

## АППАРАТНЫЙ СОСТАВ И АЛГОРИТМ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОСЕЙСМОКАРДИОБЛОКА ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЧЕЛОВЕКА

Ю.К. Грузевич<sup>1,2</sup>, В.М. Ачильдиев<sup>1,5</sup>, Н.А. Бедро<sup>1</sup>, Ю.Н. Евсева<sup>1</sup>, М.Н. Комарова<sup>1</sup>, Н.С. Коннова<sup>2</sup>, М.А. Басараб<sup>2</sup>, Д.А. Басараб<sup>3</sup>, В.М. Успенский<sup>4</sup>

<sup>1</sup>ОАО «НПО Геофизика-НВ», 107076, г. Москва, ул. Матросская Тишина, д. 23, стр. 2

<sup>2</sup>МГТУ им. Н. Э. Баумана, 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

<sup>3</sup>Центр сердечно-сосудистой хирургии ГУЗ «Белгородская областная клиническая больница Св. Иоасафа», 308007, г. Белгород, ул. Некрасова, д. 8/9

<sup>4</sup>Филиал Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова, 107392, г. Москва, ул. Малая Черкизовская, д. 7

<sup>5</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

yukg@mail.ru

Разработан электросейсмокардиоблок на базе малошумящего высокоточного трехосевого микромеханического акселерометра и двадцатичетырехразрядного сигма-дельта АЦП для регистрации электро- и сейсмокардиограммы, связанных между собой во времени. Представлена блок-схема и алгоритм работы электросейсмокардиоблока. Проведен анализ научных работ в данной области, который показал, что сейсмокардиография опробована в специализированных областях медицины — космической и спортивной. Исследована зависимость влияния заболеваний сердечно-сосудистой системы на форму волны сейсмокардиосигнала. Рассмотрены основные методы цифровой обработки сигналов, а также возможности применения данных электросейсмокардиографии для диагностики состояния сердечно-сосудистой системы. По результатам работы сделан вывод о возможности использования сейсмокардиографии при диагностике сердечно-сосудистой системы как отдельного метода диагностики, так и в дополнение к стандартизованным методам электрокардиографии.

**Ключевые слова:** электрокардиография, сейсмокардиография, фазовый портрет, МЭМС-датчики

**Ссылка для цитирования:** Грузевич Ю.К., Ачильдиев В.М., Бедро Н.А., Евсева Ю.Н., Комарова М.Н., Коннова Н.С., Басараб М.А., Басараб Д.А., Успенский В.М. Аппаратный состав и алгоритм работы электросейсмокардиоблока для неинвазивной диагностики заболеваний человека // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 4. С. 66–75. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-4-66-75

Терминология сейсмокардиографии происходит от технологии, используемой в сейсмологии, где исследователи изучают вибрации при землетрясении и распространении упругих волн. Первую заявку подал немецкий геофизик Г. Ангенхейстер в 1920-х гг. Он обнаружил сердечные сигналы от вибрации тела при размещении прибора для регистрации землетрясений на столе.

В начале 1960-х гг. российские исследователи впервые использовали термин «сейсмокардиограмма». Две группы, возглавляемые Р.М. Баевским и Б.С. Боженко, позаимствовали технологию из сейсмологии и измерили ускорение от сердечных сокращений [1, 2].

Группа Боженко записала сигнал, прикрепив акселерометр на грудную стенку, лежавший в диапазоне частот 4...40 Гц. В отличие от высокоточных современных МЭМС-акселерометров, используемый Боженко акселерометр был генератором с магнитной пружиной, который генерирует ток от индукционных катушек в соответствии с обнаруженным им ускорением. Боженко удалось записать одновременно электрокардиограмму (ЭКГ) и сейсмокардиограмму (СКГ) и проанализировать интервалы между ними. Систолический и диастолический компоненты от СКГ были интерпретированы, и их связь с волнами ЭКГ была также проанализирована.

Группа Баевского измеряла вибрацию, вызванную сердцебиением, так же, как сейсмолог определяет подземную вибрацию, вызванную землетрясением. Несмотря на то, что они использовали иной метод, качество их записи было таким же высоким, как и у группы Боженко — сердечные циклы были четко выделены один относительно другого.

Задача российских исследователей состояла в том, чтобы применить эту технологию в качестве метода мониторинга здоровья в аэрокосмической программе. После первого эксперимента по микрогравитации на собаке на третьем советском спутнике в 1960-х гг., на ракетах «Восток-5» и «Восток-6» были зарегистрированы первые СКГ у космонавтов, что составляло часть космических задач на начало 1970-х гг. До сих пор СКГ все еще используется, в частности на Международной космической станции (МКС), как часть космических экспериментов (с 2007 г.) [3].

По сравнению с внедрением СКГ в аэрокосмическую область ее применение в клинических и коммерческих целях идет относительно медленно. Первые СКГ в медицинских целях применили Д. Салерно и Дж. Занетти в 1991 г., а затем коммерциализировала компания SeisMed Instruments. Инструмент, переоборудованный из сейсмологического исследовательского

оборудования, был прикреплен к груди пациентов в дорсо-вентральном направлении. Эта экспериментальная установка рассматривалась как одна из стандартных установок в будущем.

В период с 1991 по 1994 гг. проводились различные эксперименты с использованием этой методики измерения СКГ и других технологий мониторинга сердца [4, 5]. Как показали эксперименты, СКГ обладает более высокой чувствительностью и дает возможность получить более детальные данные по сравнению с ЭКГ, особенно при выявлении ишемической болезни сердца. При одновременных эхокардиографии и СКГ была проанализирована терминология многих видов сердечной деятельности [2].

Дальнейшие исследования показали, что комбинацию ЭКГ и СКГ можно сопоставить с ультразвуковой доплеровской визуализацией [6]. Кроме того, было доказано, что СКГ совместима с магнитным полем, что обеспечивает возможность его использования в качестве мониторинга сердечной деятельности во время магниторезонансной терапии (МРТ) [7].

