

ТЕОРИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЕ

Н.А. Базаев, А.А. Данилов, А.Ю. Герасименко, Б.Б. Горбунов, Ю.П. Маслобоев,
Д.А. Потапов, Д.В. Телышев, С.А. Терещенко, С.В. Селищев

Научно-образовательный комплекс подготовки кадров и проведения фундаментальных и прикладных исследований кафедры биомедицинских систем Национального исследовательского университета «МИЭТ»

Аннотация

Описан научно-образовательный комплекс кафедры биомедицинских систем Национального исследовательского университета «МИЭТ». Представлены основные достижения кафедры в области разработки современных электронных биомедицинских систем.

Кафедра биомедицинских систем (БМС) Национального исследовательского университета «МИЭТ» создана в 1999 году на базе кафедры теоретической и экспериментальной физики, где в 1993 году первые 25 студентов начали обучение по специальности «Биотехнические и медицинские аппараты и системы». В настоящее время кафедра перешла на двухуровневую подготовку студентов: бакалавриат (4 года) по инициативному профилю «Биомедицинская электроника» и магистратура (2 года) по программе «Биомедицинская электронная техника».



Рис. 1. Междисциплинарная образовательная программа кафедры БМС Национального исследовательского университета «МИЭТ»

С самого начала образовательная программа кафедры была организована в виде междисциплинарной системы (рис. 1) естественных и инженерных наук с тесным взаимодействием образовательного и научного процесса при самом активном участии студентов, профессорского-преподавательского и науч-

но-исследовательского персонала [1]-[3]. Основная цель образовательной программы кафедры – это развитие и саморазвитие целостной личности исследователя-разработчика, готового к участию во всех стадиях процесса разработки современных электронных, компьютерных и информационных биомедицинских систем – от концепции через проектирование, прототипирование, испытания и сертификацию к постановке на серийное производство. Принципы такого междисциплинарного научно-образовательного комплекса во многом схожи с принципами, закладываемыми в современное инженерное образование инициативой CDIO (Conceive – Design – Implement – Operate) [4], развиваемой Массачусетским технологическим институтом.

Научные исследования кафедры интегрированы по шести основным направлениям:

- 1) *электрическая дефибрилляция* – моделирование наружной электрической дефибрилляции, разработка новых дефибрилляторов, в том числе автоматических (рис. 2);
- 2) *аппарат вспомогательного кровообращения* – моделирование процессов движения крови через искусственный насос, разработка первого российского аппарата вспомогательного кровообращения (рис. 3);
- 3) *биомедицинские нанотехнологии* – исследование биосовместимых наноматериалов;
- 4) *биореакторы и гемодиализные аппараты* – моделирование процессов гемодиализа и гемофильтрации, разработка новых биореакторов и систем искусственной очистки крови;
- 5) *биомедицинская оптика* – фотометрические и спектрофотометрические методы исследования биологических объектов (в том числе трансмиссионная оптическая томография рассеивающих сред);
- 6) *биомедицинские компьютерные технологии* – компьютерная обработка биомедицинских сигналов и изображений, компьютерное моделирование (в том числе с использованием параллельных вычислений), автоматизированное проектирование биомедицинских, электронных и оптических систем.



Рис. 2. Внешний вид автоматического дефибриллятора «imPulse PRO»

