

---

# МОДЕЛИРОВАНИЕ В МЕДИЦИНСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

---

## MODELING IN MEDICAL AND TECHNICAL SYSTEMS

---

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-3-183-205>



УДК 616.71

### Разработка системы сбора, оценки и анализа физиологического состояния и факторов, влияющих на утомляемость военнослужащих

Е. А. Ларина<sup>1</sup> ✉, А. С. Трехлебов<sup>2</sup>, В. Г. Андронов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

<sup>2</sup> Филиал АО «Атомтехэнерго» в Народной Республике Бангладеш  
Руппур, ПО Пакши, г. Ишварди, Пабна 6622, 214/5.7, Народная Республика Бангладеш

✉ e-mail: [ev.larina19@gmail.com](mailto:ev.larina19@gmail.com)

#### Резюме

**Цель исследования** – анализ известных инвазивных и неинвазивных методов обследования, определение необходимых критериев для оценки степени утомляемости моряков-подводников.

Проведено анкетирование военнослужащих ВМФ, причастных к службе на кораблях подводного флота, на основе которого выполнено обоснование направлений исследований для последующей разработки системы сбора, оценки и анализа физиологического состояния и факторов, влияющих на утомляемость военнослужащих.

**Методы:** применение экспериментального неинвазивного метода исследования для определения степени утомляемости и физиологического состояния моряков-подводников на основе трех критериев в течение месяца; анализ полученных результатов; установление при разработке метода сравнительного анализа, структурного анализа системы на основе ранее известных устройств и сенсоров.

**Результаты.** Обнаружена зависимость исследуемых показателей от времени несения вахты и их связь с ростом утомляемости. Установлено, что для ведения разработки системы мониторинга за утомляемостью подводников следует производить системный анализ и объективную оценку, включающую в себя определение методов контроля состояния военнослужащих, применение знаний из медицины, физиологии, биофизики, биомеханики, биоинженерии, электроники, схемотехники и программирования, для разработки эффективных методов контроля физического состояния и утомляемости. Опираясь на анализ отечественных и зарубежных методик и устройств, предложен собственный метод реализации системы сбора оценки, анализа физиологического состояния и факторов, влияющих на утомляемость военнослужащих.

**Заключение.** Сделан вывод о необходимости проведения неинвазивных исследований степени утомляемости перед предложением разработки и предложения собственного устройства и методики оценки степени утомляемости, способных реализовать индивидуальные особенности системы для оперативного мониторинга с целью улучшения боеготовности, ситуационной осведомленности, здоровья, безопасности, мобильности моряков-подводников.

Разработки подобных систем и устройств мониторинга необходимо в современном мире призваны предупредить или предотвратить катастрофы без снижения работоспособности моряков-подводников.

---

© Ларина Е. А., Трехлебов А.С., Андронов В. Г., 2024

Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering,  
Information Science. Medical Instruments Engineering. 2024;14(3):183–205

**Ключевые слова:** методика сбора; физиологическое состояние; датчики; военнослужащие; система.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Ларина Е. А., Трехлебов А.С., Андронов В. Г. Разработка системы сбора, оценки и анализа физиологического состояния и факторов, влияющих на утомляемость военнослужащих // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2024. Т. 14, № 3. С. 183–205. <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-3-183-205>

Поступила в редакцию 04.07.2024

Подписана в печать 02.08.2024

Опубликована 30.09.2024

## The development of physical state and exhaustion factors monitoring system with capability of collecting, estimating and analysing data for military personnel

Eugenia A. Larina<sup>1</sup> ✉, Andrey S. Trekhlebov<sup>2</sup>, Vladimir G. Andronov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Southwest State University  
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

<sup>2</sup> Branch of JSC "Atomtenerg" in the People's Republic of Bangladesh  
Ruppur, PO Pakshi, Ishwardi, Pabna 6622, 214/5.7, People's Republic of Bangladesh

✉ e-mail: [ev.larina19@gmail.com](mailto:ev.larina19@gmail.com)

### Abstract

**The purpose of the research** analysis of known invasive and non-invasive examination methods, determination of the necessary criteria for assessing the degree of fatigue of submariners, a survey of Navy personnel involved in service on submarine ships was conducted, on the basis of which a justification of research directions was carried out for the subsequent development of a system for collecting, evaluating and analyzing the physiological state and factors affecting the fatigue of military personnel.

**Methods:** the use of an experimental non-invasive research method to determine the degree of fatigue and physiological condition of submariners based on three criteria during the month, the analysis of the results obtained, the establishment of a comparative analysis method during the development, a structural analysis of the system based on previously known devices and sensors.

**Results.** The dependence of the studied indicators on the time of watch keeping and their connection with the increase in fatigue were found. It has been established that in order to develop a system for monitoring the fatigue of submariners, a systematic analysis and objective assessment should be carried out, including: determination of methods for monitoring the condition of military personnel; application of knowledge from medicine, physiology, biophysics, biomechanics, bioengineering, electronics, circuitry and programming, to develop effective methods for monitoring physical condition and fatigue. Based on the analysis of domestic and foreign techniques and devices, a proprietary method for implementing a system for collecting assessments, analyzing the physiological state and factors affecting the fatigue of military personnel is proposed.

**Conclusion.** It is concluded that it is necessary to conduct non-invasive studies of the degree of fatigue, before proposing the development and proposal of its own device and methodology for assessing the degree of fatigue, capable of implementing individual features of the system for operational monitoring in order to improve combat readiness, situational awareness, health, safety, mobility of submariners

The development of such monitoring systems and devices is necessary in the modern world to prevent or prevent disasters without reducing the efficiency of submariners.

**Keywords:** collection technique; physiological state; sensors; military personnel; system.

**Conflict of interest:** The Authors declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Larina E.A., Trekhlebov A.S., Andronov V.G. The development of physical state and exhaustion factors monitoring system with capability of collecting, estimating and analysing data for military personnel. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Upravlenie, vychislitel'naja tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering*. 2024;14(3):183–205. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1536-2024-14-3-183-205>

Received 04.07.2024

Accepted 02.08.2024

Published 30.09.2024

\*\*\*

## Введение

Глобальный океан в новом тысячелетии становится одной из самых многообещающих научных областей исследования, главной сферой реализации геополитических интересов всевозможных государств, их соперничества и раздела влияния, особенно в зоне Арктического шельфа, где в настоящее время складываются новые опасности, угрожающие безопасности Российской Федерации. Рост напряжённости объективно обусловливает повышение требований к боевым возможностям экипажей атомных подводных лодок (АПЛ). Без сомнений, ракетные комплексы Ракетных войск стратегического назначения (РВСН) армии России обладают колоссальной мощностью удара (в связи с устойчивостью пусковой установки при ударе по ней), однако Военно-морской флот (ВМФ) превосходит наземные комплексы в подвижности и внезапном нанесении ядерных ударов.

Изучение утомляемости стало особенно актуальным в прикладных научных исследованиях применительно к ВМФ. Существенно возрастает значение показателей состояния организма и двигательного потенциала человека в благоприятном развитии тактических и стратегических операций, а также

непосредственной результативной реализации выполнения боевых задач. Так, в ходе многодневных учений «ВОСТОК–2022», «ЗАПАД–2021» сотрудниками Военного института физической культуры (ВИФК) проводились исследования по уточненной технологии балльного шкалирования физической работоспособности человека. Кафедрой физической подготовки Военного учебно-научного центра ВМФ «Военно-морская академия» (ВУНЦ ВМФ «ВМА») в 2012–2014 гг. была разработана градация оценочной шкалы работоспособности экипажей современных АПЛ в дальнем походе.

В ходе автономного похода изучение профессиональной боевой деятельности на российских АПЛ IV поколения (типа «Борей» и «Ясень»), которые сложно обнаружить кораблями и радиолокационными станциями, гидроакустическими и космическими аппаратами, было установлено, что работа подводников состоит из большой информационной нагрузки. Это отражается в результатах проведенного исследования состояния военнослужащих. Безусловно, накопление усталости в виде нарушений циркадных ритмов, недостаток физической активности, социальная депривация не могут не оказывать влияние на

органы чувств и центральную нервную систему.

Научно-технический прогресс связан с миниатюризацией электроники и компонентной базы. Бурное развитие систем искусственного интеллекта и их внедрение в методы системного анализа для управления и обработки информации – все это привело к расширенному применению автоматических систем управления во многих областях жизни, при этом повысив эффективность систем управления с участием человека. Важным этапом принятия соответствующих решений является мониторинг и достоверная оценка текущего состояния человека. Это связано с тем, что интенсивные физические нагрузки вызывают высокий уровень стресса и утомления, что существенно снижает функциональную эффективность последнего.

