

5. Орёл Н.М., Лисенкова А.М., Железнякова Т.А. и др. // Вестник БГУ. Сер. 1. 2014. № 2. С. 33-39.
6. Кугейко М.М., Лисенкова А.М., Сенчук В.В. // Труды Междунар. НТК «Медэлектроника-2002». Минск, 20–21 ноября 2002 г. С. 121–124.
7. Орёл Н.М., Пышко Е.С., Соколовский Д.Ю. и др. // Сб. науч. статей IX Междунар. науч. конф. «Лазерная физика и оптические технологии». Гродно, 30 мая–2 июня 2012 г. В 2 ч. Ч. 1. С. 118–120.
8. Vogel G. New natural products and plant drugs with pharmacological, biological or therapeutical activity. Berlin-Heidelberg-New York, 1977.
9. Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика. Минск, 1967.
10. Гокк Е.М., Орёл Н.М., Пышко Е.С. // Матер. Междунар. науч. конф. «Фундаментальные и прикладные аспекты воспаления». Минск, 27–28 октября 2011 г. С. 121–124.

УДК 612.424.4/615.82

## ВЛИЯНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ СООБЩАЕМЫХ ЭЛЕКТРОДУ КОЛЕБАНИЙ НА ХАРАКТЕР МОДУЛЯЦИИ ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИОННЫХ ТОКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДЕЛИ-ИМИТАТОРА КОЖНОГО ПОКРОВА ЧЕЛОВЕКА

М.Г. КИСЕЛЕВ, Е.И. ЛАБУНЬ, П.С. ЛЮЦКО

*Белорусский национальный технический университет  
пр. Независимости 65, 220013, Минск, Беларусь*

*Поступила в редакцию 15 ноября 2016*

Описан экспериментальный приборный комплекс, который включает в себя массажер ударно-фрикционного действия с функцией электростимуляции и аппаратных средств, обеспечивающих осуществление данного вида комплексного воздействия при различных механических и электрических параметрах и имитатор кожного покрова человека. Рассмотрено влияние направления сообщаемых электроду колебаний на форму импульсного тока.

*Ключевые слова:* электростимуляция, физиотерапия, анальгезия, имитатор кожного покрова.

### Введение

В сравнении с традиционными условиями выполнения процедуры электростимуляции, в результате проведенных экспериментальных исследований [1] выявлено, что применение вибрации активного электрода позволяет при одинаковых электрических параметрах осуществления процедуры до 50 % снизить уровень болевых ощущений у пациентов. Возникновение у пациента острых болевых ощущений ограничивается за счет увеличения токов электростимуляции, что дает возможность повысить эффективность выполнения этой процедуры. Анальгетический эффект проявляется в наибольшей степени в определенном диапазоне частот вращения насадки N. В результате проведенных экспериментов [1] оптимальное значение N составило 150–200 мин<sup>-1</sup>, что соответствует частоте прерывания электрической цепи равной 10–40 Гц при восьми лопастях в насадке. Это говорит о том, что явления, связанные с особенностями контактного взаимодействия лопасти массажера с поверхностью тела человека, лежат в основе механизма анальгетического эффекта.

Ударная, фрикционная и релаксационная стадии взаимодействия вращающейся лопасти массажера с поверхностью тела человека были выявлены в результате проведенных экспериментов [2], а также определены временные параметры их протекания с учетом частоты вращения насадки и величины натяга лопастей относительно поверхности тела.

Имеются данные, отражающие влияние на анальгетический эффект отдельно ударной и фрикционной фаз [3, 4]. Принципиально эти фазы отличаются условиями контактного взаимодействия поверхностей и, в частности, направлением их относительного перемещения.

Фрикционная фаза характеризуется безотрывным движением в тангенциальном направлении, а ударная – периодически относительным движением, направленным перпендикулярно взаимодействующим поверхностям. Влияние направления и частоты сообщаемых электроду колебаний на процесс амплитудной модуляции электростимуляционных токов и связанный с ним анальгетический эффект оценивается с помощью разделения на фазы. Разработан оригинальный имитатор [5, 6], позволяющий моделировать электрические и механические параметры кожного покрова тела человека.

