

Аннотация

Представлен краткий обзор докладов по секции «Биотехнические и медицинские аппараты, системы и комплексы» XV Международной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022», состоявшейся 28-30 июня 2022 года в г. Суздале.

Введение

Развитие медицины, разработка новых и совершенствование известных методов диагностики, лечения и профилактики невозможны без применения современных электронных медицинских приборов и аппаратов, систем сбора, хранения, обработки, анализа и представления биомедицинской информации, а также технических средств реализации биомедицинских экспериментов. Современная медицина развивается по пути интеллектуализации и внедрения передовых технологий. Прорыв в информационных технологиях (ИТ) позволяет создавать высокотехнологичную медицинскую технику. В передовых странах такая техника в настоящее время нашла широкое применение в повседневной медицинской практике.

Мировой рынок медицинской техники активно и динамично продолжает развиваться. США, Япония и Германия являются странами с наибольшими объемами как потребления, так и выпуска медицинской техники. Эксперты отмечают, что сегменты лабораторной диагностики, офтальмологии, ортопедии и кардиоваскулярной хирургии уже в 2013 году стали крупнейшими. Максимальный прирост показали неврология, ИТ в медицине, восстановление функций слуха и речи, а также ортопедия. Российский рынок медицинских изделий остается крупнейшим в Восточной Европе благодаря сохранению платежеспособного спроса со стороны государственных и частных лечебно-профилактических учреждений. В то же время в России за время перестройки существенно увеличилось количество как научных организаций, так и вузов, которые готовят специалистов медико-технического профиля. В связи с этим существенно вырос объем научных исследований в направлении биотехнических систем и технологий. В связи с этим в программе конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» изначально была предусмотрена секция «Биотехнические и медицинские аппараты, системы, комплексы».

Методы исследования

В качестве основного метода исследования в данной работе был использован анализ научного содержания оригинальных статей, представленных участниками конференции на секции «Биотехнические и медицинские аппараты, системы, комплексы» в рамках XV Международной научной конференции, дана оценка научной новизны и практической значимости материалов.

Результаты

На секции были представлены доклады как зарубежных, так и российских ученых. Достаточно большое количество докладов было сделано начинающими учеными (аспирантами, студентами магистратуры и бакалавриата).

Зарубежными учеными из Ташкентского государственного технического университета на секции были представлены два доклада [1], [2]. В одном из них решается задача диагностики состояния сердечно-сосудистой системы. С этой целью разработаны методика, алгоритмы и программное обеспечение автоматической обработки, анализа и классификации характеристик электрокардиограмм. Предложенная методика

обладает достаточно высокой чувствительностью [1]. Второй доклад узбекских ученых, представленный на английском языке, посвящен актуальным вопросам оснащения и обслуживания медицинской техники лечебных учреждений [2]. Авторы предлагают использовать методы оптимизации для формирования перечня высокотехнологичной медицинской техники и определения приоритетности обслуживания медицинского оборудования. В работе широко используется математический аппарат, а сама работа имеет высокую научную и практическую значимость.

Одной из организаций, вносящих существенный вклад в развитие науки по направлению секции, является Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана. Учеными этого университета на секции были представлены 4 доклада [3]-[6] на актуальные темы биомедицинской инженерии.

Один из докладов посвящен исследованию метода ближней инфракрасной спектроскопии для объективного контроля слухового восприятия [3]. Основными преимуществами метода являются его бюджетность, высокое временное разрешение (до 10 мс) и возможность в мониторинговом режиме неинвазивно транскраниально контролировать локальное кровоснабжение коры головного мозга, уровень поставки и потребления кислорода.

Для эффективного исследования сопряжения нейронной активности и гемодинамики в определенных зонах коры головного мозга важным является вопрос позиционирования оптического зонда в области проекции исследуемой зоны. Неточное позиционирование источников и приемников излучения на поверхности головы приводит к невозможности регистрации реакции на значимые стимулы, к неправильной интерпретации данных. Спектрофотометрические измерения на волнистой поверхности головы требуют специальной конструкции оптического зонда, обеспечивающей подвод и регистрацию излучения непосредственно с поверхности кожного покрова. Авторами предложены экспериментальный стенд и оптический зонд с подпружиненными световодами. Приведенные результаты исследований и сделанные выводы свидетельствуют о перспективности метода ближней инфракрасной спектроскопии для исследования гемодинамики коры головного мозга и косвенной оценки нейронной активности при стимулах разной модульности.

