

DOI: 10.32603/1993-8985-2018-21-5-71-80

УДК 615.47:616-072.7

Нгуен Чонг Туен, Чан Чонг Хью, Нгуен Мау Тхач, З. М. Юлдашев

Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет "ЛЭТИ" им. В. И. Ульянова (Ленина)

ул. Профессора Попова, д. 5, Санкт-Петербург, 197376, Россия

СИСТЕМА И АЛГОРИТМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА БИОМЕДИЦИНСКИХ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА¹

Аннотация. *Непрерывная продолжительная работа систем мониторинга имеет большое значение для исключения пропуска эпизодов обострения заболевания. В системах удаленного мониторинга продолжительность непрерывной работы определяется возможностями носимых пациентом устройств. Они предназначены для съема и регистрации комплекса биомедицинских сигналов, предварительной обработки и анализа сигналов и данных.*

Цель настоящей статьи – разработка алгоритма интеллектуального мониторинга состояния здоровья. Он обеспечивает эффективное использование вычислительных и энергетических ресурсов носимых устройств пациента, снижение тока потребления, увеличение автономности его работы. Для решения проблемы используется методология теории интеллектуальных измерений. Она заключается в изменении интеллектуальным элементом системы количества используемых измерительных каналов, методов и алгоритмов измерений и обработки сигналов в зависимости от изменения состояния объекта измерений.

Для реализации алгоритма интеллектуального мониторинга состояния здоровья система должна иметь многоуровневую структуру. Носимая система должна состоять из устройства пациента, предназначенного для регистрации комплекса биомедицинских сигналов, и носимого компьютера пациента, предназначенного для обработки и анализа сигналов, контроля текущего состояния пациента. Алгоритм интеллектуального мониторинга заключается в следующем. Фоновый режим устанавливается, когда состояние пациента соответствует состоянию нормы. В этом режиме оцениваются не более двух показателей, наиболее значимых для диагностики, и контролируется состояние нормы. Режим активного мониторинга устанавливается, когда контролируемые в фоновом режиме параметры выходят за границы нормы. В этом режиме активируются дополнительные каналы регистрации биомедицинских сигналов, оценивается расширенный комплекс значимых для диагностики показателей. Экспериментальная апробация системы и алгоритма интеллектуального мониторинга была проведена с использованием системы удаленного мониторинга сердечного ритма и эпизодов фибрилляции предсердий. Результаты апробации показали целесообразность и эффективность использования предложенной структуры и алгоритма мониторинга.

Ключевые слова: система, удаленный мониторинг, состояние здоровья, обработки и анализ, биомедицинские сигналы, алгоритм, интеллектуальный мониторинг

Для цитирования: Система и алгоритм интеллектуальной обработки и анализа биомедицинских сигналов в системах удаленного мониторинга состояния здоровья человека / Нгуен Чонг Туен, Чан Чонг Хью, Нгуен Мау Тхач, З. М. Юлдашев // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. 2018. № 5. С. 71–80.
doi:10.32603/1993-8985-2018-21-5-71-80

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты № 16-07-00599 "Модели, методы и система интеллектуального телемедицинского мониторинга состояния здоровья человека и прогнозирования обострения заболеваний" и № 18-29-02036 "Разработка новых алгоритмов автоматического распознавания опасных нарушений сердечного ритма по поверхностной и инвазивной электрокардиограмме".

Nguyen Trong Tuyen, Tran Trong Huu, Nguyen Mau Thach, Zafar M. Yuldashev

Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI"
5, Professor Popov Str., 197376, St. Petersburg, Russia

SYSTEM AND ALGORITHM OF INTELLIGENT BIOMEDICAL SIGNAL PROCESSING AND ANALYSIS FOR HUMAN HEALTH STATUS REMOTE MONITORING SYSTEM

Abstract: *Continuous and steady running of health status remote monitoring systems is essential not to omit episodes of acute exacerbation of chronic disease. Running time of such systems is largely determined by performance capabilities of the patient's wearable system elements. To ensure its long-term operation and efficient performance, the monitoring system must have multilayered structure with the elements realizing recording and picking off biomedical signals, signal processing and analysis, estimation of patient current condition, dynamics of the disease and its prognosis. For this purpose, it is necessary to use smart monitoring algorithms. A specific feature of such algorithms is change of the number of channels used for biomedical signal recording and processing according to the change of patient's condition. To detect the exacerbation first symptoms by means of the patient's wearable computer, additional channels are activated for recording biomedical signals used to evaluate the expanded complex of diagnostically significant parameters of the disease and their integration when specifying the patient's condition. The system and intelligent monitoring algorithm is tested with the use of heart rate remote control and atrial fibrillation episode detection system. The testing results of the developed system and algorithm are discussed.*

Key words: system, remote monitoring, health status, processing and analysis, biomedical signals, algorithm, intelligent monitoring

For citation: Nguyen Trong Tuyen, Tran Trong Huu, Nguyen Mau Thach, Yuldashev Z. M. System and Algorithm of Intelligent Biomedical Signal Processing and Analysis for Human Health Status Remote Monitoring System. Journal of the Russian Universities. Radioelectronics. 2018, no. 5, pp. 71–80. doi: 10.32603/1993-8985-2018-21-5-71-80 (In Russian)

Актуальность. При разработке систем удаленного мониторинга состояния здоровья большое внимание уделяется вопросу обеспечения непрерывного длительного мониторинга состояния здоровья для своевременного оперативного выявления функциональных нарушений организма и оказания экстренной медицинской помощи [1]–[5]. Такие системы используются для удаленного выявления эпизодов фибрилляции предсердий [6]–[8], апноэ сна [9], [10], гипертензии [11], [12], эпилептического приступа, бронхиальной астмы [13], [14], которые в течение десятков секунд должны выявить опасные для жизни человека нарушения и сформировать воздействие для нормализации состояния организма. Для обеспечения высокой точности, чувствительности и специфичности выявления нарушений здоровья используется комплекс диагностически значимых показателей заболевания, оцениваемых по нескольким биомедицинским сигналам – ЭКГ, дыхания, плевтизограмме, оксиметрии, электромиограмме и т. д. Очевидно, что для осуществления одновременной синхронной обработки всех биомедицинских сигналов в режиме реального времени требуется значительная производительность микропроцессорного устройства, в частности высокая тактовая частота процессора и параллельная обработка сигналов. Однако это вы-

