

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ
СОСТОЯНИЕМ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ
ОЗДОРОВИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕДУР

М. К. АХЛАКОВ*, М. А. МУНАССАР*, Н.Б.СУВОРОВ**

**Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), ул. Профессора Попова, 5, Санкт-Петербург, 197376*

***ФГБНУ Институт экспериментальной медицины,
ул. академика Павлова, 12, Санкт-Петербург, 197376*

Аннотация. В данной статье рассматриваются возможности процессов саморегуляции и управления физиологическими функциями организма человека в целях восстановления нарушений биохимических составляющих при различных патологиях, изучены возможности исследования и прогнозирования функционального состояния на основе ранее предложенных методов и технических средств управления функциональным состоянием путем оценки психофизиологических параметров в операторской деятельности. Используя технологию проведения исследований в операторской деятельности и на основе полученных данных, разработана методика управления функциональным состоянием организма человека при применении лекарственных препаратов с учетом диагноза, использующая для этих целей саморегулирующие системы с афферентными и эфферентными связями, предложенными П.К. Анохиным. Используемые технические средства обеспечивает информационная обратная связь, которая активизирует эфферентную обратную связь и дает возможность управлять функциональным состоянием организма при получении информации в кодированном виде. Оригинальным в рассматриваемой статье является контроль дозировки лекарственных препаратов в зависимости от изменения состояния организма человека. Для обеспечения информационной обратной связи и формирования сигналов в кодированном виде регистрируются психофизиологические параметры в зависимости от диагноза, полученные данные сравниваются с нормированными значениями, которые хранятся в блоке памяти и по полученным данным формируется изображение на мониторе, который используется в качестве источника информации для пациента.

Ключевые слова: саморегуляция, биоуправление с информационной обратной связью, функциональное состояние, гомеостаз, дозирование лекарственных препаратов, клетка.

CONTROL FEATURES OF THE FUNCTIONAL STATE OF HUMAN BODY AT
THE HEALTH-RESTORATIVE TREATMENTS

M.K. AKHLAKOV*, M.A. MUNASSAR*, N.B. SUVOROV**

**Saint-Petersburg State V.I. Ulyanov Electro-technical University "LETI",
Professor Popov Str., 5, St. Petersburg, 197376*

***Federal State Budgetary Scientific Institution "Institute of Experimental Medicine" (FSBSI "IEM"),
Acad. Pavlov Str., 12, St. Petersburg, 197376*

Abstract. This article discusses the possibilities of self-regulation processes and control of physiological functions of the human body to restore the biochemical components of disturbances in various pathologies. The possibilities of research and forecasting of the functional state on the basis of the previously proposed methods and technical means of the functional state control by evaluating of physiological parameters in the operator activities were studied. Using the technology of research in operator activity and on the basis of the obtained data, the technique to control the functional state of human body at drug intake according to a diagnosis was developed. For this purpose a self-regulatory system with the afferent and efferent connections, proposed by P. K. Anokhin, was applied. The technical means are provided by an information feedback, which activates the efferent feedback and gives possibility of control the functional state of the organism when receiving information in coded forms. In this article, the original is the drug dosage control depending on the state changes of the human body. To ensure information feedback and generating signals in coded forms, the physiological parameters depending on the diagnosis are registered. The results are compared with normalized values, which are stored in the memory unit. According to the obtained data, an image on the monitor, which is used as a source of information for the patient, is formed.

Key words: self-control, bio-control with information feedback, functional state, homeostasis, dosage of medicines, cell.

Процессы саморегуляции и управления физиологическими функциями являются необходимыми условиями существования *биологического объекта* (БО). Нарушение биохимических процессов в клетках, обеспечивающих указанные процессы, являются причиной широкого спектра патологий, часто объединяемых в группу «болезней регуляции». Поиск эффективных алгоритмов реабилитации и управления функциональным состоянием является актуальной задачей [4, 6, 10].

Живая клетка обладает свойствами и механизмами, предназначенными для «автоматизированной» переработки органического вещества, химической энергии и молекулярной информации. В настоящее время исследуются только те процессы, которые в живой клетке являются вторичными (последовательности химических реакций основных путей клеточного метаболизма), зависящими от работы системы управления. Управляющие процессы на клеточном уровне до сих пор практически не изучены, однако они составляют главную сущность живого, и только они обеспечивают все жизненные процессы клеток и организмов [1]. Соответственно, *функциональное состояние* (ФС) организма зависит, в частности, от биохимических реакций, происходящих на молекулярном уровне. Их динамика может приводить к серьезным перестройкам функционального состояния организма в целом.