Доклад [4] посвящен решению задачи диагностирования ишемической болезни сердца по результатам регистрации температуры зон Захарьина-Геда и бульбарной конъюнктивы с применением тепловизора. Автор показывает, что снижение температуры зон Захарьина-Геда достигает $1,5^\circ$, а бульбарной конъюнктивы – $0,2^\circ$, что уверенно регистрируется термографически и позволяет применять методику для диагностики ишемической болезни сердца. Достоинством методики является применение дистанционного бесконтактного, неинвазивного, безболезненного диагностирования, результаты которого легко интерпретируются в амбулаторных условиях. Это позволяет выявлять пациентов, находящихся в зоне риска.

В докладе [5] представлен бесконтактный метод измерения частоты сердечных сокращений одноканальным отражатель-

ным фотоплетизмографом при помощи тепловизора. Использование фотоплетизмографа, работающего на отражение, позволяет уменьшить размеры аппаратуры, сделав ее портативной, повысить чувствительность, скорость измерения, снизить помехи. Такой фотоплетизмограф может прикладываться в любом месте поверхности биообъекта. Но ввиду большого количества погрешностей по сравнению с пропускабельным фотоплетизмографом он требует дополнительной калибровки. Исследования, проведенные автором, показывают высокую сходимость результатов измерений предлагаемым и существующим методами. Данная работа имеет как научную, так и практическую значимость.

Материалы научной работы [6] посвящены анализу биомедицинских изображений. Технология визуализации уже давно получила свое распространение. В настоящее время метод визуализации широко применяется в разных областях медицины, например в стоматологии, для визуализации и численной оценки на ранней стадии очагов воспалительных процессов, а также эрозивно-язвенных поражений; в нейрохирургии – для решения задачи визуализации нейроваскулярных структур в ткани головного мозга при эндохирургическом вмешательстве; для контроля регенерации пересаженных участков кожи; в диагностике диабетической стопы и т. д. От качества изображения зависит правильная постановка диагноза. Авторами рассматривается влияние длин волн 660 и 850 нм при различной пространственной частоте модуляции излучения на параметры изображений. Результаты исследования имеют высокую научную ценность и значимость.

Учеными Московского научно-исследовательского института «МОНИКИ» им. М.Ф. Владимирского представлены результаты исследования и оценки влияния параметров цифровой фильтрации на величину скорости распространения пульсовой волны в аорте, определяемой осциллографическим методом [7]. В работе показано, что по скорости пульсовой волны можно судить о жесткости сосудов и прогнозировать сердечно-сосудистые риски. В настоящее время распространены два метода измерения скорости пульсовой волны: однократный и двухточечный. И в том, и в другом методе сигналы, полученные при измерениях, сопровождаются большими шумами и для их уменьшения используют фильтры. В работе оценивается влияние параметров цифровой фильтрации на форму и скорость пульсовой волны. Приводятся результаты сравнения двух методов выделения компонент переменного тока. Предлагается подход, основанный на вычитании постоянной компоненты, который обеспечивает большую точность при определении скорости распространения пульсовой волны и соответственно большую точность диагностирования заболеваний сердечно-сосудистой системы.

В работе [8] (совместный доклад ученых из Московского государственного гуманитарно-экономического университета и Московского энергетического института) рассматриваются актуальные вопросы дистанционной диагностики состояния пациента-колясочника. Возникновение критических состояний у инвалида при его передвижении на коляске может привести к катастрофическим последствиям. Обнаружить критическое состояние у инвалида в процессе его передвижения на коляске очень сложно. При этом важную роль играют жесткие временные ограничения. Авторами разработана система нечетких признаков для анализа биосигналов, по которым можно судить о состоянии пациента. На основе аналитического обзора авторами выбрано серийно выпускаемое периферийное оборудование, удобное для длительного применения, а также наиболее полно отражающее основные параметры жизнедеятельности. Это позволило не только обнаруживать, но и предупреждать возникновение критических состояний людей с ограниченными возможностями здоровья в процессе управления ими инвалидной коляской. В качестве периферийного оборудования для мониторинга выбранной системы параметров авторы рекомендуют smart-часы фирмы «Mason», позволяющие измерять параметры АД, ЭКГ, пульса, дыхания и стресса, а также 8-канальную гарнитуру «Нейроплей» для мо-

нитинга биомаркеров электроэнцефалограммы. На базе этих приборов построена мобильная система, обеспечивающая возможность отслеживания опасных и критических состояний колясочника.