зывает значительное увеличение тока потребления и снижение автономности работы средств съема и обработки биомедицинских сигналов, оценки диагностически значимых показателей заболевания [15]–[18]. Для обеспечения удаленного непрерывного мониторинга состояния здоровья пациента система должна включать (рис. 1): средство съема и регистрации биомедицинских сигналов, выполненное в виде малогабаритного носимого устройства пациента (НУП); носимый компьютер пациента (НКП) с каналами беспроводной связи, выполненный на основе смартфона, для обработки и анализа биомедицинских данных, оценки диагностически значимых показателей заболевания, сравнения их с пороговыми значениями, классификации состояния здоровья; сервер лечебного учреждения (СЛУ) для формирования базы данных о выявленных эпизодах заболевания, оценки динамики показателей заболевания и поддержки принятия решений врача; носимый компьютер врача (НКВ), используемый для анализа комплекса данных о состоянии здоровья, постановки диагноза и формирования указаний для оказания необходимой медицинской помощи.

Продолжительность автономной работы системы будет определяться исключительно автономностью работы НУП и НКП, ресурсами их источников питания и потребляемым током. Поэтому НУП и

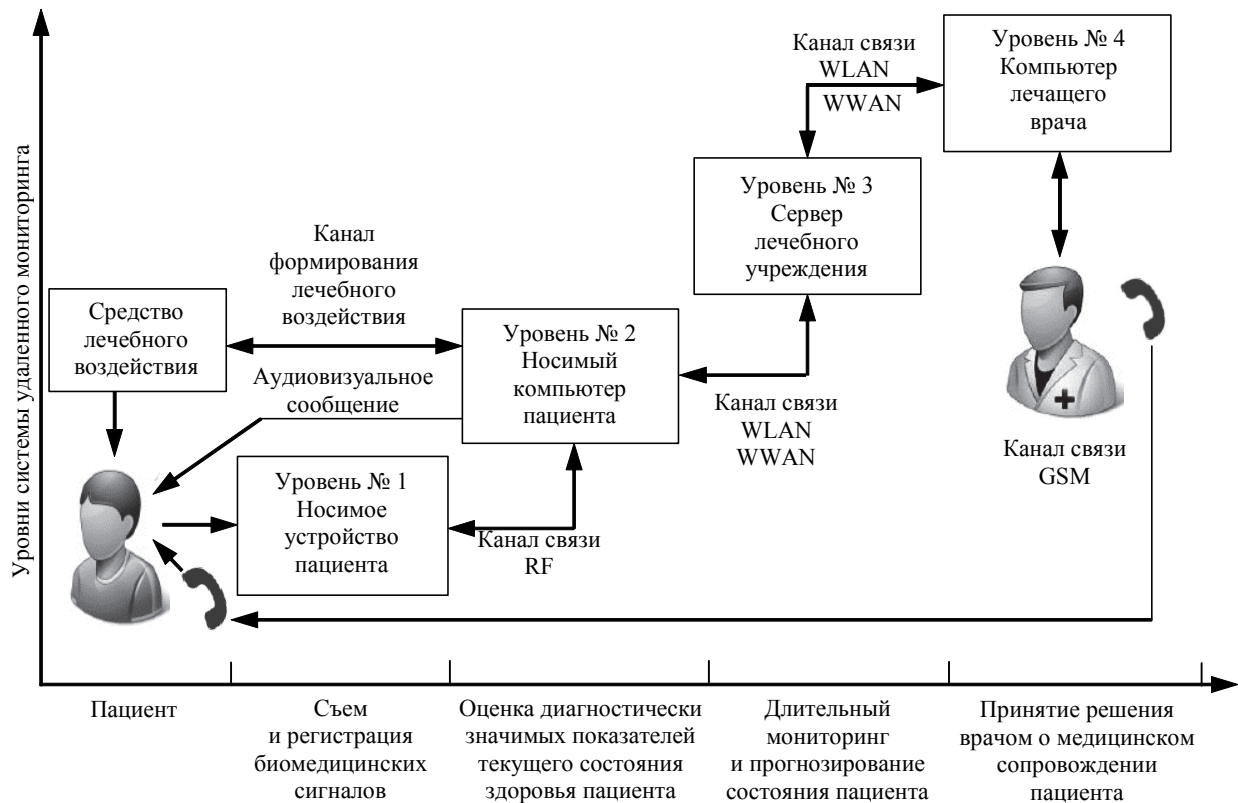


Рис. 1

НКП должны использовать такие алгоритмы съема и регистрации биомедицинских сигналов, обработки и анализа данных, которые используют минимальные вычислительные, аппаратные и энергетические ресурсы при состоянии пациента, соответствующем физиологической норме. При состояниях, не соответствующих физиологической норме, подключаются дополнительные каналы регистрации биомедицинских сигналов, реализуется обработка и анализ расширенного комплекса диагностически значимых показателей. Таким образом, проблема интеллектуализации алгоритмов обработки и анализа комплекса биомедицинских данных в системах непрерывного длительного мониторинга состояния здоровья людей с хроническими заболеваниями является одной из приоритетных для повышения автономности работы системы.

Цель проводимого исследования – разработка системы и алгоритмов интеллектуальной обработки и анализа биомедицинских сигналов для удаленного непрерывного мониторинга состояния здоровья человека.

Методы и подходы к решению проблемы. Для решения сформулированной проблемы используются:

- методы и подходы интеллектуальных информационно-измерительных систем, в которых характеристики измерительных каналов и алгоритмы

обработки результатов измерений изменяются в зависимости от состояния объекта измерения;

- принципы построения адаптивных биотехнических систем, обеспечивающие оптимальное согласование характеристик элементов измерительных каналов системы с характеристиками биологического объекта;

- методы теории распознавания образов, учитывающие при классификации состояний объектов комплекс значимых показателей и их веса для достижения заданной точности классификации;

- методы системного анализа биологических систем, позволяющие учесть взаимодействие систем организма для обеспечения гомеостаза.