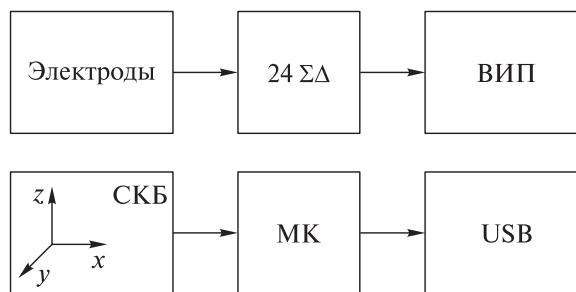
## Цель работы

Рассмотрены основные методы цифровой обработки сигналов, а также возможности применения данных электросейсмокардиографии для диагностики состояния сердечно-сосудистой системы.

## Состав и алгоритм работы электросейсмокардиоблока

Благодаря стремительному развитию микроэлектроники и электроники в последние десятилетия стало возможным изготовление малогабаритного сейсмокардиоблока (СКБ). На печатной плате диаметром 35 мм удалось разместить трехосевой микромеханический акселерометр, микромеханический гироскоп, микроконтроллер и вторичную электронику для осуществления питания и взаимодействия с СКБ. Измерение одной сейсмокардиограммы бессмысленно без регистрации ЭКГ в силу разности физиологических процессов, которые они характеризуют. ЭКГ показывает электрофизическую деятельность сердечной мышцы, в то время как СКГ отображает механические колебания грудной стенки, связанные с деятельностью сердечной мышцы (рис. 1).

Ключевым элементом ЭСКБ является 24-рядный сигма-дельта аналого-цифровой преобразователь (АЦП), позволяющий измерять амплитуду дифференциального сигнала с разрешением 0,2 мкВ при уровне входного шума 4 мкВ и частотой дискретизации до 32 kSPS. Используемое АЦП специально предназначено для измерения ЭКГ, имеет восемь входных каналов, позволяющих реализовать схемы измерения по Франку,



**Рис. 1.** Блок-схема электросейсмокардиоблока: СКБ — сейсмокардиоблок; АЦП — аналого-цифровой преобразователь; МК — микроконтроллер; ВИП — вторичный источник питания; USB — universal serial bus

**Fig. 1.** Block diagram of the electro-seismic cardioblock: СКБ — seismic cardioblock; АЦП — analog-to-digital converter; МК — microcontroller; ВИП — a secondary power source; USB — universal serial bus

Эйтховену, Небу. В ЭСКБ используется классический метод измерения ЭКГ по Эйтховену — с использованием четырех электродов, позволяющих сформировать три классических отведения ЭКГ (I, II, III). Другим преимуществом данного АЦП является встроенная функция фильтрации данных. В АЦП также есть фильтр низких частот, настраиваемый в зависимости от скорости информационного обмена, и фильтр синфазной помехи входного сигнала, в котором подавление синфазной помехи осуществляется на уровне 100 дБ. Оцифрованные данные с АЦП поступают на микроконтроллер, который компонует результаты измерения ЭКГ и СКГ. Сейсмокардиоблок имеет собственный микроконтроллер, осуществляющий первичную обработку данных, полученных с трехосевого микромеханического акселерометра фирмы Kionix марки KXR94-2050. Микромеханический акселерометр обладает малым уровнем внутренних шумов (не более  $45 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$ ) и малой погрешностью измерения — 0,1%. Вторым ключевым элементом СКБ является микромеханический гироскоп L3GD20H, используемый для компенсации углового перемещения СКБ.

Сейсмокардиоблок может выступать в роли отдельного прибора, в нем имеется собственный микроконтроллер со встроенным программным математическим блоком обработки информации. Это позволяет снизить вычислительную нагрузку с микроконтроллера ЭСКБ и использовать более гибкую обработку ЭКГ и СКГ (рис. 2), имеющих разную полосу пропускания. В частности, полоса пропускания ЭКГ лежит в пределах 0...300 Гц [8], СКГ — не превышает 100 Гц. При измерении ЭКГ регистрируются не только биоэлектрические сигналы, но и наведенные наводки. Человек выступает в качестве антенны, на которую наводятся помехи бытовой электросети 50...60 Гц. Они могут достигать десятичных значений милливольт, что при сигнале ЭКГ в 1 мВ критично. Для этого

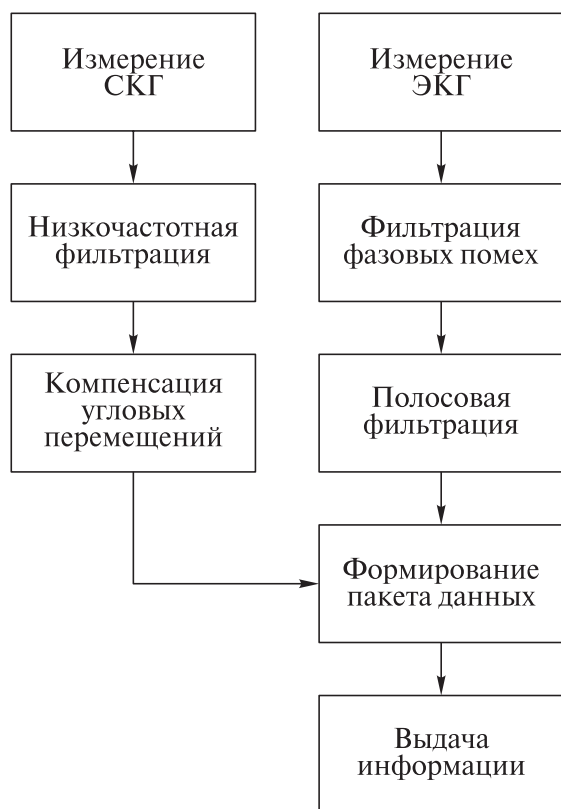


Рис. 2. Блок-схема работы электросейсмокардиоблока  
Fig. 2. The block diagram of the electro-seismic cardiac block operation