Ученые из Юго-Западного государственного университета (г. Курск), занимающиеся приборами для мониторинга биомедицинских параметров человека, предложили устройство для дистанционного длительного мониторинга при помощи контактных датчиков биомедицинских показателей, среди которых температура тела, частота сердечных сокращений, кровенаполнение [9]. Для обработки данных температуры и фотоплетизмосигнала используется разработанное авторами специальное программное обеспечение, установленное на смартфон. Сигнал со смартфона поступает на микроконтроллер через модуль «Bluetooth». Такой подход обеспечивает мобильность части устройства, размещаемой на пациенте. В работе приводятся структурные схемы и даются рекомендации по размещению датчиков на теле человека. Также показывается, что носимые датчики, располагаемые на теле человека, подходят для мониторинга физиологических параметров (например механической активности сердца, дыхания, тремора, пульса и т. д.) только в том случае, если тело находится в состоянии покоя. Любая мышечная активность будет вызывать артефакты в сигнале, генерируемом датчиками. Их влияние будет пропорционально интенсивности движения тела. Поэтому необходимо в дальнейших разработках использовать датчик ускорения для подтверждения сигнала, когда тело находится в покое, без мышечной активности, и устранения артефактов на основе корреляции с сигналом ускорения.

Ученые Национального исследовательского Томского политехнического университета представили разработку автоматизированного малогабаритного устройства, предназначенного для определения группы крови [10]. В докладе объясняется принцип работы устройства, основанный на использовании метода фотометрирования капельных проб. При помощи этого метода проводится оценка степени специфической агглютинации эритроцитов при добавлении в исследуемый образец крови докликнов. В работе представлены структурная схема устройства и результаты экспериментальных исследований. Описан макет устройства, позволяющий автоматизировать определение группы крови в ситуациях, когда применение существующих анализаторов невозможно. Преимущества данного устройства заключаются в его малых габаритах, высокой скорости анализа, минимальном расходе реактивов, а также в уменьшении влияния человеческого фактора.

Доклад [11], сделанный на английском языке авторами из Санкт-Петербургского электротехнического университета, посвящен разработке устройства, которое позволит слепым ориентироваться в окружающем пространстве. В работе приводятся математические модели и результаты моделирования параметров устройства.

На секции были представлены доклады ученых Владимирского государственного университета (ВлГУ). Так, в докладе [12] представлена разработанная авторами биотехническая система экспресс-оценки сахарного диабета 2-го типа [12]. На основе проведенного анализа существующих методов авторы констатируют, что существующие методы и устройства не могут в полной мере решить проблему экспресс-диагностики диабета 2-го типа, что затрудняет его массовую профилактику. В работе предлагается новый метод, позволяющий диагностировать сахарный диабет 2-го типа по сигналу электрокардиографа. Для реализации этого метода разработана новая биотехническая система, включающая в себя электроды, инструментальный усилитель, фильтр низких частот, аналого-цифровой преобразователь, микроконтроллер. Данная система позволит более оперативно, по сравнению с классическими клиническими тестами, решать проблему ранней диагностики диабета.

Доклад аспирантки ВлГУ [13], представленный на секции, посвящен обзору отечественных организаций, занимающихся разработкой плоскочастотных детекторов для рентгенографи-

ческих устройств. В докладе приводятся параметры детекторов, показывается, что в краткосрочной перспективе импортные детекторы будут заменены отечественными разработками.

Научная работа [14] имеет как научную, так и практическую значимость. Автор предлагает систему детекции лжи по электроэнцефалографическому сигналу, которая имеет ряд преимуществ по сравнению с классическим методом регистрации косвенных физиологических сигналов. Главными преимуществами являются: регистрация сигнала мозга, в котором происходят процессы принятия решения; испытуемому не обязательно отвечать вслух, так как в момент просмотра вопроса у него формируется соответствующее состояние мозга, что способствует повышению достоверности выявления ложной информации.