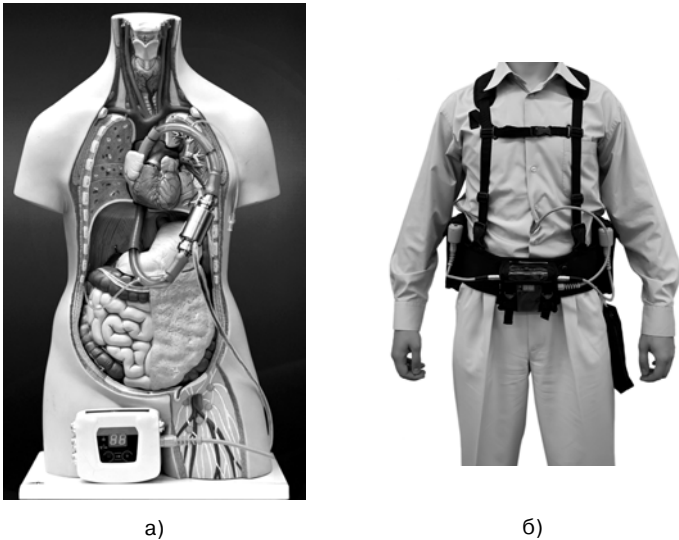


Рис. 3. Внешний вид аппарата вспомогательного кровообращения, закреплённого на анатомическом муляже (а), и его внешних частей (блока управления, основного и запасного аккумуляторов) (б)

Результаты НИОКР кафедры БМС регулярно публикуются в ведущих научных журналах, в частности, работам кафедры посвящены специальные выпуски журналов «Биомедицинские технологии и радиоэлектроника» (2001, № 12) и «Медицинская техника» (2004, № 3; 2007, № 1; 2010, № 6).

Достижения кафедры в области электрической дефибрилляции

Работы по созданию наружных дефибрилляторов с формой дефибриллирующего импульса, не зависящей от сопротивления грудной клетки, были начаты на кафедре в 1994 году. С самого начала целью работ была реализация зарекомендовавшего себя в клинической практике биполярного квазисинусоидального импульса Гурвича-Венина в аппарате с малыми массой и габаритами.

При этом, хотя воздействие дефибриллирующего импульса на сердце исследовано недостаточно, из экспериментальных исследований известно, что от формы дефибриллирующего импульса зависит пороговая энергия дефибрилляции. Уменьшение необходимой для дефибрилляции энергии импульса, в свою очередь, приводит к уменьшению повреждения тканей организма и уменьшению массогабаритных показателей дефибриллятора. В этом направлении на кафедре был проведен ряд теоретических и экспериментальных исследований. Для простой RC-модели мембраны клетки миокарда (модели Блэра) был разработан метод характеристических энергий [5], с помощью которого сравнивалась энергетическая эффективность монополярных дефибриллирующих импульсов различной формы. С использованием этого метода была показана более высокая эффективность треугольного нарастающего импульса по сравнению с треугольным спадающим, известная из экспериментальных исследований. Была также выдвинута гипотеза

реполяризации для биполярных дефибриллирующих импульсов, согласно которой длительная пауза между фазами биполярного дефибриллирующего импульса должна приводить к уменьшению величины пороговой энергии дефибрилляции [6]. С применением метода характеристической энергии было исследовано воздействие модулированного дефибриллирующего импульса на мембраны миоцитов. В результате был сделан вывод, что характеристическая энергия модулированных дефибриллирующих импульсов всегда больше характеристической энергии их немодулированных эквивалентов.

Однако следует отметить, что RC-модель Блэра является очень грубым приближением для мембраны клетки миоцита. Поэтому в настоящее время исследования воздействия дефибриллирующих импульсов продолжаются на приближенной к действительности модели мембраны миоцита Luo-Rudy. Первые результаты показали, что с повышением трансмембранного потенциала относительно значения потенциала покоя удельное сопротивление, удельная емкость и соответственно постоянная времени мембраны клетки миокарда возрастают. При сравнении с другими моделями установлено, что модель Вейса-Лапика наиболее точно описывает реакцию данной модели на воздействие прямоугольных дефибриллирующих импульсов тока [7].

Наряду с теоретическими исследованиями был выполнен ряд экспериментальных исследований на животных. Важным для объяснения преимуществ биполярного квазисинусоидального импульса и других импульсов с пологим фронтом является установление закономерности снижения сопротивления грудной клетки в начале дефибриллирующего разряда [8]. Также в экспериментах было выполнено сравнение пороговой энергии биполярного квазисинусоидального дефибриллирующего импульса Гурвича-Венина с пороговой энергией биполярных дефибриллирующих импульсов зарубежных дефибрилляторов. В результате этих исследований было подтверждено преимущество импульса Гурвича-Венина над другими известными биполярными дефибриллирующими импульсами [9], [10].