в ЭСКБ используется фильтр синфазной помехи, который позволяет уменьшить уровень шума на 100 дБ. Помимо синфазного фильтра в обработке ЭКГ используют полосовой фильтр с полосой пропускания 0,05...300 Гц для удаления тренда, вызванного изменением сопротивления контакта электрод — человек, а также шумов выше полосы пропускания. Сейсмокардиоблок менее подвержен влиянию синфазной помехи, так как наводки на внутренние цепи компенсируются конструкторскими решениями, а синфазная помеха по цепи питания подавляется использованием стабилизаторов напряжения повышенной точности. Помимо механических колебаний грудной стенки, микромеханический акселерометр измеряет проекцию ускорения свободного падения на оси чувствительности. В целях исключения влияния ускорения свободного падения, а также пространственного перемещения человека используется микромеханический гироскоп для вычисления угловых скоростей и компенсации угловых перемещений с использованием матрицы поворота. Микроконтроллер ЭСКБ проводит обработку ЭКГ, а также осуществляет управление СКБ. Помимо формирования пакета данных, содержащих как СКГ, так и ЭКГ, необходимо синхронизировать данные между собой. Электросейсмокардиоблок выдает данные ЭКГ по трем отведениям, СКГ — по трем осям.

## Методы неинвазивной диагностики на основе данных ЭКГ и СКГ

Одним из самых наиболее значимых наследий в области сейсмокардиографии и электрокардиографии на сегодняшний день является стандартная интерпретация и номенклатура сегмента графиков СКГ и ЭКГ в зависимости от различных событий в течение сердечного цикла [9, 10] (рис. 3).

Зубцы ЭКГ — это участки, лежащие выше изолинии: *P* — сокращение и расслабление предсердий; *Q*, *S* — возбуждение межжелудочковой перегородки; *R* — возбуждение желудочков; *T* — расслабление желудочков.

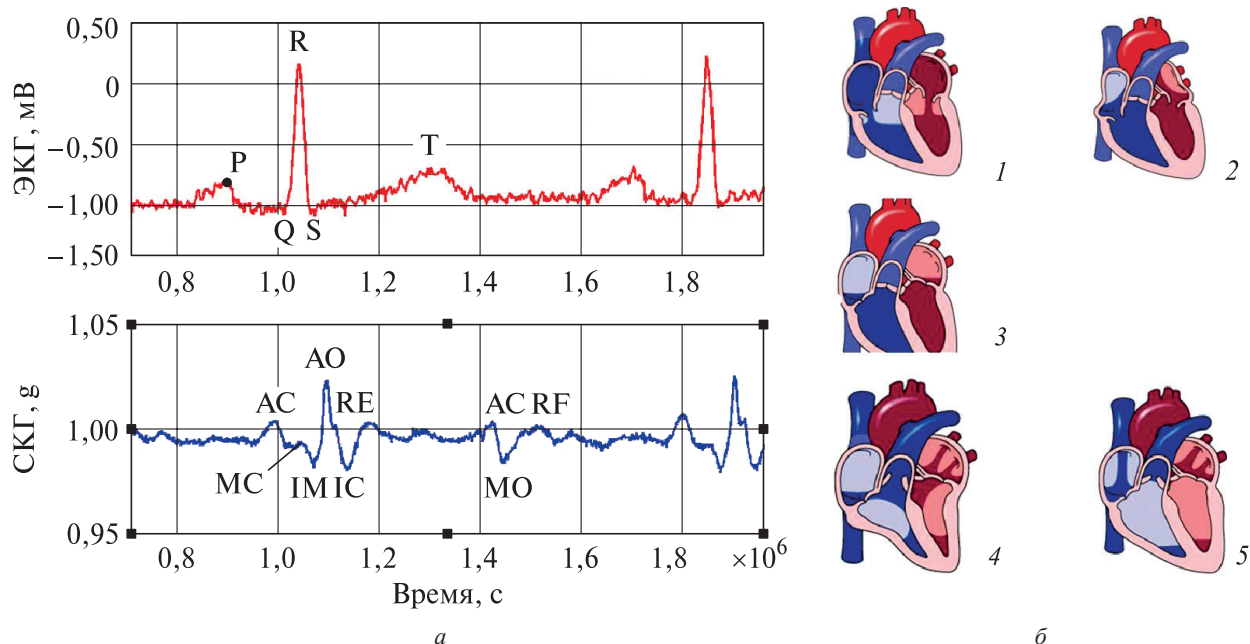
Интервалы ЭКГ — это участки, лежащие на изолинии: *PQ* — время распространения импульса от предсердий до желудочков.

Сегменты ЭКГ — это участки, включающие в себя интервал и зубец: *QRST* — длительность сокращения желудочков; *ST* — время полного возбуждения желудочков; *TP* — время электрической диастолы сердца.

Зубцы СКГ — это следующие участки: *AS* — систола (сокращение) предсердия; *MC* — закрытие митрального клапана; *IM* — изоволюмическое сокращение желудочков: все клапаны закрыты, кровь не движется; *AO* — открытие аортального клапана; *IC* — изотоническое сокращение; *RE* — пик быстрого выброса; *AC* — закрытие аортального клапана; *MO* — открытие митрального клапана; *RF* — быстрое заполнение.

За работу сердечной мышцы отвечает синоатриальный узел (САУ), называемый синусовым узлом (водитель первого порядка), который является нормальным естественным водителем ритма сердца и отвечает за запуск сердечного цикла (сердцебиение). Он спонтанно генерирует электрический импульс, который после прохождения по всему сердцу заставляет его сокращаться. Хотя электрические импульсы генерируются спонтанно, скорость поступления импульсов и, следовательно, частота сердечных сокращений находятся под контролем нервной системы. Таким образом, САУ генерирует электрический импульс, который, проходя по предсердиям, вызывает их сокращение (см. рис. 3, б), что характеризует Р-волна ЭКГ.

Сокращение предсердий приводит к «дозаполнению» желудочков, сопровождается механическими колебаниями, которые регистрируются на грудной клетке как *AS*-пик СКГ. За время прохождения электрического импульса от предсердий к желудочкам (интервал *P-Q*) происходит расслабление мышц предсердия, закрываются митральный *MC* и трехстворчатый клапаны — так называемое изоволюмическое сокращение *IM* (см. рис. 3, б) когда все клапаны закрыты и кровь не движется.



