

# ПРИБОРЫ, СИСТЕМЫ И ИЗДЕЛИЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ MEDICAL DEVICES, SYSTEMS AND PRODUCTS

УДК 621.317.791

doi: 10.21685/2307-5538-2025-3-11

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА АППАРАТА ДЛЯ НЕПРЯМОГО МАССАЖА СЕРДЦА В ПРОЦЕССЕ СЕРДЕЧНО-ЛЕГОЧНОЙ РЕАНИМАЦИИ

А. А. Трофимов<sup>1</sup>, В. А. Баранов<sup>2</sup>, К. А. Ильин<sup>3</sup>, Е. А. Першин<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>1</sup>alex.t1978@mail.ru, <sup>2</sup>baranov\_va2202@mail.ru, <sup>3</sup>kirik3271nikita99@yandex.ru, <sup>4</sup>iit@pnzgu.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Актуальной задачей разработки аппаратов для непрямого массажа сердца, применяемых в процессе сердечно-легочной реанимации при внегоспитальной остановке сердца, является обеспечение эффективной вентиляции легких без повреждений грудной клетки независимо от персональных особенностей телосложения реанимируемого. Целью работы являлась разработка интеллектуальной информационно-измерительной системы аппарата, которая позволит адаптировать режим функционирования подсистемы формирования давления к персональным особенностям телосложения реанимируемого и организовать ее метрологический самоконтроль. *Результаты.* На основе анализа действующих нормативных документов, характеристик существующих аппаратов и результатов патентных исследований разработана структура интеллектуальной информационно-измерительной системы аппарата для непрямого массажа сердца. *Выводы.* Интеллектуализация информационно-измерительной системы аппарата для непрямого массажа путем введения структурной избыточности в виде группы идентичных каналов измерения давления на грудь реанимируемого на основе тензорезистивного датчика и функциональной избыточности в форме вычисления среднего арифметического 16 синхронных результатов измерения давления повышает эффективность и безопасность выполнения непрямого массажа сердца в процессе сердечно-легочной реанимации.

**Ключевые слова:** сердечно-легочная реанимация, аппарат для непрямого массажа сердца, интеллектуальная измерительная система, метрологический самоконтроль, датчик давления

**Для цитирования:** Трофимов А. А., Баранов В. А., Ильин К. А., Першин Е. А. Интеллектуальная информационно-измерительная система аппарата для непрямого массажа сердца в процессе сердечно-легочной реанимации // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2025. № 3. С. 89–95. doi: 10.21685/2307-5538-2025-3-11

## INTELLIGENT INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM OF THE DEVICE FOR CARDIOPULMONARY RESUSCITATION

A.A. Trofimov<sup>1</sup>, V.A. Baranov<sup>2</sup>, K.A. Ilin<sup>3</sup>, E.A. Pershin<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Penza State University, Penza, Russia

<sup>1</sup>alex.t1978@mail.ru, <sup>2</sup>baranov\_va2202@mail.ru, <sup>3</sup>kirik3271nikita99@yandex.ru, <sup>4</sup>iit@pnzgu.ru

**Abstract.** *Background.* An urgent task of developing devices for indirect cardiac massage used in the process of cardiopulmonary resuscitation in case of out-of-hospital cardiac arrest is to ensure effective ventilation of the lungs without damage to the chest regardless of the personal characteristics of the resuscitated person's constitution. The aim of the work was to develop an intelligent information-measuring system of the device that will allow adapting the operating mode of the pressure generation subsystem to the personal characteristics of the resuscitated person's constitution and organizing its metrological self-control. *Results.* Based on the analysis of current regulatory documents, characteristics of

existing devices and the results of patent research, the structure of an intelligent information-measuring system of the device for indirect cardiac massage was developed. *Conclusions.* Intellectualization of the information-measuring system of the apparatus for indirect massage by introducing structural redundancy in the form of a group of identical channels for measuring the pressure on the chest of the resuscitated person based on a strain gauge sensor and functional redundancy in the form of calculating the arithmetic mean of 16 synchronous results of pressure measurements increases the efficiency and safety of performing indirect cardiac massage during cardiopulmonary resuscitation.

**Keywords:** cardiopulmonary resuscitation, cardiac massage apparatus, intelligent measuring system, metrological self-monitoring, pressure sensor

**For citation:** Trofimov A.A., Baranov V.A., Ilin K.A., Pershin E.A. Intelligent information and measurement system of the device for cardiopulmonary resuscitation. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2025;(3):89–95. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2025-3-11

Аппарат для непрямого массажа сердца предназначен для использования в процессе сердечно-легочной реанимации (СЛР) в случае внезапной внегоспитальной остановки сердца путем непрерывных компрессий грудной клетки с необходимой частотой и глубиной продавливания грудины с целью на восстановление спонтанного кровообращения. Аппарат способен производить компрессии в автоматическом режиме при оказании пациенту первой помощи на месте происшествия и во время транспортировки в медицинское учреждение, увеличивая шансы пациента на сохранение жизни.