Вопросам исследования переходных процессов, возникающих в медицинской электронной аппаратуре, были посвящены три доклада [15]-[17]. Авторы решают задачу повышения надежности электронных средств, что всегда было актуальным. Особое место в повышении надежности отводится медицинской аппаратуре, так как отказ медицинской аппаратуры может привести к гибели человека. Как известно, большинство внезапных отказов электронных приборов, аппаратов и систем происходит в момент включения и выключения аппаратуры. Связано это с возникновением переходных процессов в цепях электронных средств, при которых токи и напряжения могут возрастать многократно. Для обеспечения уверенности, что максимальные токи и напряжения при переходных процессах не превысят допустимых уровней, необходимо на этапе проектирования электронного средства медицинского назначения рассчитывать значения этих параметров. Аналитические методы расчета параметров переходных процессов показали высокую точность, однако они очень трудоемки. В настоящее время все шире внедряются методы моделирования переходных процессов в автоматизированных системах схемотехнического моделирования. В инженерной практике часто используют схемотехническое моделирование в системе «Multisim».

Задачей работы [15] являлась оценка точности моделирования переходных процессов в цепях постоянного тока в системе «Multisim». В работе показано, что система «Multisim» обеспечивает достаточно высокую точность расчета переходных процессов.

Особую сложность составляет расчет переходных процессов в цепях переменного тока, в которых существует фазовый сдвиг между током и напряжением. При этом амплитуды переходных процессов зависят от того, в какой момент времени периода колебаний происходит коммутация. Для решения задачи нахождения максимальных значений токов и напряжений при переходных процессах используются автоматизированные системы схемотехнического моделирования.

Результаты исследования возможности расчета максимальных значений напряжений переходных процессов в цепях переменного тока при помощи системы «Multisim» представлены в работе [16]. На основе проведенного анализа выработаны рекомендации по определению мгновений времени периода колебаний, в которые возникают максимальные напряжения переходных процессов при наличии фазового сдвига между током и напряжением. Для обеспечения коммутации в требуемый момент времени периода колебаний предложено коммутационное устройство [17]. Данная работа имеет практическую значимость. Предложенное устройство существенно уменьшает трудоемкость анализа переходных процессов, протекающих в электронной аппаратуре и снижающих ее надежность.

В докладе [18] рассматривается проблема оценки искажения формы гармонического сигнала, прошедшего через какие-либо устройства и биообъекты. Автор полагает, что гармонический сигнал, прошедший (отраженный) через биообъект, меняет свою форму. Эти изменения зависят от состояния объек-

та. По искажению гармонического сигнала можно судить о состоянии биообъекта. Автор предлагает измерять коэффициент нелинейных искажений сигнала и разрабатывает на основе преобразования Фурье соответствующий алгоритм для компьютера.

Вопросам обеспечения нормальных тепловых режимов при разработке конструкции переносного медицинского прибора в герметичном корпусе посвящен доклад магистранта совместно с его руководителем [19]. Авторы показывают необходимость защиты изделий электронной техники от перегрева. На этапе конструирования необходимо определить, до каких температур может нагреваться устройство при эксплуатации. С этой целью производятся расчеты тепловых режимов при помощи автоматизированных систем инженерных расчетов. В докладе приводятся результаты моделирования реальной конструкции в системе «SolidWorks Flow Simulation». Созданный опытный образец такой конструкции подвергается испытаниям, при которых измеряются температуры при помощи термопар и тепловизора. В работе приводятся результаты моделирования и измерения. Наибольшие расхождения между практическими значениями и значениями, полученными при моделировании в «SolidWorks Flow Simulation», составили 28 % на границах температурного диапазона эксплуатации медицинского прибора и 6,8 % при нормальной температуре.