**Рис. 3.** Электро- и сейсмокардиограмма (а) с иллюстрацией работы сердечной мышцы (б): 1 — диастола: наполнение желудочков; 2 — пресистола: сокращение предсердий; 3 — систола: изоволюмическое сокращение, все клапаны закрыты, кровь не движется; 4 — систола: изгнание крови из желудочков, полулунные клапаны открыты; 5 — полулунные клапаны закрыты

**Fig. 3.** Electro-and seismocardiogram (a) with an illustration of the heart muscle (b): 1 — diastole: filling the ventricles; 2 — presystole: atrial contraction; 3 — systole: isovolumic contraction, all valves are closed, blood does not move; 4 — systole: expulsion of blood from the ventricles, lunar valves open; 5 — semilunar valves are closed

Электрический импульс, проходя через ножки пучка Гиса, приводит к возбуждению межжелудочковой перегородки (*Q*-волна ЭКГ), что приводит к сокращению левого и правого желудочка (*R*-пик), происходит систолический процесс изгнания крови из желудочков, открываются полулунные клапаны (аорты) *АО* (см. рис. 3, б), кровь начинает поступать в аорты, под действием электрического импульса продолжается изотоническое сокращение предсердий (*IC*), что приводит к быстрому выбросу крови (*RE*). Далее происходит расслабление желудочков (*TP*-сегмент ЭКГ) и закрытие полулунных клапанов (аортального клапана *AC*). Открываются митральный и трехстворчатый клапаны (*МО*), начинается заполнение предсердий кровью, сопровождаемое быстрым заполнением *RF* (см. рис. 3, б). Таким образом, ЭКГ визуализирует прохождение электрического импульса по сердечной мышце, отражая ее функциональные особенности, а СКГ отображает динамические характеристики сердца.

Современная диагностика по ЭКГ заключается в расшифровке полученных данных специалистом, обладающим достаточными знаниями в данной области. Расшифровка заключается в сравнении измеренных показателей ЭКГ: *P*, *T*-зубца, *QRS*, *ST*-комплексов с шаблонами, характерными для заболеваний сердечно-сосудистой системы. С помощью проведения элек-

трокардиографии можно обнаружить следующие отклонения:

- нарушения сердечного ритма: тахикардию, аритмию, мерцательную аритмию, брадикардию и пр.;
- проявления ишемической болезни сердца;
- сердечные блокады: нарушения электрической проводимости сердца.

Некоторые нарушения со стороны сердечной системы могут оставаться незамеченными, если они не проявились в момент обследования. В таких случаях больному назначают суточное мониторирование.

Вследствие того, что масса левого желудочка в норме значительно больше массы правого желудочка, электрические процессы, происходящие в левом желудочке, суммарно сильнее, и электрическая ось сердца будет иметь некоторое угловое смещение. Направление электрической оси сердца показывает суммарную величину биоэлектрических изменений, протекающих в сердечной мышце при каждом ее сокращении, и отражает электрические процессы, происходящие в сердце. Таким образом, заболевания сердечной мышцы оказывают влияние на направление оси, что приводит к необходимости включения данного параметра в контрольную группу. В зависимости от индивидуальных анатомических особенностей положение электрической оси сердца у здоровых людей может колебаться от 0 до 90° [11, 12].

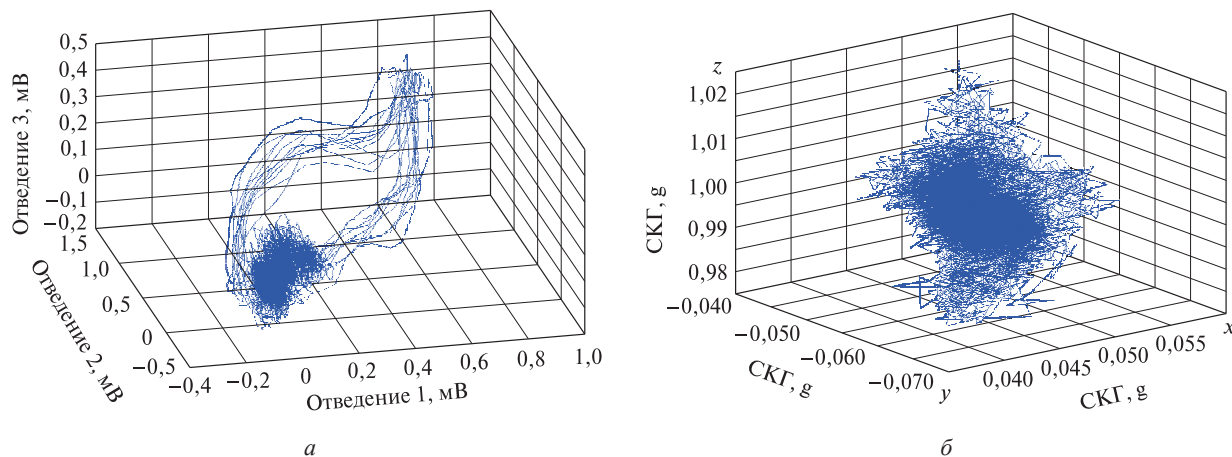


Рис. 4. Фазовые портреты ЭКГ (а) и СКГ (б)  
 Fig. 4. Phase portraits of EKG (a) and SKG (б)

