

O. V. Mandrikova, Yu. A. Polozov, T. L. Zalyaev

Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation

V. V. Geppener

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF COSMIC RAYS AND IONOSPHERIC PARAMETERS DURING PERIODS OF INCREASED SOLAR ACTIVITY AND MAGNETIC STORMS (ACCORDING TO GROUND-BASED OBSERVATION STATIONS)

We applied new methods of data analysis, based on neural networks and wavelet transform. The methods made it possible to allocate abnormal enhancements in cosmic rays level (pre-increases). They can occur 8–20 hours before the onset of strong magnetic storms (we analyzed the events for the period 2010–2015). During the periods of the allocated preconditions in cosmic rays, an anomalous increase in the electron concentration was observed in the ionosphere, which is typical for positive ionospheric storms. The isolated ionospheric anomalies were observed on the eve of strong magnetic storms at different stations with a possible time delay up to a day. During the periods of the main phases of strong magnetic storms, the Forbush decrease effect was observed and the electron concentration in the ionosphere decreased significantly. The obtained results are of interest in space weather problems and can serve as an additional factor in strong magnetic storms prediction. The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation, Project № 14-11-00194.

Cosmic rays, ionosphere, anomalies, geomagnetic storms, wavelets, neural networks

УДК 681.518.3

А. Р. Шафиев, В. В. Яновский

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

Мобильные средства оценки физиологического состояния субъекта в экстремальных условиях

Приведено краткое описание экспериментальной подсистемы дистанционного беспроводного измерения физиологического состояния людей (субъектов) в режиме реального времени на основе пульсоксиметрических модулей. Подсистема разработана для контроля за физиологическим состоянием персонала на опасных участках производства при выполнении особо ответственных работ. Необходимость разработки подсистемы оценки физиологического состояния субъектов в экстремальных состояниях обусловлена отсутствием доступа к аналогичным устройствам иностранного производства, а также необходимостью интеграции в единую систему оценки физиологического состояния персонала. Носимые устройства измерения физиологического состояния, являющиеся основной частью подсистемы, автономны и монтируются в спецодежду. Данные физиологического состояния персонала в реальном времени собираются по протоколу BluetoothLE через установленные в зоне работ BLE-коммутаторы. После проведения работ средствами подсистемы возможно чтение с устройств накопленных архивов физиологических параметров.

Системы мониторинга, оценка экстремальных физиологических состояний, пульсоксиметрический модуль, частота сердечных сокращений, частота дыхания, кислородная сатурация, реальное время

На опасных производствах, при проведении особо ответственных работ необходим постоянный мониторинг физиологического состояния

персонала. Наиболее частая причина возникновения ошибок в профессиональной деятельности – критическое снижение уровня бодрствования.

Непосредственной причиной инцидентов на производстве является возникновение кратковременных эпизодов сна длительностью 3...10 с [1]–[4].

Процесс перехода от активного бодрствования к утомлению является гетерохронным и многофазным, характеризуется следующими психофизиологическими показателями [1], [2]:

- уменьшением альфа-активности, а также появлением низкоамплитудных медленных тета и дельта-волн (на электроэнцефалограмме);
- снижением частоты альфа-ритмов с распространением в теменную область коры головного мозга;
- изменением частоты сердечных сокращений (ЧСС);
- более длительным закрыванием глаз, чем в состоянии бодрствования;
- увеличением частоты морганий.

Как показали исследования [1], пороги перехода в состояние утомления у каждого человека индивидуальны, поэтому построение обобщенной модели определения состояния перехода ко сну нецелесообразно [2].

В работах, описывающих деятельность человека в сложных условиях, вместо понятия «стресс» используют понятия «психическая напряженность» и «психическое напряжение». При этом понятие «психическая напряженность» используют для обозначения состояний, отрицательно влияющих на работу [2], [5].

Своевременное выявление критического состояния сотрудников при проведении особо ответственных работ позволяет избежать нештатных аварийных ситуаций и, как следствие, – техногенных катастроф. Мониторинг физиологического состояния персонала осуществляется в реальном времени, не ограничивая людей в движениях. При выходе измеряемых физиологических параметров за установленные пороги обеспечивается автономная сигнализация для сотрудника. Помимо этого данные мониторинга в реальном времени передаются в диспетчерскую через установленные коммутаторы по протоколу BluetoothLE. На рабочем месте диспетчера собирается информация обо всем персонале, выполняющем работы. При выходе измеряемых физиологических параметров какого-либо сотрудника за установленные пороги диспетчер получает соответствующее уведомление и может оперативно принять необходимые меры по обеспечению безопасности работ. На случай выхода персонала из

радиуса действия коммутаторов в устройствах мониторинга физиологического состояния предусмотрено ведение 20-часового архива в энергонезависимой памяти с возможностью последующего анализа в сервисной программе на АРМ диспетчера. Автономная работа устройств без подзарядки рассчитана на более чем 24-часовую работу.