Для такой сложной системы, какой является биологический объект, в частности, человек, для классификации его состояния необходимо использовать комплекс показателей, значимых для диагностики. Эти показатели характеризуют функционирование различных систем организма – сердечно-сосудистой, дыхательной, нервной, опорно-двигательной и др. Организм при воздействии на какую-либо его систему для обеспечения гомеостаза (динамического постоянства внутренней среды и основных физиологических функций) вносит изменения в функционирование других систем организма. Например, увеличение физической нагрузки на организм (выполнение физической работы) вы-

зывает увеличение частоты сердечных сокращений (ЧСС), частоты пульса (ЧП), частоты дыхания (ЧД). Такие системные изменения происходят и при развитии заболевания, нарушения функционирования той или иной системы организма. Например, при обострении апноэ сна увеличивается ЧСС, ЧП, артериальное давление, ЧД, изменяется сатурация крови кислородом. Это означает, что достаточно большой комплекс показателей характеризует состояние нормы и заболевания, причем набор диагностически значимых показателей для разновидностей заболевания может различаться. Невозможно с высокой точностью выявлять заболевание, основываясь на ограниченном количестве показателей. В условиях непрерывного длительного мониторинга состояния здоровья пациента для повышения точности и достоверности выявления заболевания необходимо использовать дополнительные каналы съема и регистрации биомедицинских сигналов и комплексирование диагностически значимых показателей в решающих правилах диагностики заболевания [15]. Для контроля соответствия состояния пациента физиологической норме достаточно использовать ограниченное количество показателей и каналов регистрации биомедицинских сигналов.

Рассмотрим пример построения системы непрерывного длительного мониторинга сердечного ритма пациента с фибрилляцией предсердий (ФП) вне лечебного учреждения и реализацию алгоритма интеллектуального мониторинга для выявления эпизодов заболевания.

Фибрилляция предсердий – опасное нарушение ритма сердца, проявляющееся в повышенном нерегулярном сердцебиении и мерцании мышц предсердий. Она может возникать спонтанно, иметь продолжительность от нескольких секунд до нескольких часов, вызывать необратимые нарушения в структуре миокарда предсердий. Выявление ФП в режиме реального времени позволяет своевременно использовать средства восстановления нормального синусового ритма сердца с помощью дефибриллятора, снизить риск смерти пациента.

Для выявления эпизодов ФП при мониторинге сердечного ритма пациента вне лечебного учреждения необходимо осуществлять съем и регистрацию электрокардиографического (ЭКГ) сигнала грудных отведений, оценивать комплекс показателей деятельности сердца: ЧСС, вариабельность сердечного ритма (ВСР), вариабельность TQ-сегмента (интервал времени от начала T-волны до конца Q-волны ЭКГ), амплитуду P-волн (P-волна ЭКГ), мощность f-волн (волны спонтанных сокращений миокарда

предсердий) и характеристики ее доминантной частоты, выявлять эпизоды трепетания предсердий (ТП) и экстрасистолии [6]–[7].

Основной признак развития аритмии, в том числе ФП, – повышенная ЧСС. Однако она может быть обусловлена увеличенной физической нагрузкой на организм и соответствовать состоянию нормы. Поэтому для выявления эпизодов повышенной ЧСС, обусловленной различными аритмиями, необходимо осуществлять непрерывный мониторинг физической активности с помощью акселерометров. Их количество должно быть не менее 4, они должны быть закреплены на конечностях, так как физическая нагрузка может быть направлена на ноги или руки (гребля, катание на велосипеде).

Другим значимым признаком ФП, как и других аритмий сердца, является повышение ВСР. При нормальном синусовом ритме сердца ЧСС относительно стабильна, при аритмиях имеет место нарушение цикличности. И ЧСС, и ВСР являются диагностически значимыми показателями не только ФП, но и различных желудочковых фибрилляций. Для повышения точности диагностики ФП, а также для их различия от ТП необходимо оценить показатели, характерные только для ФП. Значимым признаком ФП является повышенная вариабельность TQ-сегмента. Значимость этого показателя в зависимости от стадии заболевания может достигать 45 %. Для оценки с высокой точностью этого показателя необходимо активировать дополнительные каналы регистрации ЭКГ грудных отведений (как правило, используют три канала грудных отведений). При диагностике других заболеваний могут подключаться каналы регистрации сигналов дыхания, плетизмограммы, мышечной активности и т. д., которые будут использоваться для оценки дополнительного комплекса диагностически значимых показателей и их комплексирования при классификации состояния здоровья человека. Для активации дополнительных каналов регистрации биомедицинских сигналов управляющий сигнал от НКП должен поступить на входы управления каналами регистрации сигналов НУП. В этом заключается сущность алгоритма интеллектуального мониторинга состояния здоровья пациента. Таким образом, когда состояние его здоровья соответствует состоянию физиологической нормы, используется ограниченное количество каналов регистрации биомедицинских сигналов и оценка ограниченного количества диагностически значимых показателей НКП. При первых признаках функциональных нарушений в орга-

низме активируются дополнительные каналы регистрации сигналов и оценивается расширенный комплекс диагностически значимых показателей.

Для отделения ФП от различных видов желудочковых фибрилляций необходимо установить отсутствие Р-волн, убедиться в появлении f-волн с явно выраженной доминантной частотой, исключить из анализируемого фрагмента ЭКГ-сигнала эпизоды ТП и экстрасистолии.

Для выявления обострения заболевания необходимо оценивать продолжительность эпизодов ФП, а также учитывать динамику частоты прояв-

ления эпизодов ФП за определенный промежуток времени и продолжительности эпизодов.

Для выявления коротких эпизодов ФП обработка и анализ ЭКГ-сигнала, оценка диагностически значимых показателей должна осуществляться в скользящем окне продолжительностью не более 10 с. Скользящее окно должно сдвигаться дискретно на величину кардицикла. Увеличение продолжительности скользящего окна позволяет повысить точность диагностики ФП, но приводит к пропускам коротких эпизодов ФП.