При выполнении научно-исследовательской работы (шифр «Курсант») ВИФК и ВУНЦ ВМФ «ВМА» о необходимости владения специальными навыками индивидуального и коллективного выживания в водной среде, использования спасательных плавательных средств, водолазной подготовки, плавания и ныряния в рабочей одежде, подводного рукопашного боя в сочетании со стрельбой было выявлено, что высокая степень подготовленности создает повышенное психофизическое состояние, определенный «комфорт преимущества», хотя ряд навыков матроса и офицера подводной лодки за период службы может и не применить. В рамках работы установлено, что организация труда моряков в период боевой службы оказывает влияние на их функциональное состояние, поскольку

каждая боевая смена имеет свою степень рассогласования с традиционным биологическим ритмом человека в межпериодический период. Режим деятельности одной боевой смены предусматривает несение вахт: первая вахта – с 00:00 до 04:00 и с 12:00 до 16:00 ч; вторая – с 04:00 до 08:00 и с 16:00 до 20:00 ч; третья – с 08:00 до 12:00 и с 20:00 до 24:00 ч – в течение всего похода. Мнения исследователей о степени негативного влияния различных боевых смен расходятся, однако большинство из них считает, что наиболее сложной по режиму несения для организма человека является 2 боевая смена, что связано с дискомфортом воздействия времени ночной вахты. В процессе проведения исследования степени утомляемости мы исходили из данных полученных от более 180 солдат ВМФ, имеющих опыт службы на подводном флоте. Отбор кандидатов в рамках исследования провел Военный инновационный технополис «ЭРА». Опыт службы на подводных кораблях и управления подводными робототехническими комплексами и сопоставительный анализ состояния здоровья у военнослужащих, которые в прошлом подвергали организм чрезмерным физическим нагрузкам в дальнем походе, в отличие от умеренно поддерживающих состояние работоспособности, спустя пролонгированный период свидетельствует о наличии значительного количества заболеваний у лиц первой группы [1].

В этой связи весьма актуальной является задача точного, адаптивного, неинвазивного и надежного мониторинга физиологического состояния

военнослужащих, выполняющих свои обязанности на автономных объектах, функционирующих вдалеке от центров управления, в частности экипажей летательных аппаратов, морских надводных и подводных средств. В работе проведен системный анализ известных методов, определены необходимые характеристики для диагностирования усталости, проведено анкетирование военнослужащих ВМФ, причастных к службе на кораблях подводного флота, на основе которого выполнено обоснование направлений исследований для их совершенствования в интересах разработки системы дистанционного сбора, анализа и оценки физиологического состояния военнослужащих в режиме реального времени.

### Материалы и методы

Существующие методы можно разделить на две группы – инвазивные и неинвазивные методы исследования. Первая группа методов основана на инвазивных процедурах. Другими словами, инвазивные процедуры (от латинского слова *invado* – «вхожу») – это исследования, при которых воздействие на организм человека осуществляется сквозь естественные внешние барьеры организма, такие как кожа, слизистые оболочки. Простейшими инвазивными процедурами являются инъекции и анализы. Наиболее сложными инвазивными процедурами являются хирургические операции. Здесь рассматриваются только инвазивные диагностические процедуры, при которых инструменты или материалы вводятся непосредственно в органы или ткани человеческого тела с

целью получения точной информации о состоянии здоровья пациента.

Преимуществом инвазивной диагностики является получение детальной информации о состоянии внутренней структуры организма, что позволяет с уверенностью и максимальной достоверностью установить диагноз и оценить прогрессирование заболевания, если оно имеется.

Основными недостатками инвазивных методов диагностики являются необходимость использования специальных инструментов и оборудования, а также высокая квалификация медицинского персонала. Инвазивная диагностика может проводиться как в клиниках, так и в стационарах. К инвазивным методам диагностики относятся биопсия, эндоскопия и катетеризация.

Биопсия позволяет получить образец ткани или клеток для диагностического анализа. Это содействует выяснению на ранней стадии возникновения опухолей, инфекций или иных хронических заболеваний [2].

При эндоскопии применяют гибкую трубку с камерой на конце для визуального осмотра внутренних органов. Этот метод используется для обследования пищеварительного тракта, дыхательных путей, мочевого пузыря и других органов.

Катетеризация предполагает введение гибкой трубки (катетера) в кровеносный сосуд для получения информации о работе сердца и кровеносных сосудов.

Инвазивная диагностика применяется в основном для оценки функций внутренних органов, таких как печень,

почки или легкие, с помощью специальных процедур и тестов [3].

Вторая группа связана с неинвазивными методами исследования, применение которых не сопровождается нарушением целостности кожных покровов, слизистых оболочек и отдельных органов и не связано с внедрением в полости исследуемых органов различных средств.

Неинвазивные методы диагностики основаны на применении инструментальных средств исследований, которые условно можно разделить на анатомическую визуализацию и функциональный анализ

Методы первой группы применяют для визуализации и моделирования отдельных органов и тканей, отражения критических, важных изменений в них. По большей части эти методы связаны с технологиями лучевой диагностики, такими как рентгеноскопия, рентгенография, флюорография, компьютерная томография и многие другие. Обособленно выделяют методы радионуклидной диагностики (радиометрия, радиография, сканирование, сцинтиграфия, позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), радиоиммунные исследования), исследования с применением ультразвука (исследования в М-режиме, В-режиме, исследования в 3D-режиме, доплерография), магнитно-резонансную томографию (МРТ) и методы с использованием инфракрасного излучения – медицинскую термографию [4]. В эту группу можно внести и оптические методы, например дерматоскопию. С ее помощью существует возможность визуализировать любые кожные покровы человека.

Функциональная диагностика направлена на получение оценки функционирования организма, его отдельных органов и систем с учетом различных физиологических и патологических проявлений [5]. Исследования проводят, оказывая электрические, звуковые, механические и физические воздействия. Целью методов, основанных на применении электрического воздействия, является регистрация биоэлектрической активности человека. В медицине с человека часто снимают данные методами электрокардиографии (ЭКГ), электроэнцефалографии (ЭЭГ), электромиографии (ЭМГ) и другими [6].

Методы, в которых за основу взято звуковое воздействие, применяется для регистрации звуковых аномалий, связанных с функционированием организма. Одним из таких методов является фонокардиография (ФКГ).

В основе методов, связанных с применением механического воздействия, таких, например, как сфигмография, плетизмография, измерение артериального давления, скорости кровотока, исследование функций внешнего дыхания и др., проверяются симптомы заболеваний вплоть до установления первичного диагноза. Кроме того, выделяют современные методы, основанные на различных физических явлениях, например явлениях спектроскопии, которые лежат в основе пульсоксиметрии, оптических методов определения содержания глюкозы в крови и ряда других современных методов неинвазивного исследования [7].

Преимущества применения неинвазивных методик исследований –

отсутствие воздействия на организм человека через естественные внешние барьеры, но теряется достоверность в точности выявления заболевания. Следует отметить, что при определении диагнозов различных заболеваний могут быть применимы комбинированные методы исследований.

В рамках проводимого исследования проведена оценка утомляемости моряков ВМФ во время несения ими боевых смен в рамках создания внеамбулаторной системы контроля и диагностики. На основе опыта Международной организации гражданской авиации (ИКАО) были определены три критерия для оценки утомляемости экипажа: повышенное артериальное давление, высокая температура и частый пульс. Для проведения исследования была отобрана группа в количестве 180 человек, мужского пола – в возрасте от 20 до 27 лет. Некоторые из них постоянно занимаются физическим спортом.

Составной частью исследования являлось проведение мониторинга вышеуказанных параметров каждым моряком. В течение смены проводилось четырехкратное измерение параметров (перед началом первой смены, после окончания ее, перед второй сменой после ее окончания). Эксперимент проводился в течение месяца. В соответствии с графиком несения боевого дежурства в месяц приходится около 7–8 смен на человека. Заметно, что нагрузка распределена неравномерно. На взгляд моряков, самой сложной является 2 боевая смена, что связано с несением ночной службы.

Для экспериментального исследования были использованы следующие

приборы: термометр-пирометр для измерения температуры тела, электронный тонометр для измерения артериального давления и прибор для измерения частоты сердечного пульса. Для представления информации принято решение взять усредненные значения за месяц несения службы в режиме боевых смен. Одна боевая смена составляла 45 человек. Режим деятельности одной боевой смены состоит из последовательных четырех часовых вахт. Первая вахта несет службу с 00:00 до 04:00 и с 12:00 до 16:00 ч, вторая – с 04:00 до 08:00 и с 16:00 до 20:00 ч, третья – с 08:00 до 12:00 и с 20:00 до 24:00 ч, работало четыре боевые смены. Четвертая боевая смена включала в себя людей, работавших в первых трех сменах, повторяя график первой боевой смены.

### Результаты и их обсуждение

Проведен анализ температуры тела военнослужащих каждой боевой смены после дежурства в двух вахтах. На рисунке 1 представлены средние значения измерений температуры тела военнослужащих первой смены до и после первой вахты.

Температуры военнослужащих перед заступлением на дежурство показывают, что все моряки здоровы и никаких факторов, оказывающих влияние на их утомление, нет. Они готовы к дежурству и знают, что делать (это говорит о высокой квалификации). По окончании несения вахты повторный замер показывает рост температуры в среднем на 3%, по сравнению с показателем нормы в 36,6 градуса. Рост температуры связан с трудностями в несении боевой вахты.

