

МЕДИЦИНСКАЯ ТЕХНИКА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Выходит 6 раз в год

№ 5 (341) 2023

СЕНТЯБРЬ–ОКТАБРЬ

Издается с 1967 г., г. Москва

*К 70-летию профессора С.В. Селищева – первого директора Института БМС,
К 30-летию основания в МИЭТ специальности «Биотехнические и медицинские аппараты и системы»,
К 15-летию работы профессора С.В. Селищева главным редактором журнала «Медицинская техника».*



МИЭТ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



БМС
ИНСТИТУТ
БИОМЕДИЦИНСКИХ
СИСТЕМ



СЕМАРГЛ
против болезней и зла
в теле человека

С.В. Селищев

Эволюция идей Института биомедицинских систем МИЭТ

Аннотация

Рассказывается об эволюции основных научно-технических идей, которые привели к созданию Института биомедицинских систем в Национальном исследовательском университете МИЭТ. Рассмотрены вопросы разработки в Институте БМС дефибрилляторов, систем механической поддержки кровообращения, искусственной почки.

*Там чудеса: там леший бродит,
Русалка на ветвях сидит;
Там на неведомых дорожках
Следы невиданных зверей;
Избушка там на курьих ножках
Стоит без окон, без дверей...*

А.С. Пушкин

Начало эпохи междисциплинарных чудес электричества и физиологии

Начало эпохи современных междисциплинарных чудес электричества и физиологии связано с результатами работ Луиджи Гальвани (1737-1798) и Алессандро Вольта (1745-1827), в частности с их знаменитым спором о природе происхождения электричества: «животном» или «металлическом». В электронной технике приборы для измерения количества электричества называют гальванометрами, а напряжение измеряют в вольтах. В 1924 году Виллему Эйнтховену была присуждена

Нобелевская премия с формулировкой «За открытие техники электрокардиограммы». По сути, эта техника на основе высокочувствительного струнного гальванометра позволяла регистрировать слабые электрические колебания автогенератора сердца и открывала дверь, как показали будущие исследования, в понимание механизмов работы сердца, возникновения режимов фибрилляции, подходам к методам их дефибрилляции.

Пионер телевидения – чуда XX века, Владимир Зворыкин, являлся и пионером в организации международной деятельности в области медицинской электроники. В 1954 году он со-

здал и возглавил Центр медицинской электроники в Рокфеллеровском университете, а в 1959 году, развивая эту идею, основал Международную федерацию медицинской электроники и биологической инженерии (International Federation for Medical Electronics and Biological Engineering).

Предпосылки

В конце прошлого века отсутствие понимания причин возникновения нестабильностей, колебаний при электронно-лучевой сварке металлов существенно мешало ее внедрению в промышленность. Поиском этих причин, что казалось изначально сугубо инженерной задачей, в 1978-1981 гг. занялась небольшая межкафедральная группа исследователей физико-технического факультета МИЭТ: Зуев Игорь Васильевич, к.т.н., доцент кафедры гибридных интегральных схем; Скобелкин Владимир Иванович, д.ф.-м.н., профессор кафедры теоретической экспериментальной физики; Селишев Сергей Васильевич, его аспирант. В результате работы группы родилась идея возникновения автоколебаний температуры поверхности металла в зоне электронно-лучевой сварки, что объясняло возникновение неустойчивостей и колебаний.

Дальнейшее развитие этой идеи продолжилось с 1983 года в Институте металлургии им. А.А. Байкова АН СССР, в лаборатории плазменных процессов в металлургии под руководством академика АН СССР Н.Н. Рыкалина и профессора А.А. Углова. Оно по «неведомой» дорожке привело к исследованию «чудес» колебательных процессов в физике, химии, биологии, медицине, электронике, кибернетике, системном анализе, медицинском приборостроении.

«Общность колебательных процессов, их разнообразие и в то же время их специфическое своеобразие играют существенную роль в установлении внутренних связей между весьма разнородными, на первый взгляд, явлениями. Этим обстоятельством, как мне кажется, и обуславливается главным образом принципиальное значение и важность интересующей нас области» (*Мандельштам Л.* Предисловие к первому изданию классической книги Андропова А.А., Витта А.А., Хайкина С.Э. Теория колебаний. 1937).

Ключевая конференция

Летом 1983 года автору статьи посчастливилось принять участие в международной конференции «Явления самоорганизации в физике, химии и биологии» в Пушино, на Оке, с небольшим докладом на техническую тему. Эта конференция произвела на меня грандиозное впечатление, позволила услышать доклады выдающихся отечественных и зарубежных ученых, которые сталкиваются с явлениями самоорганизации, автоволновыми и автоколебательными процессами в разнообразных областях – как в живых, так и неживых системах. В биологии эти явления выглядят особенно ярко и несут основополагающий характер.