В состав аппарата входит информационно-измерительная система, осуществляющая измерение показателей состояния реанимируемого, регистрацию, индикацию и передачу в систему скорой медицинской помощи результатов измерений. На основе этой информации медицинские работники дистанционно оценивают состояние пациента, корректируют действия спасателя, находящегося около аппарата, и по прибытии сразу же начинают оказывать реанимационную помощь: введение лекарственных препаратов, проведение искусственное дыхание и т.д.

На данный момент на рынке аппаратов для СЛР выделяются марки LUCAS [1] и ZOLL [2]. Серия устройств Lucas обеспечивает компрессию грудной клетки с помощью поршня с электрическим или пневматическим приводом (рис. 1).



Рис. 1. Аппарат для СЛР компании Lucas:  
а – Lucas 2 с электрическим приводом; б – Lucas 1 с пневматическим приводом

Аппарат для СЛР Autopulse компании ZOLL имеет электрический привод и ременной механизм компрессии грудной клетки (рис. 2). Ременной механизм обеспечивает сжатие грудной клетки по верхнему фронту, что позволяет избежать перенапряжения на отдельных участках грудной клетки с переломами ребер.



Рис. 2. Аппарат для СЛР Autopulse компании ZOLL

Основные технические характеристики аппаратов для СЛР Lucas и Autopulse представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики аппаратов для СЛР

Характеристика аппарата	Тип аппарата для СЛР				
	Lucas 1	Lucas 2	Lucas 3.0	Lucas 3.1	Autopulse
Частота компрессий, цикл/мин	100	100 ± 5	102 ± 2	102 ± 2; 111 ± 2; 120 ± 2	80 ± 5
Глубина компрессий, мм	50	40–50	53 ± 2 для пациентов с высотой груди более 185 мм. 40–53 для пациентов с высотой груди менее 185 мм	53 ± 2 для пациентов с высотой груди более 185 мм. 40–53 для пациентов с высотой груди менее 185 мм	20 % высоты груди с абсолютной погрешностью не более +6,3/-12,7 мм
Длительность интервала времени декомпрессии относительно длительности полного цикла, %	50	50 ± 5	50 ± 5	50 ± 5	50 ± 5

Аппараты начальных версий автоматизируют непрямой массаж сердца, но не содержат в своем составе информационно-измерительную систему, позволяющую улучшить качество СЛР и облегчить работу спасателя. В каждой последующей версии аппарата Lucas качество проведения непрямого массажа сердца при СЛР повышается, обеспечивается контроль частоты и глубины сжатия грудной клетки. Для обеспечения безопасности работы устройства и при проведении СЛР в аппарате Lucas 3.1 реализована система управления безопасностью. С ее появлением стало возможным производить автоматическую проверку исправности основных частей аппарата, контролировать в процессе эксплуатации работу блока компрессии, уровень заряда аккумулятора, т.е. в аппарате реализован частичный функциональный самоконтроль.

В аппарате Lucas 3 осуществляется сбор данных о проведении СЛР и формировании отчета о реанимации.

Содержание отчета о СЛР:

- 1) сводка по использованию устройства: время сжатия, коэффициент, скорость, количество компрессий, количество пауз более 10 с и продолжительность самой длинной паузы между компрессиями;
- 2) визуальная временная шкала, показывающая интервалы времени сжатия и паузы;
- 3) журнал регистрации действий спасателя, оповещений о разряде батареи и сигналов тревоги;
- 3) полная информация о настройках аппарат в процессе СЛР;
- 4) результаты комплексного анализа данных специализированным программным обеспечением.

Связь спасателя с диспетчером скорой медицинской помощи обеспечивается по Bluetooth или электронной почте после регистрации устройства через сеть Wi-Fi. Объем памяти аппарата LUCAS 3.1 для хранения данных о процессе СЛР составляет 4 Гб. Собранные данные используются для формирования личной карточки пациента, составления плана постреанимационных мероприятий, а также передаются в региональную информационную медицинскую систему для статистической обработки с целью повышения качества оказания медицинской помощи.

