014;12(6):42-48. [дата обращения 2021 Апрель 7]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-elektrostimulyatsii-v-vosstanovlenii-dvigatelnyh-funktsiy-posle-pozvonочно-spinnomozgovoy-travmy-obzor-literatury/viewer>

3. Пономаренко ГН. 100 вопросов физиотерапевту. СПб.: Невский проспект; 2002. 128 с.
4. Леонов АВ, Нестерович МИ. Современные взгляды на использование методов транскраниальной электростимуляции. В: *Проблемы и перспективы развития современной медицины: сборнике науч. ст. IX Респ. науч.-практ. конф.*; 2017; 28 апр.; Гомель, 449-451. [дата обращения 2021 Апрель 7]. Режим доступа: <http://elib.gsmu.by/handle/GomSMU/4651>
5. Mulcahey MJ, Smith BT, Betz RR. Evaluation of the lower motor neuron integrity of upper extremity muscles in high level spinal cord injury. *Spinal Cord*. 1999 Aug;37(8):585-591. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/sj.sc.3100889>
6. Minassian K, Persy I, Rattay F, Pinter MM, Kern H, Dimitrijevic MR. Human lumbar cord circuitries can be activated by extrinsic tonic input to generate locomotor-like activity. *Hum Mov Sci*. 2007 Apr;26(2):275-295. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2007.01.005>
7. Minassian K, Gilje B, Rattay F, Pinter MM, Binder H, Gerstenbrand F, Dimitrijevic MR. Stepping-like movements in humans with complete spinal cord injury induced by epidural stimulation of the lumbar cord: electromyographic study of compound muscle action potentials. *Spinal Cord*. 2004 Jul;42(7):401-416. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/sj.sc.3101615>
8. Кошукова ГН, Буглак НП. Влияние электросон-терапии на эндорфиновый профиль больных ревматоидным артритом. *Вестник физиотерапии и курортологии*. 2016;(1):20-23. [дата обращения 2021 Апрель 10]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-elektroson-terapii-na-endorfinovyy-profil-bolnyh-revmatoidnym-artritom/viewer>
9. Martin R, Sadowsky C, Obst K, Meyer B, McDonald J. Functional electrical stimulation in spinal cord injury: from theory to practice. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2012;18(1):28-33. DOI: <http://dx.doi.org/10.1310/sci1801-28>
10. Dimitrijevic MR, Gerasimenko Y, Pinter MM. Evidence for a spinal central pattern generator in humans. *Ann N Y Acad Sci*. 1998 Nov 16;860:360-376. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-6632.1998.tb09062.x>
11. Mushahwar VK, Aoyagi Y, Stein RB, Prochazka A. Movements generated by intraspinal microstimulation in the intermediate gray matter of the anesthetized, decerebrate, and spinal cat. *Can J Physiol Pharmacol*. 2004 Aug-Sep;82(8-9):702-714. DOI: <http://dx.doi.org/10.1139/y04-079>
12. Saigal R, Renzi C, Mushahwar VK. Intraspinal microstimulation generates functional movements after spinal-cord injury. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2004 Dec;12(4):430-440. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TNSRE.2004.837754>

