



## СВАРКА, РЕЗКА И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЖИВЫХ ТКАНЕЙ

Б. Е. ПАТОН, И. В. КРИВЦУН, Г. С. МАРИНСКИЙ, И. Ю. ХУДЕЦКИЙ,  
Ю. Н. ЛАНКИН, А. В. ЧЕРНЕЦ

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. Украина. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

Представлены результаты исследований и разработок ИЭС им. Е.О. Патона в области высокочастотной сварки и родственных технологий для соединения, коагуляции, резки и термической обработки живых тканей, а также рассмотрены вопросы создания специализированного оборудования и инструментов для реализации указанных процессов. Описан опыт применения разработанных технологий и оборудования в практической хирургии, свидетельствующий об их высокой востребованности – на сегодня освоено более 150 различных хирургических методик и успешно выполнено свыше 100 тыс. хирургических операций в самых разных областях хирургии. Представлены данные исследований особенностей реструктуризации живых тканей и образования сварного соединения при воздействии проходящего через них высокочастотного тока. На основе полученных экспериментальных и клинических данных продемонстрирована возможность ткани, подвергнутой действию высокочастотной сварки, поддерживать свою жизнеспособность, восстанавливать физиологические свойства и функции за счет процессов регенерации. Представлены материалы исследований процесса высокочастотной сварки мягких биологических тканей с автоматическим регулированием, обеспечивающего гарантированное получение сварного соединения в широком диапазоне свойств свариваемой ткани. Рассмотрены перспективы дальнейшего развития технологий и оборудования для высокочастотной сварки и термической обработки живых тканей как за счет дальнейшего расширения хирургических сфер использования, так и за счет создания новых многофункциональных аппаратов, сочетающих процессы высокочастотной сварки и конвекционно-инфракрасной обработки живых тканей, в том числе автономных мобильных аппаратов. Библиогр. 39, рис. 18.

*Ключевые слова:* высокочастотная сварка, коагуляция, резка, гипертермическая обработка, живые биологические ткани, хирургия, электрохирургический инструмент

Кроме традиционных областей использования, таких, как соединение и обработка конструкционных и функциональных материалов, сварка и родственные технологии находят все более широкое применение в медицине. Поэтому использование возможностей, предоставляемых новыми технологиями сварки и обработки различных материалов (в том числе биологических тканей) в целях улучшения здоровья человека, а также среды его обитания, является в настоящее время одним из приоритетных направлений научных исследований ИЭС им. Е. О. Патона. На сегодня эти технологии включают:

- высокочастотную сварку живых тканей для соединения и восстановления жизнедеятельности органов человека и животных;
- гипертермические способы сварки, резки и обработки живых биологических тканей;
- использование материалов с эффектом памяти формы для изготовления имплантатов, протезов и специальных хирургических инструментов;
- микроплазменное напыление биокерамических покрытий на эндопротезы;
- парофазную электронно-лучевую технологию получения композиционных наноматериалов для целенаправленной транспортировки и усиления действия лекарственных препаратов в живом организме;

- пароплазменные технологии переработки медицинских отходов.

В данной работе остановимся на первых двух технологиях и рассмотрим результаты выполненных в последние годы в ИЭС им. Е.О.Патона исследований и разработок оборудования и процессов высокочастотной сварки, а также родственных технологий для соединения, резки, коагуляции и обработки живых биологических тканей.

### **Высокочастотная сварка живых тканей.**

Историю электрохирургии обычно связывают с открытием тепловых свойств электричества в начале XVIII века, а также с изобретением Беккерелем электроножа, конец проволоки которого нагревался с последующим прижиганием тканей.

Первые свидетельства применения высокочастотного электро-коагуляционного оборудования в медицине связаны с именами d'Arsonval, Tesla, Cushing, Bovie и насчитывают уже более 100 лет. В течение многих лет выпускалась и совершенствовалась аппаратура, которая позволяла разрушать опухоли, удалять поврежденные ткани, коагулировать поверхности ран и др. В настоящее время на мировом рынке представлены многочисленные высокочастотные электрохирургические аппараты, выпускаемые такими ведущими производителями как «Valleylab», подразделение корпора-



ции «Covidien» (США), «Ethicon», подразделение компании «Johnson&Johnson» (США), KLS Martin Group и ERBE (Германия) и др. [1–4]. Выпускаются подобные аппараты и в Украине, например ЗАО «НИИ прикладной электроники» (Киев) [5]. Однако, решить проблемы получения надежных соединений живых биологических тканей и восстановления жизнедеятельности органов человека и животных способами электрохирургии стало возможным только в последние годы, используя технологии высокочастотной сварки. Сварка живых тканей стала приоритетной в совместной работе специалистов ИЭС им. Е. О. Патона с рядом медицинских учреждений Украины, начатой еще в начале 90-х годов прошлого века.

Способ высокочастотной сварки живых тканей (ВЧ СЖТ), разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона в тесном сотрудничестве с Международной ассоциацией «Сварка», компанией CSMG (США) и ведущими медицинскими организациями Украины, показал свою эффективность и успешно используется в медицинской практике уже более 10 лет.

За это время освоено более 150 различных хирургических методик и успешно выполнено свыше 100 тыс. хирургических операций в таких областях как общая и абдоминальная хирургия, травматология, пульмонология, проктология, урология, маммология, оториноларингология, гинекология, офтальмология и др. По отзывам хирургов [6], данный способ весьма перспективен при трансплантации различных органов. На сегодня, по нашей оценке, в Украине на аппаратах, разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона, выполняется в среднем от 15 до 20 тыс. операций в год. Безусловным лидером здесь является Донецкий противоопухолевый центр (руководитель Г. В. Бондарь) [7].

Чрезвычайно перспективно использование новой техники и технологий в ветеринарии как для хирургического лечения и обработки домашних и диких животных (удаление опухолей, кастрация и пр.), так и для санитарной обработки городов (стерилизация бродячих животных) [8].

Способ ВЧ СЖТ обеспечивает:

- бескровное, быстрое, удобное для хирурга и малотравматичное для пациента выполнение оперативных вмешательств, надежный гемостаз;
- снижение кровопотерь более чем на 50 %;
- сокращение продолжительности операций на 20...50 %;
- высокую абластичность проведения операций;
- отсутствие нагноений;
- быструю и полноценную послеоперационную реабилитацию;
- возможность хирургического лечения больных, которые считались неоперабельными.

Преимущества ВЧ СЖТ подтверждены много-

численными отзывами ведущих хирургов, а также неоднократно отмечались в докладах, представленных на конференциях по сварке живых тканей, регулярно проводимых в ИЭС им. Е. О. Патона [9–11].

Для дальнейшей интенсификации работ в области электросварки живых тканей и в соответствии с совместным решением Главного управления здравоохранения и медицинского обеспечения Киевской городской госадминистрации, Национальной академии наук Украины, Национальной академии медицинских наук Украины и Национальной медицинской академии последипломного образования им. П. Л. Шупика в 2011 г. на базе Киевской городской клинической больницы № 1 создан Киевский городской лечебный учебно-научно-исследовательский центр электросварочной хирургии и новых хирургических технологий (руководитель С. Е. Подпрятков) [12].

Область распространения аппаратов конструкции ИЭС им. Е. О. Патона для ВЧ СЖТ (более 150) охватывает практически все регионы Украины, а также некоторые страны ближнего и дальнего зарубежья. Аппараты применяются в Российской Федерации и Болгарии, первая партия аппаратов поставлена в Китай. Интерес к разработкам проявляют такие страны, как США, Индия, Вьетнам, Польша, Македония, страны Балтии и др.