В 2008 году на сайте кафедры был открыт «Архив истории дефибрилляции в СССР, России и Украине» (<http://bms.miet.ru/russdefihist/>), который в настоящее время содержит более 950 единиц хранения.

Разработка аппарата вспомогательного кровообращения и чрескожных беспроводных систем передачи энергии

Альтернативой трансплантации сердца и существенным шагом в развитии высокотехнологичной медицинской помощи является использование носимого аппарата вспомогательного кровообращения левого желудочка сердца человека на основе имплантируемого насоса с носимым блоком электрического управления и автономного энергопитания (аккумуляторные батареи). Такие аппараты позволяют пациенту вести активный образ жизни вне клиники.

На кафедре была выполнена ОКР «Разработка технологий создания имплантируемого насоса крови и выпуск опытных образцов носимого аппарата вспомогательного кровообращения левого желудочка сердца человека» (2009-2011 гг.). В ходе ОКР был разработан носимый аппарат вспомогательного кровообращения левого желудочка сердца человека (АВК-Н), предназначенный для замены транспортной функции левого желудочка сердца у больных с тяжелыми формами сердечной недостаточности. Аппарат найдет широкое применение в медицинских центрах и отделениях клиник и больниц, специализирующихся на кардиохирургии, трансплантологии и кардиореанимации [11], [12].

Разработаны технологии создания имплантируемого насоса крови, и на их основе выпущены опытные образцы носимого аппарата вспомогательного кровообращения левого желудочка сердца человека с носимым блоком электрического управления и энергопитания [13]-[17]. Проведены экспериментальные испытания на биологических моделях – животных сельскохозяйственного назначения (молодняк мужского пола крупного рогатого скота).

Получено регистрационное свидетельство и сертификат соответствия на аппарат вспомогательного кровообращения левого желудочка сердца человека (АВК-Н).

В июне 2012 года в Федеральном научном центре трансплантологии и искусственных органов им. В.И. Шумакова проведена успешная операция по имплантации аппарата вспомогательного кровообращения пациенту с острой сердечной недостаточностью.

В настоящее время питание имплантируемой части аппарата обеспечивается внешним источником энергии с помощью чрескожных проводов. Существенным недостатком такого метода является возникновение локальных очагов воспаления в месте прохождения проводов через кожу и появление каналов проникновения инфекции вглубь организма человека.

Важным направлением деятельности кафедры является исследование и развитие методов чрескожной беспроводной передачи энергии для имплантируемых медицинских приборов, в первую очередь для систем вспомогательного кровообращения [18].

На кафедре ведутся работы по созданию модуля чрескожной беспроводной передачи энергии с помощью индуктивной связи. Эти работы включают в себя создание методов математического описания процессов, связанных с беспроводной передачей энергии [19], методов компьютерного моделирования таких процессов и расчета параметров системы беспроводной передачи энергии, а также экспериментальные исследования [20].

В настоящее время создана и испытана экспериментальная установка для исследования процесса чрескожной беспроводной передачи энергии. Установка обеспечивает возможность передачи энергии свыше 5 Вт на расстоянии 5...10 мм с эффективностью 25 %, что соответствует мировому уровню. Диапазон рабочих частот системы составляет 60...200 кГц. В дальнейшем планируется разработать модуль беспроводной передачи информации от имплантированной части системы, внешний блок управления, а также реализовать меры по обеспечению термобезопасности работы системы.

Достижения кафедры в области биомедицинских нанотехнологий

Одной из важных задач биомедицинской инженерии является надежное восстановление целостности поврежденных человеческих органов. Для выполнения данной задачи могут применяться имплантаты с высокой механической прочностью и большим сроком службы с целью заполнения врожденных или приобретенных дефектных полостей человеческого тела.