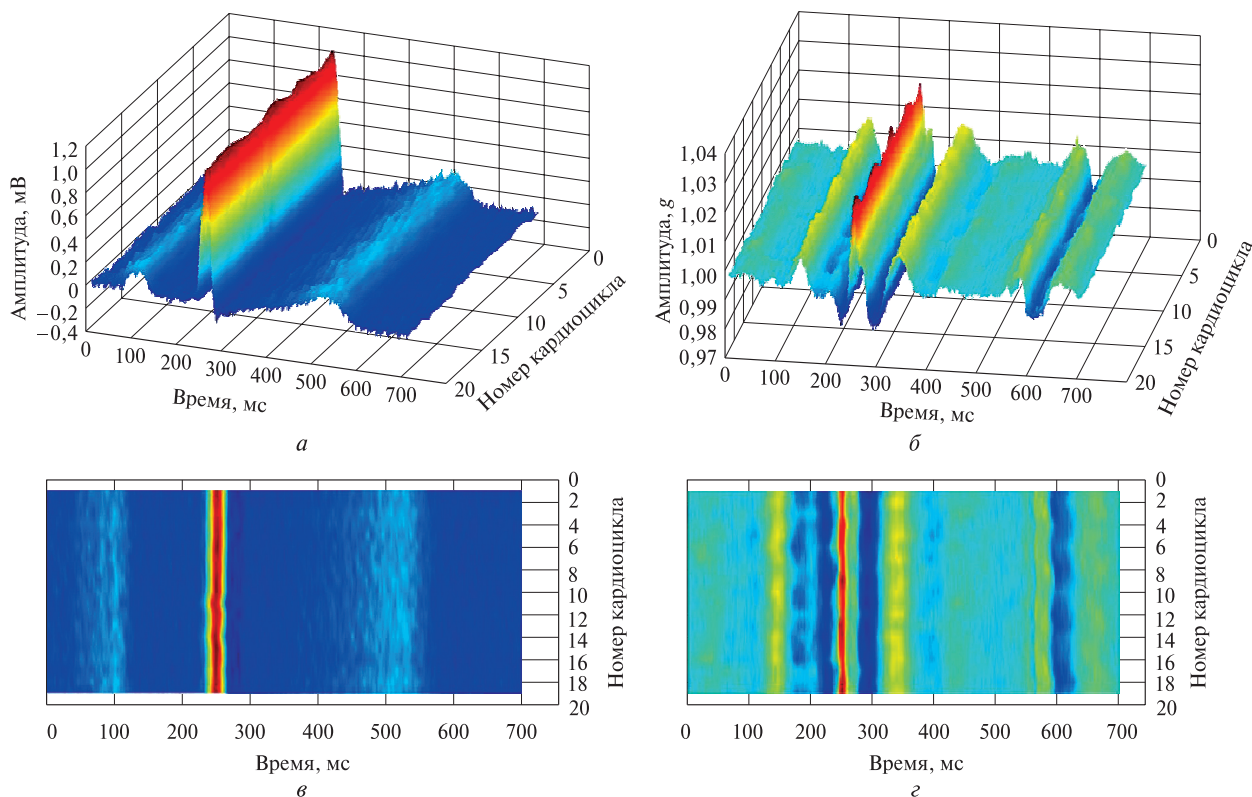


Рис. 5. Амплитудно-временные графики изменения ЭКГ (а, в) и СКГ (б, з) для нескольких кардиоциклов в трехмерном пространстве  
 Fig. 5. Amplitude-time graphs of changes in EKG (a, в) and SKG (б, з) for several cardiocycles in three-dimensional space

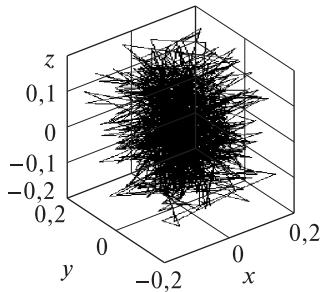
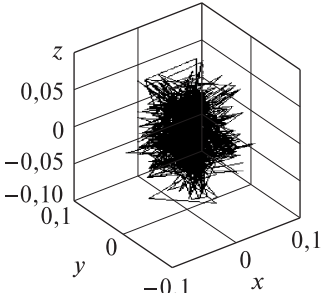
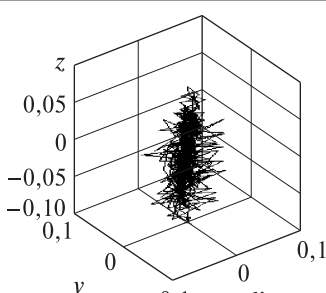
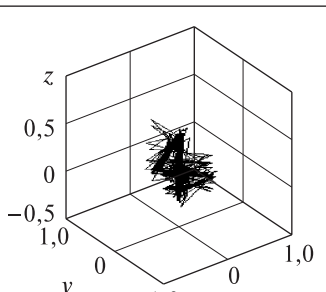
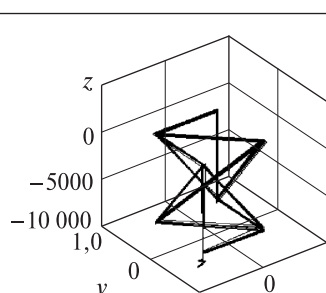
В настоящее время нет утвержденных эталонов СКГ, где приводились бы показатели и характеристики, соответствующие заболеваниям сердечно-сосудистой системы. В большинстве работ, посвященных данной области, рассматривается возможность измерения СКГ с применением различных микромеханических акселерометров и вибродатчиков, а также изучение вариабельности СКГ [13–16].

Помимо разработки экспериментального образца ЭСКБ перед нами стояла задача нахождения метода диагностики заболеваний, альтернативно-

го традиционной диагностике по ЭКГ. Поскольку расшифровку ЭКГ может проводить только узкий круг специалистов, увеличивается время от процедуры измерения до выявления патологии. Необходимо разработка первичного диагностического метода, позволяющего сразу же после измерения получать заключение о работе сердечно-сосудистой системы и при необходимости направлять на последующую диагностику или расшифровку данных. В этих целях для обработки данных СКГ применили метод построения фазовых портретов,

**Классификация «динамических» фазовых портретов ЭКГ [18]**

**Classification of «dynamic» EKG phase patterns [18]**

Название	Вид фазового портрета	Летальность,%	Характеристика ритма
Большой однородный «клубок»		–	Однородность, изотропность наполнения. Ритм в норме
Малый однородный «клубок»		–	Однородность, изотропность наполнения. «Жесткий» ритм
«Веретено»		1,02	Однородность, неизотропность. Мерцательная аритмия
«Крест»		56,34	Выход за пределы устойчивости. Потеря аттрактора. Фибрилляции, re-entry
Простые геометрические фигуры		95,80	Необратимый процесс. Кома. Несколько часов до смерти

на основе фазовых портретов ЭКГ [17] для определения электрической оси сердечной мышцы, когда в трехмерном пространстве строится график зависимости между I, II и III отведениями (рис. 4). Как видно из рис. 4, фазовый портрет СКГ имеет форму овального клубка, в то время как фазовый портрет ЭКГ-сигнала отображает четкую цикличность сердечного ритма.