За вахту каждый военнослужащий обрабатывает большой массив информации, его концентрация повышена, зрительные нервы и организм постоянно находятся в напряжении. Помимо этого рост температуры показывает снижение концентрации, внимания, приводит к росту

утомляемости. По окончании вахты наступает отдых. Повторный замер производится через 4 ч, перед заступлением на вторую половину боевой смены. График температуры военнослужащих представлен ниже (рис. 2).

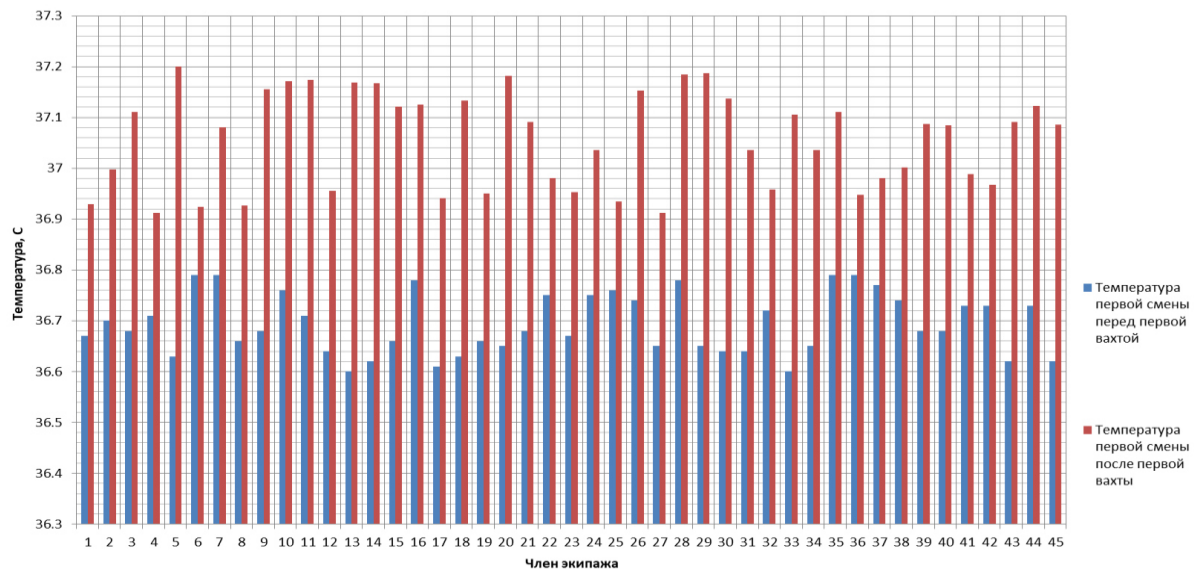


Рис. 1. Средняя температура военнослужащих первой боевой смены в первую вахту

Fig. 1. The average temperature of military personnel of the first combat shift in the first watch

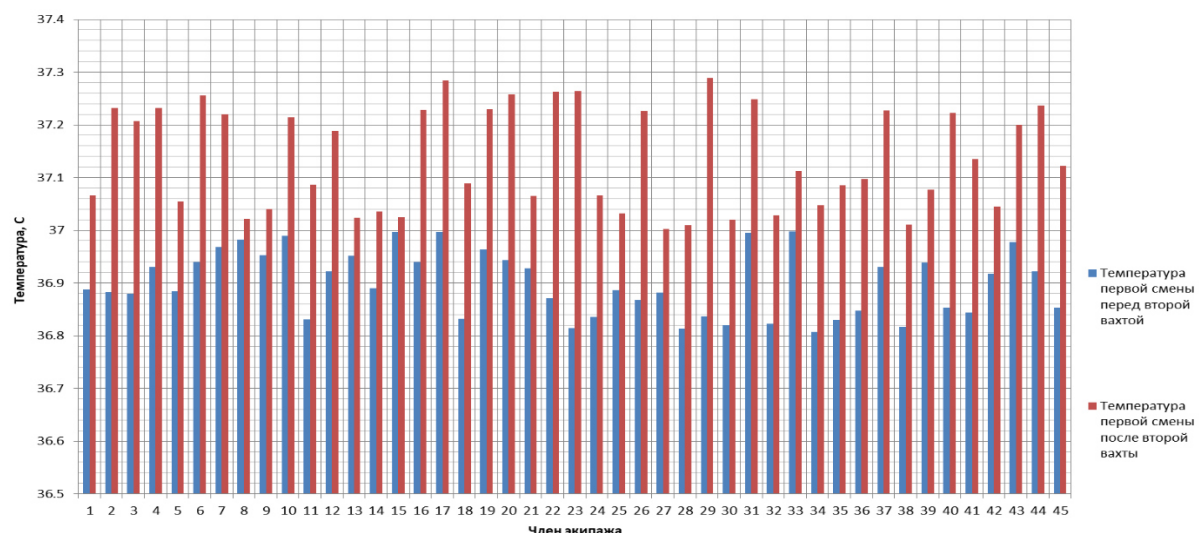


Рис. 2. Температура военнослужащих первой боевой смены во вторую вахту

Fig. 2. Temperature of the military personnel of the first combat shift in the second watch

Наблюдается уже повышенная температура военнослужащих, что говорит

о накопленной усталости, недостаточности отдыха. Во время несения вахты у



военнослужащих с более высокой температурой тела были замечены нарушения выполнения операции, усталость проявлялась в забывчивости, правильности выполнения последовательных действий, нагрузка на нервную систему приводила к общению между сослуживцами на повышенных тонах, что снижало концентрацию на определенной

задаче. По результатам измерения температуры остальных боевых смен можно отметить изначально повышенную температуру тела, что говорит о напряженности личного состава перед несением боевого дежурства. Рассмотрим измерения температуры второй боевой смены (рис. 3, 4) соответственно.

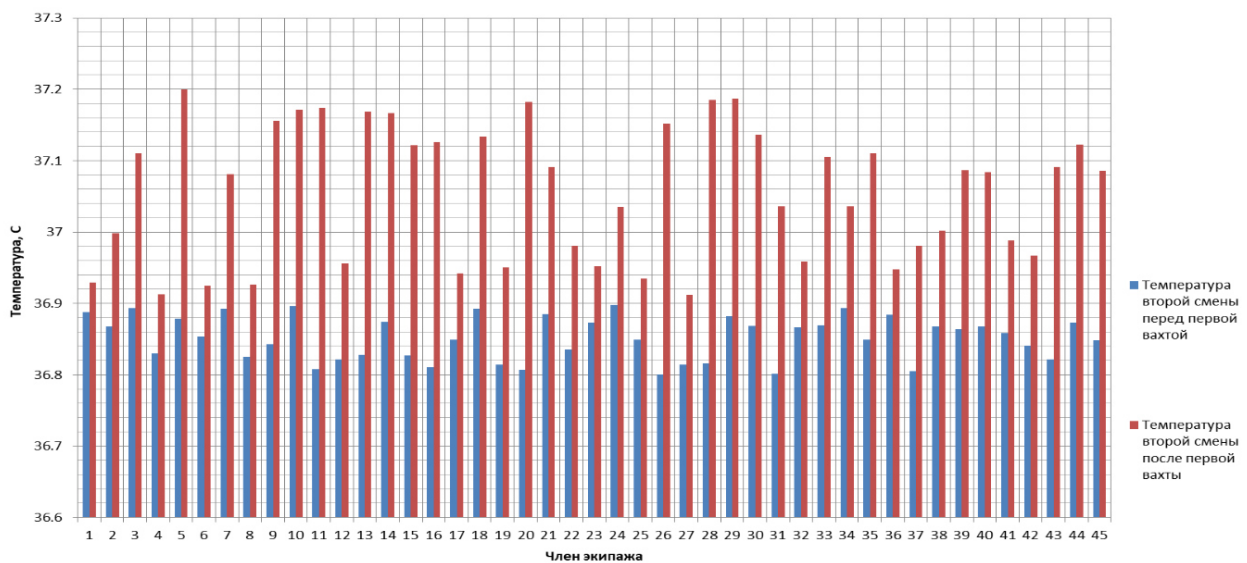


Рис. 3. Температура военнослужащих второй боевой смены в первую вахту

Fig. 3. Temperature of the military personnel of the second combat shift in the first watch

