

346.

5. Рубаник, В. В. Термокинетическая ЭДС в сплаве TiNi при инициировании прямого фазового перехода // В. В. Рубаник, В. В. Рубаник мл., А. В. Лесота // Вестник Тамбовского государственного университета имени Г. Р. Державина. Естественные и технические науки. – 2015 г. – Т. 20, вып. 2. – С. 490–493.
6. Рубаник, В. В. Термокинетическая ЭДС в никелиде титана / В. В. Рубаник, В. В. Рубаник мл., О. А. Петрова-Буркина // Материалы, технологии, инструменты. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2012. – Т. 17, № 1. – С. 25–27.
7. Rubanik, V. V. Peculiarities of thermoelectric force behaviour in nikelide titane upon non-stationary heating / V. V. Rubanik, V. V. Rubanik Jr., O. A. Petrova-Burkina // Materials Science Forum. – Switzerland: Trans Tech Publications, 2013. – V. 738-739. – P. 292–296.
8. Рубаник, В. В. Электросопротивление никелида титана при нестационарном нагреве / В. В. Рубаник, В. В. Рубаник мл., О. А. Петрова-Буркина // Письма о материалах. – Уфа, 2012. – Т. 2, № 2. – С. 71–73.
9. Рубаник, В. В. Проявление термоэлектрических явлений в NiTi / В. В. Рубаник, О. А. Петрова-Буркина, В. В. Рубаник // Научное издание под редакцией В. Е. Громова / Влияние электромагнитных полей на пластичность и прочность материалов, Новокузнецк 2011. – С. 60–68.

УДК 577.354.4

## ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ЖИВОГО ОРГАНИЗМА

*Милюкина С.Н., к.т.н., доц., Марущак Ю.И., студ.*

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. В статье рассмотрены особенности электрических свойств живых тканей и их практическое применение. Проведен анализ научной литературы, посвящённой современному состоянию вопроса, и дальнейших перспективных направлений исследований.

Ключевые слова: электропроводность, живой организм, электрокожные характеристики, кожно-гальваническая реакция, электродермальность активность.

Все обменные процессы в организме так или иначе определяются его электрическими свойствами, начиная с разности потенциалов на внутренней и внешней поверхности плазматической мембраны клетки, которая регулирует её обмен веществ, и заканчивая нервной активностью, которая контролирует вообще все процессы. Таким образом, электропроводящие свойства живого вещества являются определяющими параметрами функционирования организма, – с его возникновением биоэлектрические явления появляются и при его гибели они гаснут и пропадают.

Если на человека внезапно действуют раздражающие факторы, то электрическое сопротивление его тела резко меняется, при этом физическая природа внешних воздействий не имеет значения. Это может быть и яркий свет, и прикосновение горячим предметом, и сообщение человеку неожиданной, важной для него информации, – во всех случаях результат один – электропроводность тела человека увеличивается, являясь своеобразным индикатором реакции биосистемы на внешнее воздействие. Причём изменение во времени величины электропроводности зависит как от самого действующего внешнего фактора, так и от его интенсивности. Но во всех случаях увеличение электропроводности происходит гораздо быстрее, чем ее последующее восстановление к нормальным значениям [1].

Рассматривая электрическое сопротивление человеческого организма, различают сопротивление его внутренней неоднородной среды и сопротивление кожного покрова. Основной вклад в электропроводность внутренней среды вносят кровь, лимфа, межклеточная и внутриклеточная жидкости, являясь, по сути, электролитами. Хорошими проводниками кроме жидких сред организма являются также мышцы, подкожная клетчатка и жировая ткань. В среднем сопротивление внутренних органов может быть принято равным ~1000 Ом, хотя электропроводность отдельных органов и тканей, конечно, различна.

Однако электропроводящие свойства кожи представляют собой нечто совершенно особенное, – для сравнения, сопротивление сухого чистого неповреждённого кожного покрова человека может достигать сотен тысяч и даже десятков миллионов Ом, что свидетельствует о её чрезвычайно высоких барьерно-защитных механизмах.

Согласно [2], напряжённость электрического поля на поверхности кожи (в эпидермальном слое) может достигать десятка киловольт на квадратный сантиметр, – при такой напряжённости клеточные мембраны микробов и бактерий разрушаются, и они погибают. Это свидетельствует о том, что кожа является своеобразным электростатическим фильтром, выполняя функции стерилизатора, но только при условии, что сопротивление кожи поддерживается на очень высоком уровне, – при наличии воды на коже или повышенной влажности кожи такое электростатическое поле возникнуть не может. Таким образом, электрические свойства кожи выполняют важнейшие защитные функции, значительно снижая вероятность поражения человека микроорганизмами – бактериями и микробами окружающей воздушной среды.