Данная работа посвящена оценке влияния направления сообщаемых электроду колебаний на характер модуляции электростимуляционных токов при использовании модели-имитатора кожного покрова человека.

### Методика эксперимента

Авторами [6] предложено осуществлять выполнение процедуры электростимуляции на имитаторе кожного покрова человека с использованием массажера ударно-фрикционного действия. Для проведения указанных экспериментов был изготовлен специальный комплекс, включающий в себя устройство контактного взаимодействия вращающейся лопасти-электрода с имитатором кожного покрова человека и измерительного блока. На рис. 1 показана схема устройства контактного взаимодействия вращающейся лопасти-электрода с имитатором кожного покрова человека.

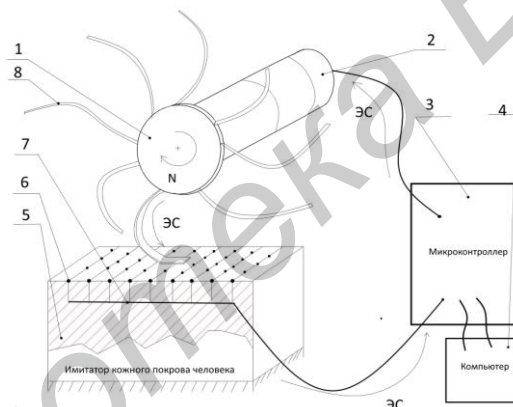


Рис. 1. Схема устройства контактного взаимодействия вращающейся лопасти-электрода с имитатором кожного покрова человека

Насадка 1 оснащена восемью консолю закрепленными лопастями 8, изготовленными из двух слоев ткани пропитанной силиконом, между которыми располагается токопроводящая медная проволока, четыре из которых (последовательно для создания фазы релаксации мышцы) выполнены токопроводящими. Насадка закреплена на валу электродвигателя 2 и получает вращательное движение с регулируемой частотой  $N$ . В процессе этого движения, лопасти периодически контактируют с поверхностью неподвижно закрепленного имитатора 5 кожного покрова человека. Он выполнен из медицинского стоматологического силикона, модуль упругости которого соответствует кожному покрову человека  $((1-5) \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$  [7]). В силиконе залиты 49 токопроводящих булавок-электродов 6, имитирующие нервные окончания. Расстояние между ними составляет  $2 \pm 1$  мм, при размере контактной площадки имитатора  $40 \times 50$  мм (рис. 2). Электроды подключены параллельно к общей шине 7. Сигнал электростимуляции ЭС генерируется и регистрируется при помощи микроконтроллера 3, управляемого компьютером 4.

Для удобства описания и анализа данных, отражающих влияние направления сообщаемых электроду колебаний на процесс амплитудной модуляции электростимуляционных токов, примем следующие схемы (рис. 2), условно обозначенные буквами А, Б и В.

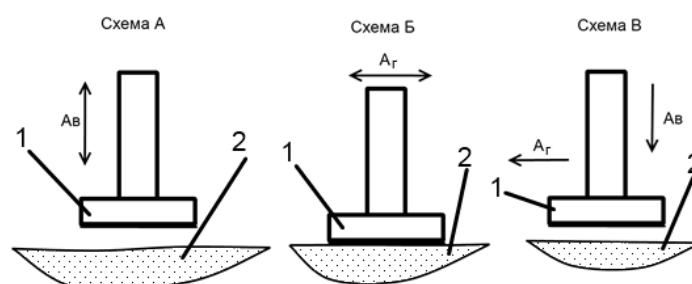


Рис. 2. Принципиальные схемы сообщения вынужденных колебаний электроду в процессе выполнения процедуры электростимуляции

При реализации схемы А электроду 1 сообщаются колебания  $A_{\text{в}}$ , направленные перпендикулярно поверхности 2 тела человека, т.е. реализуются условия их периодического ударного взаимодействия. Схема Б характеризуется тем, что колебания  $A_{\text{г}}$  электроду сообщаются параллельно поверхности тела, а их контактирование протекает в условиях безотрывного фрикционного взаимодействия. Схема В отличается от предыдущих наличием последовательно протекающих стадий ударного  $A_{\text{в}}$  и фрикционного  $A_{\text{г}}$  взаимодействия электрода с поверхностью тела человека.