На первый взгляд, по фазовому портрету СКГ нельзя в дальнейшем получить какую-либо информацию, однако известны работы [18], когда сигнал ЭКГ рассматривается как сигнал динамической системы и фазовый портрет строится лишь по одному отведению. В качестве динамических переменных были выбраны величина  $RR$ -интервала и скорость ее изменения. При формировании третьей оси фазового пространства (3D-3 dimension) выбирается величина  $RR$ -интервала со сдвигом на один интервал или на величину  $n$ , соответствующую четверти периода низкочастотной составляющей АКФ (первое пересечение номерной оси). В таблице приведены формы фазовых портретов и статистика летальности.

Как видно из таблицы, фазовый портрет СКГ, приведенный на рис. 4, б, соответствует фазовому портрету «Большой однородный клубок». При наборе статистических данных с группировкой их по заболеваниям и физиологическим особенностям, возможна качественная оценка диагностики заболеваний на основе фазовых портретов СКГ.

Также известна методика диагностики заболеваний на основе вариабельности амплитуды и интервалов R-пика ЭКГ [19] вследствие его наибольшего энергетического вклада. На основе данной методики диагностируется до 40 наиболее распространенных и опасных заболеваний внутренних органов. На рис. 5 приведены трехмерные графики ЭКГ и СКГ: по вертикальной оси отображается амплитуда сигнала, а по горизонтальной — время и следующий кардиоцикл. Такое отображение наглядно демонстрирует вариабельность пиков ЭКГ и СКГ. Сейсмокардиограмма имеет более сложную форму, поэтому вариабельность амплитуды и интервалов может проводиться по пикам  $AS$ ,  $IM$ ,  $AO$  и  $IC$ .

## Выводы и рекомендации

Получены новые результаты в области обработки данных и проектирования ЭСКБ в качестве диагностической аппаратуры медицинского назначения, основными из которых являются следующие:

- разработан алгоритм работы ЭСКБ;
- разработан ЭСКБ, позволяющий проводить измерение параметров ЭКГ и СКГ с повышенной точностью;

– представлена возможность диагностики заболеваний на основе фазовых портретов и вариабельности пиков СКГ.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-29-02019.*

## Список литературы

- [1] Боженко Б.С. Сейсмокардиография — новый метод в исследовании функциональных состояний сердца // Терапевтический архив, 1961. № 33. С. 55–64.
- [2] Баевский Р.М., Егоров А.Д., Казарян Л.Н. Методика сейсмокардиографии // Кардиология, 1964. № 2. С. 87–89.
- [3] Migeotte P.F., De Ridder S., Tank J., Pattyn N. Three dimensional ballisto- and seismo-cardiography: HIJ wave amplitudes are poorly correlated to maximal systolic force vector // Conference proceedings: ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference 2012, 28 August–01 September 2012, pp. 5046–5049. DOI: 10.1109/EMBC.2012.6347127
- [4] Crow R., Hannan P., Jacobs D., Hedquist L., Salerno D. Relationship between seismocardiogram and echocardiogram for events in the cardiac cycle // American journal of Noninvasive Cardiology, 1994, v. 8, pp. 39–46.
- [5] Salerno D.M., Zanetti J.M., Green L. Seismocardiographic changes associated with obstruction of coronary blood flow during balloon angioplasty // The American journal of cardiology, 1991, v. 68, no. 2, pp. 201–207.
- [6] Wilson R., Bamrah V., Lindsay J. Diagnostic accuracy of seismocardiography compared with electrocardiography for the anatomic and physiologic diagnosis of coronary artery disease during exercise // The American journal of cardiology, 1993, v. 71, no. 7, pp. 536–545.
- [7] Dinp A. Design of a Seismocardiography Using Tri-Axial Accelerometer Embedded with Electrocardiogram // Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, WCECS 2011, October 19–21, 2011, San Francisco, USA, 2011, v. II.
- [8] Зайченко К.В., Жаринов О.О., Кулин А.Н., Кулыгина, Орлов А.П. Съём и обработка биоэлектрических сигналов. Санкт-Петербург: СПбГУАП, 2001, 140 с.
- [9] Расшифровка ЭКГ у взрослых и детей, нормы в таблицах и другая полезная информация. URL: <http://oserdce.com/diagnostika/ekg/rasshifrovka.html> (дата обращения 15.11.2018).
- [10] Paukkunen M. Seismocardiography: Practical implementation and feasibility // Aalto University publication series Doctoral Dissertations, 2014, no. 145, 46 p.
- [11] Электрическая ось сердца (ЭОС): суть, норма положения и нарушения. URL: <http://sosudinfo.ru/serdce/eos-elektricheskaya-os-serdca> (дата обращения 23.03.2016)
- [12] Man S., Maan A. C., Schaliij M.J., Swenne C.A. Vectorcardiographi diagnostic & prognostic information derived from 12 lead electrocardiogram // J. Electrocardiol, 2015, no. 48, pp. 463–475.
- [13] Gurev V., Tavakolian K., Constantino J., Kaminska B., Blaber A.P. Mechanisms underlying isovolumic contraction and ejection peaks in seismocardiogram morphology // J. of medical and biological engineering, 2012, no. 32 (2), p. 103.
- [14] Paukkunen M.J.T., Linnavuo M.T., Sepponen R.E. A Portable Measurement System for the Superior-Inferior Axis of the Seismocardiogram // J. of Bioengineering & Biomedical Science, 2013, no. 3, pp. 123. DOI: 10.4172/2155-9538.1000123

- [15] García-González M.A., Argelagós-Palau A., Fernández-Chimeno M., Ramos-Castro J. Differences in QRS Locations due to ECG Lead: Relationship with Breathing // XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2013, IFMBE Proceedings, 2014, v. 41, pp. 962–964. DOI: 10.1007/978-3-319-00846-2\_238
- [16] Kouhyar Tavakolian Characterization and analysis of seismocardiogram for estimation of hemodynamic parameters // Diss. ... Dr. of Philosophy. Simon Fraser University, 2010, 217 p.
- [17] Файнзильберг Л.С. Компьютерная электрокардиография до и после академика Н.М. Амосова // Управляющие машины и системы, 2013. № 3. С. 3–13.
- [18] Кузнецов А.А. Биофизика сердца. Методы обработки и анализа электрокардиографической информации при донологических исследованиях. Владимир: ВлГУ, 2012. 23 с.
- [19] Успенский В.М. Информационная функция сердца. Теория и практика диагностики заболеваний внутренних органов методом информационного анализа электрокардиосигналов / под ред. В.Б. Симоненко. М.: Планета, 2016. 272 с.