На кафедре ведутся работы по созданию и исследованию свойств композиционных наноматериалов на основе белкового раствора углеродных нанотрубок (УНТ), полученных лазерным методом [21], [22]. Показана биосовместимость нанотрубок или нитевидной модификации углерода с живыми нервными и костными клетками, а также принципиальная возможность выращивания, размножения и ветвления таких клеток на УНТ. После видоизменения фенотипа клеток они потенциально способны обеспечить регенерацию тканей человеческого организма.

Результаты исследования механических свойств разработанных объемных композиционных наноматериалов указали на то, что их твердость сопоставима с твердостью распространённых конструкционных материалов (ПММА, алюминия и железа), а также нативной человеческой костной ткани. Плотность нанокompозитов близка к плотности воды ввиду их высокой пористости, что важно при самоорганизации на них биологической ткани. Присутствие мезопор обеспечивает послойное объемное заполнение их поверхности адсорбируемыми молекулами по механизму капиллярной конденсации. Такие материалы обладают высокой удельной электропроводностью, низким температурным коэффициентом электропроводности и фоточувствительностью, что делает проводящий биологический наноматериал перспективным для многих биомедицинских приложений [23]-[25].

Поскольку композиционные наноматериалы предназначены для использования в медицинских целях с целью замещения биологической ткани, они должны обеспечивать опорные и регенерационные функции, следовательно, к ним должны применяться жесткие требования по биосовместимости. Такие материалы не должны отторгаться клетками организма, должны быть биорезорбируемыми, т. е. постепенно растворяться в средах организма, замещаясь биологической тканью, и быть биоактивными, т. е. обеспечивать самоорганизацию клеточных структур, являясь источником строительного материала для растущих органов и тканей. Вышесказанное подтверждается результатами исследований биосовместимости композиционных материалов, в частности, экспериментами по замещению поврежденной хрящевой ткани живых кроликов различных пород. Гистологические исследования показали полное восстановление надхрящницы животных, в которую были вживлены образцы нанокompозитов [26].

Композиционные наноматериалы могут служить заполняющими материалами хирургических имплантатов, пересадка которых по месту применения *in vivo* осуществима бесконтактным методом лазерной сварки. Преимущество лазерного воздействия в этом случае состоит в устранении возможного внесения патологической флоры в организм пациента, а также в значительной вариативности метода. На кафедре биомедицинских систем ведутся исследования метода лазерной сварки биологических тканей с применением наноприпоя на основе водного раствора альбумина и многослойных и однослойных углеродных нанотрубок, который интенсивно поглощает лазерное излучение. Прочность получаемых сварных швов значительно выше прочности соединения биологических тканей с использованием традиционных методов [27].

Достижения кафедры в области разработки гемодиализных аппаратов

Для пациентов с острой или хронической почечной недостаточностью в отсутствие возможности пересадки донорской почки единственной возможностью поддержания жизнедеятельности является использование аппарата «искусственная почка». Современная гемодиализная аппаратура продлевает жизнь таким пациентам на долгие годы, при этом сохраняя их работоспособность.

Работы по разработке современного гемодиализного аппарата на кафедре начались в 2008 году с выполнения ОКР «Разработка технологий управления процессами бикарбонатного гемодиализа, гемодиализации и выпуск опытных образцов интеллектуального гемодиализного аппарата для систем жизнеобеспечения человека» (2008-2010 гг.). В ходе данной работы были проведены как теоретические работы по моделированию процессов массопереноса метаболитов в диализаторе и биотехнической системе диализа [28], [29], так и изготовление опытных образцов гемодиализных аппаратов и программного и аппаратного обеспечения для контроля их технических характеристик [30]. Разработанный гемодиализный аппарат «Ренарт 200» успешно выдержал клинические испытания и разрешен Росздравнадзором к серийному производству и применению в медицинской практике. Гемодиализный аппарат «Ренарт 200» обеспечивает проведение изолированной ультрафильтрации, гемодиализа, «он-лайн» гемофильтрации и гемодиализации с возможностью использования картриджей с сухими концентратами.

