

ЭЛЕКТРОФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ В ИНСТИТУТЕ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ АН МОЛДОВЫ

*Институт прикладной физики АН РМ,
ул. Академией, 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова*

Сорокалетие Института является знаменательной вехой, позволяющей окинуть ретроспективным взглядом пройденный путь, оценить достигнутые высоты и попытаться увидеть ближайшие перспективы. С чувством исполненного долга и законной гордости попытаюсь ознакомить читателя с результатами исследований и разработок новых эффективных электротехнологических процессов и технических средств для их реализации, которые, надеемся, послужат толчком к разработкам в приоритетных областях, реализации важных и многообещающих результатов как традиционных работ, так и новых начинаний коллектива Центра электрофизических проблем. Речь пойдет об исследованиях электрических воздействий с целью совершенствования и разработки эффективных методов обработки материалов, управления процессами тепло- и массопереноса, обосновании новых электротехнологий и возможностей их реализации в различных областях с позиций не только традиционных подходов, но и новых технологических и технических решений. Это представляется тем более уместным, что материал излагается на основании опыта накопленного автором на протяжении пройденного научного пути – сначала аспирантом (1958) Молдавского филиала АН СССР при Энергетическом институте им. Г.М. Кржижановского АН СССР (г. Москва) и пройдя в Институте энергетики и автоматики (1961), преобразованном в Институт электрофизических проблем, а затем в Институт прикладной физики Академии наук Молдовы (1964) все научные и руководящие должности. Более того, несмотря на многие предложения о переходе на высокие и порой весьма почетные должности автор остался верным Институту прикладной физики (ИПФ), который является единственной записью в его трудовой биографии, а работу в этом приоритетном научном центре всегда считал целью и смыслом жизни.

Статусом Института прикладной физики определены два научных направления: экспериментальное и теоретическое исследования физических и физико-химических свойств конденсированных сред при различных внешних воздействиях, получение и изучение кристаллических и аморфных веществ с полупроводниковыми, полуметаллическими, сверхпроводящими и другими свойствами с целью создания электронных приборов; изыскание новых областей применения электричества с целью совершенствования существующих и разработки новых высокоэффективных процессов, создание и внедрение в народное хозяйство технических средств для их осуществления. Эти направления получили достойное развитие и не будет преувеличением утверждать – международное признание.

В институте сформированы научные школы по теории сверхпроводимости, физике экситонов и биекситонов, многоквантовых процессов, кристаллографии и кристаллофизике, физике и химии полупроводниковых, полуметаллических и сверхпроводящих материалов, тепло- и массопереносу, технологиям электрофизических и электрохимических методов обработки материалов. Институт ведет подготовку докторантов и постдокторантов по многим специальностям, в нем действуют специализированные советы по защите диссертаций на соискание ученой степени докторов наук и докторов хабилитат. С 1965 года издается журнал “Электронная обработка материалов”, который переводится на английский язык и переиздается в США. С 1992 года в Институте функционируют научно-исследовательские центры оптоэлектроники; материаловедения; Международная лаборатория высокотемпературной сверхпроводимости и твердотельной электроники; теоретической физики; электрофизических проблем. В структуре ИПФ создана опытно-экспериментальная база – Опытный завод (1963) и Специализированное конструкторско-технологическое бюро твердотельной электроники (1976).

Оглядываясь на пройденный путь, в юбилейные даты особенно остро ощущаем, что все мы – гости времени, однако можем гордиться тем, что на протяжении этих лет оставались верными служителями академической науки. К великому сожалению, за минувшие годы мы понесли невосполни-

мые утраты – это создатель Института, вице-президент Академии наук, академик Б.Р. Лазаренко, зав. лабораторией, академик В.А. Коварский; зам. директора института, главный ученый секретарь Президиума Академии наук, академик Т.И. Малиновский; зав. отделом, академик Ю.Н. Петров; зав. лабораторией, вице-президент Академии наук, академик С.И. Радауцан; зав. лабораторией д.хаб.ф.-м.н. Ю.С. Боярская, директор специализированного конструкторско-технологического бюро твердотельной электроники д.хаб.т.н. Ф.Г. Доница, директор Опытного завода, лауреат Государственной премии Молдовы в области науки и техники – Н.П. Коваль; зав. лабораторией, зам. директора института д.т.н. И.Б. Крепис, зав. лабораторией д.т.н. А.А. Мамаков; зав. лабораторией д.т.н. С.П. Фурсов, зав. лабораторией д.т.н. Ю.А. Щеглов.