При анализе ЭКГ на предмет ФП в скользя-

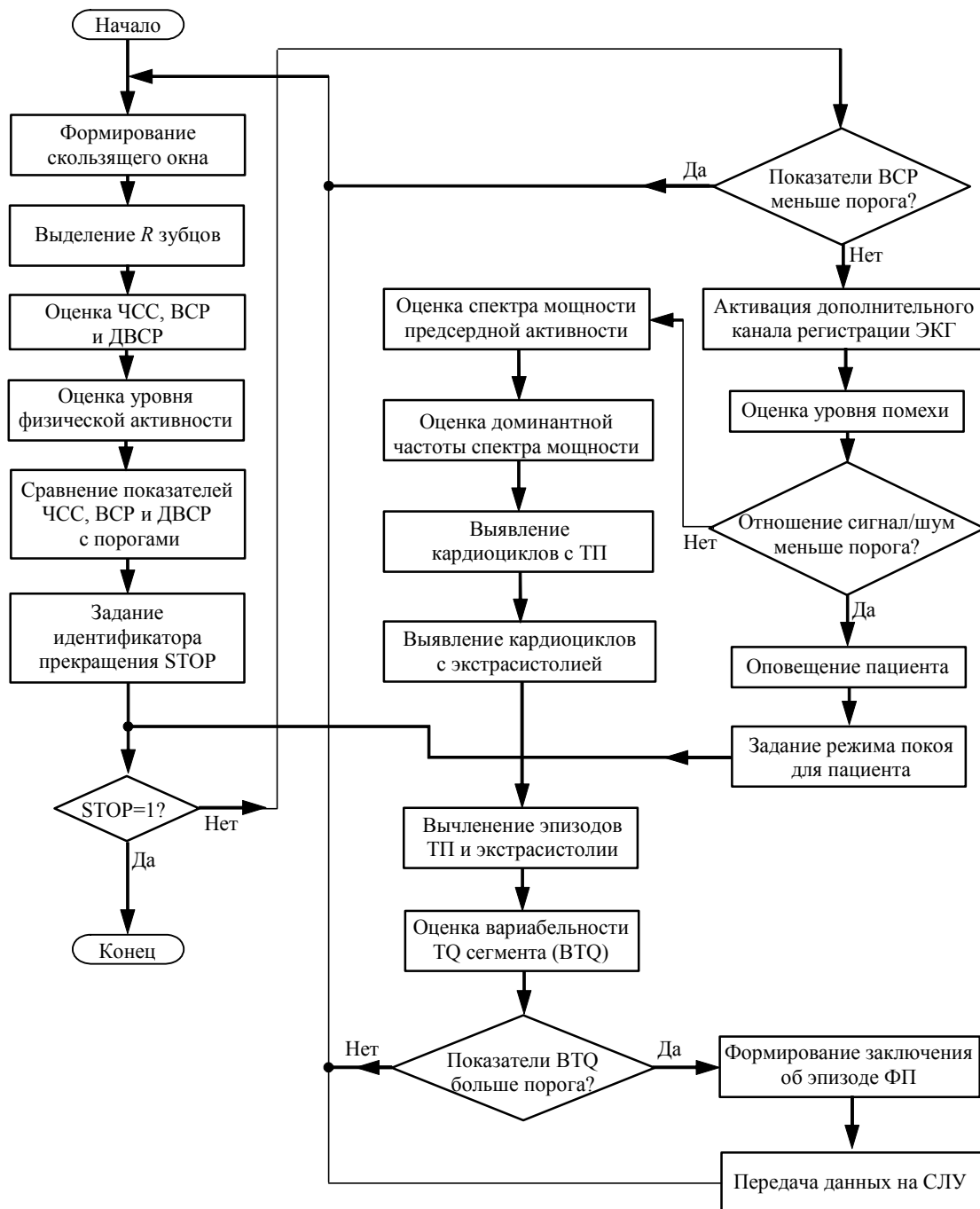


Рис. 2

щем окне необходимо исключать эпизоды ТП и чередующихся экстрасистол. В случае проявления значительной миографической помехи НКП должен рекомендовать пациенту снижение двигательной активности.

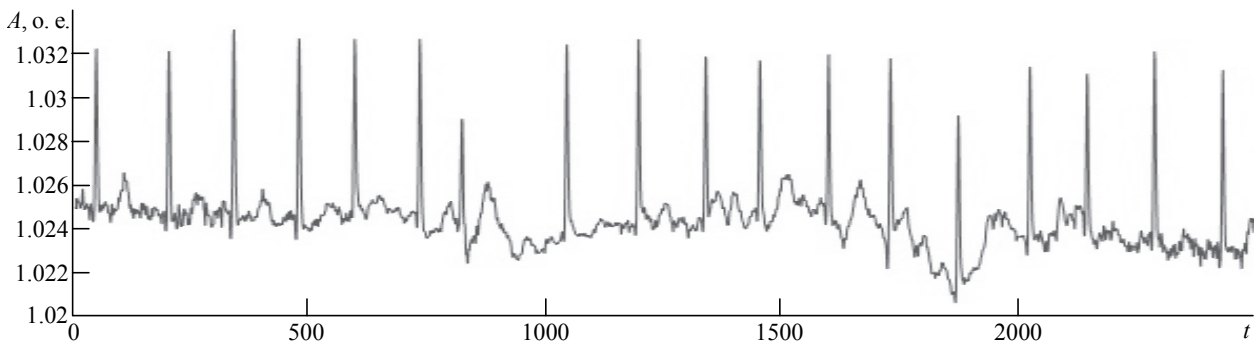
При превышении ЧСС и ВСР заданных порогов, устанавливаемых индивидуально для паци-

ента, НКП должен обеспечить подключение дополнительных каналов регистрации ЭКГ грудных отделений. В этом случае каналы регистрации ЭКГ НУП активируются, а дискретные отсчеты сигналов будут передаваться на процессор НКП.