В последние годы западные производители в перечне функциональных возможностей своего оборудования также начали употреблять термин «сварка» [13]. Следует, однако, отметить, что эта функция относится в основном лишь к процедуре перекрытия сосудов, а по количеству и разнообразию хирургических методик с использованием высокочастотной электросварки Украина, безусловно, является мировым лидером [14].

Практической основой для реализации процесса ВЧ СЖТ, как и любой другой технологии, служат соответствующие оборудование и инструментарий. Начиная с первых аппаратов, разработанных еще в середине 90-х годов прошлого века, на сегодня в ИЭС им. Е. О. Патона создан широкий спектр специализированной аппаратуры [15].

В настоящее время в ИЭС им. Е. О. Патона выпускаются и реализуются аппараты ЕК-300М1 различных модификаций (разработка прошлых



Рис. 1. Универсальный аппарат для сварки живых тканей ЕКВ3-300 («ПАТОНМЕД»)



Рис. 2. Участок производства аппаратов для ВЧ СЖТ в НТК «ИЭС им. Е. О. Патона»: а – входной контроль и наладка элементов, узлов; б – сборка и программирование аппаратов

лет) и новый аппарат ЕКВЗ-300 «ПАТОНМЕД» (рис. 1) [16].

Универсальный аппарат ЕКВЗ-300 прошел клинические испытания, государственную регистрацию и успешно используется в хирургической практике более чем 20 медицинских учреждений Украины. Эти аппараты поставлены в Китай для оценки и демонстрации нового способа, что послужит основой для совместного производства данной аппаратуры как для китайского рынка, так и рынков других стран.

При разработке аппарата ЕКВЗ-300 собран опыт, накопленный в ходе эксплуатации ранее разработанного оборудования, и, по возможности, учтены рекомендации и предложения хирургов различных специальностей. ЕКВЗ-300 обеспечивает работу в следующих режимах: резание, коагуляция, автоматическая сварка. Имеется возможность выбора алгоритмов работы и рабочих параметров процесса в зависимости от видов операций и требований хирургов. Возможны адапта-

ция, изменение и ввод дополнительных программ по желанию пользователя. Аппарат работает на двух рабочих частотах: 66 и 440 кГц с контролируемой мощностью. Предусмотрено одновременное подключение двух инструментов по выбору хирурга. Аппарат комплектуется базовым набором электрохирургических инструментов (пинцеты и зажимы). Возможна комплектация дополнительными инструментами для открытой и лапароскопической хирургии.

Данный аппарат работает со всеми инструментами для ВЧ СЖТ, созданными в ИЭС им. Е. О. Патона на сегодня. Он успешно испытан при проведении операций в различных областях хирургии, включая общие полостные операции, пульмонологию, урологию, маммологию, офтальмологию и др. Проводятся операции со сваркой (перекрытием) сосудов, резекцией легких и печени, удалением почки, кишечного анастомоза и многие другие.

В научно-техническом комплексе (НТК) «Институт электросварки им. Е. О. Патона» создано производство, позволяющее как полностью удовлетворять потребности Украины в данном виде оборудования, так и поставлять его на экспорт (рис. 2).

Дальнейшая разработка оборудования для сварки живых тканей, состоящего из собственно аппарата (электронного блока) и соответствующего инструментария с соединительными кабелями, связана, прежде всего, с совершенствованием самих аппаратов, повышением их надежности, эргономичности, удобства в работе и обслуживании,

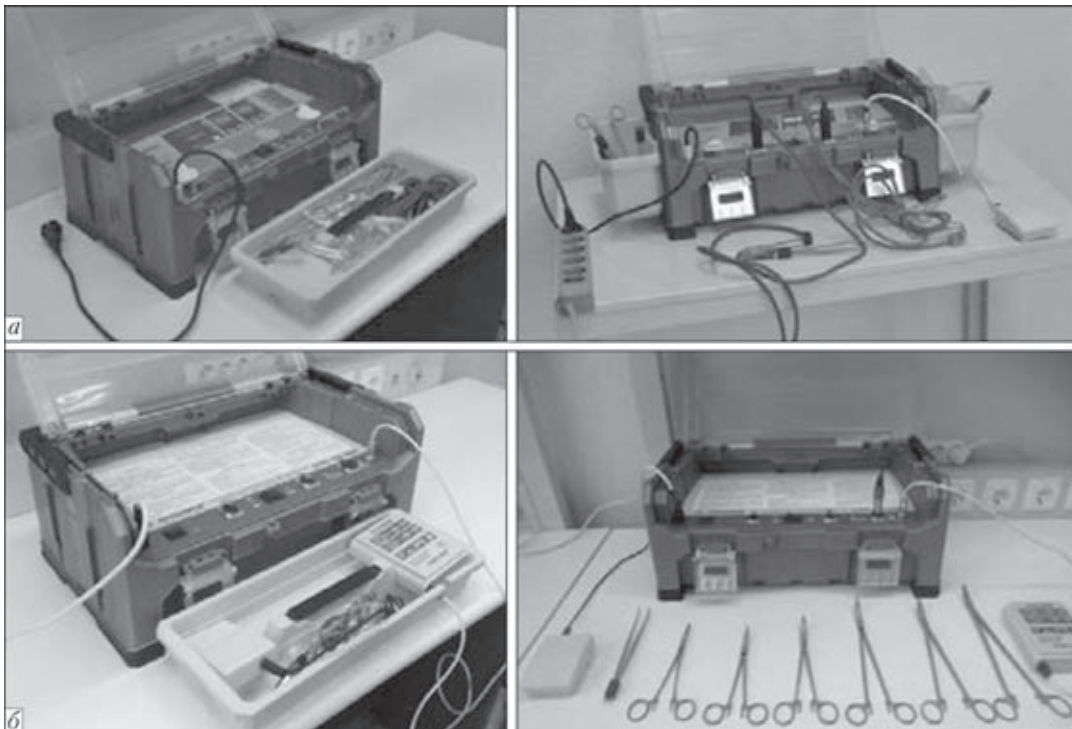


Рис. 3. Универсальные мобильные аппараты для ВЧ СЖТ со встроенным (а) и выносным (б) пультом управления



Рис. 4. Базовые инструменты для ВЧ СЖТ: биполярные электрохирургические зажимы (а) и пинцеты (б)

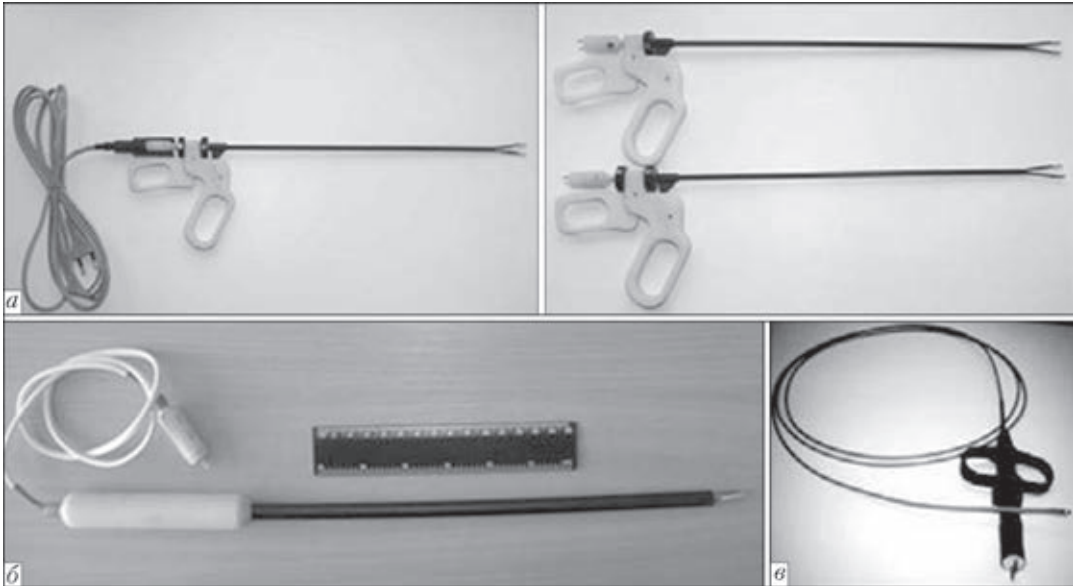


Рис. 5. Биполярные лапароскопические зажимы (а), щуп типа «ложка» (б) и гибкий эндоскопический инструмент (в)

адаптации к потребностям хирургов. На данном этапе необходима разработка нового программного продукта, ориентированного на отдельные хирургические методики и потребности пользователей, а также новых систем автоматического управления процессом. Необходимо также создавать новое специализированное оборудование для отдельных областей хирургии (офтальмология, сердечно-сосудистая хирургия, нейрохирургия и пр.) [15].

