

characterizing the transition point of the airflow mode to the turbulent quadratic. It has been established that it is advisable to use the energy criteria of nasal breathing, pneumatic power and energy of nasal breathing under the action of the corresponding odor vector for the assessment of respiratory impaired olfactory. To assess the respiratory impairment of olfactory, it is necessary to use the method in which an odor vector is installed in the air path of the rhinomanometer, and the patient is asked to perform breathing maneuvers with a consistent increase in respiration rate while fixing the time at which olfactory sensitivity is achieved and then determining the respiratory energy characteristics. A statistical processing of diagnostic results was carried out, which confirms the adequacy of the model of independent statistical verification and makes it possible to use this method for the functional diagnosis of respiratory-olfactory disorders and testing of respiratory-olfactory sensitivity. The probability index of the error of the second kind is 0.17.

Keywords: odorector, olfakometry, rhinomanometry.

Рецензент: проф., д-р техн. наук Бых А. І.

Стаття надійшла 25.02.2019 р.

УДК 615.47

Жемчужкина Т. В., Носова Т. В., Семенец В. В.

РАЗРАБОТКА БИОТЕХНИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Хроническая боль в спине является распространенной и серьезной проблемой как с медицинской, так и с экономической точки зрения. Оценка состояния мышц спины проводится по результатам электромиографического обследования во время физической нагрузки. Результаты электромиографического исследования тесно связаны со степенью напряжения и растяжения мышц, а качество выполнения физических упражнений пациентом может определяться сопровождающей болью или ее боязнью. В связи с этим предлагается дополнить электромиографический комплекс блоками контроля уровня боли и степени разгибания мышц спины.

Ключевые слова: боль в пояснице, мышечная усталость, оптопара, поверхностная электромиография, разгибание, связанный с болью страх, уровень боли, электроэнцефалография.

Постановка проблемы. Боль в пояснице, которая является одной из основных причин инвалидности [1], широко распространена и экономически затратна для общества. По оценкам [2] 80 % всех взрослых испытывают как минимум один раз боль в пояснице, что влияет на их способность выполнять повседневные действия. Одной из физических характеристик субъектов с хронической болью в пояснице является повышенная утомляемость мышц разгибателей спины во время теста на выносливость нижней части спины. Таким образом, тесты на выносливость мышц разгибателей спины могут сыграть важную роль в оценке дисфункции параспинальных мышц. Поверхностная электромиография (ЭМГ) использовалась для изучения нервно-мышечных механизмов, связанных с мышечной усталостью во время тестов на выносливость. Надежность этой процедуры для оценки мышечной усталости была установлена как у здоровых, так и у пациентов с хронической болью в спине. Были протестированы различные позиции для оценки мышечной усталости спины (рис.1) [1].

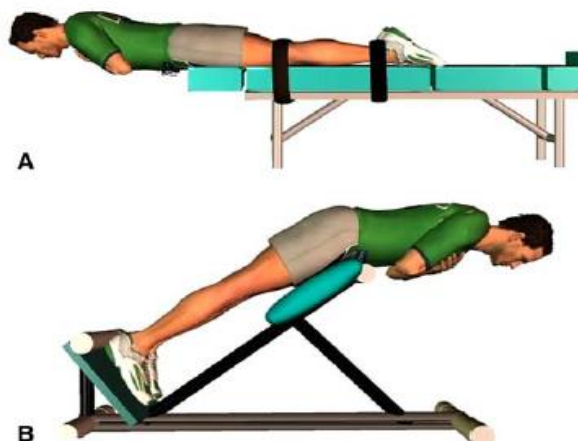


Рисунок 1 – Позиционирование испытуемых во время испытаний на выносливость спины в процессе теста Соренсена (А) и на 45° кресле Романа (В) [1]

Анализ последних исследований и публикаций. Для количественной оценки утомляемости мышц-разгибателей спины с помощью процедуры поверхностной ЭМГ используется коэффициент отношения сгибания-расслабления (КССР). Для оценки КССР производится регистрация поверхностной ЭМГ с параспинальных мышц поясницы динамически, когда человек сначала стоит вертикально, затем сгибается полностью вперед, затем удерживает полностью согнутую позицию и, наконец, возвращается в положение стоя. В спокойном положении здоровые люди обычно имеют низкий уровень сигнала ЭМГ от поясничных параспинальных мышц. Когда человек наклоняется вперед, активность ЭМГ увеличивается, и в положении полного сгибания активность ЭМГ в поясничном отделе позвоночника падает, часто до уровня меньшего, чем активность в вертикальном положении. Об этом параспинальном расслаблении при терминальном сгибании было впервые сообщено в конце 1940-х годов Алленом (1948). Существуют убедительные доказательства того, что КССР у людей с поясничными болями отсутствует. Вместо этого, активность ЭМГ остается высокой, когда человек с поясничными болями полностью сгибается [2].