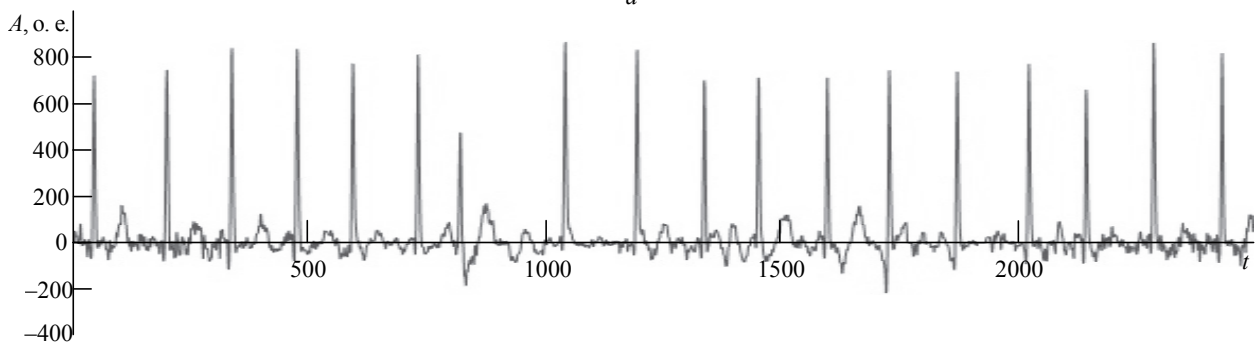
В соответствии с изложенными правилами структура алгоритма непрерывного длительного



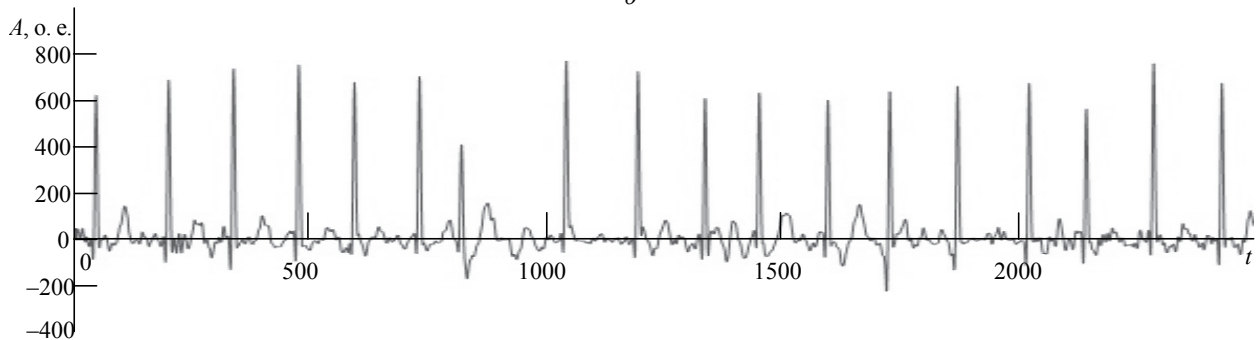
Рис. 3



a



б



в

Рис. 4

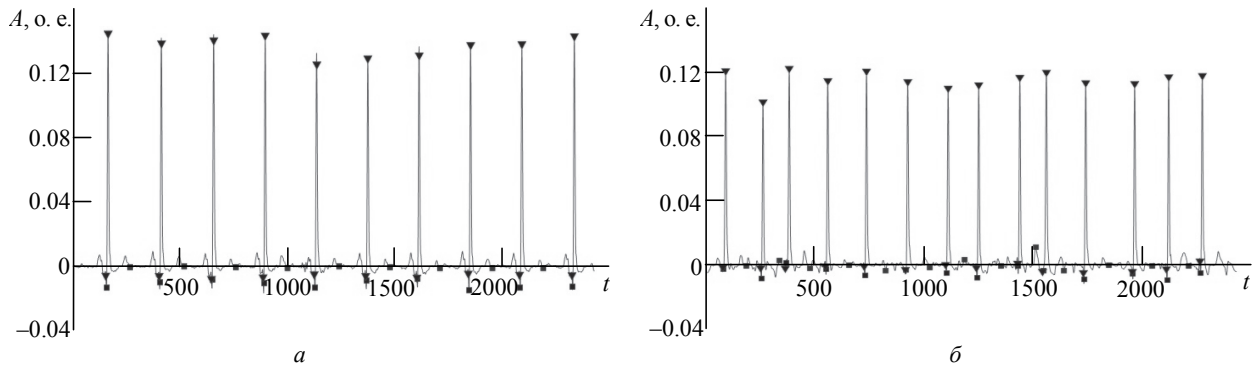


Рис. 5

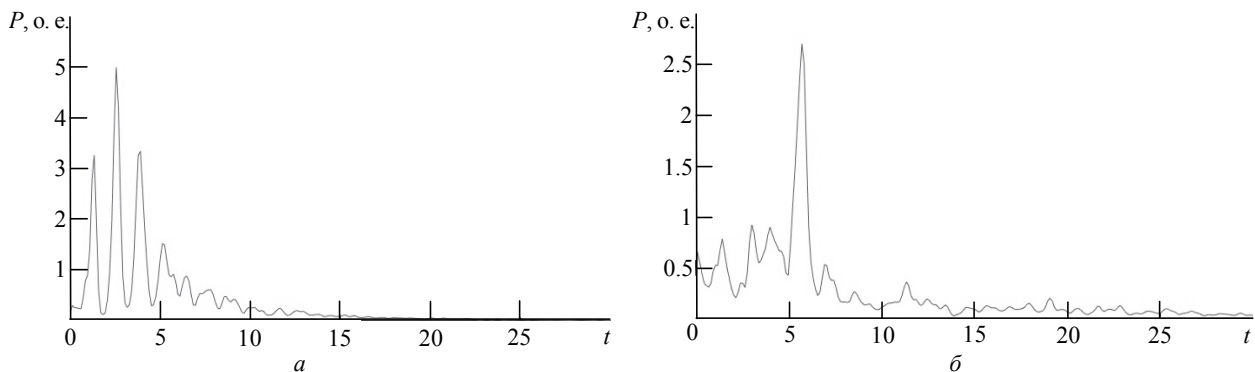


Рис. 6

мониторинга сердечного ритма и выявления эпизодов ФП представлена на рис. 2.