Кроме того, настоятельно требуется разработка мобильных систем, предназначенных для автоном-

ной работы (станции скорой помощи, санитарная авиация, медицина катастроф и пр.). Прототипом такого оборудования могут служить новые, созданные на базе ЕКВЗ-300 аппараты ЕКВЗ-300М (рис. 3, а) и ЕКВЗ-300МДУ (рис. 3, б) [15].

Не менее важен для ВЧ СЖТ соответствующий инструментарий. На сегодня разработаны и выпускаются по кооперации многие типы электросварочных хирургических инструментов, в основном базовых (рис. 4). Все шире используются и инструменты различного типа для лапароскопической хирургии (рис. 5).

Кроме базового, на практике применяются и различного вида специализированные инструменты. В качестве примера можно привести многочисленные инструменты, разработанные для нужд отоларингологии (рис. 6) [17].

К сожалению, следует отметить, что, несмотря на определенные успехи, разработка и выпуск нового инструмента нужной номенклатуры и в необходимых объемах все еще не удовлетворяют существующих потребностей.

Одновременно с разработкой оборудования, в ИЭС им. Е. О. Патона при тесном контакте с ведущими медицинскими и научно-техническими учреждениями Украины и других стран непрерывно

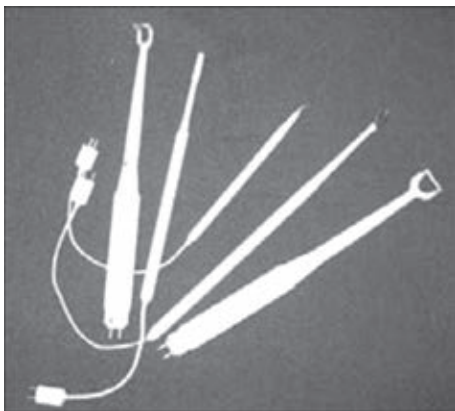


Рис. 6. Инструменты для ВЧ СЖТ в отоларингологии

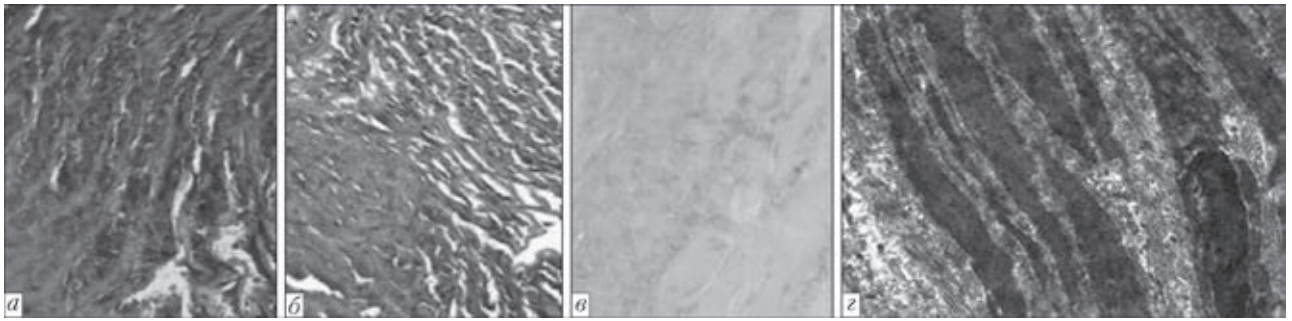


Рис. 7. Изменения структуры, происходящие в стенке артерии при ее перекрытии: *а* — переориентация токопроводящих структур вдоль направления прохождения тока, а токонепроводящих — поперек; *б* — образование щелей и волнистости; *в, з* — сближение и слияние токопроводящих структур с образованием однородной массы — сварного соединения

ведутся работы по исследованию поведения живых тканей различных типов при прохождении через них токов высокой частоты, разработке на основании данных исследований новых алгоритмов работы оборудования и созданию новых хирургических методик.

В результате исследований, проведенных совместно с Киевским центром электросварочной хирургии (С. Е. Подпратов и С. Г. Гичка), впервые установлены особенности реструктуризации живых тканей и образования сварного соединения при воздействии проходящего через них высокочастотного тока [18]. Определены следующие

фазы реструктуризации:

- отделение токопроводящих структур (белков или их комплексов в составе коллагеновых и мышечных волокон, мембран тканей и внутриклеточных органелл) от токонепроводящих (жиров, глюкозаминогликанов как в межтканевом пространстве, так и внутри клетки);
- переориентация токопроводящих структур вдоль направления прохождения тока, а токонепроводящих — поперек;
- образование щелей между токопроводящими структурами одновременно с возникновением их волнистости;