На конференции были представлены доклады легендарных отечественных ученых, в том числе академиков Б.Б. Кадомцева, Я.Б. Зельдовича, А.А. Самарского, А.М. Обухова.

В конференции приняли участие легендарные зарубежные ученые, в том числе Герман Хакен, Илья Пригожин, Вернер Эбелинг, Артур Винфри.

На меня наиболее сильное впечатление произвел доклад Артура Винфри, посвященный динамике электрохимических структур в сердце. Помимо интересных фактов он содержал прекрасные иллюстрации, что в те далекие времена отсутствия современных персональных компьютеров было очень необычно для отечественных презентаций. Через некоторое время А. Винфри опубликовал по этой теме книгу, название которой говорит о многом: *Winfree A.T. When time breaks down: The three-dimensional dynamics of electrochemical waves and cardiac arrhythmias.* Princeton University Press. 1987. 340 p.

Автоколебательные процессы при воздействии концентрированных потоков энергии на материалы

Данное направление продолжало активно развиваться в Институте металлургии им. А.А. Байкова АН СССР. Получен-

ные результаты регулярно публиковались в ведущих отечественных журналах, например в Докладах АН СССР, в том числе и по представлению академика Г.А. Николаева – ректора МВТУ им. Н.Э. Баумана, академика Б.Е. Патона – директора Института электросварки им. Е.О. Патона.

В 1986 году Институтом металлургии им. А.А. Байкова АН СССР и Научно-производственным объединением «Мединструмент» (г. Казань) была создана совместная научная лаборатория лазерно-плазменной обработки медицинского инструментария. В данной лаборатории в 1986-1989 гг. автор статьи был ответственным исполнителем и 14 декабря 1988 г. защитил докторскую диссертацию в специализированном совете Института теплофизики СО АН СССР по специальности «Теплофизика и молекулярная физика» на тему «Автоколебательные процессы при воздействии концентрированных потоков энергии на материалы».

Первые шаги

В 1990 году деятельность по автоколебательным процессам продолжилась в МИЭТ на кафедре теоретической и экспериментальной физики.

В это время было решено выбрать для кафедры новую современную перспективную специальность для обучения студентов. Поэтому с 1 сентября 1993 г. первые 25 студентов начали обучение по специальности «Биотехнические и медицинские аппараты и системы». Она позволяла сформировать гармоничную междисциплинарную среду из инженеров-физиков, инженеров электронной техники, инженеров-приборостроителей, инженеров-кибернетиков, инженеров-биокибернетиков, биологов и медиков.

На этом этапе была организована кооперация в образовательном процессе с кафедрой вычислительной техники МИЭТ (при поддержке профессора В.А. Бархоткина), факультетом фундаментальной медицины, биологическим факультетом МГУ им. М.В. Ломоносова (при поддержке профессора О.С. Медведева).

Базовыми предприятиями-партнерами стали: ВНИИ медицинского приборостроения при кураторстве профессора В.И. Петухова, НИИ «Зенит» при кураторстве профессора А.И. Кобзаря.

В целом становление в МИЭТ новой специальности опиралось на знания и опыт Учебно-методического совета РФ по медико-техническому направлению подготовки специалистов и его председателя профессора Е.П. Попечителяева.

Биологическая и медицинская кибернетика

В 1959 году был создан Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика» при Президиуме АН СССР. Его председатель, легендарный отечественный ученый академик А.И. Берг, являлся и основоположником отечественной школы биологической и медицинской кибернетики, биотехнических систем и технологий, бионики. Результаты ее деятельности отражались и на результатах работы кафедр по подготовке специалистов по медико-техническим направлениям по всей России, в том числе и в МИЭТ.

Масштаб личности А.И. Берга поражает. Русский морской офицер, в том числе до 1922 года командир подводной лодки, профессор, заведующий кафедрой, автор многих книг по радиотехнике, организатор радиовооружения кораблей советского военно-морского флота, адмирал-инженер, организатор развития кибернетики и радиоэлектроники.

Он был инициатором создания в 1943 году и первым директором Центрального научно-исследовательского радиотехнического института (ЦНИРТИ), который сейчас носит его имя, а также одним из инициаторов создания и первым директором Института радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН (ИРЭ РАН).