Разработка системы и экспериментальная апробация алгоритма выявления эпизодов фибрилляции предсердий. В соответствии со структурой, представленной на рис. 1, была разработана система для удаленного мониторинга сердечного ритма и тревожной сигнализации при выявлении эпизодов ФП [16], [17].

НУП было разработано на основе микросхем Analog Front End AD8232, осуществляющего усиление и фильтрацию ЭКГ-сигнала и подавление синфазной помехи, 32-разрядного микроконтроллера STM32F407VG6, Bluetooth контроллера класса 2 BC417. В качестве НКП использовался смартфон с операционной системой Android 5.1. Для вычисления диагностически значимых показателей использовался Android NDK – средство для интенсивного вычисления потоков данных, моделирования физических процессов и обработки и анализа сигналов, которые требуют много памяти. На рис. 3 представлены экранные формы интерфейса для НКП.

Для оценки эффективности алгоритма выявления эпизодов ФП были проведены экспериментальные исследования с использованием верифицированных записей баз данных MIT BIH AF Database и Национального медицинского исследовательского центра им. В. А. Алмазова.

На рис. 4 приведены диаграммы сигналов, отражающие этапы обработки исходного ЭКГ-сигнала (а); дрейфа изолинии с использованием медианного фильтра (б); сглаживание ЭКГ-сигнала с использованием фильтра Савицкого–Голея 7-го порядка (в). По оси абсцисс указаны дискретные отсчеты сигнала, по оси ординат – амплитуда сигнала в относительных единицах. На рис. 5 приведены графики с выделением характерных точек ЭКГ-сигнала в норме (а) и при ФП (б). На графиках выделены характерные точки – граница QRS-комплекса (треугольник – начало Q-волны, прямоугольник – амплитуда Q-волны, треугольник – амплитуда R-зубца), далее прямоугольник определяет конец T-волны. На рис. 6 отражены оценки спектральной плотности мощности при ФП (а) и трепетании предсердий (б). По оси абсцисс указана частота в герцах, по оси ординат – мощность сигналов в относительных единицах.

В таблице представлены результаты исследования на базе данных НМИЦ им. В. А. Алмазова с применением разработанного алгоритма для каждой записи и приведены итоговые результаты для выявления эпизодов ФП по всем данным записям. В таблице $Se = TP / (TP + FN)$, $+P = TP / (TP + FP)$, $DSe = ref_overlap / ref_duration$, $D + P = test_overlap / test_duration$.

Записи ЭКГ пациентов	Показатели эффективности выявления эпизодов ФП									
	TP _S	FN	TP _F	FP	ES _E	E+P	ERef	ETst	DSe	D+P
30007502.dat	1	0	8	0	100	100	1	8	99.32	100
80003725.dat	4	8	4	59	33.33	6.35	12	63	37.33	0.82
FF5060526111605.dat	6	0	5	8	100	38.46	6	13	99.37	99.44
Kot21984512.dat	29	2	27	81	93.55	25	31	108	89.08	37.72
ME18120405155453.dat	13	7	12	25	65	32.43	20	37	98.78	96.55
Gross	53	17	56	173	75.71	24.45	70	229	99.11	95.43

Для оценки эффективности алгоритма вычислялись следующие показатели: чувствительности DSe и специфичности D + P. При этом показатели чувствительности и специфичности по всем записям составили, соответственно, 99.11 и 95.43 %. В итоге для обеих баз данных полученные показатели чувствительности, специфичности и точности составили 95.00, 94.00 и 94.5 %. Использование режима интеллектуального мониторинга позволяет увеличить продолжительность непрерывного мониторинга сердечного ритма до 16 ч с возможностью подзарядки источника питания НУП во время сна пациента.

Заключение. 1. Для обеспечения длительного непрерывного мониторинга состояния здоровья человека необходимо использовать иерархическую структуру системы, в которой НУП должно иметь каналы регистрации биомедицинских сигналов, активируемые для оценки расширенного комплекса диагностически значимых показателей при выявлении первых признаков функциональных нарушений организма.

2. Для увеличения продолжительности непрерывной работы НУП и НКП за счет эффективного использования их вычислительных и энергетиче-

ских ресурсов необходимо использовать алгоритм интеллектуального мониторинга состояния здоровья пациента, заключающегося в изменении количества активно работающих каналов регистрации биомедицинских сигналов и оценки диагностически значимых показателей заболевания в зависимости от динамики состояния здоровья пациента.

3. Высокая точность диагностики функциональных нарушений организма при длительном непрерывном мониторинге состояния здоровья вне лечебного учреждения достигается за счет использования комплекса диагностически значимых показателей заболевания и их комплексирования при классификации состояния организма.

4. Экспериментальная разработка системы удаленного мониторинга ритма сердца пациента с ФП на основе комплекса диагностически значимых показателей и их комплексирования для классификации состояния и апробация разработанной системы в клинических условиях подтвердили целесообразность использования режима интеллектуального мониторинга для обеспечения длительного непрерывного мониторинга и высокой эффективности выявления эпизодов фибрилляции предсердий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Long-Term Cardiovascular Outcomes in Men with Obstructive Sleep Apnoea-Hypopnoea with or Without Treatment with Continuous Positive Airway Pressure: an Observational Study / J. M. Marin, S. J. Carrizo, E. Vicente, A. G. Agusti // *The Lancet*. 2005. Vol. 365. P. 1046–1053. doi: 10.1016/S0140-6736(05)71141-7
2. Milenković A., Otto C., Jovanov E. Wireless Sensor Networks for Personal Health Monitoring: Issues and an Implementation // *Computer Communication*. 2006. Vol. 29, iss. 13–14. P. 2521–2533. doi: 10.1016/j.comcom.2006.02.011
3. Korhonen I., Parkka J., Van Gils M. Health Monitoring in the Home of the Future // *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*. 2003. Vol. 22, iss. 3. P. 66–73. doi: 10.1109/MEMB.2003.1213628