Каждое устройство измерения физиологического состояния (УИФС) измеряет первичную физиологическую информацию с использованием пульсоксиметрического модуля, а также вычисляет следующие физиологические показатели [6]–[10]:

- межсистольные интервалы и частоту сердечных сокращений (ЧСС);
- частоту дыхания (ЧД);
- уровень периферической кислородной сатурации крови (SpO₂).

По каждому измеряемому параметру диспетчер может установить границы, выход за которые приведет к аварийной сигнализации.

На рис. 1 приведена структура подсистемы дистанционного беспроводного измерения физиологического состояния.

Для реализации УИФС был выбран микроконтроллер CC2650 TexasInstruments с частотой генератора 24 МГц. Данный микроконтроллер реализует внутри себя стек протоколов Bluetooth 4.0.

Микросхема CC2650 осуществляет взаимодействие с коммутаторами по каналу Bluetooth в режиме Broadcaster. Показания обновляются каждые 100 мс.

Энергонезависимое хранение физиологических параметров обеспечивается памятью FM24V10.

В качестве пульсоксиметрического модуля использован оптический датчик MAX30101 компании MaximIntegrated. Данный датчик реализует оптический метод отраженной пульсоксиметрии, в одном корпусе датчика MAX30101 объединены 3 светодиода (красный, инфракрасный и зеленый), фотодетектор, подобранная с необходимыми характеристиками оптическая линза и входной усилитель с низким уровнем шума для регистрации сигналов пульса и содержания кислорода в крови. Датчик работает в режиме multi-LED, т. е. с одновременным измерением по трем светодиодам.

Использование метода отраженной пульсоксиметрии позволило реализовать возможность выбора места сбора физиологических параметров, что являлось очень важным для решения