Нельзя не вспомнить о видных ученых Молдовы, которые внесли существенный вклад и оказали большую помощь в организации Института, формировании тематики исследований, подготовке научных кадров: – это первый Президент Академии наук, академик Я.С. Гросул, вице-президент Академии наук, академик В.А. Андрунакиевич, академик А.В. Аблов, профессор М.В. Кот; вице-президент Академии наук, академик Г.В. Лазурьевский, главный ученый секретарь Президиума Академии наук, академик Ю.С. Ляликов, член-корреспондент Ю.Е. Перлин, член-корреспондент Г.В. Чалый, а также видные ученые Академии наук и вузов России: академик, лауреат Нобелевской премии А.М. Прохоров; академик, Герой Социалистического труда В.И. Попков; академик, Герой Социалистического труда Н.Д. Девятков; академик, дважды Герой Социалистического труда Н.Н. Боголюбов; академик Р.В. Хохлов; академик, Герой Социалистического труда Н.В. Белов; лауреат Государственной премии СССР Н.И. Лазаренко; профессор Г.А. Остроумов.

Путь, пройденный нами в ИПФ АН Молдовы, убедительно свидетельствует, что электричество может быть использовано как форма энергии, способная без предварительных превращений обеспечить осуществление новых процессов. Именно в этих условиях проявляются его преимущества и непосредственное применение электрической энергии в физико-химических процессах обработки материалов, процессах тепло- и массопереноса и составляет основную тенденцию разработки новых технологий. Это стремление предопределено задачами обработки материалов, улучшения их качества, обеспечения специфическими свойствами, а также проблемами интенсификации процессов переноса. Накопленный опыт свидетельствует, что посредством электрической энергии могут быть обработаны самые разные материалы, разработаны качественно новые методы и процессы в металлофизике, химии, биологии, медицине, не говоря уже о радио- и оптоэлектронике. Таким образом, становится ясным, что электричество открывает и предоставляет широкие прикладные и в то же время малоизвестные возможности.

Развитие исследований и разработок в области электрических методов обработки материалов в Академии наук РМ связано с именем академика, лауреата Государственной премии СССР, основоположника и первооткрывателя методов электроискровой обработки металлов и электроискрового легирования поверхности Бориса Романовича Лазаренко (1909–1979). С момента образования Академии наук Молдовы (1.08.1961) и вплоть до своей кончины деятельность академика Б.Р. Лазаренко связана с Институтом прикладной физики, в котором он был первым и бессменным директором.

Существенным толчком к широкому использованию электрической энергии для обработки материалов без предварительного ее превращения в другие виды энергии явилось обоснование супругами Б.Р. и Н.И. Лазаренко (в 1943 году) электроискрового способа обработки. По существу это дата открытия не только электроискрового метода как такового, но и электрофизических и электрохимических методов обработки вообще, объединенных в настоящее время в категорию нетрадиционных методов обработки материалов. И не будет преувеличением утверждать, что в настоящее время нет промышленно развитой страны мира, в которой бы не использовались различные варианты метода электроискровой (электроэрозионной) обработки.

Наибольшее развитие в ИПФ получило электроискровое легирование (ЭИЛ) металлических поверхностей. Достоинства метода – большая прочность сцепления с основой, возможность локализации процесса легирования в определенных местах поверхности, отсутствие нагрева обрабатываемой детали, приводящего к ее деформации, простота и легкость эксплуатации установок – сделали возможным его широкое внедрение в практику. На опытном заводе, созданным при Институте прикладной физики по инициативе Б.Р. Лазаренко, выпущены различные модели установок для электроискрового легирования (ЭФИ, "Элитрон"), предназначенные для повышения износостойкости поверхностей деталей машин, нанесения контактных материалов в электротехнической промышленности, повышения коррозионной стойкости материалов, ремонтно-восстановительных работ и др. Способ электроискрового легирования позволяет существенно увеличить микротвердость, в несколько раз повысить износостойкость высоколегированных материалов, деревообрабатывающего инструмента, деталей сельскохозяйственных машин, широко используется для серебрения контактных поверхностей аппаратуры.