Аппарат для СЛР состоит из следующих основных компонентов: блок питания, механизм компрессии грудной клетки, блок управления с индикатором, блок памяти, центральный процессор; таймеры; динамик, сообщающий о временных интервалах проведения непрямого массажа сердца и паузах для вентиляции легких; датчик перемещения поршня при компрессии грудной клетки.

Анализ технических характеристик существующих аппаратов для СЛР и патентной информации в рассматриваемой области, в частности, патентов US20170246078A1 «Cardiopulmonary resuscitation (CPR) feedback systems and methods», 2017; US5496257A «Apparatus for assisting in the application of cardiopulmonary resuscitation», 1994; US-6332872-B1 «Portable cardiopulmonary resuscitation device with precise compression depth and uniformity», 2001; US20190029919A1 «Automatic cardiopulmonary resuscitation device and control method therefor», 2019; US5327887A Cardiopulmonary resuscitation device, 1994; US20160213559 «Apparatus for providing cardiopulmonary resuscitation and application aid», 2013; US9801782B2 «Support devices for head up cardiopulmonary resuscitation»; EP3037127A1 «Medical device for assisting a user in manually delivering repetitive resuscitation therapy», 2016, показывает, что совершенствование аппарата идет в двух основных направлениях: улучшение конструкции и оптимизация системы управления, составляющей которой является измерительная система.

Измерительная система предназначена для измерения показателей состояния здоровья реанимируемого и функциональных показателей аппарата в процессе эксплуатации. Существенное улучшение метрологических характеристик измерительной системы может быть достигнуто путем интеллектуализации. Согласно ГОСТ Р 8.673–2009 интеллектуализация средства измерений состоит в придании ему свойства адаптации и функции автоматического метрологического самоконтроля, методы которого определены ГОСТ 8.734–2011: прямой метрологический самоконтроль и диагностический метрологический самоконтроль.

Критическим показателем качества выполнения непрямого массажа сердца является давление на грудину, обеспечивающее необходимую глубину сжатия грудины без ее повреждения, поэтому измерительной системе целесообразно придать функцию метрологического самоконтроля датчику силы, который является первичным измерительным преобразователем канала измерения давления поршня на грудину при компрессиях. Сила воздействия поршня на грудину составляет до 500Н, что при диаметре поршня 0,12 м создает давление 44,2 кПа.

Прямой метрологический самоконтроль датчика силы аппарата для СЛР не может быть реализован, поскольку для этого в состав измерительной системы необходимо ввести набор мер массы с суммой номинальных значений 50 кг, что недопустимо утяжеляет аппарат и требует существенных изменений конструкции механизма компрессии для реализации режима самокалибровки путем введения устройства сравнения сил тяжести и компрессии [3–6].

В связи с этим в измерительной системе аппарата для СЛР может быть реализован только диагностический метрологический самоконтроль с формированием опорного значения давления как среднего результата измерения давления группой однотипных тензодатчиков [7]. Для этого на рабочей поверхности поршня, круге диаметром 120 мм, предложено разместить 16 тензорезисторов типа ЕВ 001 производства АО «ННИФИ», г. Пенза (рис. 3).

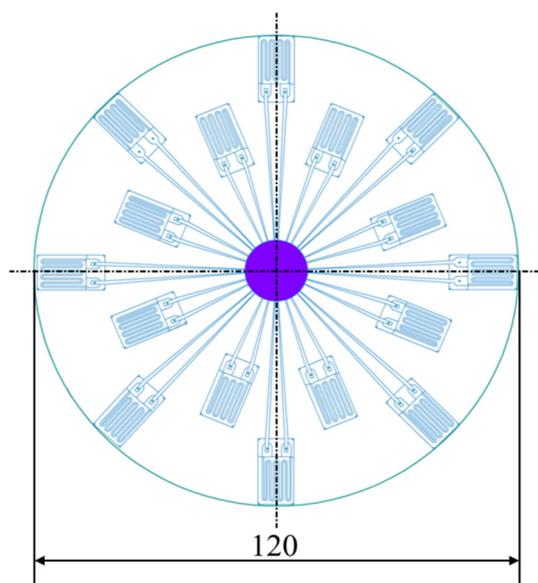


Рис. 3. Расположение тензорезисторов на рабочей поверхности поршня

Основные технические характеристики тензорезистора ЕВ 001 представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные технические характеристики тензорезистора ЕВ 001

Характеристики	Показатели
Диапазон измерений при статических нагрузках при динамических нагрузках	$\pm 3000$ МкМ/м $\pm 3000$ МкМ/м
Номинальное электрическое сопротивление	100–800 Ом
Чувствительность в нормальных условиях	1,9–2,3
Температурный режим	–196/+150 °С
Вибрационные ускорения/частотный диапазон	4,9–980/3–100 000 м/с <sup>2</sup> /Гц
Ударные ускорения	6860 м/с <sup>2</sup>
Масса	0,02 г

Структура аппарата для непрямого массажа сердца с интеллектуальной информационно-измерительной системой представлена на рис. 4. Аппарат состоит из блока управления, который обеспечивает информационное взаимодействие всех компонентов аппарата и формирование отчета о СЛР, блока формирования компрессии, блока измерительных каналов и блока интерфейсов.