В норме электрокожное сопротивление человека в состоянии релаксации растёт, а в состоянии активации уменьшается, т. е. сопротивление кожи возрастает, когда человек успокаивается и засыпает, и уменьшается при душевном волнении и мобилизации сил [3]. Оно меняется в зависимости от времени суток и от состояния тела человека (истощение, усталость, сытость, стресс), что обусловлено состоянием вегетативной нервной системы, т. е. электродермальная активность (ЭАК) является довольно точным и практически безынерционным индикатором физиологического состояния человека по сравнению с большинством параметров, используемых для этих целей в медицине. Но не только физиологического, а, что ещё более важно, и психоэмоционального состояния тоже – изменение электрических явлений в коже человека наблюдаются также при раздражении органов чувств и различных формах психической деятельности (мнимом воображении, абстрактной умственной деятельности и т. д.).

Такое изменение кожного сопротивления в ответ на различные эмоциональные реакции называют кожно-гальванической реакцией (КГР) и обычно объясняют реакцией симпатической нервной системы, активизирующей деятельность потовых желез. Потоотделение связано с возбуждением высших вегетативных центров, причём количество выделенного пота зависит от разных причин: внешней температуры, водно-солевого обмена, от состояния просвета кровеносных сосудов, но, прежде всего, от функционального состояния центральной нервной системы (ЦНС), которое и определяется эмоциональным состоянием человека. Это подтверждается и установленной зависимостью электрической проводимости того или иного участка тела от количества имеющихся на нем пор и каналов потовых желез, а также от интенсивности их деятельности. Однако объяснить электрическую активность кожи только лишь потовыделением невозможно, поскольку время реакции потовых желез значительно больше, чем регистрируемые отклонения кожного сопротивления и других электромагнитных параметров.

В частности, исследования [4] показали, что изменение электрического сопротивления эпидермиса связано с диффузией воды в процессе регулирования температуры тела, причем непосредственно через кожу, а не через потовые железы. Параметры этого процесса определяются тонусом расположенных в коже кровеносных сосудов, – чем сильнее они наполняются кровью, тем интенсивнее испаряется влага. Благодаря такому механизму транспортировки жидкости через кожу, организм может сбросить в окружающее пространство до 15 Вт своей тепловой мощности.

В целом, анализ литературных источников свидетельствует о том, что в настоящее время физиологическая основа возникновения ЭАК до конца не изучена. Однако уже имеющиеся сведения о зависимостях КГР от состояния нервной системы и психоэмоционального состояния человека позволяют применять их не только в медицинско-диагностических целях, но и в различных областях жизнедеятельности человека, например, для оценки психоэмоциональной напряженности операторов различных сложных процессов, водителей и машинистов. В медицинской практике КГР используют в анестезиологии, фармакологии (для оценки седативного эффекта препаратов при изучении их эффективности), психиатрии, нейрофизиологии и др. В частности, одним из направлений нейрофизиологических исследований шизофрении является изучение аномалий электродермальной активности, – разработана даже дифференциация клинических вариантов шизофрении на основе показателей ЭАК [5].

Изменение электрокожного сопротивления регистрируется с поверхности практически

любого участка тела, однако существуют особые зоны, в которых электрическое сопротивление гораздо более низкое по сравнению с окружающими их участками кожного покрова – это так называемые биологически активные точки (БАТ) или точки акупунктуры. Акупунктурные точки и их объединения, называемые «меридианами», описаны в китайской традиционной медицине, и обладают особыми биофизическими свойствами [6]. Они располагаются на симметричных частях тела с точностью до 1 мм, и между двумя точками одного и того же «меридиана» сопротивления электрическому току меньше, чем между одной из них и любой другой точкой кожной поверхности; площадь БАТ составляет  $\sim 1\div 2$  мм<sup>2</sup>. Считается, что существует корреляция между электрокожными характеристиками БАТ и состоянием внутренних органов и систем человека.

Научные исследования БАТ начались в 1940-50х гг., однако, как тогда, так и в настоящее время основной проблемой обоснования достоверности результатов является отсутствие специфичной морфологической структуры таких образований, т. е. какие-либо особенные клеточные структуры, которые могут быть представлены как специфичные электрические проводники, отсутствуют [7]. Экспериментальные исследования физиологических свойств БАТ свидетельствуют о том, что для них характерны: низкое электрическое сопротивление при исследовании постоянным и переменным током ( $\sim 20\text{--}250$  кОм); большая электрическая емкость (0,1–1 мкФ); высокий электрический потенциал (до 350 мВ); низкий порог чувствительности; повышенное потребление кислорода и высокая локальная температура, что свидетельствует о более интенсивных процессах, протекающих в данных точках.

На данный момент единственное структурное отличие, обнаруженное на срезах областей БАТ, от остальных участков кожи, заключается в присутствии в них густой сети нервных волокон и чувствительных нервных утончений. Вероятно, это именно они, являясь в действительности не чем иным, как электрическими проводниками, и обеспечивают специфичные биофизические свойства этих участков. Интересно, что топография БАТ на кожных покровах трупа человека сохраняется, при этом их электропроводность с момента наступления смерти снижается – за несколько часов в десятки раз [8].