4. Pantelopoulos A., Bourbakis N. G. A Survey on Wearable Sensor-Based Systems for Health Monitoring and Prognosis // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Pt. C: Applications and Reviews*. 2010. Vol. 40, № 1. P. 1–12. doi: 10.1109/TSMCC.2009.2032660
5. Banaee H., Ahmed M. U., Loutfi A. Data Mining for Wearable Sensors in Health Monitoring Systems: a Review of Recent Trends and Challenges // *Sensors*. 2013. Vol. 13, iss. 12. P. 17472–17500. doi:10.3390/s131217472
6. Logan B., Healey J. Robust Detection of Atrial Fibrillation for a Long Term Telemonitoring System // *Computers in Cardiology*. 2005. Vol. 32. P. 619–622. doi: 10.1109/CIC.2005.1588177

7. A Novel Method for Real-Time Atrial Fibrillation Detection in Electro-Cardiograms Using Multiple Parameters / X. Du, N. Rao, M. Qian, D. Liu, J. Li, W. Feng, L. Yin, X. Chen // *Annals of Noninvasive Electrocardiology*. 2014. Vol. 19, № 3. P. 217–225. doi: 10.1111/anec.12111

8. Wavelet Entropy Automatically Detects Episodes of Atrial Fibrillation from Single Lead Electrocardiograms / J. Rodenas, M. Garcia, R. Alcaraz, J. J. Rieta // *Entropy*. 2015. Vol. 17, № 9. P. 6179–6199. doi: 10.3390/e17096179

9. Sechang O., Hyeokjun K., Vijay V. Ubiquitous Health Monitoring System for Diagnosis of Sleep Apnea with Zigbee Network and Wireless LAN // *J. of Nanotechnology in Engineering and Medicine*. 2011. Vol. 2 (2). P. 021008. doi: 10.1115/1.4003927

10. Bsoul M., Minn H., Tamil L. Apnea Medassist: Real-Time Sleep Apnea Monitor Using Single-Lead ECG // *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*. 2011. Vol. 15, № 3. P. 416–427. doi: 10.1109/TITB.2010.2087386

11. Albaghdadi M. Baroreflex Control of Long-Term Arterial Pressure // *Rev Bras Hipertens*. 2007. Vol. 14, № 4. P. 212–225.

12. Gesche H., Grosskurth D., Kuchler G. Continuous Blood Pressure Measurement by Using the Pulse Transit Time: Comparison to a Cuff-Based Method // *Eur. J. Appl. Physiol*. 2011. Vol. 112, № 1. P. 309–315. doi: 10.1007/s00421-011-1983-3

13. Monitoring Breathing Rate at Home Allows Early Identification of COPD Exacerbations / A. M. Yañez,

Статья поступила в редакцию 17 сентября 2018 г.

Нгуен Чонг Туен – кандидат технических наук (2018), преподаватель в Le Quy Don Technical University (Hanoi, Vietnam). Автор 27 научных работ. Сфера научных интересов – медицинское приборостроение; био-медицинская инженерия; обработка и анализ биомедицинских сигналов.
E-mail: nguyentuyen1988@gmail.com

Чан Чонг Хыу – кандидат технических наук (2018), сотрудник Vietnam Military Medical University (Hanoi, Vietnam). Автор 25 научных работ. Сфера научных интересов – медицинское приборостроение; био-медицинская инженерия; обработка и анализ биомедицинских сигналов.
E-mail: trantronghoo2007@gmail.com

Нгуен Мау Тхач – магистр (2015), аспирант, ассистент кафедры биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им В. И. Ульянова (Ленина). Автор 11 научных работ. Сфера научных интересов – медицинское приборостроение; био-медицинская инженерия; обработка и анализ биомедицинских сигналов.
E-mail: thachnguyen@mail.ru

Юлдашев Зафар Мухамедович – доктор технических наук (1999), профессор (2001), заведующий кафедрой биотехнических систем Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" им В. И. Ульянова (Ленина). Автор 256 научных работ. Сфера научных интересов – медицинское приборостроение; био-медицинская инженерия; обработка и анализ биомедицинских сигналов.
E-mail: yuld@mail.ru

REFERENCES

1. Marin J. M., Carrizo S. J., Vicente E., Agusti A. G. Long-Term Cardiovascular Outcomes in Men with Obstructive Sleep Apnoea-Hypopnoea with or Without Treatment with Continuous Positive Airway Pressure: an Observational Study. *The Lancet*. 2005, vol. 365, pp. 1046–1053. doi: 10.1016/S0140-6736(05)71141-7

2. Milenković A., Otto C., Jovanov E. Wireless Sensor Networks for Personal Health Monitoring: Issues and an Imple-

mentation. *Computer Communication*. 2006, vol. 29, iss. 13–14, pp. 2521–2533. doi: 10.1016/j.comcom.2006.02.011

3. Korhonen I., Parkka J., Van Gils M. Health Monitoring in the Home of the Future. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*. 2003, vol. 22, iss. 3, pp. 66–73. doi: 10.1109/MEMB.2003.1213628

4. Pantelopoulos A, Bourbakis N.G. A Survey on Wearable Sensor-Based Systems for Health Monitoring and

14. Moving prediction of exacerbation in chronic obstructive pulmonary disease for patients in telecare / M. H. Jensen, S. L. Cichosz, B. Dinesen, O. K. Hejlesen // *J. Telemed. Telecare*. 2012. Vol. 18, № 2. P. 99–103. doi: 10.1258/jtt.2011.110607

15. Yuldashev Z. M., Anisimov A. A. A System for Remote-Controlled Intelligent Monitoring of the Health Status // *Biomedical Engineering*. 2017. Vol. 51, № 1. P. 61–65. doi: 10.1007/s10527-017-9685-8

16. Nguyen Trong Tuyen, Yuldashev Z. M. An Algorithm of Atrial Fibrillation Detection and Alarm Signal Formation in the System of ECG Remote Monitoring // *Biomedical Engineering*. 2018. Vol. 52, iss. 1. P. 51–55. doi: 10.1007/s10527-018-9780-5