Заключение

По окончании работы шестой секции «Биотехнические и медицинские аппараты, системы и комплекс» на XV МНК «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022» были подведены итоги, отмечены доклады, вызвавшие особый интерес участников. Было много вопросов, обсуждений, которые проходили не только во время работы секции, но и в кулуарах. Участники конференции получили возможность обсудить актуальные вопросы биомедицинской инженерии, обменяться мнениями и установить новые контакты. Один из участников конференции получил приглашение и сменил место работы, переехав в другой город, чтобы более эффективно продолжить свою работу в области создания и развития биотехнических и медицинских аппаратов, систем и комплексов.

Результаты работы секции имеют научно-практическую значимость. Об этом говорили все участники конференции, которые рекомендовали продолжить традицию проведения указанной конференции на регулярной основе.

Список литературы:

1. *Магруппов Т.М., Талатов Е.Т.* Системный подход автоматической обработки анализа и классификации характеристик ЭКГ / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 369-372 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
2. *Магруппова М., Магруппов Т., Матякубова П.М.* Optimization methods for the maintenance of medical equipment / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 373-377 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
3. *Боровков П.В., Секменова С.А., Сафонова Л.П.* Оптический зонд для спектрофотометрического контроля слухового восприятия / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 331-334 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
4. *Терентьева А.Д.* Применение термографии для диагностики ишемической болезни сердца / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в меди-

- цине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 363-364 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
5. *Шелкова Д.Л.* Разработка биотехнической системы одноканального отражательного фотоплетизмографа / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 345-347 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
 6. *Захаров М.А., Семенова А.С., Колтаков А.В.* Исследование влияния условий регистрации на результаты измерений оптических параметров при визуализации структуры биотканей в пространственно-частотной области / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 358-361 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
 7. *Молчанова Е.А., Лаштан Д.Г., Розаткин Д.А.* Оценка влияния параметров цифровой фильтрации на величину скорости распространения пульсовой волны в аорте, определяемую осциллографическим методом / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 319-323 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
 8. *Истомина Т.В., Копылова Е.В., Труб Н.В.* Мониторинг критических состояний лиц с инвалидностью на основе анализа жизненно важных биомедицинских параметров / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 364-368 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
 9. *Бутусов А.В., Филист С.А., Павленко А.В.* Устройство для дистанционного мониторинга температуры тела и частоты сердечных сокращений человека в процессе жизнедеятельности / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 323-327 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
 10. *Аристов А.А., Розенбаум Ю.А., Серпнев Д.С., Ворончихина Ю.Н., Гладкова Е.И.* Работа макета устройства для определения группы крови / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 334-338 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
 11. *Hanadi S., Dimitrios P.* Spatial sound reproduction for distance estimation of obstacles using sensors to assist the visually impaired / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 341-345 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
 12. *Исаков Р.В., Ананьева А.А.* Биотехническая система экспресс оценки сахарного диабета по ЭКГ / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 351-355 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
 13. *Виноградова Е.В.* Плоскопараллельные детекторы для рентгенографических устройств / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 361-363 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
 14. *Исаков Р.В.* Подход к построению биотехнической системы детекции лжи на основе электроэнцефалографии / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 347-348 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
 15. *Долгов Г.Ф., Сизова А.Н.* Моделирование переходных процессов в цепях постоянного тока в системе Multisim / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 135-137 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
 16. *Долгов Г.Ф.* Моделирование переходных процессов в цепях переменного тока в системе Multisim / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 180-182 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
 17. *Долгов Г.Ф., Сизова А.Н.* Коммутационное устройство переменного тока / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 348-350 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
 18. *Варакин И.А.* Алгоритм оценки формы синусоидального сигнала для исследования характеристик вибродемпфирующего материала / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 355-358 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).
 19. *Иванов И.В., Варакин А.А.* Тепловое конструирование переносного медицинского прибора в защищенном корпусе / XV Международная научная конференция «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2022». Владимир-Суздаль. С. 327-331 / http://freme.vlsu.ru/doc/works/FREME_2022_ISBN.pdf (дата обращения: 29.09.2022).

*Геннадий Филиппович Долгов,
канд. техн. наук, доцент,
кафедра «Электротехника и электроэнергетика»,
Людмила Тихоновна Сушкова,
д-р техн. наук, профессор,
кафедра «Электроника, приборостроение
и биотехнические системы»,
ФГБОУ ВО «Владимирский государственный
университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
г. Владимир,
e-mail: dolgov@vlsu.ru*