В настоящее время на кафедре ведутся работы по исследованию принципов построения экспериментального образца носимого аппарата «искусственная почка» и формируется научно-техническая база для проведения опытно-конструкторской работы по созданию носимой аппаратуры для низкопоточной детоксикации организма.

Достижения кафедры в области биомедицинской оптики

Исследованы основные закономерности прохождения оптического (лазерного) излучения через сильнорассеивающую среду [31]. Предложена новая модель диффузионного типа для

описания прохождения оптического (лазерного) излучения через сильнорассеивающую среду [32]. Установлены условия возникновения эффекта бимодальности временных распределений прошедших через рассеивающий слой лазерных импульсов ультракороткой (фемтосекундной) длительности [33], [34]. Предложены методы одновременного определения коэффициента поглощения, коэффициента рассеяния [35]-[37]. Обнаружена возможность определения фактора анизотропии по радиальному профилю рассеянного излучения.

Найдено единственное известное в настоящее время точное решение обратной томографической задачи в рассеивающей среде для специального типа пропорциональной рассеивающей среды [38]. Полученные результаты открывают перспективы для создания новых типов измерительных приборов в области фотометрии и трансмиссионной томографии сильнорассеивающих биологических сред.

Исследованы нелинейные оптические свойства пирановых, полиметиновых и цианиновых органических красителей, дисперсий наночастиц металлов и углеродных нанотрубок, показана их применимость для лимитирования лазерного излучения в УФ, видимой и ближней ИК-областях спектра. Определены нелинейные параметры органических красителей: сечение поглощения, нелинейный показатель преломления, нелинейный коэффициент поглощения. Предложена компактная моноблочная конструкция лимитера, корпус которой содержит внутреннюю полость, заполненную нелинейной оптической средой, обладающей нелинейным поглощением. Предложены новые подходы для описания процессов ограничения мощного лазерного излучения в нелинейных средах на основе уравнивания переноса излучения [39].

С 2011 года ведутся работы в области неинвазивного определения концентрации глюкозы в крови. В настоящее время наиболее распространенной возможностью определения концентрации глюкозы в крови человека является использование инвазивных глюкометров, которые анализируют экзemplар крови объемом несколько микролитров. Для корректирования уровня глюкозы в крови необходимо производить измерения не менее 2-3 раз в день, что связано с болевыми ощущениями. Разработка неинвазивного глюкометра позволила бы значительно повысить качество жизни пациентов, страдающих сахарным диабетом, поскольку она открывает возможности для безболезненного мониторинга концентрации глюкозы в крови. На кафедре проведена НИР на тему «Разработка оптического метода неинвазивного определения уровня глюкозы в крови», в результате которой проанализированы оптические методы неинвазивного определения концентрации глюкозы в крови [40], а также подготовлен и испытан макет оптического глюкометра [41]. В настоящее время проводятся работы по изготовлению экспериментального образца оптического неинвазивного глюкометра.

Планы на будущее

В рамках дальнейшего развития кафедры предполагается на базе имеющихся направлений открыть новое направление – биофабрикация (biofabrication) [42]. В этом новом направлении можно будет условно выделить два поднаправления: а) методы и процессы производства биоматериалов, живых клеток и тканей (сырье/полуфабрикаты); б) методы трехмерной печати искусственных тканей и органов (оборудование). В качестве образовательной поддержки для нового направления и других направлений в области исследования и разработки искусственных органов планируется во время приемной кампании 2014 года открыть новую магистерскую программу «Биомедицинская инженерия искусственных органов».

Список литературы:

1. Селищев С.В. Достижения и тенденции развития биомедицинской электроники как междисциплинарной области в науке, технике и высшем образовании // Известия вузов. Электроника. 1997. № 5. С. 91-95.