## Сведения об авторах

**Грузевич Юрий Кириллович** — канд. техн. наук, зам. ген. директора по науке ОАО «НПО Геофизика-НВ», yukg@mail.ru

**Ачильдиев Владимир Михайлович** — канд. техн. наук, гл. конструктор МНЭМС, ОАО «НПО Геофизика-НВ», glmnems@geo-nv.com

**Бедро Николай Анатольевич** — зам. гл. конструктора МНЭМС начальник отдела, ОАО «НПО Геофизика-НВ», job\_nick@mail.ru

**Евсеева Юлия Николаевна** — инженер I кат., ОАО «НПО Геофизика-НВ», sun51188@gmail.com

**Комарова Мария Николаевна** — вед. инженер ОАО «НПО Геофизика-НВ», maria-komarova86@mail.ru

**Коннова Наталья Сергеевна** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана, nkonnova@bmsu.ru

**Басараб Михаил Алексеевич** — д-р физ.-мат. наук, зав. кафедрой «Информационная безопасность» МГТУ им. Н.Э. Баумана, bmic@mail.ru

**Басараб Дмитрий Алексеевич** — канд. мед. наук, вед. хирург ГУЗ «Белгородская областная клиническая больница Св. Иоасафа», basarab.74@yandex.ru

**Успенский Вячеслав Максимилианович** — д-р мед. наук, профессор филиала Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова (г. Москва), действующий член РАКС им. Циолковского, medddik@mm.st

Поступила в редакцию 19.04.2019.

Принята к публикации 15.07.2019.



## HARDWARE AND SOFTWARE OF ELECTROSEISMOCARDIOBLOCK FOR NONINVASIVE DIAGNOSTICS OF HUMAN DISEASES

Y.K. Gruzevich<sup>1,2</sup>, V.M. Achildiev<sup>1,5</sup>, N.A. Bedro<sup>1</sup>, Y.N. Evseeva<sup>1</sup>, M.N. Komarova<sup>1</sup>, N.S. Konnova<sup>2</sup>, M.A. Basarab<sup>2</sup>, D.A. Basarab<sup>3</sup>, V.M. Uspenskiy<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Scientific Production Unity «Geofizika-NV», St. Company, 23, p. 2, Matrosskaya Tishina st., Moscow, Russia

<sup>2</sup>BMSTU, 5, 2nd Baumanskaya st., 105005, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Cardiovascular-surgery centre of the Belgorod Regional Clinical hospital, 8/9, Nekrasov st., 308007, Belgorod, Russia

<sup>4</sup>Branch of the Kirov Military-medical Academy, 7, Malaya Cherkizovskaya st., 107392, Moscow, Russia

<sup>5</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

yukg@mail.ru

Electroseismocardioblock was developed on the base of noiseless precision three-axial micromechanical accelerometer and twenty four digit sigma-delta analog-to-digital converter (ADC) for registration electro- and seismocardiograms, connected among themselves in time. The diagram and software of the electroseismocardioblock is represented. Analyzing of the scientific researches in the given area has shown, that today the first seismocardiographic is tested in the specialized medicine areas of, such as space researches and sports medicine. But due to, that today there was a big jump in micromechanics development and cheap MEMS sensors with a low level of noise have appeared in the market and there was possible a manufacture of inexpensive devices for diagnostic application. Researches with participation of experts of the Belgorod regional clinical hospital are carried out for determination of influence dependence of the cardiovascular diseases on the form of the seismocardiographic wave. In this research work the basic methods of the digital processing of signals are considered and also opportunities of application of the electroseismocardiographic data for diagnostics of the condition of cardiovascular system are considered. The received research results have shown, that the form of the seismocardiographic wave for each person is individual and cardiovascular diseases affected on the wave form. Research results illustrate the opportunity of seismocardiographic usage for cardiovascular system diagnostics as a separate diagnostics method and as addition to standardized cardiographic methods.

**Keywords:** electrocardiography, seismic cardiography, phase portrait, MEMS sensors

**Suggested citation:** Gruzevich Y.K., Achildiev V.M., Bedro N.A., Evseeva Y.N., Komarova M.N., Konnova N.S., Basarab M.A., Basarab D.A., Uspenskiy V.M. *Apparatnyy sostav i algoritm raboty elektroseymsokardiobloka dlya neinvazivnoy diagnostiki zabolevaniy cheloveka* [Hardware and software of electroseismocardioblock for noninvasive diagnostics of human diseases]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 4, pp. 66–75. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-4-66-75