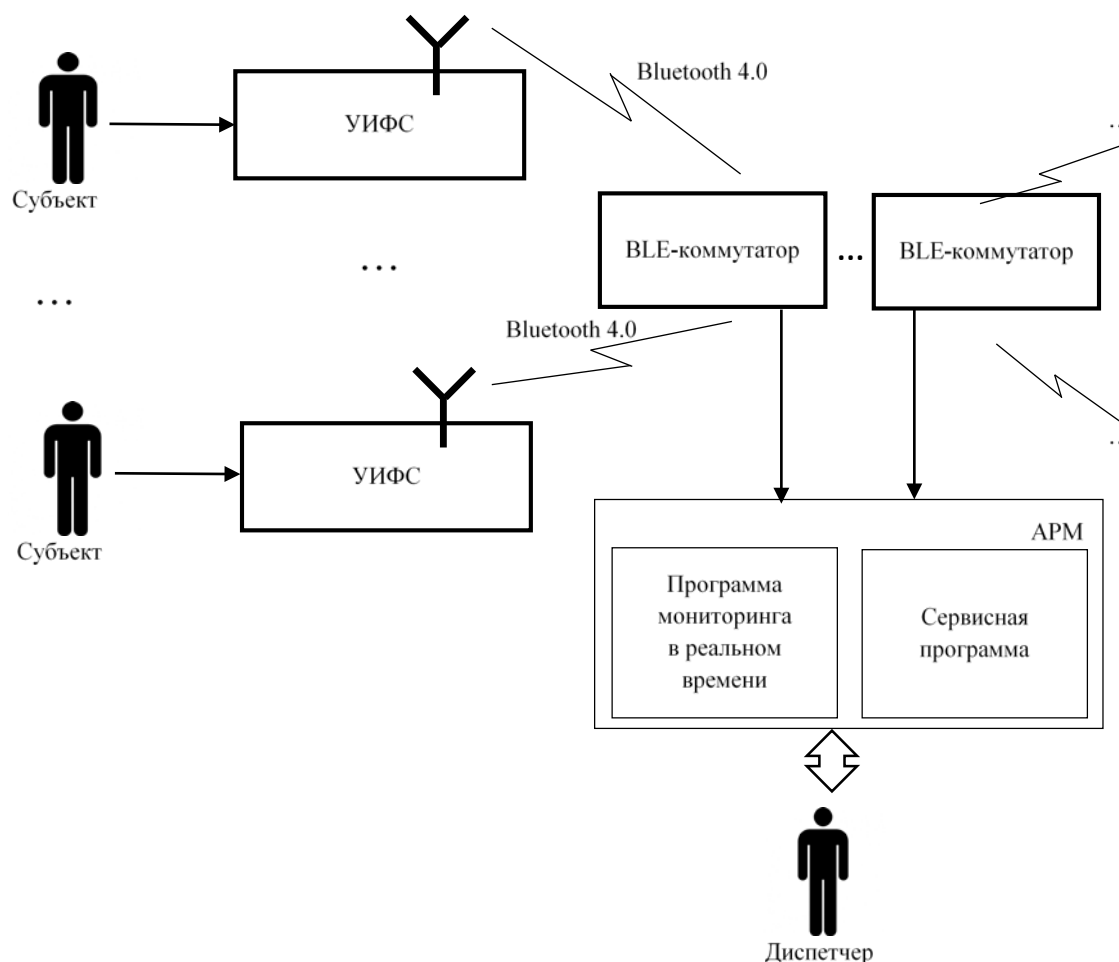


Рис. 1

описываемой задачи. Датчик нужно было расположить таким образом, чтобы он не сковывал движения персонала, не мешал их работе, но в то же время он должен был бы оставаться относительно неподвижным и по возможности не чувствительным к движениям персонала, при этом прилекая к коже со средней интенсивностью.

Датчики отраженной пульсоксиметрии доступны для промышленного производства оборудования, однако имеют недостатки, вызванные следующими факторами:

- внешним освещением – яркий свет, направленный прямо на датчик, искажает показания;
- дрожью или вибрацией – движение персонала может затруднить определение сигнала размещенным на его теле датчиком;
- датчик должен располагаться непосредственно на коже, в противном случае невозможно определить сатурацию крови;
- при стрессе, холоде, гипотермии, гиповолемии периферические сосуды сужаются, что ухудшает периферическое кровообращение, вследствие чего датчик не может достоверно определить сигнал;

– отравление, в том числе угарным газом, значительно увеличивает погрешность при определении сатурации.

Большинство этих недостатков проявляется при расположении датчика на пальце исследуемого.

В ходе проектирования экспериментального прототипа было решено располагать датчик под монтажной каской, на лбу исследуемого объекта. Ряд исследований показывает, что наиболее точные значения дает использование датчиков на ушной раковине, но эта часть удалена от спецодежды, устройство в этом месте разместить нельзя, а наличие проводов будет сковывать движения. В этом месте на датчик попадает больше внешнего света, поэтому в стрессовых ситуациях, а также холодных помещениях (рекомендуемая для данного метода температура окружающей среды 19...23 °C) зафиксировано сужение периферических сосудов.

Обмен между компонентами устройства осуществляется по протоколу I2C.

Компонентный состав устройства измерения физиологического состояния приведен на рис. 2.

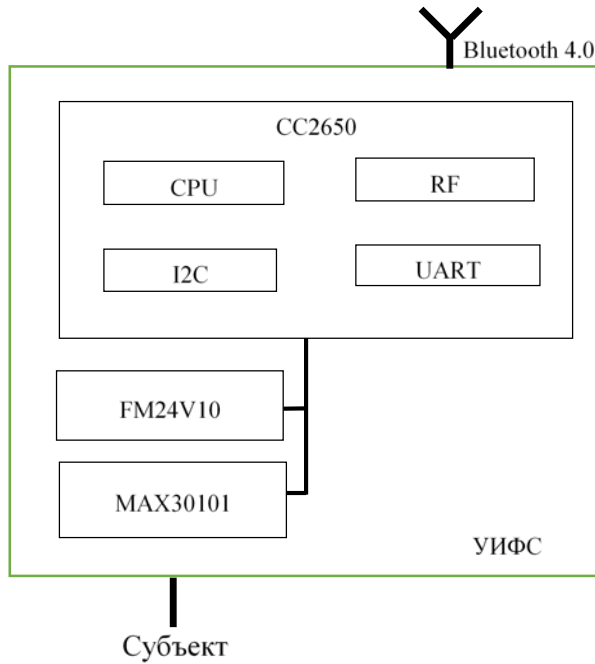


Рис. 2

MAX30101 работает по принципу отраженной пульсоксиметрии, определяя насыщенность крови кислородом гемоглобина артериальной капиллярной крови с помощью метода фотоплетизмографии. Принципиальная схема MAX30101 (рис. 3) включает в себя источник света, датчики, детектор и анализирующий процессор [11].