Цель исследования – разработка биотехнической системы для автоматического управления процессом дозированного введения лекарственных средств путём непрерывной регистрации ряда психофизиологических параметров функционального состояния человека.

Материалы и методы исследования. Для исследования и прогнозирования ФС необходимо изучение комплекса физиологических и биохимических параметров организма. Ранее были предложены пути совершенствования технических средств и методов оценки психофизиологических параметров для оценки ФС организма, а также определены критерии, основные информационные показатели деятельности оператора и их значимость [2]. Многочисленными исследованиями показано, что совокупности информативных параметров в большинстве случаев не позволяют установить однозначность между выбранными показателями функционирования организма и его реальным ФС. Кроме того, необходимость получения оперативной информации о ФС ограничивает применение наиболее информативных психофизиологических параметров из-за сложности их регистрации или из-за несоответствия постоянной времени изменения показателей ритму работы, что является неприемлемым условием при оценке ФС.

Управление ФС организма в реальном масштабе времени требует разработки специальных моделей управления, что представляет собой сложную и трудоёмкую задачу. Однако, использование аппаратно-программных средств – *биотехнических систем* (БТС) даёт возможность преодолевать трудности, проводить анализ ФС по всему комплексу выбранных показателей и обеспечивать необходимое качество управления, повысить достоверность и качество проводимых исследований.

Для каждой структурно-функциональной единицы «живого» (клетки, органа, организма, популяции) существует механизм установления гомеостаза, а также определенные «узлы» управления действиями, приводящими систему к устойчивому неравновесию. Эффективным для управления ФС является использование биологической *информационной обратной связи* (ИОС). Иначе говоря, информация о состоянии пациента или одной из его функциональных систем используется для непрерывного или дискретного управления внешним воздействием. При этом *on-line* регистрация и анализ психофизиологических параметров организма с последующим функциональным преобразованием выбранного (из списка психофизиологических параметров) сигнала и предъявлением его в сферу органов чувств испытуемого осуществляется в БТС. Функционирование ИОС направлено на поддержание обеспечения нормального состояния организма в системе гомеостаза.

Обоснованием использования контура ИОС в БТС с целью повышения надежности и эффективности деятельности оператора с технической системой и способов их реализации методом саморегуляции ФС организма являются результаты, полученные при проведении экспериментов с операторами [3]. При этом реализуются методики активной биологической обратной связи, когда регистрируются физиологические параметры, с использованием многоконтурной ИОС, по которым передается информация о техническом состоянии системы, а также информацию о результатах деятельности человека–оператора, и его ФС в оптимально закодированном виде [5, 9].

Контур ИОС стабилизирует регистрируемые психофизиологические параметры и обеспечивает получение и наглядное отображение информации о динамике изменения ФС человека в зависимости от нагрузки и условий труда [3].

Существует несколько вариантов предъявления информации через каналы ИОС. В первом варианте осуществляется *уведомительная обратная связь* (УОС), когда оператору предъявляется предупреждающая информация о возможном изменении психофизиологических параметров организма. Однако эффективность действия УОС доказана только в операторской деятельности, когда оператору предъявляется информация о высоковероятном изменении параметров как технических систем, так и психофизиологических характеристик организма. В этом случае оператор концентрирует внимание на предъявляемую информацию и допускает меньше ошибок в своей деятельности [9], но при этом возрастает нервно-психическое напряжение и быстрее наступает утомляемость.

Второй вариант предусматривает информирование оператора об отклонениях параметров от допустимой нормы в реальном масштабе времени. При этом реализуется *отрицательная обратная связь* (ООС). В третьем варианте рассматривается способ подачи информации в зависимости от профессиональных действий оператора и от его ФС – *адаптивная обратная связь* (АОС).