Наиболее известными практическими применениями исследований БАТ являются акупунктура и электропунктурная диагностика – метод диагностики заболеваний, основанный на измерении электрических свойств биологически активных точек, т. к. каждая болезнь имеет свой спектр изменений. Но, несмотря на многочисленные научные исследования, свидетельствующие о действительно специфических свойствах биологически активных точек, современным медицинским сообществом эти методы не признаются и считаются не научными.

Таким образом, человеческий организм представляет собой сложную многокомпонентную электропроводящую массу, окружённую диэлектриком – кожным покровом, обладающим уникальными функциональными свойствами. Благодаря сложной структуре, тесной связи с внутренними органами и центральной нервной системой, а также полифункциональной активности, кожа является сложнейшим органом, не только непосредственно воспринимающим все воздействия внешней среды, но и обеспечивающим адекватные барьерно-защитные реакции. Электропроводимость тканей и органов зависит от их функционального состояния и, следовательно, может быть использована как диагностический показатель, – в частности, в настоящее время считается доказанным, что электрическая активность кожи является индикатором физиологического и психоэмоционального состояния человека. Однако отсутствие единых стандартизированных подходов и методик исследования, и, как следствие, устойчивых результатов клинических исследований, ограничивает использование полученных знаний и признание их научным сообществом.

#### Список использованных источников

1. Основы психофизиологии: учебник / Отв. ред. Ю. И. Александров. – М.: ИНФРА-М, 1997.
2. Манойлов, В. Е. Электричество и человек. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 224 с.: ил.
3. Калашников, В. Н. Электрическое сопротивление кожи как индикатор психофизиологического состояния человека. – URL: [http://www.osoznanie.biz/info/concept\\_gar.pdf](http://www.osoznanie.biz/info/concept_gar.pdf) (дата обращения: 05.04.19).
4. Мусин, Р.Ф. Электрические свойства эпидермиса : дисс. ... канд. физ.-мат. наук :

01.04.04 / Р.Ф. Мусин. – Москва, 1985. – 139 с. : ил.

5. Дифференциация клинических вариантов шизофрении на основе показателей электродермальной активности / С. А. Ягода, В. В. Иванченко, К. И. Бакуменко, К. С. Садовничий // Медицинский вестник Северного Кавказа, № 3. – 2011.
6. Крамер, Ф. Учебник по электроакупунктуре в 2-х т. – М.: Имедис, 1995. – 328 с.
7. Особенности методов исследования электрокожных характеристик / О. П. Страхова, А. А. Рыжов // Медицина и экология, № 2. – 2014. – С. 14–18.
8. Смородинов, А. В. Электропроводность биологически активных точек на кожных покровах трупа человека / А. В. Смородинов // Вестник новых медицинских технологий, Т. XIV, № 4. – 2007. – С. 60.

УДК 539.3

## МАТРИЧНЫЕ УРАВНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ ДЕФОРМИРУЕМОГО ТЕЛА

**Федосеев Г.Н., к.т.н., доц., Воланцевич Е.А., студ.,  
Шеленговский В.О., студ., Шинкевич А.О., студ.**

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. В статье рассмотрены (с выводом) матричные уравнения, позволяющие найти перемещения и внутренние усилия в стержневых системах под действием заданной нагрузки, а так же в температурной и монтажной задачах. Аналогичные уравнения использованы при получении формул для деформаций сплошной среды с последующим выводом уравнений их совместности.

Ключевые слова: матрицы уравнений, транспонированные матрицы, матрица жесткости, векторы-столбцы, векторы-строки.

На рисунке 1 изображена статически неопределимая стержневая система:

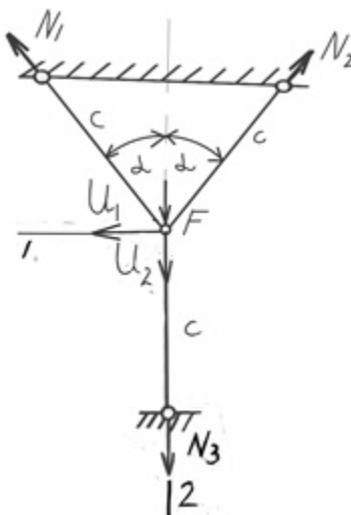


Рисунок 1 – Стержневая система

Уравнения равновесия узла системы :

$$\begin{aligned} -N_1 \sin \alpha + N_2 \sin \alpha &= 0, \\ N_1 \cos \alpha + N_2 \cos \alpha - N_3 &= F, \end{aligned} \quad (1)$$

или

$$A * \vec{N} = \vec{F},$$

где A – матрица коэффициентов системы (1)

$$\begin{pmatrix} -\sin \alpha & \sin \alpha & 0 \\ \cos \alpha & \cos \alpha & -1 \end{pmatrix}, \quad (2)$$

$\vec{N}$  и  $\vec{F}$  – векторы-столбцы растягивающих сил  $N_1, N_2, N_3$  и заданных сил 0, F. Удлинения (укорочения) стержней