Источник света излучает волны в красном, инфракрасном и зеленом спектрах, а кровь поглощает их в зависимости от числа связанных гемоглобином кислородных молекул. Связанный гемоглобин улавливает инфракрасный поток, а неоксигенированный – красный. Отраженный свет регистрируется детектором. Выполнение замеров в различных диапазонах распределено во времени и осуществляется циклически. Процесс измерения с использованием принципа отраженной пульсоксиметрии схематично показан на рис. 4.

Алгоритм расчета физиологических показателей состоит из следующих основных этапов:

- сбора данных с пульсоксиметрического модуля;

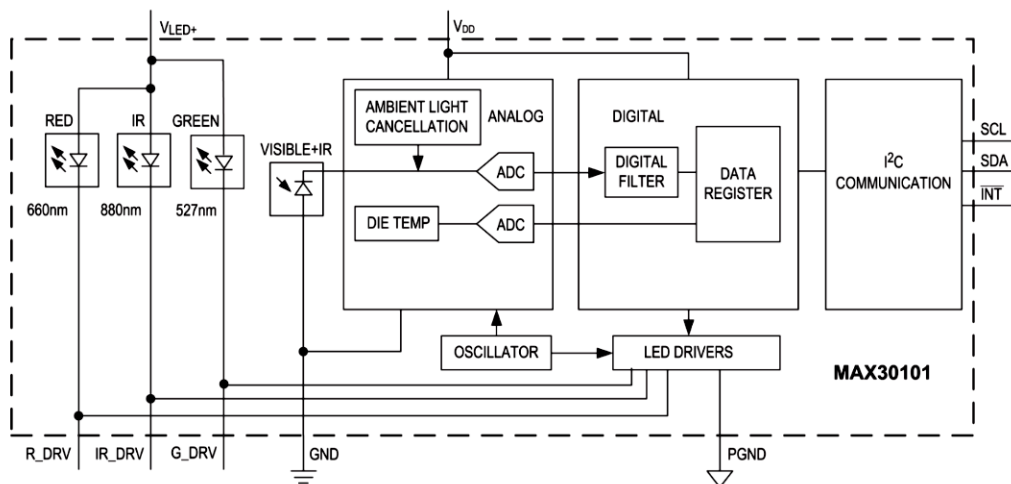


Рис. 3

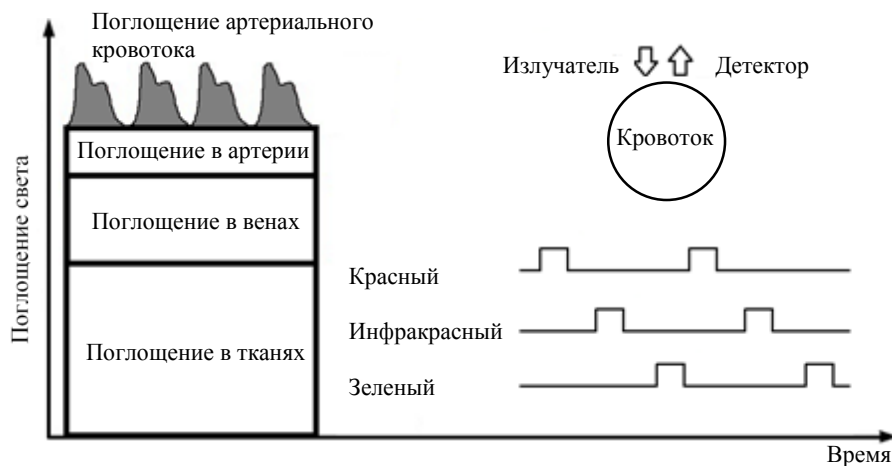


Рис. 4

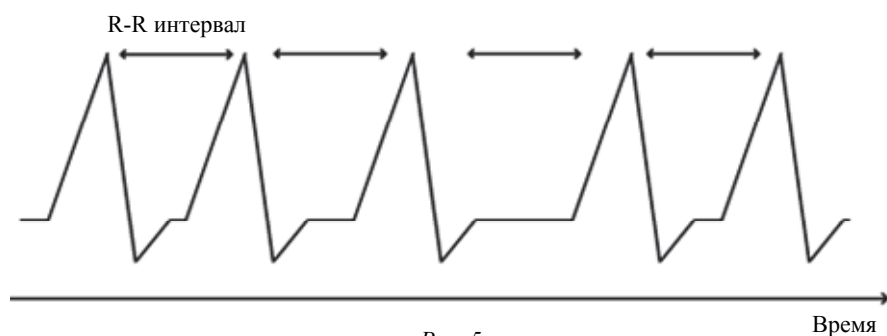


Рис. 5

Номер байта в сообщении	Параметр	Примечание
1–4	Заводской номер устройства	–
5–8	Версия программного обеспечения контроллера	–
9	Расчетное значение частоты пульса (ЧП), дискретность 1 уд./мин	00h – значение не определено
10	Расчетное значение частоты дыхания (ЧД), дискретность 1 вдох/мин	00h – значение не определено
11	Расчетное значение уровня периферической кислородной сатурации крови (SpO_2), дискретность 1 %	00h – значение не определено
12	Байт встроенной системы контроля (BCK)	–
13	Байт сигнала тревоги (ALARM)	–
14	Байт уровня зарядки встроенного источника питания, дискретность 1 %	–
15	Байт счетчик посылок	Циклически изменяющийся код от 00h до FFh (256 посылок)
16	Резерв	Значение не определено.

– фильтрации помех по каждому цветовому сигналу;

– поиска локальных максимумов для каждого цветового сигнала;

– объединения информации по полученным сигналам, вычисления межсистолического интервала и ЧСС – временного интервала между пиками фотоплетизмограммы для каждого сердечного цикла, приведенного к числу ударов (пиков) в минуту; осциллограмма ЧСС представлена на рис. 5;

– расчета периферической кислородной сатурации крови – измерения отношения уровней (значения амплитуды) измеренного сигнала для светодиодов красного и инфракрасного диапазонов в процентах;