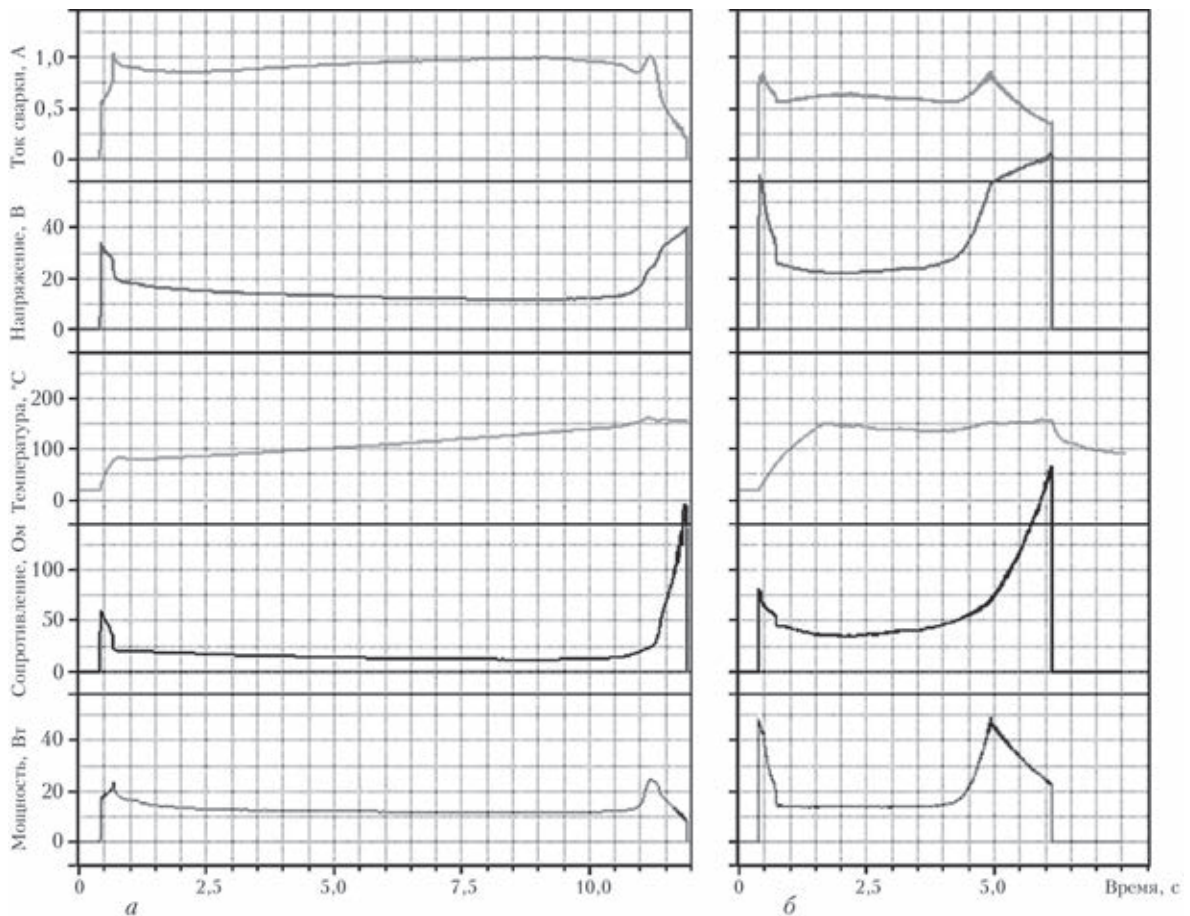


Рис. 8. Осциллограммы средних значений сварочного тока и напряжения, температуры в центре сварного соединения, электрического сопротивления ткани между электродами, мощности, выделяемой в свариваемой ткани: *а* — кишка; *б* — мышечная ткань



▪ сближение токопроводящих структур и их слияние друг с другом с образованием однородной массы, которая и является электросварочным швом.

В качестве примера на рис. 7 показаны изменения структуры, происходящие в стенке артерии при ее перекрытии.

Совместно с российскими организациями – Институтом теоретической и экспериментальной биофизики РАН и Институтом биофизики клетки РАН (г. Пущино), а также НИЦ «Курчатовский институт» (г. Москва) способом рентгеновской дифракции с использованием синхротронного излучения проведено исследование влияния высокочастотной электрохирургической сварки на структуры различных биологических тканей. На основе полученных экспериментальных и клинических данных продемонстрирована возможность ткани, подвергнутой действию ВЧ-сварки, поддерживать свою жизнеспособность, восстанавливать физиологические свойства и функции за счет процессов регенерации.

Отработанные в процессе многолетней клинической практики рабочие режимы электросварочного воздействия в физиологическом диапазоне позволили зарегистрировать следующие структурные изменения на молекулярном и наноструктурном уровнях. Показано, что при ВЧ-сварке более лабильные глобулярные белки претерпевают тепловую денатурацию: повышение температуры вызывает структурный переход типа «глобула-клубок», в результате чего формируются клееподобные субстанции. Способ склеивания широко распространен в хирургии. Для этого используют специализированные медицинские клеи или белковые препараты, которыми покрывают места соединения поврежденных структур, как, например, альбумином при лазерной коагуляции. Преимущество способа ВЧ СЖТ (рис. 8) в том, что удается избежать присутствия инородного материала и проблем, связанных с иммунной несовместимостью [19].

В последние годы в ИЭС им. Е. О. Патона проведены исследования процесса высокочастотной сварки мягких биологических тканей как объекта автоматического регулирования. Выполнены мно-

гочисленные эксперименты с записью и компьютерной обработкой электрических и физических параметров процесса ВЧ СЖТ. Показано, что при прохождении электрического тока через ткань между электродами температура ткани в центре сварного соединения быстро повышается до температуры коагуляции белков и денатурации клеток (60 °С), при этом электрическое сопротивление ткани падает в 2,5...3 раза. Затем температура постепенно повышается до 150...180 °С.

Происходит обезвоживание ткани с увеличением ее сопротивления. Вследствие этого поля электрического сопротивления, электрического тока и температуры становится неоднородными. Ток преимущественно протекает по участкам с более низким на данный момент сопротивлением. Когда вся ткань между электродами полностью обезвоживается, ее интегральное сопротивление резко возрастает, что является признаком гарантированно сформированной сварной точки и сигналом к окончанию сварки. Дальнейший нагрев приводит лишь к нежелательной карбонизации ткани.

На основе полученных представлений о физических процессах, протекающих при сварке, разработана математическая модель сварки мягких биологических тканей. Выявлены физические и соответствующие им электрические показатели, характеризующие окончание формирования качественного сварного соединения. В соответствии с этой моделью разработан алгоритм автоматического регулирования процесса сварки, обеспечивающий гарантированное получение сварного соединения в широком диапазоне изменения свойств свариваемой ткани.

Разработан принципиально новый сварочный аппарат, реализующий этот алгоритм. Параметры режима сварки в нем устанавливаются и поддерживаются автоматически по результатам идентификации системой типа ткани, ее состояния и т.п. По желанию хирург имеет возможность устанавливать интенсивность режима сварки – «жесткий» или «мягкий» режим.

Эти и другие исследования легли в основу разработки новых алгоритмов работы аппаратов для сварки живых тканей, один из которых схематически представлен на рис. 9. В результате использования предложенного алгоритма достигается оптимальное воздействие ВЧ-тока на оперируемую ткань, что в конечном результате приводит к получению высококачественного соединения [20]. Конкретные параметры назначаются исходя из конкретных условий проведения хирургических вмешательств.

Как конкретный результат применения новых алгоритмов работы можно отметить следующее. Вместе с врачами Киевского центра электросва-

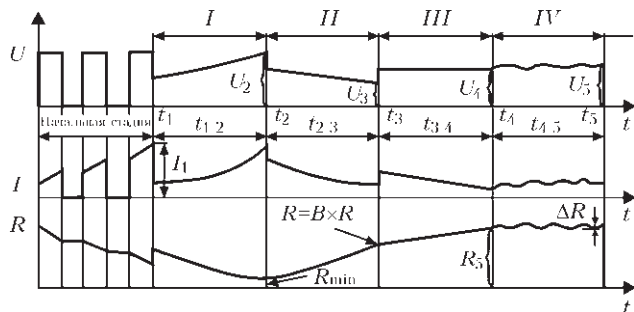


Рис. 9. Типовой алгоритм сварки живой ткани [20]



рочной хирургии с использованием стандартных аппарата ЕКВЗ-300 («ПАТОНМЕД») и инструмента в клинике достигнуто перекрытие артерий диаметром до 8 мм и вен диаметром до 11 мм [12]. Впервые достигнуто формирование электросварного шва паренхимы печени. Получены позитивные результаты при лечении сахарного диабета хирургическим путем с использованием технологии электросварки живых тканей в открытом и лапароскопическом вариантах. Отработана и успешно применяется на практике новая технология позадилобковой простатэктомии при хирургическом лечении аденомы простаты [21]. Данная технология обладает целым рядом преимуществ по сравнению с существующей, что позволяет охарактеризовать ее как одну из наиболее перспективных при лечении данного, весьма распространенного заболевания.

Перспективным представляется применение способов высокочастотной электросварки в кардиохирургии. Для расширения возможностей применения ВЧ-сварки в указанной области хирургии и создания соответствующего оборудования был создан Межведомственный центр «Сердечно-сосудистой инженерии», в который вошли специалисты ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ, Национального института сердечно-сосудистой хирургии (НИССХ) им. Н. М. Амосова АМНУ и Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт».