В [2] активность поверхностной ЭМГ измерялась с помощью Back Flexion Monitor (Measurement Systems Inc., Ann Arbor, MI). Устройство измеряет 2 канала ЭМГ. Электроды были размещены на правой и левой сторонах позвоночника примерно в 3 см от средней линии. Один электрод был расположен по центру в районе позвонка L3, еще один – L5. Для измерения сгибания гониометр был надет на липучке, которая была обернута вокруг туловища чуть ниже подмышечных впадин.

Некоторые авторы предположили, что отсутствие КСР у людей с поясничными болями является частью волевой защитной реакции, ограничивающей движения спины (страх, связанный с болью) или результатом мышечной адаптации к боли. Watson, Booker, Main и Chen (1997) были первыми, кто сообщил о связи между страхом, связанным с болью, или кинезиофобией, и КССР среди людей с хроническими поясничными болями. Авторы сообщили о значительной обратной зависимости между страхом, связанным с болью, и КСР, когда люди с более высоким страхом, связанным с болью, демонстрировали более низкое соотношение (или меньшее расслабление параспинальной мышцы при полном сгибании). Кроме того, авторы обнаружили значительное увеличение КССР после программы лечения боли, которая была значительно связана со снижением страха, связанного с болью. Изменение диапазона движений или самоотчеты о боли как функция лечения не были

Режим доступа: <http://sap.pstu.edu>

связаны с изменениями в КСР. Авторы пришли к выводу, что связанный с болью страх способствует защите мышц во время сгибания, что, в свою очередь, способствует развитию и сохранению хронической боли [2].

В [3] описано проведенное в амбулаторном отделении травматологии университета обследование тридцати одного пациента с хроническими поясничными болями. У всех испытуемых была диагностирована дискогенная боль в спине. Поверхностную электромиографию выполняли с помощью 8-канального дифференциального усилителя (Myosystem 2000a), используя самоклеющиеся поверхностные электроды. Были исследованы четыре группы мышц спины. Пары электродов располагались справа и слева от позвоночника [3].

Электромиографическая процедура и определение максимального произвольного сокращения (МПС) были выполнены на тренажере David (рис. 2). Этот аппарат предназначен для тренировки параспинальных мышц. Благодаря фиксации таза функция ягодичных мышц может быть устранена, что позволяет специфически напрягать мышцы спины. Эта пробная установка позволяет выполнять измерение силы и электромиографию в удлинённых мышцах при сгибании туловища на 30° (рис. 2).

Чтобы определить максимальную произвольную изометрическую силу, субъекты должны были давить на рычаг, который был зафиксирован при 30° сгибания, а крутящий момент (в ньютон-метрах) регистрировался внутренним измерительным устройством. Эта процедура повторялась 3 раза, для дальнейших испытаний использовался самый высокий результат. После 5-минутной фазы восстановления мышцы спины подвергали изометрической нагрузке с крутящим моментом 60 % МПС в течение 1 минуты, нагружая рычаг весом, соответствующим 60 % максимального крутящего момента. Испытуемые должны были давить на свободный рычаг, но не двигать его. Если возникала боль или пациенты не смогли сохранить свое положение в пределах отклонения 5°, исследование прерывалось [3].

В исследовании отмечается ненадежность измерения максимальной силы как недостаток всех усталостных и электромиографических исследований. Ниже приведены две категории возможных причин несогласованности в измерениях максимальной силы, выделенные в исследовании:

- психологические;
 - 1) *страх ожидания боли* – пациенты, страдающие от болей в спине, могут бояться напрягать мышцы из-за страха, что это приведет к усилению боли;
 - 2) *реальная боль* – боль, которую реально испытывают пациенты во время исследования, также влияет на результаты измерений;
- физиологические – исследование показало, что у пациентов с хроническими болями в спине может наблюдаться дефицит моторного контроля, что приводит к неэффективной мышечной стабилизации позвоночника, что может препятствовать получению МПС.