«Чудеса» физических полей и излучений человека

В МИЭТ 26 февраля 2016 года состоялась лекция легендарного отечественного ученого, академика РАН, директора ИРЭ РАН Ю.В. Гуляева на тему «Акустоэлектроника. Сове-

менное состояние и перспективы развития». По завершении лекции ему в торжественной обстановке был вручен диплом «Почетный профессор МИЭТ» за выдающийся вклад в развитие нашего университета. Ю.В. Гуляев на протяжении многих лет с благожелательным вниманием относится к развитию идей, деятельности Института биомедицинских систем МИЭТ. Мне почетно отметить, что Ю.В. Гуляев был одним из моих официальных оппонентов при защите докторской диссертации.

В 70-е годы прошлого века в ИРЭ РАН были проведены комплексные работы по исследованию физических полей и излучений человека и животных (электрические и магнитные поля, связанные с механической и электрической активностью сердца, легких и других внутренних органов, радио- и инфракрасные тепловые излучения внутренних органов и кожи, хеми- и биолюминесценция тела в оптическом, ближнем ИК- и УФ-диапазонах, акустические сигналы в низкочастотном и инфразвуковом диапазонах, связанные с функционированием внутренних органов), в том числе «чудеса» экстрасенсов Джуны и Кулагинной. Одна врачевала, а другая передвигала предметы. Ничего необычного в их деятельности не нашли.

Становление коллектива

Можно выделить основополагающие персоналии для становления, роста коллектива:

- профессор, д.ф.-м.н. В.М. Подгаецкий – докторскую диссертацию защитил в 1988 году в НИОПИК по специальности «Лазерная физика» на тему «Взаимодействие мощного широкополосного излучения с поглощающими жидкостями»;
- профессор, д.ф.-м.н. С.А. Терещенко – докторскую диссертацию защитил в 1999 году в МИФИ по специальности «Приборы и методы экспериментальной физики» на тему «Томографическая реконструкция физических характеристик поглощающих, рассеивающих и излучающих сред на основе интегральных и интегрально-кодовых методов»;
- профессор, д.ф.-м.н. М.Н. Рычагов – докторскую диссертацию защитил в 2000 году в МГУ им. М.В. Ломоносова по специальности «Акустика» на тему «Реконструкция характеристик стационарных и движущихся сред по данным многопозиционного акустического сканирования»;
- д.т.н. В.М. Гринвальд – докторскую диссертацию защитил в 2012 году в МГТУ им. Н.Э. Баумана по специальности «Приборы, системы и изделия медицинского назначения» на тему «Исследование принципов построения биотехнической системы и разработка аппаратуры экстракорпорального искусственного очищения крови»;
- д.т.н. Н.А. Базаев – докторскую диссертацию защитил в 2021 году в МГТУ им. Н.Э. Баумана по специальности «Приборы, системы и изделия медицинского назначения» на тему «Исследования, разработка и создание автономной носимой аппаратуры для перитонеального диализа»;
- д.т.н. Д.В. Тельшев – докторскую диссертацию защитил в 2021 году в МИЭТ по специальности «Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы)» на тему «Методы и аппаратно-программные средства интеграции мехатронных систем искусственного кровообращения с тканями сердца».

Важная роль в становлении коллектива на первом этапе принадлежит также доцентам А.Я. Балагурову, Ю.П. Маслобоеву, Б.Ф. Мочалову, а в дальнейшем – А.Ю. Герасименко, А.А. Данилову, Л.П. Ичкитидзе, К.В. Пожару, Д.А. Потапову, И.В. Пьянову.

Становление идей

В 1993-2008 гг. осуществлялось активное сотрудничество с ЗАО «ВНИИМП-ВИТА», образованном из Всесоюзного научно-исследовательского института медицинского приборостроения, при поддержке академика В.А. Викторова, профессора Г.А. Кавалерова, которые привлекали сотрудников кафедры к работе Межведомственного научного совета по медицинскому приборостроению Российской академии медицинских наук и Министерства здравоохранения РФ.

С 1995 г. автор статьи начал работать членом редколлегии журнала «Медицинская техника», с 2008 г. – главным редактором. Журнал постоянно издается с 1967 года, входит в базу данных «Scopus», переводится издательством «Springer» на английский язык под названием «Biomedical Engineering».

В 1998 году Д.А. Прилуцкий, являясь первым аспирантом кафедры по специальности «Медицинские приборы и системы», защитил кандидатскую диссертацию на тему «Электрокардиографическая система на основе сигма-дельта аналогоцифрового преобразования». К настоящему времени порядка тридцати выпускников аспирантуры кафедры БМС получили ученые степени кандидатов технических наук. Двое, Н.А. Базаев и Д.В. Тельшев, в 2021 году стали докторами наук.