Анализ многочисленных исследований в области биологических обратных связей, использующих информацию о текущем состоянии испытуемого (пациента) для его коррекции и реабилитации, позволяет предположить возможность использования ИОС для научно обоснованного управления процессом фармакотерапии (например, внутривенными капельными вливаниями). Основанием для принятия решения о скорости вливания, о досрочном завершении процедуры могут служить: непрерывный контроль частоты сердечных сокращений, переходные процессы в кардиограмме, вариабельность сердечного ритма, мониторинг артериального давления. После функционального преобразования в вид, требуемый для устройства управления, управляющий сигнал анализируется экспертной системой и поступает в исполнительное устройство. Экспертная система – персонализированная база данных на основе базы знаний – формируется врачами-специалистами с учетом современных достижений кардиологии и кардиоритмографии и содержит персональные сведения о каждом пациенте в форме его минимальной и максимальной физиологической нормы. Таким образом, рассмотренная биотехническая система является информационной по входу и вещественной по выходу.

Различные биохимические параметры пациента также могут быть источником информации для принятия решений как сигнального, так и тревожного характера. Однако в настоящее время БТС такого типа рассматриваются как перспективные. Информация о результатах влияния процедуры внутривенных капельных вливаний привлекательна тем, что позволяет подвергать анализу и коррекции биохимические процессы на недосягаемом для других технологий уровне. Большой интерес представляет также изучение воздействия *лекарственных средств* (ЛС) для коррекции количественного и качественного состава фармпрепарата [1].

Попадая в организм, ЛС взаимодействует с различными молекулярными, клеточными или органическими структурами. В результате этого в клетках изменяются биохимические и/или биофизические процессы, приводящие к изменению их функционального состояния, имеет место первичная фармакологическая реакция или первичный фармакологический ответ. Изменение физико-химического состояния клеток органа-мишени под влиянием ЛС приводит к изменению функции либо этого органа, либо функциональной системы организма, в состав которой входит этот орган-мишень, что в конечном итоге так или иначе влияет на состояние всего организма. Следовательно, конечный фармакологический эффект лекарственного средства в целом организме может рассматриваться как результат последовательных функциональных изменений в системе «клетка-мишень → орган → система органов → целостный организм», т. е. конечный фармакологический ответ всегда является интегральной величиной [8].

подавляющее большинство лекарственных средств оказывает лечебное действие путем изменения деятельности физиологических систем клеток, которые вырабатывались у организма в процессе эволюции. Под влиянием лекарственного вещества в организме, как правило, не возникает новый тип деятельности клеток, лишь изменяется скорость протекания различных естественных процессов. Торможение или возбуждение физиологических процессов приводит к снижению или усилению соответствующих функций тканей организма.

Несмотря на огромное количество ЛС, представленных в клинической практике, разнообразные механизмы, лежащие в основе их фармакологического действия на клетки-мишени, фармпрепараты могут оказывать четыре вида/типа воздействия: возбуждающее – стимулирующее физиологическую активность клеток; тормозящее – угнетающее функциональную активность; регулирующее – нормализующее функциональную активность; замещающее – способствующее синтезу биологически активных веществ, образование которых в организме по каким-либо причинам нарушено.

Связь «доза-эффект» является важным фармакодинамическим показателем. Обычно этот показатель представляет собой не простое арифметическое отношение и графически может отображаться различными видами кривых. Каждое лекарство обладает рядом полезных и нежелательных свойств. Чаще всего при увеличении дозы лекарства до определенного предела желаемый результат возрастает, но при этом могут возникать нежелательные эффекты. Отношение доз лекарства, при которых вызывается побочный или желаемый эффект, используют для характеристики границы безопасности или терапевтического индекса препарата. Терапевтический индекс препарата можно рассчитывать по соотношению его концентраций в плазме крови, вызывающих нежелательные (побочные) эффекты, и концентраций, оказывающих терапевтическое действие, что более точно может характеризовать соотношение эффективности и риска применения данного ЛС.

Применение лекарственных средств, при различных болезнях и патологических процессах может сопровождаться существенными изменениями фармакокинетики (всасывания, распределения в органах и тканях, метаболизма и экскреции) и фармакодинамики (эффектов и механизмов действия) [8]. Эти об-

стоятельства требуют текущего контроля за характером и выраженностью действия лекарственных средств и при необходимости коррекции или изменения схем их применения.