Это исследование устанавливает факт, что действительно существует разница между электромиограммами мышц спины пациентов, страдающих от болей в спине, и здоровых людей. Первые характеризуются менее выраженными признаками усталости при субмаксимальных сокращениях [3].

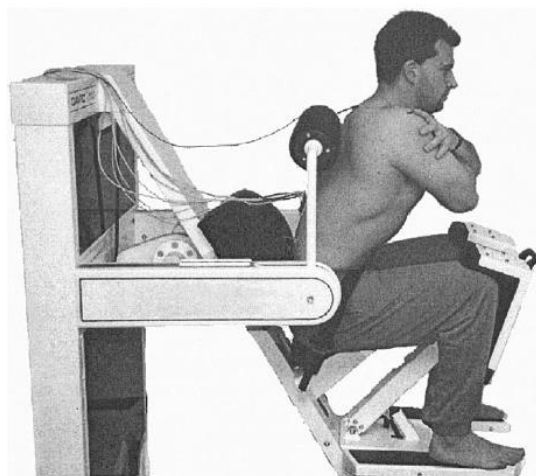


Рисунок 2 – Электромиографическое исследование на тренажере [3]

Цель исследования. В данной работе предлагается использовать систему для оценки степени напряжения мышц по уровню сигнала ЭМГ, степени сгибания мышц и уровня боли при сгибании, чтобы оценить состояние мышц спины для объективного контроля всех показателей одновременно и сравнения этих параметров пациента до и после лечения, исключая субъективный фактор боли или страха перед болью. В качестве критерия уровня болевого синдрома предлагается использовать показатели электроэнцефалографии (ЭЭГ).

Основной материал исследования.

Исследование, проведенное by E.S. dos Santos Pinheiro et al. (2016) [4], указывает на увеличение мощности альфа- и тета-ритмов ЭЭГ, которое может быть связано с хронической болью. В исследовании также подчеркивается, что количественную ЭЭГ можно рассматривать как объективный инструмент для выявления специфических характеристик состояний хронической боли.

Авторы в [4] пришли к следующим выводам: повышенная мощность альфа- и тета-ритмов при спонтанной ЭЭГ, а также низкие амплитуды вызванных потенциалов (ВП) при различных стимулах считаются клиническими характеристиками лиц с хронической болью. Уменьшение торможения таламуса, которое связано с усилением пиков нейронов на частоте 4 Гц. Это увеличение отмечается как источник увеличения мощности тета-ритма и называется таламокортикальной дисритмией (ТКД).

Цель работы [4] состояла в том, чтобы определить, наблюдалась ли картина таламокортикальной дисритмии у пациентов с умеренной хронической болью в спине, а также было проведено сравнение между пациентами с нейропатическими и ненейропатическими болевыми компонентами. Работа также включала исследования, направленные на определение корреляции между наличием маркеров ЭЭГ, связанных с ТКД, и психологическими симптомами и уровнем боли.

В [4] в процессе клинического исследования здоровые субъекты сопоставлялись с пациентами с болью в соответствии с возрастом и полом. Методы, использованные при выполнении этого исследования, включали спонтанную регистрацию ЭЭГ у 37 пациентов с болью в спине и 37 здоровых субъектов.

Авторы исследований [4-6] пришли к выводу, что количественная электроэнцефалография может быть полезным инструментом для изучения и количественной оценки боли пациента в клинических условиях.

В настоящее время врачи в лаборатории патофизиологии Института патологии

позвоночника и суставов им. А. С. Ситенко НАН Украины изучают закономерности возникновения, развития и исхода патологических процессов; особенности и характер динамического изменения физиологических функций при различных патологических состояниях организма, метод визуальной, или качественной, оценки сигнала ЭМГ используется для диагностики состояния больных.

В лаборатории патофизиологии врачи диагностируют такие вертебрологические заболевания как кифоз, сколиоз, функциональная боль костно-мышечной системы. Для диагностики состояния пациентов врачи используют сигналы ЭМГ, полученные при исследовании длинного разгибателя туловища на уровне поясничного отдела позвоночника (L4-L5) в процессе выполнения пациентом упражнения «лодочка», когда пациент из положения лежа сгибается в поясничной области, тем самым напрягая изучаемые мышцы.