References

1. Petrova ES, Starodubtseva MN, Kulikovich DB, Ignatenko VA, Kuznetsov BK. Methodological aspects of the realization of intersubject connections in the courses of Medical and Biological Physics and Informatics in Medicine. V *A multidisciplinary approach to the diagnosis and treatment of comorbid pathology: collection of articles Resp. scientific-practical conf.*; 2018, 29-30 November; Gomel: GomSMU, 2018. p. 375-378. [date of access 2021 Apr 7]. Available from: <http://elib.gsmu.by/handle/GomSMU/4532> (In Russ.).
2. Belova AN, Baldova SN. Methods of electrical stimulation in the restoration of motor functions after spinal cord injury. Literature review. *Difficult patient*. 2014;12(6):42-48. [date of access 2021 Apr 7]. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-elektrostimulyatsii-v-vosstanovlenii-dvigatelnyh-funktsiy-posle-pozvonочно-spinnomozgovoy-travmy-obzor-literatury/viewer> (In Russ.).
3. Ponomarenko GN. 100 questions to a physiotherapist. Saint Petersburg: Nevsky Prospect; 2002. 128 p. (In Russ.).
4. Leonov AV, Nesterovich MI. Modern views on the use of methods of transcranial electrical stimulation. V: *Problems and prospects for the development of modern medicine: collection of scientific. Art. IX Rep. scientific-practical conf.*; 2017, 28 Apr; Gomel: GomSMU, 2017. p. 449-451. [date of access 2021 Apr 7]. Available from: <http://elib.gsmu.by/handle/GomSMU/4651> (In Russ.).
5. Mulcahey MJ, Smith BT, Betz RR. Evaluation of the lower motor neuron integrity of upper extremity muscles in high level spinal cord injury. *Spinal Cord*. 1999 Aug;37(8):585-591. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/sj.sc.3100889>
6. Minassian K, Persy I, Rattay F, Pinter MM, Kern H, Dimitrijevic MR. Human lumbar cord circuitries can be activated by extrinsic tonic input to generate locomotor-like activity. *Hum Mov Sci*. 2007 Apr;26(2):275-295. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.humov.2007.01.005>
7. Minassian K, Gilje B, Rattay F, Pinter MM, Binder H, Gerstenbrand F, Dimitrijevic MR. Stepping-like movements in humans with complete spinal cord injury induced by epidural stimulation of the lumbar cord: electromyographic study of compound muscle action potentials. *Spinal Cord*. 2004 Jul;42(7):401-416. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/sj.sc.3101615>
8. Koshukova GN, Buglak NP. Influence of electroson therapy on the endorphin profile of patients with rheumatoid arthritis. *Physiotherapy and balneology bulletin*. 2016;(1):20-23. [date of access 2021 Apr 10]. Available from: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-elektroson-terapii-na-endorfinovyy-profil-bolnyh-revmatoidnym-artritom/viewer> (In Russ.).
9. Martin R, Sadowsky C, Obst K, Meyer B, McDonald J. Functional electrical stimulation in spinal cord injury: from theory to practice. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2012;18(1):28-33. DOI: <http://dx.doi.org/10.1310/sci1801-28>
10. Dimitrijevic MR, Gerasimenko Y, Pinter MM. Evidence for a spinal central pattern generator in humans. *Ann N Y Acad Sci*. 1998 Nov 16;860:360-376. DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-6632.1998.tb09062.x>
11. Mushahwar VK, Aoyagi Y, Stein RB, Prochazka A. Movements generated by intraspinal microstimulation in the intermediate gray matter of the anesthetized, decerebrate, and spinal cat. *Can J Physiol Pharmacol*. 2004 Aug-Sep;82(8-9):702-714. DOI: <http://dx.doi.org/10.1139/y04-079>
12. Saigal R, Renzi C, Mushahwar VK. Intraspinal microstimulation generates functional movements after spinal-cord injury. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*. 2004 Dec;12(4):430-440. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TNSRE.2004.837754>

Информация об авторах / Information about the authors

Казущик Александр Леонович, старший преподаватель кафедры медицинской и биологической физики, УО «Гомельский государственный медицинский университет»

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4989-0169>

e-mail: velum396@gmail.com

Петрова Елена Сергеевна, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры медицинской и биологической физики, УО «Гомельский государственный медицинский университет»

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2031-1637>

Савицкий Александр Иванович, ассистент кафедры медицинской и биологической физики, УО «Гомельский государственный медицинский университет»

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3805-471X>

Куликович Дмитрий Борисович, ассистент кафедры медицинской и биологической физики, УО «Гомельский государственный медицинский университет»

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6063-6225>

Alexander L. Kazushchyk, Senior Lecturer at the Department of Medical and Biological Physics, Gomel State Medical University

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4989-0169>

e-mail: velum396@gmail.com

Elena S. Petrova, PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor at the Department of Medical and Biological Physics, Gomel State Medical University

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2031-1637>

Alexander I. Savitsky, Assistant lecturer at the Department of Medical and Biological Physics, Gomel State Medical University

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3805-471X>

Dmitry B. Kulikovich, Assistant lecturer at the Department of Medical and Biological Physics, Gomel State Medical University

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6063-6225>

Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Казущик Александр Леонович

e-mail: velum396@gmail.com

Alexander L. Kazushchyk

e-mail: velum396@gmail.com

Received / Поступила в редакцию 24.06.2021

Revised / Поступила после рецензирования 23.08.2021

Accepted / Принята к публикации 20.09.2021