### References

- [1] Bozhenko B.S. *Seysmokardiografiya – novyy metod v issledovanii funktsional'nykh sostoyaniy serdtsa* [Seismocardiography — a new method in the study of functional conditions of the heart] *Terapevticheskiy arkhiv*, 1961, vol. 33, pp. 55–64.
- [2] Baevskii R.M., Egorov A.D., Kazarian L.A. *Metody seysmokardiografii* [The method of seismocardiography], *Kardiologiya*, 1964, v. 18, pp. 87–89.
- [3] Migeotte P.F., De Ridder S., Tank J., Pattyn N. Three dimensional ballisto- and seismo-cardiography: HIJ wave amplitudes are poorly correlated to maximal systolic force vector. Conference proceedings: ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference 2012, 28 August–01 September 2012, pp. 5046–5049. DOI: 10.1109/EMBC.2012.6347127
- [4] Crow R., Hannan P., Jacobs D., Hedquist L., Salerno D. Relationship between seismocardiogram and echocardiogram for events in the cardiac cycle. *American journal of Noninvasive Cardiology*, 1994, v. 8, pp. 39–46.
- [5] Salerno D.M., Zanetti J.M., Green L. Seismocardiographic changes associated with obstruction of coronary blood flow during balloon angioplasty. *The American journal of cardiology*, 1991, v. 68, no. 2, pp. 201–207.
- [6] Wilson R., Bamrah V., Lindsay J. Diagnostic accuracy of seismocardiography compared with electrocardiography for the anatomic and physiologic diagnosis of coronary artery disease during exercise. *The American journal of cardiology*, 1993, v. 71, no. 7, pp. 536–545.
- [7] Dinp A. Design of a Seismocardiography Using Tri-Axial Accelerometer Embedded with Electrocardiogram. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, WCECS 2011, October 19–21, 2011, San Francisco, USA, 2011, v. II.
- [8] Zaychenko K.V., Zharinov O.O., Kulin A.N., Kulygina L.A., Orlov A.P. *S'yem i obrabotka bioelektricheskikh signalov* [Removal and processing of bioelectric signals]. SUAI, 2001, 140 p.
- [9] *Rasshifrovka EKG u vroslykh i detey, normy v tablitsakh i drugaya poleznaya informatsiya* [ECG decoding in adults and children, norms in the tables and other useful information]. URL: <http://oserdce.com/diagnostika/ekg/rasshifrovka.html> (accessed 15.11.18).
- [10] Paukkunen M. Seismocardiography: Practical implementation and feasibility. Aalto University publication series Doctoral Dissertations, 2014, no. 145, 46 p.
- [11] *Elektricheskaya os' serdtsa (EOS): sut', norma polozheniya i narusheniya* [The electrical axis of the heart (EAH): the essence, the norm of position and violation] URL: <http://sosudinfo.ru/serdce/eos-elektricheskaya-os-serdca> (accessed 23.03.16).
- [12] Man S., Maan A. C., Schaliy M.J., Swenne C.A. Vectorcardiograph diagnostic & prognostic information derived from 12 lead electrocardiogram. *J. Electrocardiol*, 2015, no. 48, pp. 463–475.
- [13] Gurev V., Tavakolian K., Constantino J., Kaminska B., Blaber A.P. Mechanisms underlying isovolumic contraction and ejection peaks in seismocardiogram morphology. *J. of medical and biological engineering*, 2012, no. 32 (2), p. 103.

- [14] Paukkunen M.J.T., Linnavuo M.T., Sepponen R.E. A Portable Measurement System for the Superior-Inferior Axis of the Seismocardiogram. *J. of Bioengineering & Biomedical Science*, 2013, no. 3, pp. 123. DOI: 10.4172/2155-9538.1000123
- [15] García-González M.A., Argelagós-Palau A., Fernández-Chimeno M., Ramos-Castro J. Differences in QRS Locations due to ECG Lead: Relationship with Breathing. XIII Mediterranean Conference on Medical and Biological Engineering and Computing 2013, IFMBE Proceedings, 2014, v. 41, pp. 962–964. DOI: 10.1007/978-3-319-00846-2\_238
- [16] Kouhyar Tavakolian Characterization and analysis of seismocardiogram for estimation of hemodynamic parameters. Diss. ... Dr. of Philosophy. Simon fraser university, 2010, 217 p.
- [17] Faynzil'berg L.S. *Kop'yuternaya elektrokardiografiya do i posle akademika N.M. Amosova* [Computer electrocardiography before and after academician N.M. Amosova]. *Upravlausie sistemy i masiny*, 2013, no. 3, pp. 3–13.
- [18] Kuznecov A.A. *Biofizika serdtsa. Metody obrabotki i analiza elektrokardiograficheskoy informatsii pri donozologicheskikh issledovaniyakh* [Biophysics of the heart. Methods of processing and analyzing electrocardiographic information in prenosological studies]. Vladimir: VIGU, 2012, 23 p.
- [19] Uspensky V.M. *Informatsionnaya funktsiya serdtsa. Teoriya i praktika diagnostiki zabolevaniy vnutrennikh organov metodom informatsionnogo analiza elektrokardiosignalov* [Information function of the heart. Theory and practice of diagnosis of diseases of internal organs by the method of information analysis of electrocardiograms]. Moscow: Planeta, 2016, 296 p.

## Authors' information

**Gruzevich Yuriy Kirillovich** — Cand. Sci. (Tech.), Deputy general director for science of the «Scientific Production Unity Geophizika-NV» Stock Company, yukg@mail.ru

**Achil'diev Vladimir Mikhaylovich** — Cand. Sci. (Tech.), Chief designer of MNEMS of the «Scientific Production Unity Geophizika-NV» Stock Company, glmnems@geo-nv.com

**Bedro Nikolay Anatol'evich** — Deputy chief designer MNEMS head of department of the «Scientific Production Unity Geophizika-NV» Stock Company, job\_nick@mail.ru

**Evseeva Yuliya Nikolaevna** — Engineer I category of the «Scientific Production Unity Geophizika-NV» Stock Company, sun51188@gmail.com

**Komarova Mariya Nikolaevna** — Chief engineer of the «Scientific Production Unity Geophizika-NV» Stock Company, maria-komarova86@mail.ru

**Konnova Natal'ya Sergeevna** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Bauman Moscow State Technical University, nkonnova@bmstu.ru

**Basarab Mikhail Alekseevich** — Dr. Sci. (Ph.-Math.), Professor, Head of the Department of Information Security of the Bauman Moscow State Technical University, bmic@mail.ru

**Basarab Dmitriy Alekseevich** — Cand. Sci. (Medical), Lead surgeon, Head of the Cardiovascular department, St. Ioasaf's Belgorod Regional Hospital, basarab.74@yandex.ru

**Uspenskiy Vyacheslav Maksimilianovich** — Dr. Sci. (Medical), Professor of the Moscow Branch of the Kirov Military-medical Academy, medddik@mm.st

Received 19.04.2019.

Accepted for publication 15.07.2019.