Однако в настоящее время возникают трудности при изучении сигналов, полученных таким способом. Пациент может изменить высоту отклонения спины во время записи сигнала ЭМГ, из-за чего изменяется напряжение изучаемых мышц. Это существенно влияет на принимаемый сигнал и может быть диагностировано как помеха или патология. Пациенты обследуются до и после операции, и наличие боли или страха боли во время процедуры могут помешать объективной оценке качества лечения.

В данной работе предлагается дополнить биомедицинский электромиографический комплекс [7] блоком для параллельной регистрации ЭЭГ.

В качестве устройства для записи сигналов используется электронейромиограф «Нейро-МВП-8». «Нейро-МВП-8» – 8-канальный электронейромиограф с функциями изучения зрительных, слуховых, соматосенсорных и когнитивных вызванных потенциалов головного мозга.

Для регистрации колебаний высоты отклонения спины пациента в положении «лодочка» предлагается использовать оптопару – электронное устройство, состоящее из излучателя света и фотоприемника, соединенных оптическим каналом и объединенных в общий пакет. Оптопары с открытым оптическим каналом, доступным для механического воздействия (перекрытия), используются в качестве датчиков во всевозможных детекторах (например, детектор бумаги в принтере), концевых (или пусковых) датчиках, счетчиках и дискретных спидометрах на их основе (например, координатные метры в механических манипуляторах, анемометрах) [8-10]. Контроль отклонения спины необходим для поддержания той же нагрузки во время записи сигнала ЭМГ с мышц поясничного отдела позвоночника в положении «лодочка», так как при уменьшении высоты отклонения мышцы пациента расслабляются, а это влияет на характеристики исследуемого сигнала.

Блок-схема биотехнической электромиографической системы с контролем уровня боли показана на рис. 3.

В этой системе информация от пациента (биологический объект) доставляется на 8-канальный нейроэлектромиограф «Нейро-МВП-8» (электромиограф, электроэнцефалограф). Для контроля высоты отклонения спины пациента в поясничном отделе позвоночника используется оптопара. Информация из электромиографа и электроэнцефалографа экспортируется в базу данных веб-сервера (сервер). Информация доступна для записи/чтения/удаления с персональных компьютеров (ПК) медицинского персонала лаборатории. ПК подключены к локальной сети (LAN). Эта информация также может быть экспортирована в базу данных с других устройств или введена вручную с помощью клиентского приложения для анализа зависимости различных показателей от результата диагностики.