Дефибрилляторы

С точки зрения электронной техники, сердце человека является электрическим автогенератором. К сожалению, этот автогенератор может давать сбой из-за возникновения фибрилляции (трепетания, рассогласование сокращений участков миокарда) и приводить к внезапной смерти (см. раздел настоящей статьи «Ключевая конференция», ссылку на книгу Артура Винфри). Одно из чудес в рассматриваемой области состоит в том, что дефибрилляцию можно подавить: восстановить нормальный ритм сердца при воздействии на него достаточно мощным электрическим импульсом. Соответствующие приборы называют дефибрилляторами.

К сожалению, несмотря на важную роль таких приборов, длительную историю их исследований во множестве исследовательских центров по всему миру, ясное, приемлемое понимание физического механизма дефибрилляции отсутствует и по настоящее время.

Тем не менее на рубеже XXI века кафедра биомедицинских систем по заказу ПО «Уральский оптико-механический завод» разработала и внедрила в серийное производство новый отечественный дефибриллятор ДФР-2. С 2004 года было произведено более 4 тыс. шт. Данный дефибриллятор зарекомендовал себя как надежное и эффективное медицинское изделие, используемое как в отделениях лечебно-профилактических учреждений, так и в машинах скорой медицинской помощи. Существенная роль в успехе данной работы принадлежит сотрудникам кафедры Б.Б. Горбунову, А.Н. Гусеву, С.Ф. Курикову, Ю.Б. Хлебникову.

Дальнейшим развитием этой деятельности стали разработка и выпуск линейки автоматических наружных дефибрилляторов в АО «Зеленоградский технологический центр медицинской техники». Данные приборы получили как отечественные сертификаты, так и, впервые в России, европейские сертификаты.

Важная роль в успехе этой разработки принадлежит сотрудникам кафедры А.М. Антропову, Б.Б. Горбунову, И.К. Гаврилову, А.Н. Гусеву, А.Ю. Докторову, К.А. Мамекину, И.В. Нестеренко, Д.В. Тельшеву.

Существенно, что при разработке данных моделей под руководством профессора Г.П. Иткина и профессора В.А. Восстрикова в Институте трансплантологии и искусственных органов был проведен комплекс исследований на лабораторных животных эффективности планируемых к применению электрических импульсов дефибрилляции.

Искусственное сердце

Исследования механизмов дефибрилляции на экспериментальных животных стали основой для развития на кафедре нового направления: исследования и разработка искусственных органов – в сотрудничестве с легендарным коллективом академика В.И. Шумакова и профессора Г.П. Иткина.

В СССР в конце 1960-х годов в ОКБ Сухого была создана группа по созданию пневмогидравлического насоса, способного временно заместить естественное сердце человека и поддерживать его жизнедеятельность до того момента, когда появится возможность установить донорское сердце взамен искусственного. В 1974 году, в период пребывания президента США Р. Никсона в Москве, было заключено соглашение между

СССР и США «О совместных исследованиях и разработке искусственного сердца». Приказом Минавиапрома ОКБ Сухого было определено головным исполнителем по разработке искусственного сердца с пневмоприводом. Совместные работы по проблеме искусственного сердца с медиками США велись в течение 20 лет. По состоянию на 2010 год не было создано эффективного имплантируемого человеку протеза всего сердца.

В это время за рубежом появились аппараты, которые являлись не протезом всего сердца, а аппаратом поддержки работы сердца с имплантируемым насосом крови, причем электрическое питание насоса и блок управления находятся вне тела человека, в носимой сумке. По инициативе Г.П. Иткина кафедра взялась за эту сложную разработку. Для ее выполнения в 2009 году был создан консорциум в следующем составе: МИЭТ – головная организация, кафедра БМС, руководитель работ С.В. Селищев; Институт трансплантологии и искусственных органов, биотехническая лаборатория, руководитель работ Г.П. Иткин, и два малых предприятия: одно из них – под руководством А.М. Невзорова, другое – под руководством И.А. Филатова. Следует особо отметить, что в коллектив входил замечательный кардиохирург С.Ю. Шемякин. В 2012 году произошло чудо: первый отечественный аппарат вспомогательного кровообращения АВК-Н «Спутник» был успешно использован для терапии первого отечественного пациента с острой сердечной недостаточностью, возвращения его к практически нормальной жизни.

IEEE – погоня за чудесами для искусственных органов

Институт инженеров электротехники и электроники (IEEE) – крупнейшее международное научно-техническое общество инженеров по нашему направлению деятельности. Академик Ю.В. Гуляев является председателем российской секции IEEE, профессор С.В. Селищев – IEEE Senior Member.