– анализа изменения межсистолического интервала, частоты сердечных сокращений и периферической кислородной сатурации крови, расчета частоты дыхания – измерения временных интервалов между интервалами пульса, имеющих увеличенный период по сравнению со средней рассчитанной ЧСС для каждого интервала, отнесенной к количеству вдохов в минуту.

По умолчанию установлены следующие границы уровней по физиологическим показателям:

- ЧСС: 45–200;
- SpO_2 : 90–100;
- ЧД: 10–40.

Для мониторинга важны как нижняя граница сатурации (кислородное голодание), так и верхняя – загустевание крови и опасность инфаркта. Сатурация у здоровых людей любого возраста должна быть не менее 95 %, падение ее ниже 90 % требует незамедлительной помощи.

Физиологические показатели вычисляются в реальном времени. При отсутствии критических помех с пульсоксиметрического модуля устройство обеспечивает следующее время определения параметров:

- межсистолические интервалы и частота сердечных сокращений – 5 с;
- частота дыхания – 30 с;
- уровень периферической кислородной сатурации крови – 5 с.

Протокол обмена между УИФС и АРМ диспетчера в режиме измерения физиологических показателей показан в таблице.

Пример окна программы мониторинга физиологического состояния персонала представлен на

Мониторинг физиологического состояния персонала

Сотрудник	Зона	ЧСС	SpO2	ЧД
Дубинина Розалия Федоровна	1.1	91	96	36
Кукова Валентина Федотовна	1.2	178	96	33
Костина Ирина Тимуровна	1.1	91	99	32
Гурьев Порфирий Макарович	1.3	131	94	28
Комиссарова Клара Потаповна	1.3	84	96	33
Анжвин Борис Казимирович	1.2	143	95	35
Крутелева Алиса Иосифовна	1.3	91	99	14
Юганцев Игорь Иппатович	1.2	169	97	32
Стрельникова Лилия Петровна	1.2	133	95	19
Федотова Стела Васильевна	1.2	64	93	20
Толбанова Владлена Емельяновна	1.1	134	93	26
Нустров Фока Глебович	1.2	137	98	13
Ловзанский Всеволод Остапович	1.1	119	97	38
Ярыкин Федор Савелиевич	1.1	92	97	35
Рудников Александр Несторович	1.1	175	96	30
Швецор Борислав Иванович	1.3	146	94	20
Ельцин Константин Яковович	1.3	121	93	36
Землякова Арина Всеволодовна	1.1	76	95	38
Бармыкина Вера Никитовна	1.3	69	96	29
Бютин Венедикт Мирославович	1.1	166	96	11
Янсона Жанна Карповна	1.2	96	94	36
Блоков Феофан Андреевич	1.2	69	95	16
Елизаров Даниил Филимонович	1.1	102	95	34
Осенных Соломон Феликсович	1.3	103	98	30