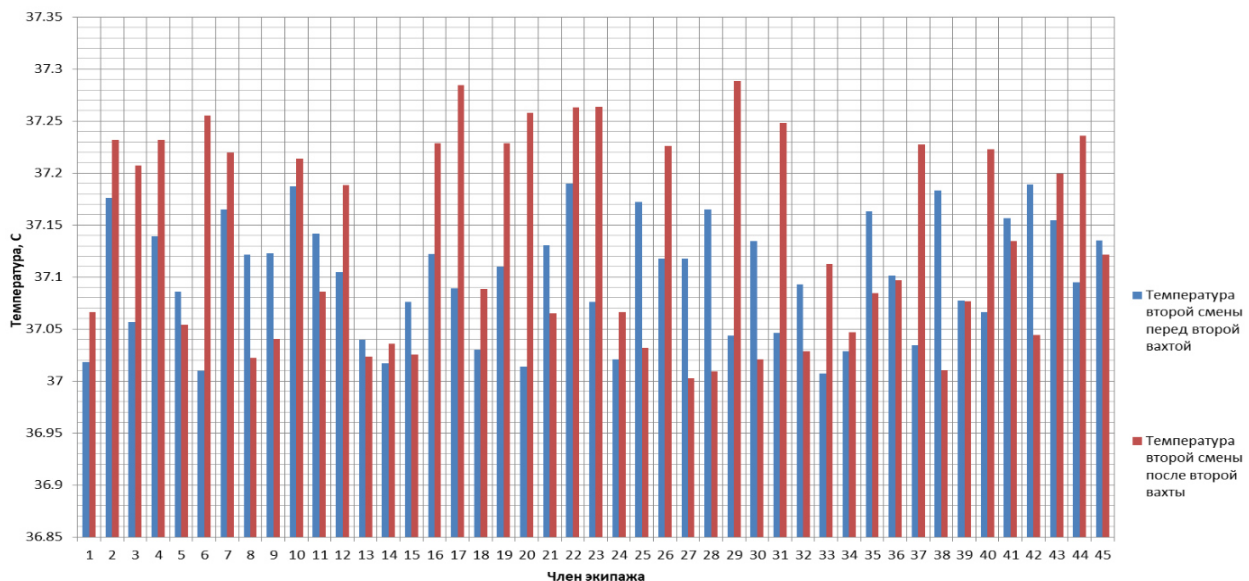
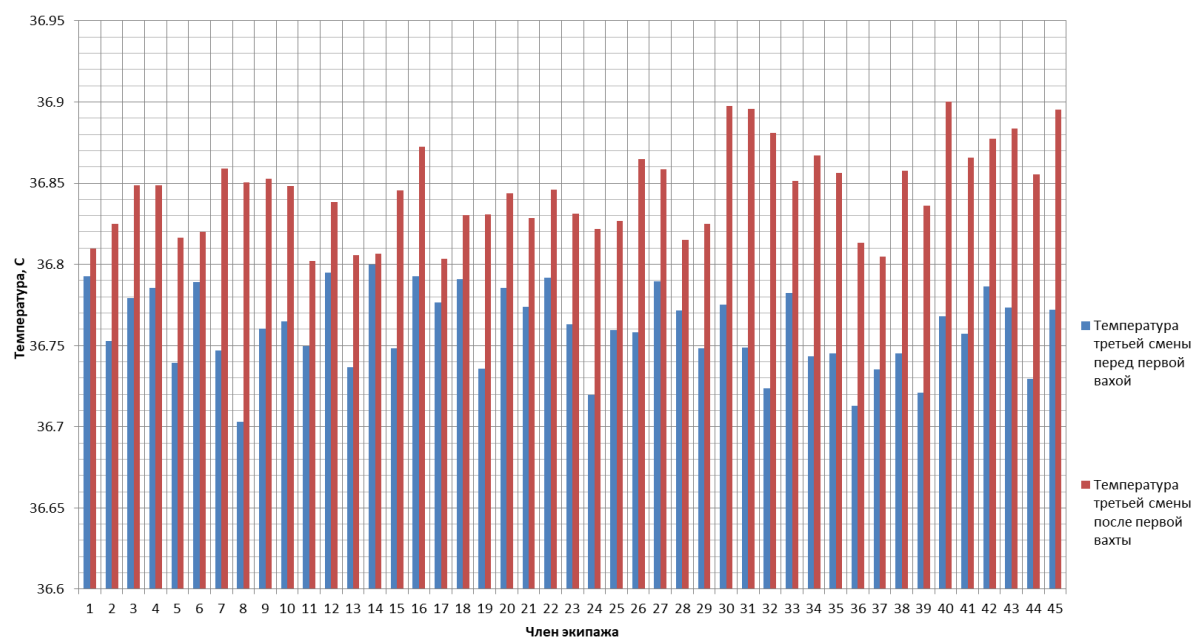


Рис. 4. Температура военнослужащих второй боевой смены во вторую вахту

Fig. 4. Temperature of the military personnel of the second combat shift in the second watch

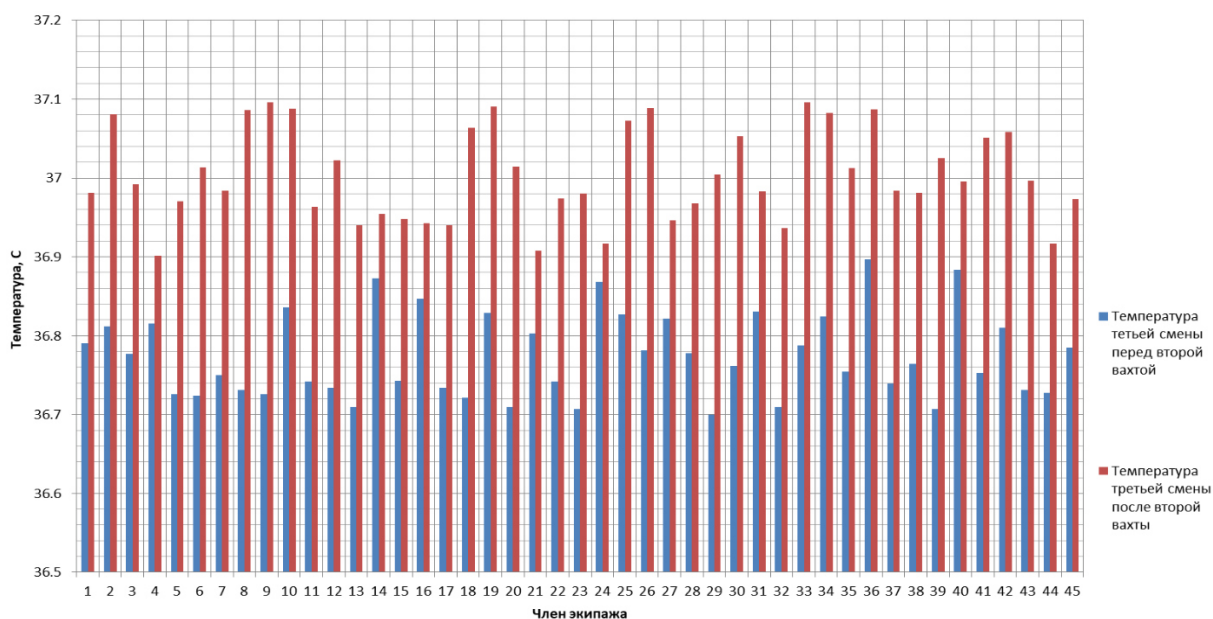
После второй боевой смены можно увидеть повышенную нагрузку на личный состав в течение всей вахты. Корреляционная зависимость близка к 0, поскольку нагрузка в смене распределяется на всю смену. Рост температуры подтверждает, что при выполнении

сложной работы, обработке массива информации организм реагирует на это путем изменения температуры тела испытуемого. Об этом говорят и результаты измерения температуры третьей боевой смены (рис. 5, 6).



**Рис. 5.** Температура военнослужащих третьей боевой смены в первую вахту

**Fig. 5.** Temperature of the military personnel of the third combat shift in the first watch



**Рис. 6.** Температура военнослужащих третьей боевой смены во вторую вахту

**Fig. 6.** Temperature of the military personnel of the third combat shift in the second watch

Рассмотрим результаты измерения температуры тел четвертой боевой смены (рис. 7, 8).

За весь период наблюдения к врачу с симптомами недомогания обратилось лишь четверо военнослужащих, трое из которых находились во второй боевой смене, а один находился сначала в

первой боевой смене, а после заступил и с четвертой боевой сменой, последний обратившийся имел самое слабое здоровье из всех участников исследования. Отсутствие активности и резкое повышение нагрузки в двух сменах – все это сказалось на его состоянии.