Блок измерительных каналов имеет в своем составе электронный электрокардиограф, канал измерения частоты пульса, канал измерения сатурации крови кислородом и канал измерения давления газа в конце выдоха. Электронный электрокардиограф, каналы измерения частоты пульса и сатурации крови кислородом могут быть реализованы аналогично информационно-измерительной системе для телемедицинского мониторинга состояния больного COVID-19 [8].

Блок интерфейсов позволяет аппарату осуществлять оперативную связь между участниками процесса реанимации. Обмен информацией между аппаратом и спасателем в процессе реанимации ведется через пульт управления, дисплей и по аудиоканалу. Одновременно спасатель корректирует свою деятельность в соответствии с рекомендациями диспетчерской скорой медицинской помощи и информирует реанимационную бригаду о текущих значениях показателей состояния реанимируемого в процессе движения реанимобиля к месту реанимации. За счет наличия блока интерфейсов аппарат для СЛР интегрируется в существующую региональную медицинскую информационную систему.

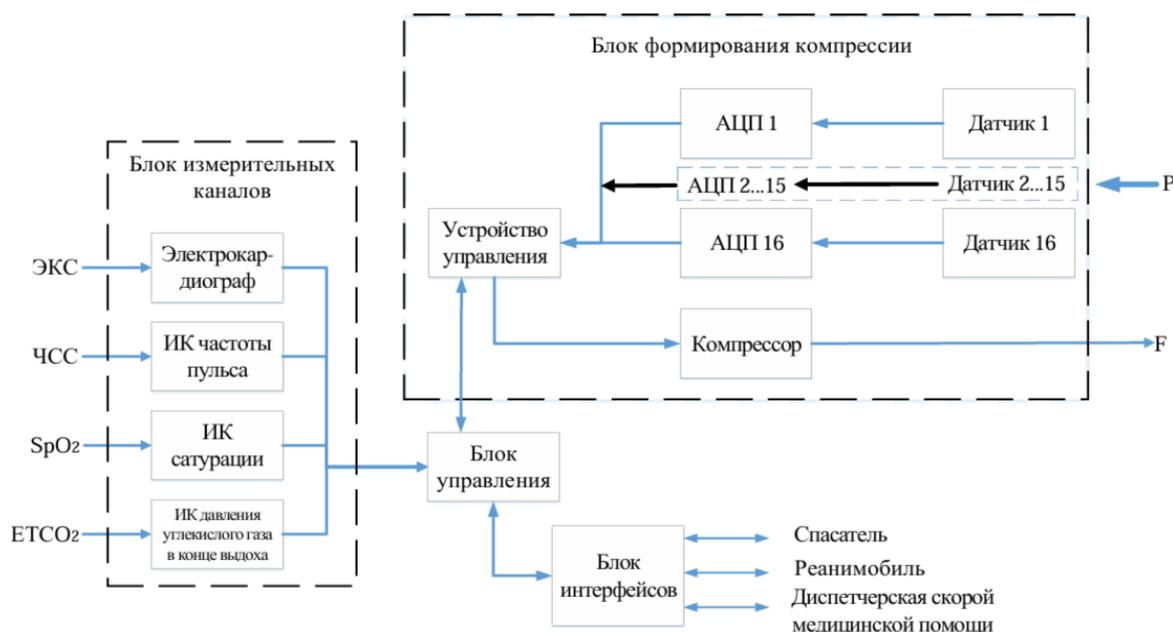


Рис. 4. Структура аппарата для непрямого массажа сердца с интеллектуальной информационно-измерительной системой

Блок формирования компрессии состоит из устройства управления, которое управляет работой компрессора с силой  $F$  и канала измерения давления  $P$  с диагностическим метрологическим самоконтролем. Метрологический самоконтроль организуется за счет аппаратной

избыточности в виде 16 идентичных каналов измерения давления, состоящих из датчика давления и аналого-цифрового преобразователя, и функциональной избыточности в форме вычисления среднего арифметического 16 синхронных результатов измерения давления.