1.1
Палилин Аскольд Феликсович
Ястрембоний Харитон Демьянович
Ержулаева Дана Елизаровна
Сиянчук Елисей Эрнстович
Пешенко Тамара Всеволодовна
Ягафарова Владислава Степановна

1.3
Янсона Жанна Карповна
Блоков Феофан Андреевич
Елизаров Даниил Филимонович
Осенных Соломон Феликсович
Кутинев Гавриил Несторович
Березин Демьян Мартьянович
Таланов Вениамин Никольевич

2.1
Анжвин Борис Казимирович
Крутелева Алиса Иосифовна
Юганцев Игорь Иппатович
Стрельникова Лилия Петровна
Федотова Стела Васильевна
Толбанова Владлена Емельяновна
Нустров Фока Глебович

2.3
Садовничий Артём Данилович
Кемоклидзе Харитон Ефремович
Жарикова Рада Ипполитовна
Масмехов Данила Захарович
Кариев Валентин Давыдович

Рис. 6

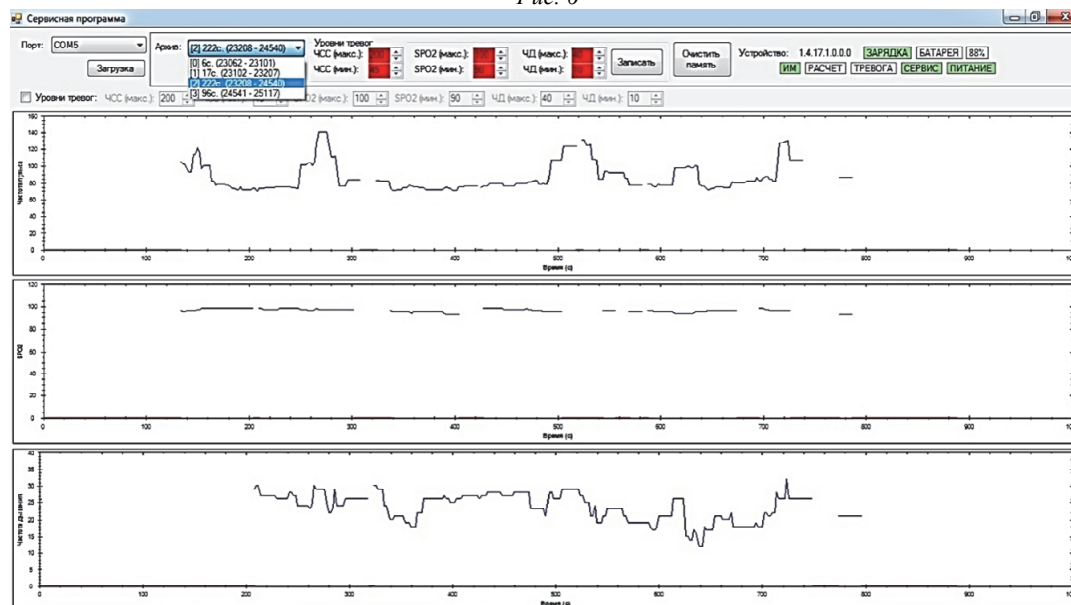


Рис. 7

рис. 6, а экранная форма сервисной программы – на рис. 7.

В настоящее время в нашей стране беспроводной мониторинг физиологических параметров персонала при проведении особо ответственных работ на опасных производствах в режиме реального времени не производится. Оснащение объектов с повышенной техногенной опасностью (ядерной, транспортной, военной и в других от-

раслях) разработанными портативными устройствами мониторинга и контроля позволяет в значительной степени снизить влияние человеческого фактора при эксплуатации данных объектов, изучить влияние негативных факторов на постоянно работающих сотрудников, своевременно выявлять профессиональные заболевания у персонала и проводить предупреждающие мероприятия.