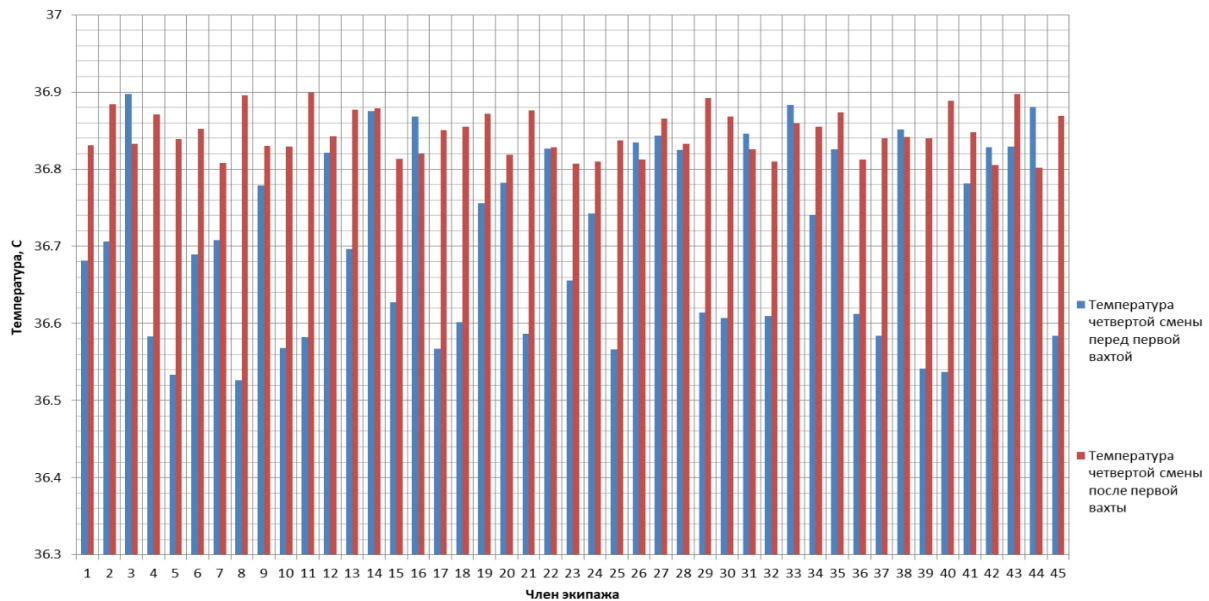


Рис. 7. Температура военнослужащих четвертой боевой смены в первую вахту

Fig. 7. Temperature of the military personnel of the fourth combat shift in the first watch

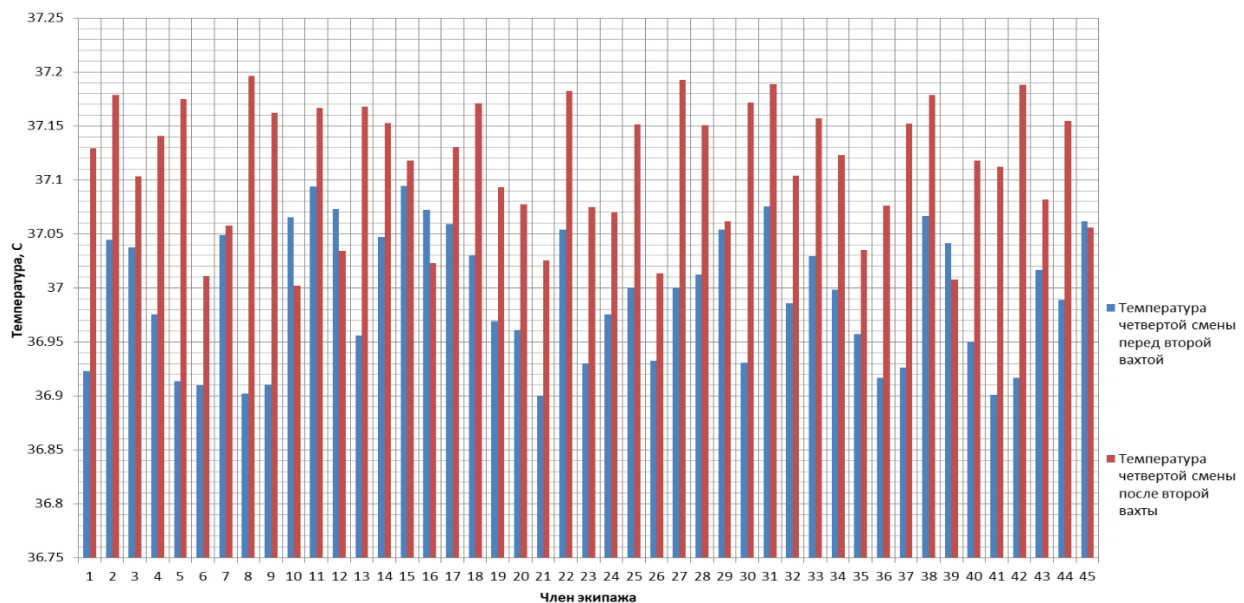


Рис. 8. Температура военнослужащих четвертой боевой смены во вторую вахту

Fig. 8. Temperature of the military personnel of the fourth combat shift in the second watch

В таблице 1 представлен фрагмент давления 10 человек перед началом и по-  
результатов измерений артериального сле каждой вахты в боевой смене.

**Таблица 1.** Измерения артериального давления военнослужащих боевых смен

**Table 1.** Blood pressure measurements of military personnel in combat shifts

АД первой смены перед первой вахтой	АД первой смены после первой вахты	АД первой смены перед второй вахтой	АД первой смены после второй вахты	Экипаж
117/79	123/89	112/88	129/72	1 человек
117/63	127/89	114/88	128/79	2 человек
115/61	128/80	119/90	120/82	3 человек
101/79	125/89	112/89	129/73	4 человек
109/69	125/81	116/76	122/85	5 человек
117/76	122/83	116/82	127/73	6 человек
106/66	124/80	113/82	127/76	7 человек
111/67	124/81	114/73	130/81	8 человек
119/77	124/88	110/90	124/77	9 человек
100/67	122/88	116/72	122/88	10 человек
АД второй смены перед первой вахтой	АД второй смены после первой вахты	АД второй смены перед второй вахтой	АД второй смены после второй вахты	Экипаж
117/79	134/71	130/83	140/83	1 человек
117/63	136/86	127/82	135/87	2 человек
115/61	138/74	125/75	137/91	3 человек
101/79	134/88	129/80	142/86	4 человек
109/69	131/80	125/77	140/72	5 человек
117/76	139/82	128/87	142/89	6 человек
106/66	140/74	126/79	136/77	7 человек
111/67	133/89	130/70	137/90	8 человек
119/77	134/74	125/72	143/76	9 человек
100/67	134/76	128/82	143/89	10 человек
АД третьей смены перед первой вахтой	АД третьей смены после первой вахты	АД третьей смены перед второй вахтой	АД третьей смены после второй вахты	Экипаж
122/86	141/90	105/66	128/88	1 человек
128/86	141/89	114/62	126/80	2 человек
129/90	138/90	102/65	125/81	3 человек
130/89	138/89	106/69	130/81	4 человек
121/85	140/89	108/65	130/86	5 человек
130/89	140/89	104/68	126/82	6 человек
128/81	138/90	105/62	126/80	7 человек
127/88	141/89	111/62	128/87	8 человек
126/88	138/90	101/61	128/88	9 человек
126/87	140/90	108/66	129/88	10 человек

АД четвертый смены перед первой вахтой	АД четвертой смены после первой вахты	АД четвертой смены перед второй вахтой	АД четвертой смены после второй вахты	Экипаж
110/61	130/84	103/87	130/85	1 человек
115/61	129/85	130/65	126/83	2 человек
108/65	129/83	128/73	140/87	3 человек
106/65	125/80	129/61	137/90	4 человек
112/62	130/86	112/70	136/84	5 человек
115/67	129/85	113/78	128/84	6 человек
104/67	128/86	109/78	138/82	7 человек
108/63	127/88	111/88	122/86	8 человек
100/60	127/88	112/66	124/89	9 человек
114/69	126/87	105/90	137/84	10 человек

Из таблицы 1 видно, что артериальное давление военнослужащих после первой и второй вахты повышается, что подтверждает подобные исследования ИКАО [8]. Существенное различие в значениях артериального давления боевых смен показывает разницу во времени несения вахты [9]. Так самые высокие показатели артериального давления были зафиксированы у военнослужащих второй боевой смены, поскольку их вахты по 4 часа приходятся на ночное время. В ночное время биологическим часам довольно тяжело подтолкнуть организм на выполнение сложных операций, связанных с повышенным вниманием, поскольку военнослужащие в данный момент напрягаются в своей работе, это разгоняет кровь по организму, что и приводит к росту артериального давления с последующим обратным эффектом в виде роста утомляемости. По общему осмотру военнослужащих наибольшее утомление приходится на военнослужащих второй боевой смены. Это также подтверждают исследования частоты сердечных сокращений внутри каждой

боевой смены. График представлен ниже (рис. 9).

Показатели частоты ударов минуту членов экипажа № 1, № 2, № 3 взяты из второй боевой смены. Члены экипажа № 4, № 5, № 6 представляют первую боевую смену, № 7, № 8, № 9 представляют третью боевую смену. Последние три члена экипажа несли вахты в первой и четвертой боевых сменах. В течение несения вахты пульс боевой смены № 2 только учащался, к окончанию вахты он составлял в среднем 100 ударов в минуту, что подтверждает повышенное артериальное давление и температура тела. Самые близкие показатели к норме были выявлены у боевой смены № 1. Связано это с несением вахт в первой половине дня. Третья смена несет одну вахту днем, вторую – перед сном. Четвертая смена повторяет несение первой смены, но состоит из членов экипажей еще и первых трех боевых смен. Мы видим, что перед вахтой их показания выше, чем у первой смены, но ниже, чем у второй и третьей смены [10].