2. Селищев С.В. Интеграция фундаментальных и прикладных медико-технических исследовательских работ на кафедре биомедицинских систем МИЭТ // Медицинская техника. 2004. № 3. С. 3-6.
3. Селищев С.В., Потапов Д.А. Междисциплинарный научно-образовательный комплекс кафедры биомедицинских систем МИЭТ // Биотехносфера. 2012. № 2. С. 46-48.
4. Crawley E., Malmqvist J., Ostlund S., Brodeur D. Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach. – Springer, 2007. 286 p.
5. Горбунов Б.Б. Метод характеристической энергии для сравнения эффективности монополярных импульсов дефибрилляции // Медицинская техника. 2009. № 2. С. 8-13.
6. Востриков В.А., Горбунов Б.Б. Оптимизация биполярных импульсов для наружных дефибрилляторов на основе гипотезы реполяризации // Медицинская техника. 2009. № 2. С. 14-19.
7. Горбунов Б.Б. Исследование свойств мембраны клетки миокарда на модели Luo-Rudy // Медицинская техника. 2012. № 3. С. 32-34.
8. Востриков В.А., Горбунов Б.Б., Гусев А.Н., Гусев Д.В., Иткин Г.П., Коньшева Е.Г., Мамкин К.А., Нестеренко И.В., Петухова М.Н., Селищев С.В., Тельшиев Д.В., Трухманов С.Б. Динамика изменения сопротивления грудной клетки в процессе воздействия биполярного импульса дефибрилляции Гурвича-Венина // Медицинская техника. 2009. № 6. С. 33-37.
9. Востриков В.А., Горбунов Б.Б., Гусев А.Н., Гусев Д.В., Иткин Г.П., Коньшева Е.Г., Мамкин К.А., Нестеренко И.В., Селищев С.В., Тельшиев Д.В. Сравнение на высокоомных моделях экспериментальных животных эффективности биполярных импульсов дефибрилляции: трапецидальных, прямолинейного и квазисинусоидального импульса Гурвича-Венина // Медицинская техника. 2010. № 6. С. 1-6.
10. Востриков В.А., Горбунов Б.Б., Гусев А.Н., Гусев Д.В., Иткин Г.П., Коньшева Е.Г., Нестеренко И.В., Селищев С.В. Дефибрилляция желудочков сердца: сравнительная эффективность биполярных прямолинейного и квазисинусоидального импульсов на модели животных с высоким сопротивлением грудной клетки // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. 2011. Т. 4. № 3. С. 61-64.
11. Иткин Г.П., Селищев С.В., Невзоров А.М., Филатов И.А., Мальгичев В.Н., Коньшева Е.Г. Разработка и исследование имплантируемого осевого насоса для вспомогательного кровообращения // Биотехносфера. 2011. № 4.
12. Адашкин Л.В., Дозоров К.Н., Стеценко А.Н., Филатов И.А., Иткин Г.П., Коньшева Е.Г., Гусев А.Н., Кузьмин Г.С., Селищев С.В. Разработка носимого блока управления имплантируемым осевым насосом для вспомогательного кровообращения // Биотехносфера. 2011. № 4.
13. Иткин Г.П., Коньшева Е.Г., Шемякин С.Ю., Дозоров К.Н., Кудинов В.Л., Быков И.В., Селищев С.В. Теоретическое и экспериментальное рассмотрение динамических характеристик осевых насосов крови // Вестник трансплантологии и искусственных органов. 2011. № 4. С. 91-97.
14. Иткин Г.П., Селищев С.В. Роторные насосы для искусственного и вспомогательного кровообращения // Медицинская техника. 2010. № 6. С. 39-46.
15. Иткин Г.П., Филатов И.А., Адашкин А.В., Коньшева Е.Г., Розинов А.В., Горбунов Б.Б., Селищев С.В. Многоканальный вычислительный комплекс для исследования и оценки новых биотехнических систем // Вестник трансплантологии и искусственных органов. 2009. Т. XI. № 1. С. 59-65.
16. Коньшева Е.Г., Кудинов В.Л., Дозоров К.Н., Калянин С.А., Кузьмин Г.С. Стендовые исследования имплантируемого осевого насоса крови // Медицинская техника. 2010. № 6. С. 23-29.
17. Мальгичев В.А., Невзоров А.М., Селищев С.В., Иткин Г.П. Подшипниковые узлы осевого насоса крови. Конструктив-