В рамках этого центра ведутся работы по созданию специализированной аппаратуры, инструментария и технологий: кардиохирургического инструмента для трансмуральной абляции проводящих путей сердца, диатермокоагуляции тканей и остановки кровотечений, инструмента для проведения кардиохирургических операций с одновременным резанием и коагуляцией и другие [22]. Разработаны опытные образцы указанного инструмента, которые успешно прошли предварительные испытания (рис. 10) [23].

Планируются работы по дальнейшему совершенствованию аппаратуры и инструмента в соответствии со спецификой сердечно-сосудистой хирургии, а также разработка и внедрение новых методик операционных вмешательств на базе НИССХ им. Н. М. Амосова и других кардиохирургических учреждений Украины.

Следует отдельно отметить работы по сварке живых тканей в офтальмологии, проводимые совместно со специалистами Института глазных болезней и тканевой терапии им. В. П. Филатова АМНУ (г. Одесса). Так, совместно созданная технология приваривания сетчатки в настоящее время является одной из наиболее эффективных. На сегодняшний день в офтальмохирургической



Рис. 10. Опытные образцы инструмента для проведения кардиохирургических операций: *а* — биполярный ВЧ-электрод для проведения операций с одновременным резанием ткани и коагуляцией; *б* — биполярный зажим для трансмуральной абляции проводящих путей сердца

практике указанного института ВЧ-электросварка применяется достаточно широко [24–26].

В частности, ВЧ СЖТ применяется во время энуклеации (удалении глазного яблока) у больных с внутриглазными новообразованиями, злокачественной вторичной неоваскулярной глаукомой и др. В режиме «Резка» выполняется отсечение прямых мышц глазного яблока от склеры, пересечение сосудисто-нервного пучка, в режиме «Сварка» — адаптация краев конъюнктивального разреза.

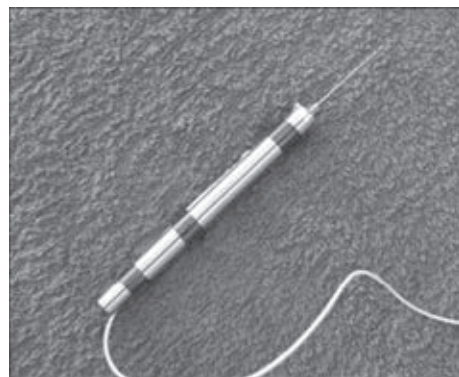


Рис. 11. Инструмент для ВЧ-сварки в офтальмологии

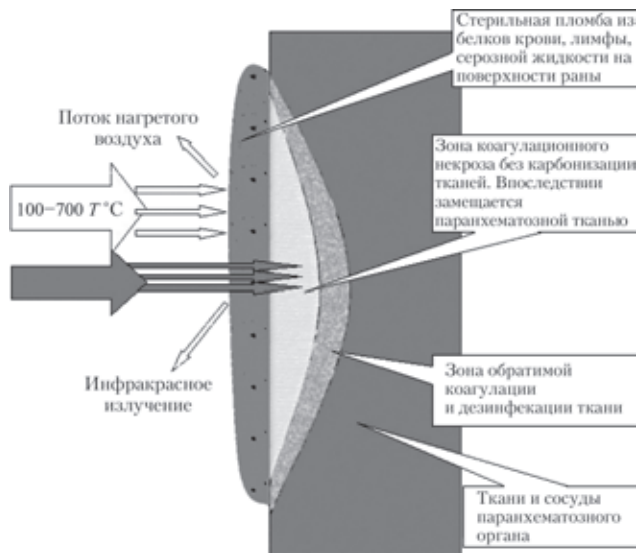


Рис. 12. Основные эффекты бесконтактного взаимодействия КИ-потоков тепла и живых тканей

В хирургии сетчатки и стекловидного тела электросварка применяется у больных с отслоением сетчатки, диабетической ретинопатией (одно из наиболее тяжелых осложнений сахарного диабета) и внутриглазными новообразованиями.

При операциях используются оригинальные параметры модифицированных для офтальмологии аппаратов, сконструированных в ИЭС им. Е. О. Патона и совместно разработанные оригинальные инструменты (рис. 11).

Кроме того, выполняются экспериментальные исследования по следующим направлениям:

девитализация злокачественных новообразований сосудистой оболочки. Новый способ позволит повысить эффективность лечения больных злокачественными внутриглазными новообразованиями за счет повышения качества абластики;

трабеэктомия. Электросварка позволит повысить эффективность лечения больных вторичной неоваскулярной глаукомой за счет повышения качества гемостаза при пересечении трабекулы;

хирургия роговицы (послойная кератопластика). ВЧ СЖТ позволит повысить качество послойной пересадки роговицы за счет бесшовной фиксации роговичного трансплантата.

Одновременно в ИЭС им. Е. О. Патона успешно проводились и продолжают работы по другим направлениям использования ВЧ СЖТ и родственных технологий в медицине. К их числу относят способы бесконтактной термохирургии. Представим эти работы более подробно.

**Гипертермические способы сварки, резки и обработки живых тканей.** В 2001 г. КБ «Южное» и ИЭС им. Е.О.Патона совместно разработали плазменный хирургический комплекс «Плазмамед» [27]. Тем самым было положено начало развитию в Украине новой отрасли медицины — бесконтактной гипертермической хирургии.

На первом этапе была создана аппаратура, которая с помощью струи низкотемпературной аргоновой плазмы осуществляет резку паранхиматозных тканей и остановку внутриранных кровотечений. Получена положительная медико-техническая оценка этой аппаратуры и разработана методика плазменной сварки живых тканей кишечника и желудка, а также способ соединения краев ран паранхиматозных органов.

В развитие этих исследований ИЭС им. Е.О.Патона совместно с Национальным институтом хирургии и трансплантологии им. А.А.Шалимова разработали способ и аппаратуру для конвекционно-инфракрасной (КИ) обработки и сварки живых тканей. Этот способ отличается простотой, доступностью созданной для него аппаратуры, а также использованием вместо аргона окружающего воздуха. Новизна разработок подтверждена патентами Украины [28–31]. Данный способ обеспечивает надежный гемостаз, возможность формирования пленок коагулированной крови на поверхности ткани, отсутствие термического поражения паранхимы органа, возможность безопасной работы в области крупных сосудов и полых органов (рис. 12).

Проведены проверки основных конструктивных и программных решений этой аппаратуры. Созданы и испытаны опытные образцы аппаратов КИ-обработки живых тканей и инструментов к ним. Для использования в полевых условиях разработана линейка аппаратов: полнофункциональный ТПБ-65, бюджетный ТПБ-65Б, автомобильный ТПБ-65Авт, беспроводной ТПБ-65Ак (рис. 13). Для стационарных операционных разработаны аппараты: полнофункциональный ТПБ-180, полнофункциональный со встроенным блоком бесперебойного питания ТПБ-180<sup>UPS</sup>, бюджетный ТПБ-180Б (рис. 14).

Большинство аппаратов могут работать автономно и использовать в качестве источников питания бортовую сеть автомобиля, полевые электростанции, а аппарат ТПБ-200ВЧ может также выполнять манипуляции высокочастотной резки и коагуляции живых тканей.

Доклинические исследования КИ-аппаратуры и методик ее применения проведены на базе Национального института хирургии и трансплантологии им. А.А.Шалимова с участием специалистов Украинской военно-медицинской академии и хирургов Узловой больницы 1 ГТОО ЮЗЖД.

Исследования в области КИ-обработки живых тканей в хирургии показали перспективность этого способа, особенно в условиях инфекционно-осложненных оперативных вмешательств. Данный способ был модифицирован для остановки кровотечений и профилактики развития инфекции при огнестрельных ранениях (рис. 15) [32].