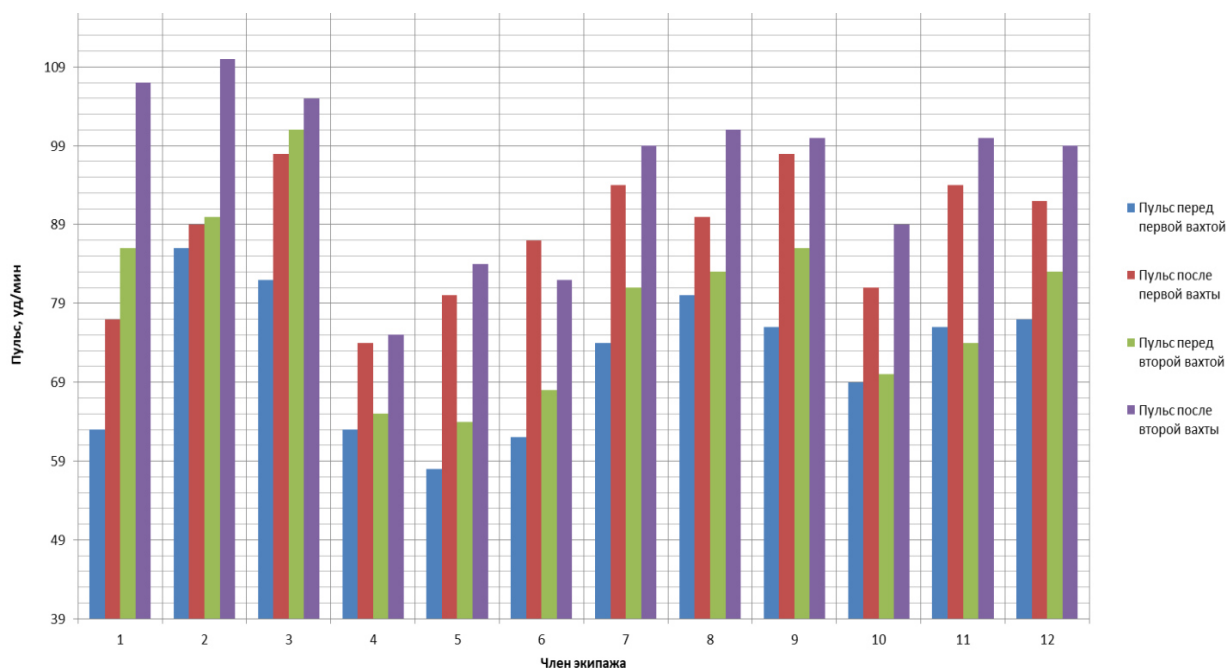


Рис. 9. График частоты ударов в минуту членов экипажа

Fig. 9. Graph of the frequency of beats per minute of the crew members

По итогам можно отметить зависимость исследуемых показателей от времени несения вахты и их связь с ростом утомляемости, поэтому для разработки систем мониторинга за военнослужащими следует производить системный анализ и объективную оценку, которые помимо исследований должны включать в себя:

- разработку новых и внедрение усовершенствованных методов контроля состояния военнослужащих;
- заимствование и объединение знаний из медицины, физиологии, биофизики, биомеханики, биоинженерии, электроники, схемотехники и программирования, которые позволяют разработать эффективные методики контроля физического состояния и утомляемости военнослужащих;
- разработку новых методов, технологий и средств для контроля состояния военнослужащих [11].

Рассмотрим одну из систем мониторинга RT-PSM, с помощью которой предоставляется информация руководителям небольших подразделений, о безопасности солдат и их работоспособности.

Например, для изменения рациона питания и управления запасами жизнедеятельности в организме человека, физической подготовкой и гидратацией для дальнейшей оптимизации производительности может быть использована информация о темпе работы, тепловой нагрузке и управлении рабочей нагрузкой на организм [12]. Четыре параметра производительности солдат неразрывно взаимосвязаны; продолжающиеся исследования приводят к более глубокому пониманию более сложных физиологических взаимосвязей, которые также непосредственно влияют на оптимизацию солдат (рис. 10).





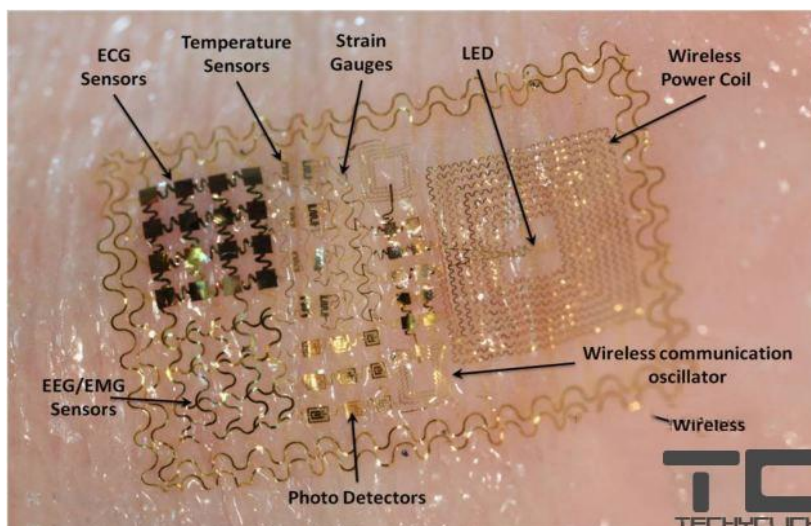
1. Головные датчики ЭЭГ и оксиметрии на ленте.
2. Акустический датчик контроля уровня стресса по голосу и речевому контенту.
3. Датчики позиции и положения: 3-х осный акселерометр, GPS, магнитометр, высотомер.
4. ЭКГ датчик и датчик импеданса (сопротивления) грудной клетки.
5. Температурный датчик (ядра тела и кожной температуры).
6. Инфракрасный датчик (NIR диапазона) для определения pH тканей, уровня глюкозы и лактатов.
7. Запястный датчик траектории руки.
8. Датчик веса – опоры-движения.
9. Беспроводной модуль обмена данными.

**Рис.10.** RT-PSM система носимых датчиков мониторинга физиологического состояния военнослужащих [13]

**Fig. 10.** RT-PSM system of wearable sensors for monitoring the physiological state of military personnel [13]

Недостатком такой системы является ее негабаритность, что в стесненных условиях подводных средств доставит только неудобство.

Американское агентство по исследованиям в военных целях армии США DARPA разработало особые аппликационные датчики (рис. 11).



**Рис. 11.** Архитектура аппликационного мультидатчика с детекцией ЭКГ, ЭЭГ, ЭМГ, физической нагрузки, температуры, фотоплетизмографии и беспроводной передачей данных

**Fig. 11.** Architecture of an application multi-sensor with ECG, EEG, EMG, physical activity, temperature, photoplethysmography and wireless data transmission

Ведущим разработчиком аппликационных датчиков является профессор Джон А. Роджерс из Северо-Западного университета Иллинойса, США. Аппликационные мультидатчики способны считывать определенные показания жизнедеятельности, не стесняя движения, не принося дискомфорта носителю [14].

Для армии России на данный момент в обиход входит система «Стрелец», состоящая из базовой станции на командном пункте и браслетов с датчиками падения, сердцебиения, российской ГЛОНАСС, дополняется все это системой охраны периметра (рис. 12).



**Рис.12.** Браслет комплекса «Стрелец» [15]

**Fig. 12.** The bracelet of the Sagittarius complex [15]

Система безопасности «Стрелец-Интеграл», в которую и входит браслет, служит для решения задачи охраны периметра, отслеживания за контролем доступа и его управлением, мониторингом системы пожаротушения, оповещения и связи с браслетом [16]. Приоритетным для военного флота, на наш взгляд, выглядит основа в виде применения браслетов с отслеживаемыми показаниями на центральном посту или медицинском

блоке. Помимо этого, не стоит забывать и о разработке программно-вычислительных средств и алгоритмов, проведении математического моделирования.

Математическое моделирование, разработка алгоритмов и аппаратные решения являются основными задачами для разработки полезной системы мониторинга военнослужащих [17]. Для восребования данной разработки система должна предоставлять полезную информацию и только ту, которая необходима во время обучения или выполнения миссии. Для первоначального применения мониторинга термической деформации должны протестированы различные прогностические подходы, включая оценку температуры тела и окружающей среды, оценку скорости метаболизма, частоту сердечных сокращений, походку и осанку и другие легко получаемые данные [18].

На рисунке 13 показана структурная схема измерительной системы. Система разработана таким образом, чтобы принимать несколько входных сигналов для измерения физиологических параметров человека и внешних влияющих факторов, таких как температура, частота сердечных сокращений и обнаружение любого падения, температура окружающей среды, уровень шума, уровень освещенность.

Конструкция является модульной, что позволяет довольно легко и просто добавлять дополнительные датчики для измерения и контроля других параметров.