- ные и триботехнические особенности // Медицинская техника. 2010. № 6. С. 20-23.
18. Данилов А.А., Иткин Г.П., Селищев С.В. Развитие методов чрескожного беспроводного энергообеспечения имплантируемых систем вспомогательного кровообращения // Медицинская техника. 2010. № 4. С. 8-15.
 19. Данилов А.А., Маслобоев Ю.П., Терещенко С.А., Титенок С.А. Моделирование чрескожной беспроводной передачи энергии с помощью инфракрасного излучения // Медицинская техника. 2011. № 6. С. 18-21.
 20. Данилов А.А., Иткин Г.П., Устинов А.О. Экспериментальный стенд для исследования беспроводной передачи энергии с помощью индуктивной связи в системах вспомогательного кровообращения // Медицинская техника. 2011. № 6. С. 21-25.
 21. Агеева С.А., Бобринецкий И.И., Неволин В.К., Подгаецкий В.М., Пономарева О.В., Савранский В.В., Селищев С.В., Симунин М.М. Способ наноструктурирования объемных биосовместимых материалов / Патент РФ № 2347740 от 06.09.2007 г.
 22. Бобринецкий И.И., Морозов Р.А., Подгаецкий В.М., Симунин М.М., Яминский И.В. Исследование объемного нанотрубчатого композита методами микроскопии высокого разрешения // Биофизика. 2011. Т. 56. С. 212-218.
 23. Андреева И.В., Баграташвили В.Н., Ичкитидзе Л.П., Подгаецкий В.М., Пономарева О.В., Савранский В.В., Селищев С.В. Исследование механических свойств биосовместимых объемных нанокомпозитов, изготовленных лазерным методом // Медицинская техника. 2009. № 6. С. 1-9.
 24. Ичкитидзе Л.П., Подгаецкий В.М., Пономарева О.В., Селищев С.В. Механические свойства объемного нанокомпозита, полученного при лазерном облучении // Известия вузов. Физика. 2010. № 3/2. С. 125-129.
 25. Ичкитидзе Л.П., Подгаецкий В.М., Селищев С.В. Электропроводный биосовместимый композиционный наноматериал с углеродными нанотрубками // Медицинская техника. 2011. № 6. С. 25-29.
 26. Агеева С.А., Елисеенко В.И., Герасименко А.Ю., Ичкитидзе Л.П., Подгаецкий В.М., Селищев С.В. Исследования биологической совместимости нанокомпозитов, созданных лазерным методом // Медицинская техника. 2010. № 6. С. 35-39.
 27. Ичкитидзе Л.П., Комлев И.В., Подгаецкий В.М., Пономарева О.В., Селищев С.В., Хролова О.Р. Способ лазерной сварки биологических тканей / Патент РФ № 2425700 от 11.01.2010 г.
 28. Базаев Н.А., Гринвальд В.М., Селищев С.В. Математическая модель биотехнической системы гемодиализа // Медицинская техника. 2010. № 3. С. 1-7.
 29. Базаев Н.А., Гринвальд В.М. Аналитическая модель расхода перфузионного роликового насоса гемодиализного аппарата // Приборы. 2010. № 11. С. 45-48.
 30. Базаев Н.А., Гринвальд В.М. Программный обучающий модуль для работы с гемодиализным аппаратом «РЕНАРТ-200» // Медицинская техника. 2010. № 6. С. 32-34.
 31. Данилов А.А., Долгушин С.А., Лукин А.С., Терещенко С.А. Одновременное определение коэффициентов поглощения и рассеяния биологической сильнорассеивающей среды при использовании непрерывного лазерного излучения // Медицинская техника. 2010. № 3. С. 30-34.
 32. Данилов А.А., Селищев С.В., Терещенко С.А. Определение оптических характеристик биологической сильнорассеивающей среды на основе уточненной диффузионной модели переноса излучения // Медицинская техника. 2010. № 1. С. 7-11.