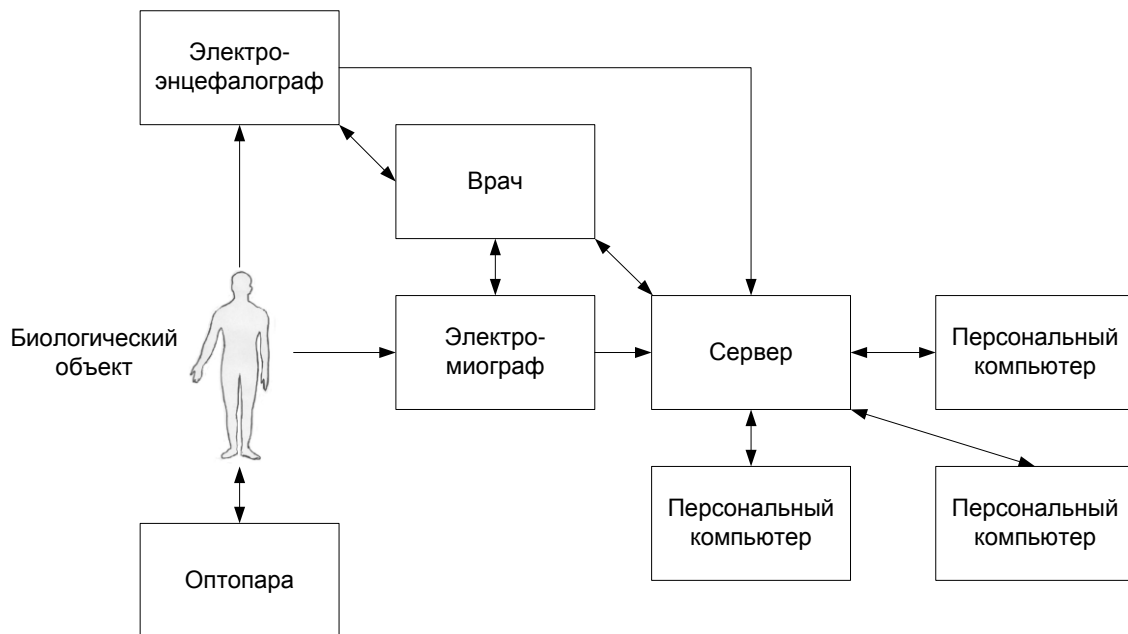


Рисунок 3 – Блок-схема биотехнической электромиографической системы

ВЫВОДЫ

Предложена биотехническая электромиографическая система для регистрации ЭМГ в положении «лодочка» с контролем степени сгибания мышц спины с параллельной регистрацией сигнала ЭЭГ для контроля уровня боли во время нагрузки. Такая система позволит объективизировать оценку результатов электромиографии с параллельным контролем уровня боли и степени сгибания мышц спины, чтобы оценить степень дисфункции мышц спины и качество выполняемых терапевтических и хирургических мероприятий.

Список использованных источников:

1. Champagne, A. Back and hip extensor muscles fatigue in healthy subjects: task-dependency effect of two variants of the Sorensen test / A. Champagne, M. Descarreaux, D. Lafond // *Eur Spine J.* – 2008. – 17. – P. 1721–1726.
2. Geisser, M. E. Surface Electromyography and Low Back Pain / M. E. Geisser // *Biofeedback.* – 2007/ – Vol. 35, N 1. – P. 13–16.
3. Surface Electromyography of the Paravertebral Muscles in Patients with Chronic Low Back Pain / M. Kramer, V. Ebert, L. Kinzl, C. Dehner, M. Elbel, E. Hartwig // *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* – 2005. – Vol. 86, N 1. – P. 31–36.
4. Encephalographic Patterns in Chronic Pain: A Systematic Review of the Literature [Electronic resource] / E. S. dos Santos Pinheiro [et al.]. – Mode of access: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0149085>
5. Pain Ratings, Psychological Functioning and Quantitative EEG in a Controlled Study of Chronic Back Pain Patients [Electronic resource] / S. Schmidt [et al.]. – Mode of access: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0031138>

Режим доступа: <http://sap.pstu.edu>

6. Case Report – Evaluation of the Pain Matrix Using EEG Source Localization: A Feasibility Study / E. R. John [et al.] // Pain Medicine. – 2011. – Vol. 12. – P. 1241–1248.
7. Шпакович, Ю. С. Проектування біомедичного електроміографічного комплексу / Ю. С. Шпакович, Т. В. Жемчужкіна, Т. В. Носова // Наукова Україна : проблеми сучасності та перспективи майбутнього : матеріали VI Всеукр. науково-практ. конф. (Харків, 26–27 грудня 2017 р.). – Харків, 2018. – С. 3–7.
8. Семенець, В. В. Введення в мікросистемну техніку та нанотехнології [Текст]: навч. посібник / В. В. Семенець, І. Ш. Невлюдов, В. А. Палагін. – Харків : Компанія СМІ», 2011. – 416 с.
9. Построение персонализированной анатомической модели диафрагмы человека / В. Г. Дуденко, О. Г. Аврунин, М. И. Тымкович, В. В. Куринной // Экспериментальна і клінічна медицина. – 2014. – № 2 (63). – С. 68–70.
10. Технология межсоединений электронной аппаратуры : учеб. для вузов / В. В. Семенец, Дж. Кратц, И. Ш. Невлюдов, В. А. Палагин. – Харьков : СМІТ, 2005. – 432 с.

Zhemchuzhkina T. V., Nosova T. V., Semenets V. V.

DEVELOPMENT OF THE BIOTECHNICAL ELECTROMYOGRAPHIC SYSTEM

Chronic back pain is a common and serious problem, both from a medical and an economic point of view. The evaluation of the condition of the back muscles is carried out according to the results of an electromyographic examination during physical exercise. Electromyographic results are strongly correlated with the degree of tension and flexion of the muscle, and the quality of the physical exercise by the patient can be determined by the presence of pain or fear of pain. In this regard, it is proposed to supplement the electromyographic complex with blocks of control of the level of pain and degree of flexion of the back muscles. An electromyographic system is proposed for EMG recording in the «boat» position with control of the degree of flexion of the back muscles with parallel recording of the EEG signal to control the level of pain during exercise. To register fluctuations in the height of the patient's back deflection in the «boat» position, it is proposed to use an optocoupler - an electronic device consisting of a light emitter and a photodetector connected by an optical channel and combined into a common package. The control of the deviation of the back is necessary to maintain the same load while recording the EMG signal from the muscles of the lumbar spine in the «boat» position, since with a decrease in the height of the deviation the patient's muscles relax, and this affects the characteristics of the signal under study. In the article a block diagram of the biotechnical electromyographic system was developed. Such system will allow to objectify the assessment of the results of electromyography with parallel control of the level of pain and the degree of flexion of the back muscles in order to assess the degree of dysfunction of the back muscles and the quality of the therapeutic and surgical measures performed.