Результаты и их обсуждение. Нами предложен алгоритм коррекции функционального состояния человека при автоматическом управлении введением лекарственных средств с использованием информационной обратной связи. В данном алгоритме реализована система, которая позволяет наблюдать за изменением состояния, например, кардиореспираторной системы (ЭКГ, кардиоритмограмма, дыхание и др.) в реальном времени при применении лекарственных препаратов и контролировать их дозировки при помощи управления психофизиологическим воздействием. Для достижения этих целей регистрируются информативные параметры в зависимости от состояния организма с помощью различных датчиков. Далее формируются сигналы ИОС, которые предъявляются человеку в реальном времени на мониторе, отображающем физиологические показатели после функционального преобразования, удобными для восприятия органами чувств.

Таким образом, создаются уникальные возможности для наиболее эффективного воздействия лекарственных средств на больной орган, что позволяет активизировать естественные процессы саморегуляции.

На рис. отображена функциональная схема системы для контроля и коррекции ФС при применении лекарственных средств с использованием информационной обратной связи, где с БО специальными датчиками регистрируются физиологические параметры состояния организма, выбранные врачом с помощью *блока выбора физиологических параметров* (БВФП) в зависимости от медицинских показаний. Соответствующая информация через БВФП поступает на *аналоговый мультиплексор* (АМ), затем на *аналого-цифровой преобразователь* (АЦП), далее на *блок первичной обработки* (БПО), который выполняет функцию процедуры и критерии выявления физиологических показателей.

При рассмотрении проблем выявления физиологических показателей по физиологическим сигналам – *блок первичной обработки* (БПО) и оценки функционального состояния по физиологическим показателям – *блок вторичной обработки* (БВО) – обоснована возможность независимого проведения первичной и вторичной обработки физиологических сигналов. В этом случае первичная информация нормированных значений вводится в *блок памяти* (БП), с учетом возрастных критериев и др. Соответственно, БВО осуществляет сравнение с текущими значениями физиологических параметров. Далее информация поступает на *блок принятия решений* (БПР) для достоверной и своевременной оценки актуального состояния пациента, а это позволяет рекомендовать более подходящий метод для *формирования сигнала информационной обратной связи* (БФСИОС), а также для формирования управляющего сигнала для блока контроля и *дозировки лекарственных препаратов* (БКДЛП). БФСИОС формирует сигнал, который несет информацию о физиологических показателях в закодированной форме в реальном масштабе времени. Далее сигнал отправляется на *устройство предъявления информации 1* (УПИ1), в данном случае этот монитор врача, который отображает физиологические показатели, а *устройство предъявления информации 2* (УПИ2) предназначено для предъявления информации пациенту через коммутатор по усмотрению врача (для осуществления ИОС), по которому передается информация о ФС организма в закодированном виде, кодирование можно произвести по цвету, по форме или непосредственно физиологические параметры, которые соответствуют функциональному состоянию организма пациента, а также рассматриваются варианты звукового сопровождения через наушники, по которым производят коррекцию психофизиологического состояния врачом или осуществляется музыкальное сопровождение любимых произведений пациента, параметры которых согласованы с показателями ритмической структуры физиологических параметров (например, ЭКГ). Таким образом, создаются уникальные условия для адаптивной стимуляции. Такой вариант стимуляции, который совмещает в себе элементы информационной обратной связи, аудиовизуальной стимуляции и музыкотерапии, позволяет активировать естественные процессы саморегуляции, что способствует эффективному восстановлению физиологических функций организма.