В Лаборатории электроискровой обработки материалов разработаны различные варианты метода. Среди них – электроискровое легирование в вакууме, легирование с введением в межэлектродный промежуток порошковых материалов, которое позволяет управлять фазовым составом и структурой поверхностных слоев. Исследования физических процессов, протекающих при взаимодействии частиц порошковых материалов с каналом искрового разряда, привели к разработке новых вариантов метода, что позволило открыть новые сферы его использования. При этом значительно повышается производительность процесса, и создаются условия для получения качественных покрытий достаточно большой толщины. Проведен широкий комплекс исследований механизма явлений, сопровождающих разряд в газовой фазе. Изучены закономерности эрозии электродов, влияние природы, структуры и свойств электродных материалов на процесс их переноса и формирование упрочненного поверхностного слоя. Установлены основные закономерности процессов, происходящих на электродах и в межэлектродном пространстве, механизм ограничения толщины формируемых слоев, предложены методы устранения этого явления, позволившие на порядок и более увеличить его толщину, выяснены особенности физико-химических превращений в поверхностных слоях электродов, возможности управления этими процессами, созданы модели, описывающие диффузионные явления в твердой фазе, распределения элементов в поверхностном слое. Выявлены возможности получения покрытий высокой сплошности, проведения при электроискровом легировании микрометаллургических процессов, позволяющих создавать сложные металлические композиции из интерметаллидов, твердых растворов, чистых металлов. Институтом совместно с Опытным заводом разработаны и выпущены ряд моделей механизированных установок, которые широко используются в практике промышленного и сельскохозяйственного производства.

В настоящее время проводятся исследования и разработки, обеспечивающие расширение возможностей управления процессом с использованием новых методов регулирования электрическими характеристиками и областей применения метода. Однако повышение уровня функциональных возможностей существующих технологий и создание качественно новых моделей установок требуют поиска оригинальных решений. В этом плане традиционное ЭИЛ не всегда отвечает этим высоким требованиям, и в целях синтеза новых технологий задача состоит в умелом сочетании его преимуществ с другими методами физико-химической обработки. Полученные результаты служат основой новых вариантов процесса комбинированных методов обработки с целью получения заданных свойств. Например, при обработке электроискровых покрытий лазерным или электронным лучом обнаруживается явление аномальной диффузии элементов покрытия в основу на порядок выше, чем при обработке каждым методом в отдельности. Тем самым создаются предпосылки новых технологических процессов получения покрытий со значительным ресурсом.

Другое направление исследований и применения физико-химических методов обработки, интенсивно развиваемое в ИПФ, – электрохимико-термическая обработка или обработка металлов при анодном нагреве в электролитах. На основе проведенных исследований раскрыты механизмы переноса через парогазовую оболочку, разработаны требования к составу и свойствам электролитов, параметрам электрической цепи, обеспечивающих формирование поверхностных слоев, управление их свойствами. Показаны возможности насыщения поверхности различными элементами (азотирование, цементация и др.). Изучены кинетика процесса насыщения и состав образующихся слоев, различные физико-механические свойства поверхности, определяющие ее функциональные возможности. Разработаны различные варианты технологии упрочнения и восстановления деталей машин, которые на порядок сокращают длительность технологического цикла, облегчают проведение локального упрочнения и не требуют использования токсичных веществ. Исследованы и другие технологические применения анодного электролитного нагрева, в том числе очистка поверхностей деталей от загрязнений, окислов, обезжиривание, повышение коррозионной стойкости, электрополирование, а также размерная обработка, в частности, деталей электронной техники. Для расширения возможностей использования метода нагрева необходимо знание по возможности завершено механизма процесса (как физического, так и химического) и определение областей его рационального применения. С целью расширения возможностей и областей использования электроискрового легирования и электрохимико-термической обработки проводятся исследования комбинированного метода, объединяющего оба способа в единый технологический процесс. Полученные результаты свидетельствуют о существенно более высоких характеристиках поверхностных слоев по сравнению с достигаемыми каждым из методов, а следовательно, открывается интересная перспектива этих начинаний. Совместно с Опытным заводом разработаны и созданы установки серии УХТО для обработки широкого класса деталей.