В ходе данной работы предложен промышленный образец экспериментальной подсистемы дистанционного беспроводного измерения физиологического состояния людей (субъектов) в режиме реального времени на основе пульсоксиметрических модулей, обеспечивающий дистанционное измерение физиологического состояния персонала.

В результате опытной эксплуатации подсистемы на химическом производстве получена возможность дистанционного постоянного контроля физиологического состояния персонала в реальном времени. До внедрения данной системы на производстве контроль физиологического состояния персонала осуществлялся разово по утвержденному расписанию.

Как показала опытная эксплуатация подсистемы, ухудшение физиологического состояния субъекта до критических уровней зачастую оставалось незамеченным самими субъектами, при этом проведение периодического контроля по расписанию также не выявляло наличия критических отклонений некоторое время назад.

Внедрение подсистемы в эксплуатацию позволило оперативно выявлять критические отклонения физиологических параметров, что раньше не представлялось возможным. После внедрения подсистемы частота выявления критических отклонений физиологического состояния выросла в 8 раз, при этом количество случаев экстренной госпитализации сотрудников упало до нуля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусева Н. Л. Анализ психофизиологических показателей функционального состояния человека-оператора в условиях монотонной деятельности: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2005. 26 с.
2. Латышева Е. Ю., Кураева Л. Х., Спиридонов И. Н. Методика контроля психофизиологического состояния обучаемого. URL: <http://docplayer.ru/42661218-Metodika-kontrolya-psihofiziologicheskogo-sostoyaniya-obuchaemogo.html>.
3. Effect of fatigue on performance measured by a driving simulator in automobile drivers / P. Philip, J. Taillard, E. Klein, P. Sagaspe, A. Charles, W. L. Davies, C. Guilleminault, B. Bioulac // J. of Psychosomatic Research. 2003. Vol. 55 (3). P. 197–200.
4. Sleep-wake rhythm in an irregular shift system / M. Sallinen, M. Härmä, P. Mutanen, R. Ranta, Jussi Virkkala, K. Müller // J. of Sleep Research. 2003. Vol. 12 (2). P. 103–112.
5. Немчин Т. А. Состояния нервно-психического напряжения. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. 163 с.
6. Синютин Е. С. Выбор набора физиологических каналов для системы мониторинга физиологического состояния человека-оператора в процессе деятельности // Изв. ТРТУ. Тематический вып. Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении. 2006. № 5 (60). С. 37–38.
7. Кроль В. Психофизиология человека. СПб.: Питер, 2003. 304 с.
8. Экспериментальная оценка психологической устойчивости человека-оператора в открытой информационной среде / А. Д. Тытарь, Е. Т. Тытарь, А. Ю. Тулынина, Г. А. Дорофеева, А. Ю. Евтушенко // Изв. ТРТУ. Актуальные проблемы производства и потребления электроэнергии. 2006. № 15 (70). С. 158–164.
10. Подопрыголова О. Н. Особенности организации экспериментов для изучения модели напряженности человека-оператора в процессе деятельности // Изв. ТРТУ. Тематический вып. Медицинские информационные системы. 2006. № 11 (66). С. 187–188.
11. MAX30101. Datasheet. URL: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30101.pdf>.

A. R. Shafiev, V. V. Yanovsky
Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

MOBILE MEANS OF ESTIMATION OF THE PHYSIOLOGICAL STATE OF THE SUBJECT IN EXTREME CONDITIONS

A brief description of the experimental subsystem of remote wireless measurement of the physiological state of people (subjects) in real time on the basis of pulse oximetry modules is given. The subsystem is designed to monitor the physiological condition of personnel in hazardous areas of production when performing particularly critical jobs. The need to develop a subsystem for assessing the physiological state of subjects in extreme conditions is due to the lack of access to similar devices produced abroad, as well as the need to integrate into a single system for assessing the physiological state of personnel. Wearable devices for measuring the physiological state, which are the main part of the subsystem, are autonomous and mounted in overalls. The physiological status of personnel in real time is collected via BluetoothLE protocol through the BLE switches installed in the area of works. After the work is done, with the means of the subsystem you can read physiological parameters from the accumulated archives.

Monitoring systems, assessment of extreme physiological states, pulse oximetry module, heart rate, respiratory rate, oxygen saturation, real time