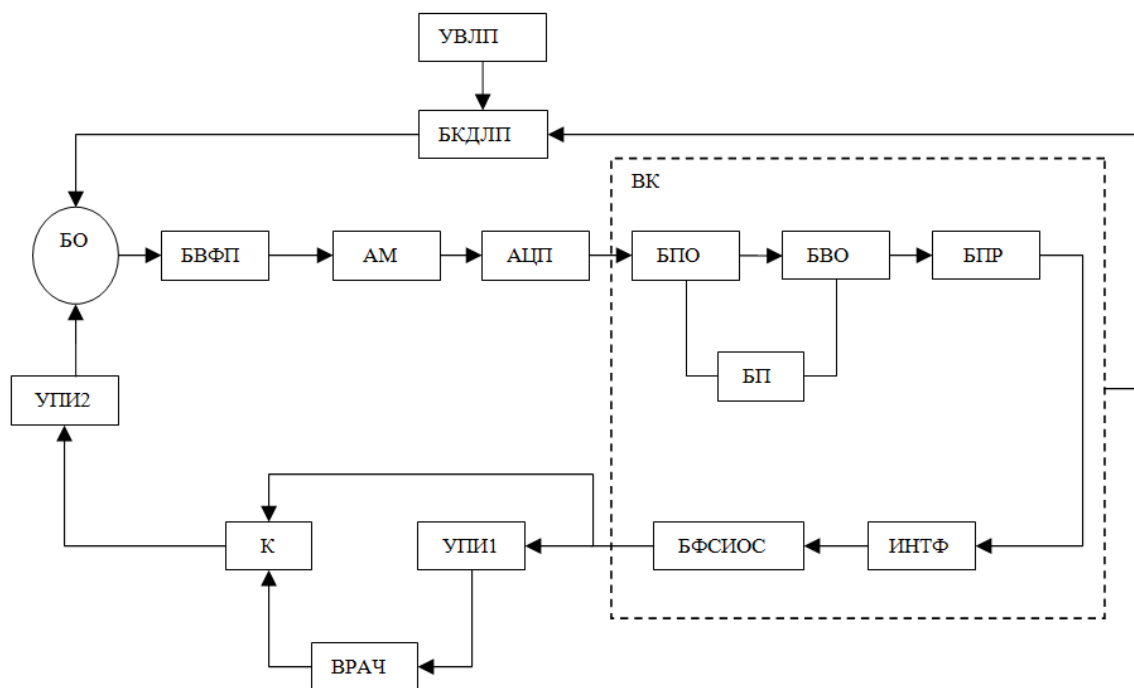


Рис. Функциональная схема системы контроля и коррекции ФС при применении лекарственных средств с использованием информационной обратной связи

Важной составляющей в приведенной структурной схеме является *устройство ввода лекарственных препаратов (УВЛП)*, который подключен к БКДЛП. Особенность работы данных устройств заключается в следующем: в зависимости от состояния пациента врач назначает лекарственные препараты с определенной дозировкой в течение определенного времени, наиболее простой пример – это капельница – при улучшении показателей физиологических параметров устройство дозировки лекарственных препаратов дает команду об уменьшении количества подаваемых лекарств в БО или подает сигнал о прекращении подачи лекарства врачу и, соответственно, наоборот. Кроме того, такая система позволит оптимизировать дозу лекарств в таблеточном, порошковом и других вариантах, в этом случае информация об изменении ФС передается на устройство отображения информации врача или заносится в память системы для дальнейшей корректировки назначаемой дозы лекарств.

Следует подчеркнуть, что в использовании ИОС-технологий пациент (или, можно сказать, испытуемый) непосредственно участвует в управлении своим состоянием, в отличие от устройств со светозвуковой стимуляцией, в которых он остается пассивным во время проведения сеанса. Универсальность данной системы заключается в возможности использования при лечении разных видов заболеваний. Ранее проведенные исследования подтверждают эффективность использования ИОС в целях управления ФС организма в операторской деятельности, и результаты экспериментов приведены в работах Попечителя Е.П., Ахлакова М.К., Суворова Н.Б. и других авторов, работающих в этом направлении [2, 7].

В дальнейшем предусмотрен вариант использования *вычислительного комплекса (ВК)*. Для этих целей разрабатываются программные средства, которые позволят осуществлять обработку регистрируемой информации с использованием ИОС.

Выводы:

1. Данная технология дает возможность оптимизировать дозу лекарственных препаратов при проведении лечебно-восстановительных процедур.
2. Использование ИОС позволит активизировать процесс восприятия лекарственных препаратов на клеточном уровне, а также ускорить процесс восстановления с помощью аутотренинга путем психофизиологического воздействия на собственный организм за счет информации, получаемой по цепи обратной связи в кодированном виде.

Литература

1. Ахлаков М.К., Мунассар М.А. Активизация регуляторных способностей организма человека информационной обратной связью // Журнал «Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 2. С. 54–60.