Эксперимент включал в себя последовательное выполнение следующих действий описанных ниже. Имитатор располагался на регулируемых подставках. Первый электрод подключался к выходам электродов-булавок. Смонтированный на электромагните второй электрод подводился при помощи магнитной стойки к электродам имитатора, обеспечивая при этом электрический контакт. Далее на электроды подавался импульсный ток синусоидальной формы с частотой 1 кГц. Напряжение доводилось до уровня, соответствующего пороговому уровню мышечного сокращения (15–35 В). После чего генерировались колебания с частотой 10–40 Гц для режима фрикционного воздействия, а затем и для ударного соответственно.

### Результаты экспериментов и их обсуждение

Формы полученных экспериментально механически модулированных сигналов показаны в таблице. Обозначения А, Б и В соответствует обозначениям, принятым для рис. 2, обозначение Г – исходный сигнал.

Пример экспериментально полученных модулированных сигналов

Тип воздействия	Форма полученного сигнала
А	
Б	
В	
Г	

На основании полученных экспериментальных данные установлено, что фрикционное воздействие вносит незначительный вклад в модуляцию импульса, а изменение амплитуды в отдельных случаях составляет не более 10 %. Это вызвано изменением расстояния от области

наилучшего контакта электрода до места расположения. В целом, фрикционное воздействие, с точки зрения эффективности проведения процедуры электростимуляции и субъективных ощущений добровольцев, не отличается от традиционной процедуры со статичными электродами. Ударное воздействие имеет более сложную форму модулируемого импульса, имеются области нарастания амплитуды, области стабильного максимального значения и ее угасания. Таким образом имеются области переходных процессов. Не выражена продолжительная область с постоянным значением амплитуды импульсного тока, на всей продолжительности импульса имеются области переходных процессов – это характерно при применении массажера ударно-фрикционного действия, который позволяет получить импульсы более сложной, по сравнению с ударным воздействием, формы. Помимо механического воздействия на тело человека применение массажера ударно-фрикционного действия создает сложную по виду модуляцию формы импульсного электростимуляционного тока. Это вызывает ее периодическое деформирование при котором поверхностный слой находится в напряженном состоянии и наличие постоянных переходных процессов при осуществлении электростимуляции. За счет изменения частоты вращения лопастей, их количества и натяга можно целенаправленно управлять формой модулированного тока. Кроме того, отмечено, что использованный в экспериментах модель-имитатор адекватно воспроизводит механические и электрические параметры кожного покрова тела человека. Полученные в работе результаты могут служить основой для описания и раскрытия выявленного ранее анальгетического эффекта, связанного с применением при выполнении процедуры электростимуляции массажера ударно-фрикционного действия.

### Заключение

1. Разработаны методика и экспериментальный комплекс, который позволяет осуществлять процедуру электростимуляции на волонтерах при сообщении электроду вынужденных колебаний различного направления, частоты и амплитуды.

2. Влияние направления сообщаемых электроду колебаний (при частоте 10–40 Гц) на форму импульсного тока отражаются в полученных экспериментальных данных. На основании их сравнительного анализа установлено, что на процесс механической модуляции импульсных токов наибольшее влияние оказывает ударно-фрикционное воздействие. Это позволяет сделать вывод о наличии наиболее широких возможностей по модуляции формы импульсного электростимуляционного тока. Ударное воздействие оказывает влияние в меньшей степени на формирование импульсов и изменение характера спектрограммы. Форма импульсных токов практически не отличаются от вида исходящего сигнала при фрикционном (безотрывном) колебании электрода.

3. Отмечено, что использованная в экспериментах модель-имитатор адекватно воспроизводит механические и электрические параметры кожного покрова тела человека.