#### Заключение

Интеллектуализация измерительной системы является одним из направлений совершенствования технической системы, в состав которой она входит. Аппаратная, функциональная, временная избыточность, вводимая в систему, позволяет придать ей интеллектуальное свойство адаптивности и реализовать функцию метрологического самоконтроля. Применительно к аппарату для непрямого массажа сердца в ходе сердечно-легочной реанимации разработанная интеллектуальная измерительная система позволяет повысить эффективность и безопасность массажа. В измерительной системе реализован диагностический метрологический самоконтроль канала измерения давления при формировании компрессий путем установки на рабочей поверхности поршня 16 идентичных датчиков давления на основе тензорезистора типа ЕВ 001. Значение давления определяется как среднее арифметическое результатов аналого-цифрового преобразования выходных сигналов датчиков. Следующим этапом автоматизации процесса сердечно-легочной реанимации представляется разработка системы искусственной вентиляции легких, что потребует дальнейшего совершенствования интеллектуальной информационно-измерительной системы аппарата для сердечно-легочной реанимации.

#### Список литературы

1. LUCAS chest compression system. URL: <https://www.lucas-cpr.com>
2. ZOLL AutoPulse NXT Resuscitation System. URL: <https://www.zoll.com>
3. Данилов А. А. Направления совершенствования измерительных систем и их метрологического обеспечения // Измерительная техника. 2023. № 8. С. 24–29. doi: 10.32446/0368-1025it.2023-8-24-29
4. Козырев Г. И., Лавров Р. О., Усиков В. Д. Построение интеллектуальной измерительной системы контроля метрологической надежности автоматизированного комплекса метрологического обслуживания вооружения и военной техники // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2020. № 3. С. 16–24. doi: 10.21685/2307-5538-2020-3-2
5. Михайлов П. Г., Соколов А. В., Аналиева А. У. [и др.]. Самодиагностика в интеллектуальных преобразователях физических величин // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 1. С. 33–41. doi: 10.21685/2307-5538-2019-1-5
6. Печерская Е. А., Голубков П. Е., Карпанин О. В. [и др.]. Интеллектуальная система управляемого синтеза оксидных покрытий // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2019. № 2. С. 99–107. doi: 10.21685/2307-5538-2019-2-12
7. Мусаев Р. Ш., Трофимов А. А., Фролов М. А. Имитационное моделирование чувствительного элемента тензорезистивного датчика абсолютного давления // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2012. № 2. С. 51–55.
8. 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

#### References

1. LUCAS chest compression system. Available at: <https://www.lucas-cpr.com>
2. ZOLL AutoPulse NXT Resuscitation System. Available at: <https://www.zoll.com>
3. Danilov A.A. Directions of improvement of measuring systems and their metrological support. *Izmeritel'naya tekhnika = Measuring equipment*. 2023;(8):24–29. (In Russ.). doi: 10.32446/0368-1025it.2023-8-24-29
4. Kozyrev G.I., Lavrov R.O., Usikov V.D. Construction of an intelligent measuring system for monitoring the metrological reliability of an automated complex for metrological maintenance of weapons and military equipment. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2020;(3):16–24. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2020-3-2
5. Mikhaylov P.G., Sokolov A.V., Analieva A.U. et al. Self-diagnosis in intellectual converters of physical quantities. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2019;(1):33–41. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2019-1-5
6. Pecherskaya E.A., Golubkov P.E., Karpanin O.V. et al. Intelligent system of controlled synthesis of oxide coatings. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control*. 2019;(2):99–107. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2019-2-12

7. Musaev R.Sh., Trofimov A.A., Frolov M.A. Simulation modeling of a sensitive element of a strain-resistant absolute pressure sensor. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurement. Monitoring. Management. Control.* 2012;(2):51–55. (In Russ.)
8. Baranov V.A., Pecherskaya E.A., Safronov M.I., Timokhina O.A. Information and measurement system for telemedicine monitoring of a COVID-19 patient. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2021;(1):85–92. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2021-1-10

**Информация об авторах / Information about the authors**

**Алексей Анатольевич Трофимов**

доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры информационно-измерительной  
техники и метрологии,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: alex.t1978@mail.ru

**Aleksei A. Trofimov**

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

**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

**Victor A. Baranov**

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

**Кирилл Алексеевич Ильин**

магистрант,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: kirik3271nikita99@yandex.ru

**Kirill A. Ilin**

Master degree student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Егор Андреевич Першин**

студент,  
Пензенский государственный университет  
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)  
E-mail: iit@pnzgu.ru

**Egor A. Pershin**

Student,  
Penza State University  
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию / Received 24.03.2025**

**Поступила после рецензирования / Revised 24.04.2025**

**Принята к публикации / Accepted 19.05.2025**