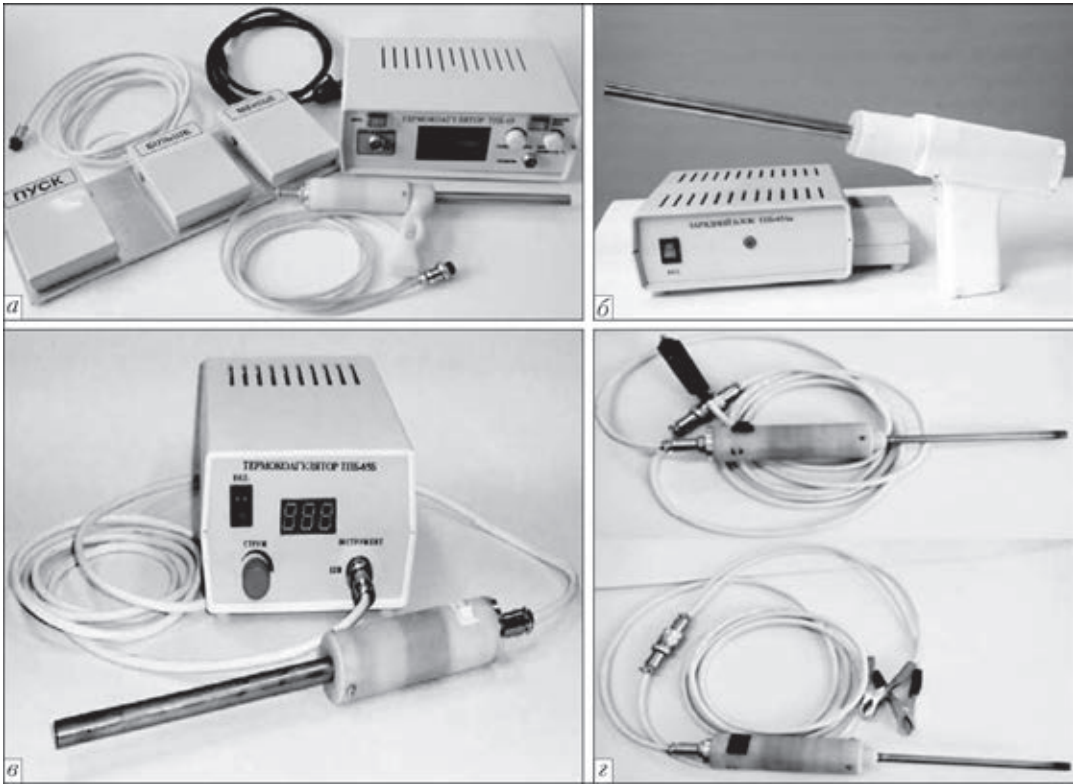


Рис. 13. Аппараты КИ-обработки живых тканей: а — ТПБ-65; б — ТПБ-65Ак; в — ТПБ-65Б; г — ТПБ-65Авт

Установлена высокая эффективность способа независимо от конкретной аппаратной реализации при остановке кровотечения из сосудов диаметром до 3 мм, при кровотечениях из поврежденных паренхиматозных органов, губчатых костей,

санации инфицированных и хронических гнойных ран [33, 34].

В качестве материала для инфицирования в опытах на лабораторных животных (крысы, кролики, свиньи) применялась смесь устойчивых к

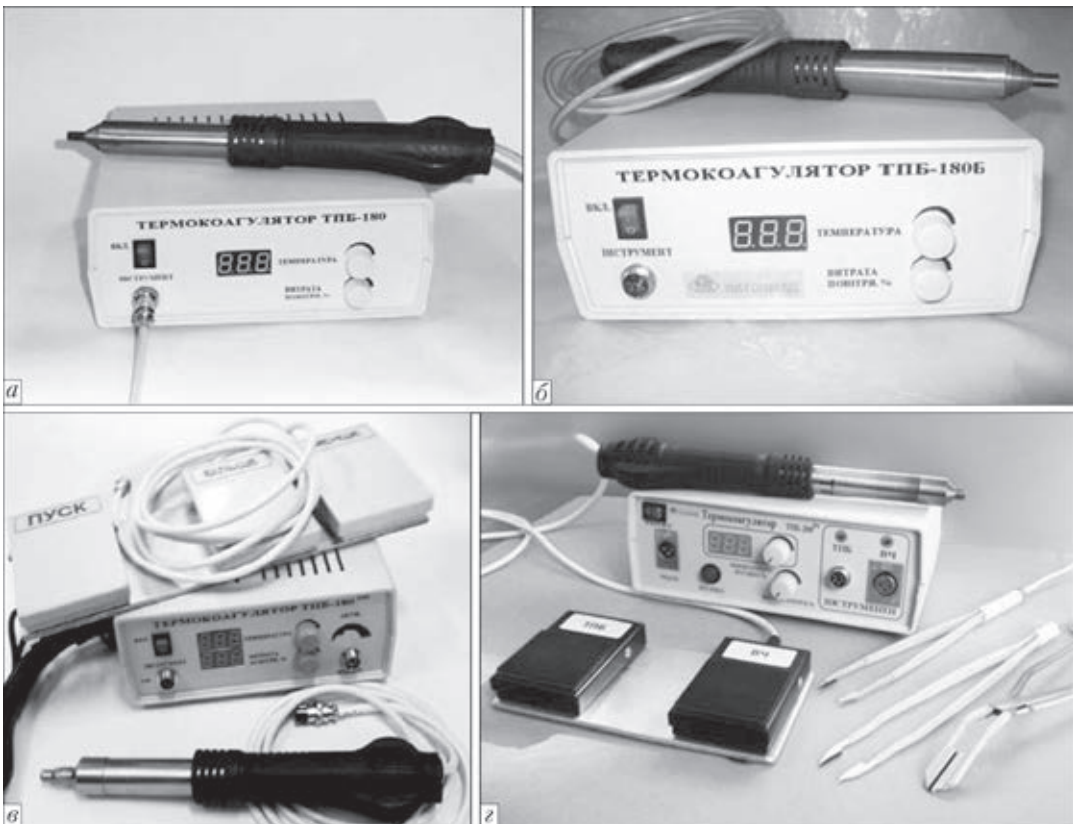


Рис. 14. Аппараты КИ-обработки живых тканей для стационарных операций: а — ТПБ-180; б — ТПБ-180Б; в — ТПБ-180<sup>UPS</sup>; г — ТПБ-200ВЧ



Рис. 15. Хирургическая обработка инфицированной огнестрельной раны КИ-потоком

антибиотикам культур микроорганизмов (клинических штаммов), состоящая из кишечной палочки, пневмонийной клебсиелы, синегнойной палочки, золотистого стафилококка, фекального энтерококка, грибка Кандида. КИ-способ обработки ран успешно прошел доклинические испытания и, по мнению многих ведущих хирургов, целесообразно его широкое внедрение в хирургическую практику. В настоящее время выполнено более 200 оперативных вмешательств с использованием способа КИ-обработки ран и остановки паренхиматозных кровотечений.