Общество IEEE было создано в 1963 году в качестве правопреемника общества Institute of Radio Engineers (IRE), которое было создано в 1912 году.

В 1962 году отмечали 50 лет IRE. Был подготовлен юбилейный выпуск трудов IRE, в котором наряду с достижениями содержались предсказания на 2012 год.

Текущие успехи в электронике позволяли предсказывать чудесное будущее: «... Почти все органы тела могут быть заменены компактными искусственными органами со встроенными системами управления. К ним относятся сердце, почки, желудок и даже печень, причем в стенки этих органов встроены микроэлектронные компоненты» (профессор Lee V. Lusted).

Однако реальные результаты оказались гораздо скромнее: «... Конечно, ни одно из таких искусственных устройств пока не доступно и не просматривается. Впрочем, трансплантация почек, сердца и печени сейчас почти обычное дело, хотя и очень дорогое...» (профессор Donald A.V. Lindberg, 2000 год).

Отметим, что первую в мире успешную трансплантацию почки выполнил 23 декабря 1954 года Джозеф Мюррей, нобелевский лауреат 1991 года, в Бостоне, США. В нашей стране первую успешную трансплантацию почки человеку выполнил академик Б.В. Петровский в апреле 1965 года. За цикл работ по пересадке почки в клинике Б.В. Петровскому, Н.А. Лопаткину, Ю.М. Лопухину, Г.М. Соловьеву и В.И. Шумакову в 1971 году была присуждена Государственная премия СССР.

Потребность в донорских почках увеличивается с катастрофической скоростью как по всему миру, так и в России. Поэтому необходимо разработать и создать массовое производство искусственных имплантируемых почек. По современным представлениям это наиболее реально сделать на основе технологий микроэлектроники.

Для этих целей в мае текущего года создан европейский консорциум, а в июне этого года создан российско-индийский консорциум с участием МИЭТ.

Сеченовский университет

В марте 2018 года в научно-технологическом парке биомедицины Сеченовского университета в рамках стратегического партнерства с МИЭТ был создан Институт бионических технологий и инжиниринга. Институт биомедицинских систем МИЭТ также был создан в 2018 году.

Это партнерство отражает междисциплинарные традиции развития передовых направлений науки:

- Иван Сеченов (1829-1905), книга «Физиология нервной системы», 1866, Санкт-Петербург;
- Норберт Винер (1894-1964), книга «Кибернетика, или управление и связь в животном и машине», 1948, Массачусетс;
- Уильям Эшби (1903-1972), книга «Введение в кибернетику», 1956, Лондон;
- Аксель Берг (1893-1979), книга «Прогресс биологической и медицинской кибернетики», 1974, редакторы А.И. Берг, С.Н. Брайнес, Москва.

Текущие совместные работы:

- Арсений Данилов, книга «Проектирование и оптимизация энергетических трактов в составе систем беспроводного питания имплантируемых медицинских приборов», 2023, Москва. Первая монография на русском языке, посвященная проблеме беспроводного питания имплантируемых медицинских приборов;
- под руководством Кирилла Пожара специалисты Центра компетенций Национальной технологической инициативы «Сенсорика» на базе МИЭТ завершили клинические исследования первого в мире неинвазивного глюкометра, непрерывно измеряющего уровень глюкозы в крови. Исследования прошли на базе Сеченовского Университета. Результаты тестов подтвердили его эффективность (<https://www.miet.ru/news/145521>);
- под руководством Александра Герасименко и Левана Ичкитидзе в России разработали элементы для создания «электронной кожи».

Ученые МИЭТа и Сеченовского Университета разработали чувствительные датчики из биосовместимого материала, которые могут использоваться для создания «электронной кожи», а также в перспективе позволят отказаться от травмирующей процедуры биопсии. Результаты исследований опубликованы в Micromachines (<https://miet.ru/news/154992>).

Будущие идеи Института биомедицинских систем МИЭТ

На совместном заседании РАН и Курчатовского института говорили о природоподобных технологиях и микроэлектронике. Президент НИЦ «Курчатовский институт» чл.-кор. РАН Михаил Ковальчук 25.04.2023 г. заявил «...Появилась возможность не копировать технически свойства живой системы, а воспроизводить их».

*«О, сколько нам открытий чудных
Готовят просвещенья дух,
И опыт, сын ошибок трудных,
И гений, парадоксов друг,
И случай, Бог изобретатель...»*

А.С. Пушкин

*Сергей Васильевич Селищев,
д-р физ.-мат. наук, директор,
Институт БМС,*

*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»,
г. Москва, г. Зеленоград,
e-mail: sersell@miee.ru*