Разработка методов описания и управления высокоинтенсивными электрохимическими процессами – важная задача не только в прикладном отношении (проблемы электрохимической размерной обработки металлов, питтинговой коррозии, электрохимической полировки металлов и др.), но и с точки зрения установления закономерностей процессов переноса через межфазную границу при значительном

удалении от состояния термодинамического растворения. В Лаборатории электрохимической размерной обработки металлов разработаны общие методы расчета полей скоростей, температур, концентраций потенциала при высоких скоростях межфазного обмена. Обнаружено и исследовано явление термокинетической неустойчивости поверхностных покрывающих слоев – резкого, нестационарного увеличения скорости электрохимического процесса в условиях взаимного влияния поверхностного тепловыделения и скорости реакций. Предложены методы описания перехода к неустойчивости в зависимости от природы кинетических ограничений скорости электродного процесса. Исследование физических явлений в межэлектродном зазоре и на границе раздела фаз дало возможность обосновать применение импульсных режимов электрохимической обработки. Разработаны новые технологические процессы электрохимической размерной обработки сложнопрофильных деталей, штампов и пресс-форм, получения искусственной шероховатости на внутренних поверхностях труб, электрохимического шлифования и др. Показано, что электрохимическая микрообработка (ЭХМО) при наличии изолирующих слоев на анодной поверхности – перспективный метод получения рисунков (форм) при изготовлении печатных плат и других изделий электронной промышленности. Преимущества ЭХМО в сравнении с химическим травлением при обработке деталей из металлов и полупроводников заключаются в возможности достижения более высоких скоростей обработки и управления ими посредством регулирования потенциала или тока растворения, предсказания формы травления. При этом экологические проблемы химического производства, связанные с применением токсичных растворов и утилизацией продуктов травления, разрешаются на уровне собственно технологии.

Современный этап развития исследований и разработок в области электрохимических методов обработки металлов и полупроводников связан с переходом от макротехнологий к микро- и нанотехнологиям. Исследование и разработка импульсных методов обработки, методов управления процессами локального нанесения покрытий и упрочнения, в том числе на микро- и наноуровне, в настоящее время проводятся в тесном сотрудничестве с коллегами из других институтов Молдовы, а также из ближнего и дальнего зарубежья.

Развитие электрохимических методов обработки в Институте прикладной физики связано с именем академика Ю.Н. Петрова (1921–1990). Под его руководством, в том числе совместно с лабораториями Аграрного госуниверситета Молдовы, разработаны электролиты и режимы электролиза, позволяющие существенно расширить возможности электроосаждения (Лаборатория гальванических покрытий) применительно к управлению функциональными свойствами поверхности, повышения долговечности и надежности деталей машин, создания новых композиционных покрытий. Разработаны композиционные покрытия с уникальными свойствами (высокой износостойкостью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью и др.). Установлено влияние природы, концентрации, размеров частиц на структуру, плотность дислокаций, размеры блоков мозаики композиционных электрохимических покрытий. Показано, что гидродинамические характеристики потока электролита-суспензии, обеспечивающие оптимальные концентрации дисперсных частиц в покрытии, повышают равномерность распределения дисперсной фазы и улучшают физико-химические свойства покрытий; введение в электролиты ультрадисперсных алмазов приводит к включению алмазосодержащих частиц в покрытие, что способствует увеличению ее функциональных свойств, таких как твердость, износостойкость, жаро- и коррозионная стойкость.

Перспективными представляются методы получения композиционных электрохимических покрытий с ультрадисперсными алмазами, позволяющими формировать высокодисперсные гетерогенные структуры с высоким уровнем твердости, определяющим прочностные и эксплуатационные свойства поверхностей, а также процессы нанесения тонких металлических пленок и применение их в высоких технологиях, где покрытия выполняют и роль важных конструктивных функций. Для упорядочения (синхронизации) прохождения отдельных стадий электроосаждения металлов перспективно использование индуктивно-емкостных процессов. Изменение их параметров приведет к формированию различных частотных спектров переменных составляющих, стабилизирующих систему и оказывающих воздействие на электроосаждение. К примеру, подбором параметров индуктивно-емкостных систем при хромировании производительность процесса и износостойкость покрытий увеличиваются в 1,5–2 раза. Представляют интерес теоретические и экспериментальные исследования по изучению механизма влияния электромагнитных полей на процесс электроосаждения, разработки новых методов исследования и специальных индуктивно-емкостных устройств для источников питания с учетом применения переменного и постоянного тока, особенностей регулирования мощности, технологического процесса (электроосаждение, травление, сварка и др.), а также методов расчета источников питания и разработка рекомендаций по их созданию.