С помощью такой аппаратуры возможно оказание первой врачебной помощи пострадавшим в авариях и катастрофах как в полевых условиях, в непосредственной близости от места получения травмы, так и в стационарах. КИ-аппаратура существенно повышает эффективность специализированной и высокоспециализированной хирургической помощи, особенно при политравме и инфекционно-осложненных хирургических вмешательствах [35, 36]. КИ-технология позволяет провести остановку кровотечения из паренхиматозных органов, губчатых костей и сосудов диаметром 1...3 мм, санацию инфицированных и хронических гнойных ран, профилактику гнойной инфекции при боевых травмах, сварку тканей ор-

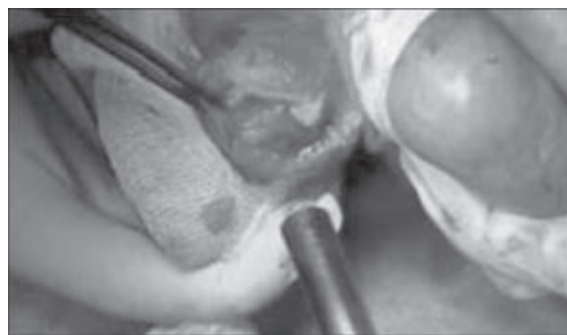


Рис. 16. Остановка кровотечения КИ-коагулятором и санация инфицированной раны после ампутации фаланги пальца

ганов желудочно-кишечного тракта, коагуляцию тканей для проведения бескровного рассечения, профилактику рецидивов и развития метастазов при удалении опухолей (рис. 16).

Наряду с указанными применениями КИ-способа сварки и обработки живых тканей начата разработка гипертермического метода для уничтожения злокачественных опухолей и метастазов, что является актуальным и перспективным направлением исследований.

Создание многофункциональных аппаратов, сочетающих процессы высокочастотной сварки и КИ-обработки живых тканей, является одной из важных задач при разработке и внедрении нового поколения электротермохирургического оборудования. Первые макетные образцы такого оборудования на базе ЕК-300М1 (рис. 17) проходят сейчас всесторонние клинические испытания. Разработаны макетные образцы КИ-инструментов для аппаратов ЕКВЗ-300 «ПАТОНМЕД». Таким образом, в перспективе большинство высокочастотных аппаратов для сварки живых тканей будут иметь функции КИ — обработки тканей. По отзывам хирургов, сочетание указанных процессов в одном многофункциональном аппарате позволяет выполнять с его помощью до 80 % стандартных хирургических манипуляций [37, 38].

Отдельным высокоперспективным направлением работ ИЭС им. Е. О. Патона является разработка комплексных медицинских технологий, направленных на решение некоторых медицинских



Рис. 17. Многофункциональные аппараты для высокочастотной сварки и КИ-обработки живых тканей на базе ЕК-300М1



проблем. Таких как реконструктивно-восстановительная хирургия, кардио-сосудистая хирургия, офтальмология [39]. Решение этих проблем требует привлечения специалистов различных направлений, отделов и даже других институтов.

Проблема реконструктивно-восстановительной хирургии охватывает материалы, технологии, аппаратуру, хирургические методики, используемые в ортопедии, травматологии, челюстно-лицевой хирургии, стоматологии для повышения эффективности оперативных вмешательств, сокращения сроков восстановления целостности и функций опорно-двигательного аппарата. Отдельные направления касаются также протезирования, онкологии, нейрохирургии и вертебрологии (в части восстановления целостности костей, межпозвоночных дисков, обеспечения подвижности позвоночника).

Например, в ходе оперативного вмешательства по поводу открытых переломов, для получения операционного доступа, остановки кровотечения из крупных сосудов, сваривания отдельных элементов мягких тканей используют высокочастотную сварку живых тканей. Санацию первично инфицированной раны и остановку кровотечения из губчатых костей проводят КИ-коагулятором. Для остеосинтеза используют композиты титана, элементы из биоактивной керамики – биосилата, гидроксиапатитов,  $\beta$ -трикальцийфосфата. Они образует костно-керамический блок, который постепенно замещается полноценной костью. Специальные технологии заполнения дефектов кости гидроксиапатитами с остеокондуктивными и остеоиндуктивными добавками, полученными с использованием нанотехнологий, позволяют существенно ускорить процесс восстановления кости в зоне перелома.

Комплексное использование термохирургических технологий и новых материалов для остеосинтеза и протезирования позволяет проводить одноэтапные реконструктивные операции без извлечения элементов остеосинтеза после восстановления кости.

Перечисленные преимущества и достоинства новых процессов сварки, резки и термической обработки живых биологических тканей позволяют прогнозировать их широкое применение. В перспективе, по мнению авторов, аппараты для высокочастотной сварки и КИ-обработки живых тканей должны стать неизменным атрибутом каждой операционной, каждого операционного стола.

1. <http://valleylab.com/product/es/>.
2. <http://www.ethicon.com/emea/ua/healthcare-professionals/>.
3. <http://www.klsmartin.com/products/electrosurgery/>.
4. <http://www.erbe-med.com/de/medical-technology/public/Products/Electrosurgery>.
5. <http://nii-prikladnoj-elektroniki.uaprom.net/>.

6. *Первый опыт применения высокочастотной электросварочной технологии в трансплантации почки / А. С. Николенко, С. Н. Загородний, Н. Н. Поляков и др. // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы: Материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф., Киев, 30 нояб. 2012 г. / Под ред. Г. С. Маринского. — Киев: Междунар. ассоциация «Сварка», 2012. — С. 27.*
7. *Бондарь Г. В. Расширение показаний к применению электросварочного комплекса мягких тканей в онкохирургии // Сварка мягких живых тканей. Современное состояние и перспективы развития: Материалы Шестого междунар. семинара, Киев, 2-3 дек. 2011 г. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2011. — С. 58.*
8. *Тарнавский Д. В., Чумиков А. А. Эффективность использования ВЧ-электросваривания при кастрации козлов, баранов и бычков в условиях УНПК ЮФ НУБиП Украины «КАТУ» // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы: Материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф., Киев, 30 нояб. 2012 г. / Под ред. Г. С. Маринского. — Киев: Междунар. ассоциация «Сварка», 2012. — С. 51.*
9. *Новые направления исследований в области сварки живых мягких тканей: Материалы Пятого междунар. семинара, 26-27 нояб. 2010 г., г. Киев / Под ред. О. Н. Ивановой. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2010. — 62 с.*
10. *Сварка мягких живых тканей. Современное состояние и перспективы развития: Материалы Шестого междунар. семинара / Под ред. О. Н. Ивановой. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2011. — 60 с.*
11. *Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы: Материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф., 30 нояб. 2012 г., г. Киев / Под ред. Г. С. Маринского. — Киев: Междунар. ассоциация «Сварка», 2012. — 52 с.*
12. <http://www.zvarka.org/>.
13. <http://www.erbe.ru/produktsiya/vessel-sealing/>.
14. *Тканесохраняющая высокочастотная электросварочная хирургия. Атлас / Под ред. Б. Е. Патона и О. Н. Ивановой. — Киев: Междунар. ассоциация «Сварка», 2009 — 200 с.*
15. *Новое оборудование ИЭС им. Е.О. Патона для сварки живых тканей / Г. С. Маринский, А. В. Чернец, В. А. Ткаченко, С. Е. Подпратов // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы: Материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф., Киев, 30 нояб. 2012 г. / Под ред. Г. С. Маринского. — Киев: Междунар. ассоциация «Сварка», 2012. — С. 42.*
16. *Пат. 72577U Україна, МПК А 61 В 18/12. Электрокоагулятор высокочастотный зварювальний ЕКВЗ-300 / Б. Е. Патон, Г. С. Маринський, С. Е. Подпратов та ін. — Заявл. 24.01.2012; Опубл. 27.08.2012, Бул. № 16.*
17. *Косаковский А. Л., Косаковская И. А., Семенов Р. Г. Биполярные электроинструменты для высокочастотной электросварки биологических тканей ЛОР-органов // Новые направления исследований в области сварки живых мягких тканей: Материалы Пятого междунар. семинара, Киев, 26-27 нояб. 2010 г. / Под ред. О. Н. Ивановой. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2010. — С. 56.*
18. *Структура электросварного шва як основа нового розвитку хірургії / С. Е. Подпратов, С. Г. Гичка, С. С. Подпратов та ін. // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы: Материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф., Киев, 30 нояб. 2012 г. / Под ред. Г. С. Маринского — Киев: Междунар. ассоциация «Сварка», 2012. — С. 45.*
19. *Влияние высокочастотной электрохирургической сварки на функциональную устойчивость структуры биологических тканей / А. А. Вазина, Н. Ф. Ланина, Г. С. Маринский и др. // Сварка мягких живых тканей. Современное состояние и перспективы развития: Материалы Шестого междунар. семинара, Киев, 2-3 дек. 2011 г. / Под ред. О. Н. Ивановой — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2011. — С. 53.*
20. *Заявка 201209185. Спосіб з'єднання біологічних тканин людей і тварин з використанням високочастотного струму / Б. Е. Патон, В. А. Ткаченко, Г. С. Маринський та ін. — Опубл. 26.07.2012.*