2. Ахлаков М.К. Информационная обратная связь как средство обеспечения надежности и эффективности деятельности оператора биотехнических систем: Автореферат дисс. на соискание уч. ст. к.т.н. СПб, 1996.
3. Дубынин В.А. Регуляторные системы организма человека. М.: Дрофа, 2003. 368 с.
4. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е., Хадарцев А.А. Особые свойства биосистем и их моделирование // Вестник новых медицинских технологий. 2011. № 3. С. 331–332.
5. Михайлов И.Б. Клиническая фармакология и терапия. М.: СПб, 1998. С 6–30.
6. Савин Е.И., Хадарцев А.А., Иванов Д.В., Субботина Т.И., Морозов В.Н. Регуляция свободно-радикальных процессов модулирующим воздействием электромагнитного излучения в сочетании с введением стволовых клеток // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2010. № 5. С. 77–79.
7. Суворов Н.Б. Адаптивные системы знакопеременного биоуправления. Монография «Телемедицина. Новые информационные технологии на пороге XXI века» (под ред. Юсупов Р.М., Полонников Р.И.). СПб: СПИИ РАН. 1998. С. 253–272.
8. Суворов Н.Б., Падерно П.И. Надёжность человека в системах управления. Учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011. 64 с.
9. Судаков К. В. Нормальная физиология. М.: ООО « Медицинское информационное агентство», 2006. 920 с.
10. Хадарцев А.А. Биофизикохимические процессы в управлении биологическими системами // Вестник новых медицинских технологий. 1999. №2. С. 34–37.
11. Mougiakakou S.G., Diagnosis A. Telematics Enabled System for Medical Image Archiving, Management and Diagnosis Assistance. IEEE IST, 2006. P. 1265–1290.
12. Suvorov N. Psychophysiological Training of Operators in Adaptive Biofeedback Cardiorhythm Control // The Spanish Journal of Psychology. 2006. V. 9, N.2. 193–200.

References

1. Akhlov MK, Munassar MA. Aktivizatsiya regulatorynykh sposobnostey organizma cheloveka informatsionnoy obratnoy svyaz'yu. Zhurnal «Izvestiya SPbGETU «LETI». 2015;2:54-60. Russian.
2. Akhlov MK. Informatsionnaya obratnaya svyaz' kak sredstvo obespecheniya nadezhnosti i effektivnosti deyatelnosti operatora biotekhnicheskikh sistem [dissertation]. Sankt-Peterdurg (Sankt-Peterburg region); 1996. Russian.
3. Dubynin VA. Regulatorynye sistemy organizma cheloveka. Moscow: Drofa; 2003. Russian.
4. Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE, Khadartsev AA. Osobyte svoystva biosistem i ikh modelirovaniye. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2011;3:331-2. Russian.
5. Mikhaylov IB. Klinicheskaya farmakologiya i terapiya. Moscow: SPb; 1998. Russian.
6. Savin EI, Khadartsev AA, Ivanov DV, Subbotina TI, Morozov VN. Regulyatsiya svobodnoradikal'nykh protsessov moduliruyushchim vozdeystviem elektromagnitnogo izlucheniya v sochetanii s vvedeniem stvolovykh kletok. Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2010;5:77-9. Russian.
7. Suvorov NB. Adaptivnye sistemy znakoperemennogo bioupravleniya. Monografiya «Telemeditsina. Novye informatsionnye tekhnologii na popoge XXI veka» (pod red. Yusupov RM, Polonnikov RI). Sankt-Peterburg: SPII RAN; 1998. Russian.
8. Suvorov NB, Paderno PI. Nadezhnost' cheloveka v sistemakh upravleniya. Uchebnoe posobie. Sankt-Peterburg: SPbGETU «LETI»; 2011. Russian.
9. Sudakov KV. Normal'naya fiziologiya. Moscow: ООО « Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo»; 2006. Russian.
10. Khadartsev AA. Biofizikokhimicheskie protsessy v upravlenii biologicheskimi sistemami. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 1999;2:34-7. Russian.
11. Mougiakakou SG, Diagnosis A. Telematics Enabled System for Medical Image Archiving, Management and Diagnosis Assistance. IEEE IST; 2006.
12. Suvorov N. Psychophysiological Training of Operators in Adaptive Biofeedback Cardiorhythm Control. The Spanish Journal of Psychology. 2006;9(2):193-200.

Библиографическая ссылка:

Ахлаков М. К., Мунассар М. А., Суворов Н.Б. Особенности организации управления функциональным состоянием организма человека при проведении оздоровительно-восстановительных процедур // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2016. №1. Публикация 2-8. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-1/2-8.pdf> (дата обращения: 16.02.2016). DOI: 10.12737/18563.