## EFFECT OF AUXILIARY VIBRATION INFLUENCE ON ELECTRO STIMULATION PROCEDURE EFFICIENCY USING HUMAN SKIN IMITATOR

M.G. KISELEV, E.I. LABUN., P.S. LIUTSKO

### Abstract

The experimental complex of apparatus of electrical stimulation with combination of active electrode vibration of original design was developed. It has a possibility to use various mechanical and electrical parameters of vibration influence and electrical stimulation. In particular it has a possibility to apply various directions of vibrations to an active electrical stimulation electrode. The results of experiments have shown that the use of vibration-combined electrical stimulation procedure has an advantage in efficiency over traditional non-vibrating regime of procedure. Moreover, percussive-frictional mode is superior due to opportunities it has to change the modes of action.

*Keywords:* electrostimulation, physiotherapy, analgesia, skin imitator.

**Список литературы**

1. Лабунь Е.И., Киселев М.Г., Давыдова Н.С. и др. //Сб. научн. статей VI Междунар. научн.-техн. конф. «Медэлектроника-2010». Минск, 2010. С. 316–319.
2. Киселев М.Г., Лабунь Е.И. // Приборы и методы измерений. 2012. № 2 (5). С. 95–99.
3. Киселев М.Г., Осипов А.Н., Лабунь Е.И. // Докл. БГУИР. 2014. № 1. С. 53–58.
4. Осипов А.Н., Киселев М.Г., Лабунь Е.И. // Докл. БГУИР. 2012. № 5. С. 5–8.
5. Лабунь Е.И., Киселев М.Г., Осипов А.Н. и др. // Докл. БГУИР. 2015. № 3 (89). С. 18–22.
6. Лабунь Е.И., Киселев М.Г., Осипов А.Н. и др. // Метрология и приборостроение. 2015. № 3. С. 27–30.
7. Manschot J.F., Brakkee A.J. // J-Biomech. 1986. № 19 (7). P. 511–515.

**УДК 615.849.19:612.352.12****ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ  
НА УРОВЕНЬ ГЛЮКОЗЫ В КРОВИ ЗДОРОВЫХ ЛИЦ**

А.Н. БАТЯН, Т.И. ЖИТКЕВИЧ, М.М. АСИМОВ\*

*Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова БГУ  
Долгобродская 23/1, Минск, 220070, Беларусь**\*Институт физики имени Б.И. Степанова НАН  
пр. Независимости 68, Минск, 220072, Беларусь**Поступила в редакцию 16 ноября 2016*

Приведены результаты исследования содержания глюкозы в крови здоровых лиц после действия низкоинтенсивного лазерного излучения красного и инфракрасного спектрального диапазонов.

*Ключевые слова:* низкоинтенсивное лазерное излучение, красный спектральный диапазон, инфракрасный спектральный диапазон.

**Введение**

В последние годы внимание исследователей привлекают физические методы воздействия на биосистему, в частности, использование различных видов лазерного излучения. В медицинскую практику внедрены методы лазеротерапии, основанные на воздействии световых потоков низкой интенсивности (не более 100 мВт/см<sup>2</sup>) различных длин волн видимого, ультрафиолетового, инфракрасного спектральных диапазонов, которые оказывают разнообразные биофизические, биохимические и клинические эффекты на организм.

Показана высокая эффективность низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) при различных патологических состояниях организма. Методы лазерной терапии очень разнообразны – применяются пунктурная лазеротерапия, внутривенная и чрезкожная надвенная лазерная гемотерапия, сочетанные методы воздействия НИЛИ с другими лечебными мероприятиями. НИЛИ оказывает неспецифическое полевое действие на важнейшие биомолекулы – белки, ферменты, липиды, обеспечивая обратимую модификацию структуры компонентов клетки, конформационные изменения мембраны и ее регуляторной функции [1]. Лазерное облучение венозной крови применяется при различных заболеваниях и является эффективным средством повышения неспецифической резистентности организма. Внутривенное НИЛИ, являясь инвазивным методом, применяется только в условиях стационара. В связи с этим большое практическое значение для пациентов имеет чрезкожная