21. *Эффективность* выполнения позадилобковой про- статэктомии / А. В. Витренко, С. Е. Подпратов, С. Г. Гичка и др. // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы: Материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф., Киев, 30 нояб. 2012 г. / Под ред. Г. С. Маринского. — Киев: Междунар. ассоциация «Сварка», 2012. — С. 36.
22. *Деякі перспективи використання височастотного електроварювання в кардіохірургії* / І. В. Кривцун, Г. С. Маринський, О. В. Чернець та ін. // Міжнар. мед. форум 2012: Наук.-практ. конф. «Результати впровадження в медичну практику технологій загального і локального термічного впливу на організм людини», Київ, 25 верес. 2012 р. — К.: ІЕЗ ім. Е. О. Патона, 2012. — С. 239.
23. *Пат. 80729U Україна. Біполярний електрохірургічний інструмент (електроніж) для височастотної електрохірургії* / В. А. Васильченко, Г. С. Маринський, О. В. Чернець та ін. — Заявл. 14.12.2012; Опубл. 10.06.2012, Бюл. № 11.
24. *Пасечникова Н. В., Науменко В. А., Уманец Н. Н.* Экспериментальное обоснование возможности применения высокочастотной электросварки биологических тканей в витреоретинальной хирургии // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы: Материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф., Киев, 30 нояб. 2012 г. / Под ред. Г. С. Маринского — Киев: Междунар. ассоциация «Сварка», 2012. — С. 22.
25. *Ультроструктурные изменения* в тканях орбиты при энуклеации глазного яблока с использованием высокочастотной электросварки биологических тканей / Н. В. Пасечникова, В. А. Науменко, А. П. Малецкий и др. // Там же. — Киев: Междунар. ассоциация «Сварка», 2012. — С. 44.
26. *Пасечникова Н. В., Науменко В. А., Уманец Н. Н.* Наш опыт применения способа высокочастотной электросварки биологических тканей в ходе эндовитреальных вмешательств // Сварка мягких живых тканей. Современное состояние и перспективы развития: Материалы Шестого междунар. семинара, Киев, 2-3 дек. 2011 г. / Под ред. О. Н. Ивановой — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 2011. — С. 24.
27. *Пат. 23204 Україна, МПК А 61 В 17/00.* Спосіб безлігатурного з'єднання дефектів м'яких живих тканин / Б. Є. Патон, І. В. Кривцун, В. С. Гвоздецький та ін. — Заявл. 28.12.2006; Опубл. 10.06.2007, Бюл. № 6.
28. *Пат. 32900 Україна, МПК А 61 В 17/22.* Спосіб санації гнійно-септичних вогнищ підшлункової залози / Ю. О. Фурманов, І. В. Хомяк, В. С. Гвоздецький та ін. — Заявл. 28.12.2006; Опубл. 10.06.2007, Бюл. № 6.
29. *Пат. 20479/ЗУ/11 Україна, МПК А 61 М 11/00, А 61 N 5/00.* Термоструменевий хірургічний інструмент / Б. Є. Патон, І. В. Кривцун, І. Ю. Худецький та ін. — Заявл. 23.05.2011; Опубл. 07.11.2011.
30. *Пат. 70151 Україна, МПК А 61 М 11/00.* Спосіб здійснення хірургічних операцій / І. А. Сухін, І. В. Кривцун, І. Ю. Худецький та ін. — Заявл. 29.11.2011; Опубл. 25.05.2012.
31. *Пат. 30372 Україна, МПК А 61 В 18/04.* Спосіб лікування вогнепальних ран / Б. Є. Патон, В. С. Гвоздецький, Ю. О. Фурманов та ін. — Заявл. 25.10.2007; Опубл. 25.02.2008, Бюл. № 4.
32. *Usage of portable thermo-spray device for treatment of wounds contaminated by microbes* / I. Khudetsky, I. Krivtsun, V. Gvozdetsky, J. Furmanov // Counteraction to chemical and biological terrorism in east european countries. — Dordrecht: Springer, 2009. — P.303–308.
33. *Подальший розвиток апаратури для зупинки кровотечі, обробки і лікування інфікованих ран високотемпературним потоком* / І. Ю. Худецький, І. В. Кривцун, В. Г. Терехов та ін. // Клінічна хірургія. — 2010. — № 7. — С. 53–55.
34. *Дослідження впливу на паренхіматозні органи високо-температурних способів розсічення та коагуляції тканин в експерименті* / І. А. Сухін, І. Ю. Худецький, С. Г. Качан, О. М. Билиловець // Там само. — 2012. — № 1. — С. 76–78.
35. *Contactless convection-infrared technology to thermal surgery* / I. Khudetsky, I. Krivtsun, J. Furmanov, I. Suchin // Proc. of the special forum & exhibition on best of east-for eastern partnership: Challenges and opportunities for collaboration European Union–Poland–Eastern Europe Countries, Warsaw, 28-30 Nov. 2011; Poland and 4th Intern. science and technology days Poland-East, Bialowieza, 12-14 Apr. 2011. — Bialystok: ORGMASZ, 2012. — P. 37–47.
36. *Моноблочное использование аппаратов высокочастотной электрической сварки биологических тканей и пневмо-термокоагуляции в хирургии* / И. А. Сухин, С. Г. Качан, А. Н. Билиловець и др. // Клінічна хірургія. — 2011. — № 5. — С. 48.
37. *Перспективы дальнейшего развития многофункциональной и специализированной термохирургической аппаратуры* / И. В. Кривцун, И. Ю. Худецкий, И. А. Сухин и др. // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы: Материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф., Киев, 30 нояб. 2012 г. / Под ред. Г. С. Маринского. — Киев: Междунар. ассоциация «Сварка», 2012. — С. 48.
38. *Creating innovative equipment and technology for the specialized care in cardiology, orthopedics, dentistry and maxillofacial surgery* / I. Krivtsun, I. Khudetsky, R. Kamalov et al. // Materials 6th Intern. forum on innovative technologies for medicine ITMED 2012, Bialystok, 21-23 Nov. 2012. — Bialystok: Innovative Eastern Poland assoc., 2012. — P. 39.
39. *Комплексні електротермохірургічні технології, апаратура та інструменти для стоматології та щелепно-лицевої хірургії* / І. Ю. Худецький, Р. Х. Камалов, В. О. Пономаренко та ін. // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы: Материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф., Киев, 30 нояб. 2012 г. / Под ред. Г. С. Маринского — Киев: Междунар. ассоциация «Сварка», 2012. — С. 49.

Поступила в редакцию 10.06.2013