 33. Терещенко С.А., Маслобоев Ю.П., Данилов А.А., Пьянов И.В. Исследование бимодальных временных распределений ультракоротких лазерных импульсов после прохождения через слой рассеивающей биологической среды // Медицинская физика. 2010. № 2. С. 85-90.
 34. Маслобоев Ю.П., Пьянов И.В., Терещенко С.А. Экспериментальное определение условий существования бимодального временного распределения лазерного импульса после прохождения через слой однородной сильнорассеивающей биологической среды // Медицинская техника. 2010. № 6. С. 29-31.
 35. Терещенко С.А., Данилов А.А., Долгушин С.А., Титенок С.А. Определение оптических характеристик биотканей по временному распределению ультракороткого лазерного импульса, прошедшего через однородный рассеивающий слой // Оптика и спектроскопия. 2011. Т. 110. № 4. С. 697-703.
 36. Терещенко С.А., Титенок С.А. Сравнительное исследование диффузионной и осевой моделей прохождения излучения через биологический рассеивающий слой на основе метода Монте-Карло // Медицинская техника. 2011. № 6. С. 11-13.
 37. Терещенко С.А., Долгушин С.А., Титенок С.А. Исследование нестационарных моделей прохождения лазерного импульса через однородный рассеивающий слой // Оптика и спектроскопия. 2012. Т. 113. № 4. С. 474-480.
 38. Терещенко С.А. Трансмиссионная томография пропорциональных рассеивающих сред // Журнал технической физики. 2008. Т. 78. № 5. С. 69-75.
 39. Терещенко С.А., Подгаецкий В.М. Определение характеристик ограничителя интенсивности оптического излучения на основе нестационарного уравнения переноса излучения в нелинейной среде // Квантовая электроника. 2011. Т. 41. № 1. С. 26-29.
 40. Базаев Н.А., Маслобоев Ю.П., Селищев С.В. Оптические методы неинвазивного определения концентрации глюкозы в крови // Медицинская техника. 2011. № 6. С. 29-34.
 41. Базаев Н.А., Пожар К.В., Селищев С.В. Исследование эффективности спектрофотометрического метода неинвазивного измерения концентрации глюкозы в крови // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 1. С. 28-30.
 42. Mironov V., Trusk T., Kasyanov V., Little S., R Swaja R., Markwald R. Biofabrication: A 21st century manufacturing paradigm // Biofabrications. 2009. Vol. 1. № 2. PP. 1-16.

Николай Александрович Базаев,
 канд. техн. наук, ст. научный сотрудник,
 Арсений Анатольевич Данилов,
 канд. физ.-мат. наук, ст. научный сотрудник,
 Александр Юрьевич Герасименко,
 канд. физ.-мат. наук, ст. научный сотрудник,
 Борис Борисович Горбунов,
 ведущий инженер-электроник,
 Юрий Петрович Маслобоев,
 канд. физ.-мат. наук, доцент,
 Дмитрий Александрович Потапов,
 канд. физ.-мат. наук, доцент,
 Дмитрий Викторович Тельшев,
 канд. техн. наук, ст. научный сотрудник,
 Сергей Андреевич Терещенко,
 д-р физ.-мат. наук, профессор,
 Сергей Васильевич Селищев,
 д-р физ.-мат. наук, профессор,
 зав. кафедрой,
 кафедра биомедицинских систем,
 Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
 г. Москва,
 e-mail: bazaev-na@yandex.ru