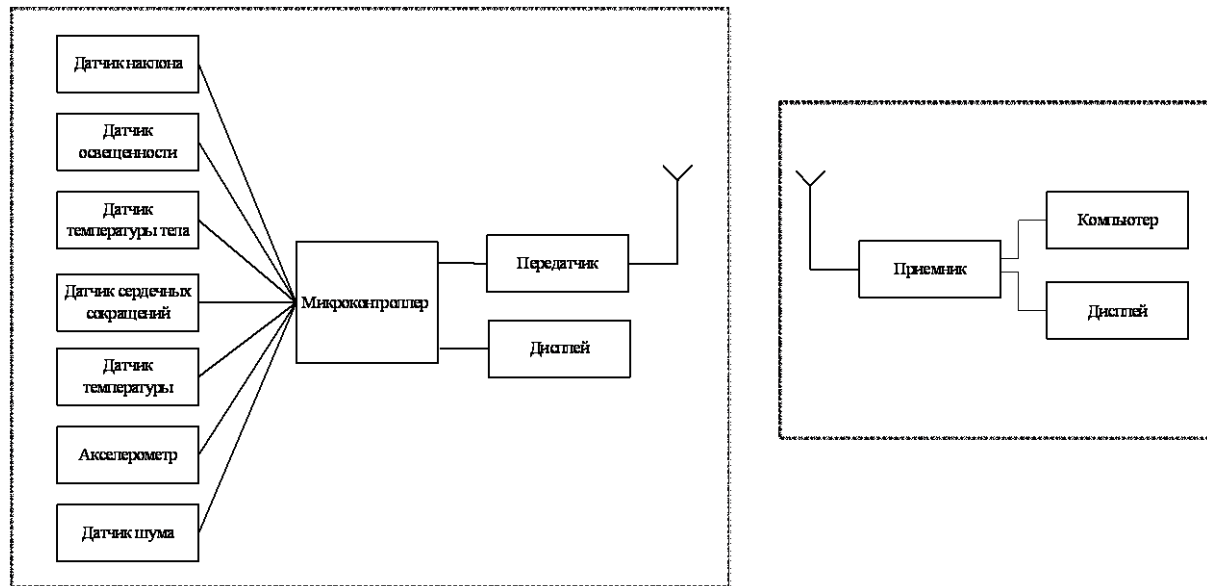


Рис. 13. Структурная схема измерительной системы

Fig. 13. Block diagram of the measuring system

Используемый датчик температуры выдает аналоговый сигнал, который передается на аналоговый вход микроконтроллера.

В системе для измерения температуры тела человека будет использоваться датчик температуры DS600 с погрешностью 0,5°C производства Maxim – Dallas Semiconductor [19]. Датчик выдает аналоговый выходной сигнал в зависимости от измеренной температуры. Это напряжение должно быть измерено микроконтроллером с помощью 12-разрядного аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

Для преобразования полученной информации с датчика температуры воспользуемся следующей формулой:

$$U = \frac{ADC_{рез} \cdot U_{э}}{4095}, \quad (1)$$

$$T = \frac{U - U_{см}}{6,45}, \quad (2)$$

где  $ADC_{рез}$  – полученное напряжение, мВ;  $U_{э}$  – эталонное напряжение, 2400 мВ; 4095 – разрядность;  $U$  – расчетное напряжение, мВ;  $U_{см}$  – напряжение смещения, 509 мВ;  $T$  – температура, °C; 6,45 – линейный выходной сигнал, мВ/°C.

Уровень освещенности в системе будет измеряться с помощью фоторезистора GL5516, который подключен через резистор.

Для измерения уровня шума используется аналоговый датчик KY-037.

В системе используется акселерометр ADXL213. Это обеспечивает двухосевой отклик, измеряя ускорения до  $\pm 2g$ . Акселерометр выдает цифровой сигнал, пропорциональный ускорению. Ускорение может быть определено путем измерения длительности положительного импульса ( $t1$ ) и периода ( $t2$ ) (рис. 14).

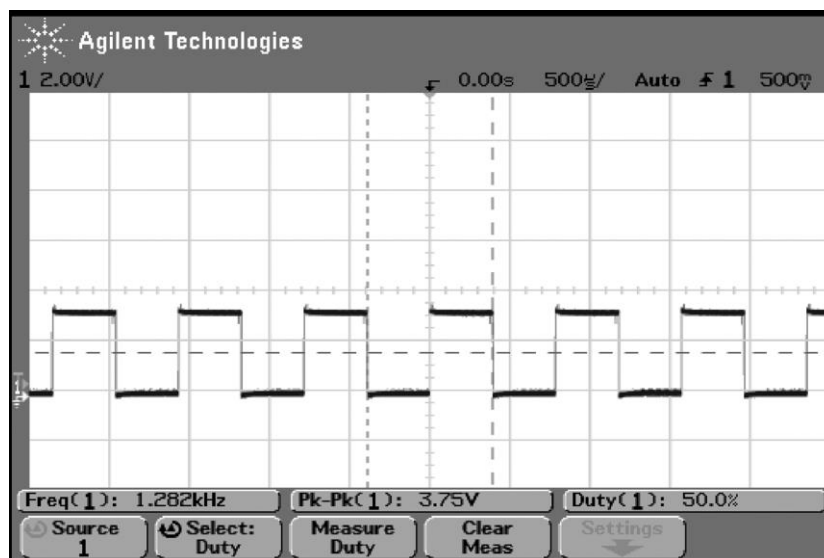


Рис. 14. Форма сигнала с акселерометра на осциллографе

Fig. 14. The shape of the signal from the accelerometer on the oscilloscope

На рисунке 14 показана типичная форма сигнала датчика удара в осциллографе, когда пользователь стоит в нормальном положении, значение рабочего цикла составляет около 50%.

Сигнал каждого датчика отбирается с заданной скоростью с помощью алгоритмов, управляемых прерываниями [15].

Можно сделать вывод, что современные носимые устройства должны обладать такими параметрами, как быстродействие, малое потребление заряда аккумулятора и компактность. Последний пункт можно достигнуть за счет использование устройств поверхностного монтажа [16].

Создание систем и устройств мониторинга необходимо в современном мире для предотвращения катастроф и увеличения работоспособности военнослужащих.

## Выводы

Таким образом, мониторинг физиологического состояния и степени военнослужащих является перспективным направлением в научно-методическом, научно-биологическом и техническом, которое позволит отследить индивидуальные особенности, систематизировать работу и управление военнослужащими.

В ходе проводимых исследований и изучения проблемы систем мониторинга военнослужащих рассматривалась одна из зарубежных систем. Предложен один из возможных аппаратных способов сбора физиологических данных и оценки факторов, влияющих на утомляемость военнослужащих.

На основе предложенной структурной схемы будут реализованы алгоритмы работы и математическое моделирование.

### Список литературы

1. Пугачев И. Ю. Инновации физической подготовки экипажей атомных подводных лодок // Вестник Мордовского университета. 2015. № 3. С. 31–41. <https://doi.org/10.15507/VMU.025.201503.031>
2. Руководство для регламентирующих органов: системы управления рисками, связанными с утомляемостью. URL: [https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1728394330&tld=ru&lang=ru&name=9966\\_cons\\_ru](https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1728394330&tld=ru&lang=ru&name=9966_cons_ru) (дата обращения: 20.06.2024).
3. A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation / Sh. Patel, H. Park, P. Bonato, L. Chan, M. Rodgers // Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. 2012. N 9. P. 21. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-9-21>
4. Дмитриев С. П., Степанов О. А. Нелинейные алгоритмы комплексной обработки избыточных измерений // Известия Российской академии наук. 2000. № 4. С. 52–61.
5. Тарасенко Е. А. Развитие технологических инноваций в области mHealth: возможности для врачей для профилактики заболеваний, диагностики и консультирования пациентов // Врач и информационные технологии. 2014. № 4. С. 59–64.
6. Церковский А. Л. Современные взгляды на проблему стрессоустойчивости // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2021. Т. 10, № 1. С. 6–19.
7. Saw A. E., Main L. C., Gastin P. B. Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review // Br. J. Sports. Med. 2016. N 50(5). P. 281–291. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094758>
8. Зибарев Е. В., Иммель О. В., Никонова С. М. Напряженность труда и утомление пилотов гражданской авиации на современных типах воздушных судов // Медицина труда и промышленная экология. 2019. Т. 59, № 9. С. 630–632.
9. Chernjak S. V. Psycho-physiological aspects of professional activities of scamen-submariners OF Russian NAVY // Актуальные проблемы физической подготовки силовых структур. 2008. № 2. С. 65.
10. Сошкин П. А. Стрессоустойчивость и адаптивные возможности у военно-морских специалистов с признаками профессионального выгорания // Морская медицина. 2021. Т. 7, № 3. С. 62–70.
11. Hao Y., Foster J. Wireless sensor networks for health monitoring applications // Physiological Meas. 2008. Vol. 29, N 11. P. R27–R56.
12. Pantelopoulos A., Bourbakis N. Design of the new prognosis wearable system-prototype for health monitoring of people at risk // Advances in Biomedical Sensing, Measurements, Instrumentation and Systems. Springer, 2009. Vol. 55. P. 29–42.