Keywords: electroencephalography, flexion, low back pain, muscle fatigue, optocoupler, pain level, pain-related fear, surface electromyography.

Жемчужкіна Т. В., Носова Т. В., Семенець В. В.

РОЗРОБКА БІОТЕХНІЧНОЇ ЕЛЕКТРОМІОГРАФІЧНОЇ СИСТЕМИ

Хронічний біль в спині є поширеною та серйозною проблемою як з медичної, так і з економічної точок зору. Оцінка стану м'язів спини проводиться за результатами електроміографічного обстеження під час фізичного навантаження. Результати

Режим доступу: <http://sap.pstu.edu>

електроміографічного дослідження тісно пов'язані зі ступенем напруги і розтягування м'язів, а якість виконання фізичних вправ пацієнтом може визначатися болем, що їх супроводжує, або страхом його виникнення. У зв'язку з цим пропонується доповнити електроміографічний комплекс блоками контролю рівня болю і ступеня розгинання м'язів спини. Запропоновано електроміографічну систему для реєстрації електроміограми в спеціальному положенні «човник» з контролем ступеня згинання м'язів спини з паралельною реєстрацією електроенцефалографічного сигналу для контролю рівня болю під час навантаження. Для реєстрації коливань висоти відхилення спини пацієнта в положенні «човник» пропонується використовувати оптопару - електронний пристрій, що складається з випромінювача світла і фотоприймача, що з'єднані оптичним каналом та об'єднаних в загальний пакет. Контроль відхилення спини необхідний для підтримки одного ступеня навантаження під час запису сигналу електроміограми з м'язів поперекового відділу хребта в спеціальному положенні «човник», так як при зменшенні висоти відхилення м'язи пацієнта розслаблюються, а це впливає на характеристики досліджуваного сигналу. У даній статті запропоновано блок-схему біотехнічної електроміографічної системи, яка обладнана контролем рівня болю. Така біотехнічна система дозволить об'єктивно оцінити результати електроміографічного дослідження із паралельним контролем рівня болю та ступеня згинання м'язів спини досліджуваного, щоб оцінити ступінь дисфункції м'язів спини та якість виконуваних терапевтичних і хірургічних заходів.

Ключові слова: біль в попереку, м'язова втома, оптопара, поверхнева електроміографія, розгинання, пов'язаний з болем страх, рівень болю, електроенцефалографія.

Рецензент: проф., д-р техн. наук Аврунин О. Г.

Стаття поступила 14.02.2019 р.

УДК 004.4'2:51:53:573:61

Скляр О. І., Лінник О. В.

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ВИВЧЕННІ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОЇ ФІЗИКИ В БІОЛОГІЇ ТА МЕДИЦИНІ

Розглянуто використання програмних засобів для отримання аналітичного розв'язку задач математичної фізики в медицині та біології є доцільним для навчального процесу та дослідницької діяльності та може застосовуватись при моделюванні явищ та процесів в різних галузях біомедицинської інженерії. Це дозволяє створювати математичні моделі біофізичних явищ та вивчати вплив різних початкових і граничних умов.

Ключові слова: засіб програмний, розв'язок аналітичний, метод, математична фізика, модель фізико-математична, медицина, біологія

Постановка проблеми. У сучасному науковому середовищі значна увага приділяється методам доказової медицини. З цією метою застосовують специфічні математичні моделі об'єктів та процесів у вигляді відповідних математичних рівнянь. Розв'язок цих рівнянь є суттєвим елементом доказової бази в медицині та біології. Отримання саме аналітичного розв'язку становить значну цінність як доказ. Освоєння методів аналітичного розв'язку задач математичної фізики становить значні труднощі в процесі підготовки студентів нематематичного профілю, тому використання програмних пакетів, що надають таку можливість є доцільним і перспективним.

Режим доступу: <http://sap.pstu.edu>