17. Nguyen T. T., Yuldashev Z. M., Sadykova E. V. A Remote Cardiac Rhythm Monitoring System for Detecting Episodes of Atrial Fibrillation // *Biomedical Engineering*. 2017. Vol. 51, iss. 3. P. 189–194. doi: 10.1007/s10527-017-9712-9

18. Yuldashev Z. M., Sadykova E. V., Tran Trong Huu. Microprocessor-Based Sleep Apnea Diagnosis System // *Biomedical Engineering*. 2016. Vol. 50, № 5. P. 30–33. doi: 10.1007/s10527-017-9649-z

Prognosis. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews. 2010, vol. 40, no. 1, pp. 1–12. doi: 10.1109/TSMCC.2009.2032660

5. Banaee H., Ahmed M. U., Loutfi A. Data Mining for Wearable Sensors in Health Monitoring Systems: a Review of Recent Trends and Challenges. Sensors. 2013, vol. 13, iss. 12, pp. 17472–17500. doi:10.3390/s131217472

6. Logan B., Healey J. Robust Detection of Atrial Fibrillation for a Long Term Telemonitoring System. Computers in Cardiology. 2005, vol. 32, pp. 619–622. doi: 10.1109/CIC.2005.1588177

7. Du X., Rao N., Qian M., Liu D., Li J., Feng W., Yin L., Chen X. A Novel Method for Real-Time Atrial Fibrillation Detection in Electro-Cardiograms Using Multiple Parameters. Annals of Noninvasive Electrocardiology. 2014, vol. 19, no. 3, pp. 217–225. doi: 10.1111/anec.12111

8. Rodenas J., Garcia M., Alcaraz R., Rieta J. J. Wavelet Entropy Automatically Detects Episodes of Atrial Fibrillation from Single Lead Electrocardiograms. Entropy. 2015, vol. 17, no. 9, pp. 6179–6199. doi: 10.3390/e17096179

9. Sechang O., Hyeokjun K., Vijay V. Ubiquitous Health Monitoring System for Diagnosis of Sleep Apnea with Zigbee Network and Wireless LAN. Journal of Nanotechnology in Engineering and Medicine. 2011, vol. 2(2), p. 021008. doi: 10.1115/1.4003927

10. Bsoul M., Minn H., Tamil L. Apnea Medassist: Real-Time Sleep Apnea Monitor Using Single-Lead ECG. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine. 2011, vol. 15, no. 3, pp. 416–427. doi: 10.1109/TITB.2010.2087386

11. Albaghdadi M. Baroreflex Control of Long-Term Arterial Pressure. Rev Bras Hipertens. 2007, vol. 14, no. 4, pp. 212–225.

12. Gesche H., Grosskurth D., Kuchler G. Continuous Blood Pressure Measurement by Using the Pulse Transit Time: Comparison to a Cuff-Based Method. Eur. J. Appl. Physiol. 2011, vol. 112, no. 1, pp. 309–315. doi: 10.1007/s00421-011-1983-3

13. Yañez A. M., Guerrero D., Pérez de Alejo R., Garcia-Rio F., Alvarez-Sala J. L., Calle-Rubio M., de Molina R. M., Valle Falcones M., Ussetti P., Sauleda J., García E. Z., Rodríguez-González-Moro J. M., Franco Gay M., Torrent M., Agustí A. Monitoring Breathing Rate at Home Allows Early Identification of COPD Exacerbations. Chest. 2012, vol. 142, no. 6, pp. 1524–1529. doi: 10.1378/chest.11-2728

14. Jensen M. H., Cichosz S. L., Dinesen B., Hejlesen O. K. Moving Prediction of Exacerbation in Chronic Obstructive Pulmonary Disease for Patients In Telecare. J. Telemed. Telecare. 2012, vol. 18, no. 2, pp. 99–103. doi: 10.1258/jtt.2011.110607

15. Yuldashev Z. M., Anisimov A. A. A System for Remote-Controlled Intelligent Monitoring of the Health Status. Biomedical Engineering. 2017, vol. 51, no. 1, pp. 61–65. doi: 10.1007/s10527-017-9685-8

16. Nguyen Trong Tuyen, Yuldashev Z. M. An Algorithm of Atrial Fibrillation Detection and Alarm Signal Formation in the System of ECG Remote Monitoring. Biomedical Engineering. 2018, vol. 52, iss. 1, pp. 51–55. doi: 10.1007/s10527-018-9780-5

17. Nguyen T. T., Yuldashev Z. M., Sadykova E. V. A Remote Cardiac Rhythm Monitoring System for Detecting Episodes of Atrial Fibrillation. Biomedical Engineering. 2017, vol. 51, iss. 3, pp. 189–194. doi: 10.1007/s10527-017-9712-9

18. Yuldashev Z. M., Sadykova E. V., Tran Trong Huu. Microprocessor-Based Sleep Apnea Diagnosis System. Biomedical Engineering. 2016, vol. 50, no. 5, pp. 30–33. doi: 10.1007/s10527-017-9649-z

Received September, 17, 2018

Nguyen Trong Tuyen – Ph.D. in Engineering (2018). Teacher in Le Quy Don Technical University. The author of 27 scientific publications. Area of expertise: medical instrumentation; biomedical engineering; processing and analysis of biomedical signals.

E-mail: nguyentuyen1988@gmail.com

Tran Trong Huu – Ph.D. in Engineering (2018). Fellow Worker in Vietnam Military Medical University. The author of 25 scientific publications. Area of expertise: medical instrumentation; biomedical engineering; processing and analysis of biomedical signals.

E-mail: trantronghhu2007@gmail.com

Nguyen Mau Thach – Ph.D. Student, Assistant of the Department of Biotechnical Systems of Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI". The author of 11 scientific publications. Area of expertise: medical instrumentation; biomedical engineering; processing and analysis of biomedical signals.

E-mail: thachnguyen@mail.ru

Zafar M. Yuldashev – D.Sc. in Engineering (1999), Professor (2001), Chief of the Department of Biotechnical Systems of Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI". The author of 256 scientific publications. Area of expertise: medical instrumentation; biomedical engineering; processing and analysis of biomedical signals.

E-mail: yuld@mail.ru