13. Kuravsky L. S., Yuryev G. A. A novel approach for recognizing abnormal activities of operators of complex technical systems: three non-standard metrics for comparing performance patterns // *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*. 2020. Vol. 11, N 4. P. 119–136.

14. Модель пилота как средство валидации перспективной кабины и бортового оборудования воздушного судна / И. И. Грешников, Л. С. Куравский, С. Д. Логачев, И. А. Махортов // *International Journal of Open Information Technologies*. 2024. Vol. 12, N 4. P. 101–104.

15. Оценка эффективности мероприятий по поддержанию функционального состояния военно-морских специалистов в ходе решения экипажем задач в море по состоянию центральной нервной системы / Ю. Р. Ханкевич, К. В. Сапожников, А. В. Седов, В. Г. Белов, Е. В. Ершов, С. А. Парфенов // *Актуальные проблемы физической и специальной подготовки силовых структур*. 2016. № 1. С. 171–177.

16. Continuous inference of psychological stress from sensory measurements collected in the natural environment / K. Plarre, A. Raij, M. Hossain, A. Ali, M. Nakajima, M. al’Absi // *Proceedings of the 10th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks*. Chicago, IL, USA: IEEE, 2011. P. 97–108.

17. MConverse: Inferring Conversation Episodes from Respiratory Measurements Collected in the Field / M. M. Rahman, A. A. Ali, K. Plarre, A. Raij, M. al’Absi [et al.] // *Proceedings of Wireless Health*. San Diego, CA, USA, 2011. P. 1–10.

18. Privacy risks emerging from the adoption of innocuous wearable sensors in the mobile environment / A. Raij, A. Ghosh, S. Kumar, M. Srivastava // *Proceedings of the International Conference on Human Factors in Computing Systems*. Vancouver, Canada, 2011 P. 11–20.

19. ESC working group on e-cardiology position paper: use of commercially available wearable technology for heart rate and activity tracking in primary and secondary cardiovascular prevention-in collaboration with the european heart rhythm association, european association of preventive cardiology, association of cardiovascular nursing and allied professionals, patient forum, and the digital health committee / M. T. Jensen, R. W. Treskes, E. G. Caiani, R. Casado-Arroyo, M. R. Cowie, P. Dilaveris, D. Duncker, M. di Rienzo, I. Frederix, N. de Groot [et al.] // *European Heart Journal – Digital Health*. 2021. Vol. 2, is. 1.

## References

1. Pugachev I. Yu. Innovations in physical training of crews of nuclear submarines. *Vestnik Mordovskogo universiteta = Bulletin of the Mordovian University*. 2015;(3):31–41. (In Russ.) <https://doi.org/10.15507/VMU.025.201503.031>

2. Guidance for regulatory authorities: Fatigue risk management systems. (In Russ.) Available at.: [https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1728394330&tld=ru&lang=ru&name=9966\\_cons\\_ru](https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1728394330&tld=ru&lang=ru&name=9966_cons_ru) (accessed 20.06.2024).
3. Patel S., Park H., Bonato P., Chan L., Rodgers M. A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2012;(9):21. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-9-21>
4. Dmitriev S.P., Stepanov O.A. Nonlinear algorithms for complex processing of redundant measurements. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk = Proceedings of the Russian Academy of Sciences*. 2000;(4):52–61. (In Russ.)
5. Tarasenko E.A. Development of technological innovations in the field of mHealth: opportunities for doctors to prevent diseases, diagnose and consult patients. *Vrach i informatsionnye tekhnologii = Doctor and Information Technologies*. 2014;(4):59–64. (In Russ.)
6. Tserkovskiy A.L. Modern views on the problem of stress resistance. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Bulletin of the Vitebsk State Medical University*. 2021;10(1):6–19. (In Russ.)
7. Saw A.E., Main L.C., Gastin P.B. Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *Br. J. Sports. Med*. 2016;(50):281–291. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094758>
8. Zibarev E.V., Immel O.V., Nikonova S.M. Labor intensity and fatigue of civil aviation pilots on modern types of aircraft. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya = Labor Medicine and Industrial Ecology*. 2019;59(9):630–632. (In Russ.)
9. Chernjak S.V. Psycho-physiological aspects of professional activities of scamed submariners of the Russian NAVY. *Aktual'nye problemy fizicheskoi podgotovki silovykh struktur = Actual Problems of Physical Training of Military Structures*. 2008;(2):65.
10. Soshkin P.A. Stress resistance and adaptive capabilities of naval specialists with signs of professional burnout. *Morskaya meditsina = Marine Medicine*. 2021;7(3):62–70. (In Russ.)
11. Hao Y., Foster J. Wireless sensor networks for health monitoring applications. *Physiological Meas*. 2008;29(11):R27–R56.
12. Pantelopoulos A., Bourbakis N. Design of the new prognosis wearable system-prototype for health monitoring of people at risk. In: *Advances in Biomedical Sensing, Measurements, Instrumentation and Systems*. Vol. 55. Springer; 2009. P. 29–42.
13. Kuravsky L.S., Yuryev G.A. A novel approach for recognizing abnormal activities of operators of complex technical systems: three non-standard metrics for comparing performance patterns. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology*. 2020;11(4):119–136.

14. Greshnikov I.I., Kuravsky L.S., Logachev S.D., Makhorov I.A. The pilot model as a means of validating a promising cockpit and on-board equipment of an aircraft. *International Journal of Open Information Technologies*. 2024;12(4):101–104. (In Russ.)
15. Khankevich Yu.R., Sapozhnikov K.V., Sedov A.V., Belov V.G., Ershov E.V., Parfenov S.A. Evaluation of the effectiveness of measures to maintain the functional state of naval specialists in the course of solving tasks by the crew at sea according to the state of the central nervous system. *Aktual'nye problemy fiziche-skoi i spetsial'noi podgotovki silovykh struktur = Actual Problems of Physical and Special Training of Law Enforcement Agencies*. 2016;(1):171–177. (In Russ.)
16. Plarre K., Raij A., Hossain M., Ali A., Nakajima M., al'Absi M. Continuous inference of psychological stress from sensory measurements collected in the natural environment. In: *Proceedings of the 10th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks*. Chicago, IL, USA: IEEE; 2011. P. 97–108.
17. Rahman M.M., Ali A.A., Plarre K., Raij A., al'Absi M., et. al. MConverse: Inferring Conversation Episodes from Respiratory Measurements Collected in the Field. In: *Proceedings of Wireless Health*. San Diego, CA, USA; 2011. P. 1–10.
18. Raij A., Ghosh A., Kumar S., Srivastava M. Privacy risks emerging from the adoption of innocuous wearable sensors in the mobile environment. In: *Proceedings of the International Conference on Human Factors in Computing Systems*. Vancouver, Canada; 2011. P. 11–20.
19. Jensen M.T., Treskes R.W., Caiani E.G., Casado-Arroyo R., Cowie M.R., Dilaveris P., Duncker D., di Rienzo M., Frederix I., de Groot N., et al. ESC working group on e-cardiology position paper: use of commercially available wearable technology for heart rate and activity tracking in primary and secondary cardiovascular prevention-in collaboration with the european heart rhythm association, european association of preventive cardiology, association of cardiovascular nursing and allied professionals, patient forum, and the digital health committee. *European Heart Journal – Digital Health*. 2021;2(1).

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Ларина Евгения Александровна**, аспирант,  
Юго-Западный государственный университет,  
г. Курск, Российская Федерация,  
e-mail: ev.larina19@gmail.com,  
Researcher ID: KLY-4764-2024,  
ORCID: 0009-0006-8517-2224

**Eugenia A. Larina**, Post-Graduate Student,  
Southwest State University,  
Kursk, Russian Federation,  
e-mail: ev.larina19@gmail.com,  
Researcher ID: KLY-4764-2024,  
ORCID: 0009-0006-8517-2224

**Трехлебов Андрей Сергеевич**, инженер управления пусконаладочных работ по автоматическим системам управления технологическими процессами, Филиал АО «Атомтехэнерго» в Народной Республике Бангладеш, г. Ишварди, Народная Республика Бангладеш, e-mail: TrekhlebovAS@smolate.ru, Researcher ID: KLD-2365-2024, ORCID: 0009-0008-8989-0105

**Андронов Владимир Германович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры космического приборостроения и систем связи, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: vladia58@mail.ru, Researcher ID: J-8844-2013, ORCID: 0000-0003-2578-0026

**Andrey S. Trekhlebov**, Engineer of the Automatic Process Control Systems Pre-Commissioning Department, Branch of JSC "Atomtehenergo" in the People's Republic of Bangladesh, Ishwardi, People's Republic of Bangladesh, e-mail: TrekhlebovAS@smolate.ru, Researcher ID: KLD-2365-2024, ORCID:0009-0008-8989-0105

**Vladimir G. Andronov**, Doctor of Sciences (Engineering), Professor, Professor of the Department of Space Instrumentation and Communication Systems, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: vladia58@mail.ru, Researcher ID: J-8844-2013, ORCID: 0000-0003-2578-0026