В сохранении долговечности деталей машин и оборудования существенную роль играет коррозионная стойкость материалов. Сотрудниками Отдела физико-химических методов защиты металлов от

коррозии проведен комплекс исследований, позволивших определить оптимальные режимы электрофизических методов обработки материалов, обеспечивающих повышение коррозионной стойкости материалов, предложены новые составы ингибиторов коррозии. Проведена значительная работа по исследованию коррозионных особенностей природных вод Молдовы. Есть основания полагать, что в перспективе получит развитие изучение реальных процессов, протекающих в хемосорбционных слоях и пленках. От традиционных исследований, рассматривающих явление пассивности в статике и дающих сведения о наступлении пассивного состояния и вероятном составе пленки, необходимо перейти к изучению кинетики и механизмов хемосорбционных, фазообразующих, транспортных и собственно электродных актов в этих слоях и пленках, а также на их границах, поскольку именно от них зависит скорость коррозии и возможность повышения стойкости пассивного металла. Необходима разработка модельных коррозионных сред, экспресс-методов коррозионных испытаний и определение корреляционной связи с натурными. Будут изучены действия новых ингибиторов коррозии и их композиций, преимущественно экологически безопасных, в различных парах металл–электролит с целью резкого снижения коррозионных поражений.

За последние десятилетия интенсивное развитие получила проблема тепломассопереноса и наряду с классическими интенсифицирующими способами все более прочные позиции занимают физические методы, основанные на воздействии силовых полей. Эти положения далее аргументируются результатами исследований, проводимых в Лаборатории электрических методов управления тепловыми процессами, среди которых выделены следующие основные направления: конвективный теплообмен в газах, жидкостях, жидких и газожидкостных дисперсных системах, газовзвесах при естественном и вынужденном движении в постоянных и переменных электрических полях различной частоты и степени неоднородности; тепло- и массообмен при фазовых превращениях – кипении и конденсации в неоднородном и однородном электрических полях различной напряженности; особенности проявления и возможности использования магнитооживления.

Уместно отметить, что рассматриваемые эффекты и закономерности основываются на взаимодействии электрических, гидродинамических и температурных полей в диэлектрических средах (включая слабопроводящие жидкости и газы), которые выражаются в явлениях, называемых электрогидродинамическими (относящимися к электрогидродинамике – новому ответвлению физики), об актуальности изучения которых свидетельствует растущее число публикаций, интересных технических решений, международных научных форумов. Электрогидродинамические (ЭГД) взаимодействия проявляются потерей механического равновесия средой под действием поля, и она приходит в движение, именуемое электрической конвекцией, аналогичной гравитационной; приложенное электрическое поле меняет как направление движения среды, так и его интенсивность, а в некоторых случаях оно может стимулировать гидростатическое равновесие среды. Таким образом, особенности ЭГД явлений и многогранность их проявлений в зависимости от типа электрического поля и разнообразия рабочих сред открывают уникальную возможность управления тепло- и гидродинамическими полями, а следовательно, процессами тепло- и массообмена электрическими методами.

Результаты проанализированы и обобщены с позиций возникновения и развития электрической конвекции в зависимости от конкретных условий ее проявления. Изучены особенности взаимодействия электрического поля с гомогенными жидкими средами и дисперсными системами (эмульсии, суспензии, газовзвеси) с целью выяснения механизмов взаимосвязи электроконвективных явлений и интенсивности тепло- и массообмена. Установлены необходимые условия возникновения электрической конвекции; найдены движущие силы и сформулирована задача электротермической конвекции в обобщенном виде для классических симметрий распределения равновесных температурных и электрических полей в идеальных и слабопроводящих жидкостях; выявлены критерии подобия термоэлектроконвективных явлений; исследованы термоэлектрогидродинамические течения. Эти результаты могут служить основой дальнейшего развития теории электрической конвекции и находят практическое применение в целях интенсификации процессов переноса, управления пограничным слоем и создания ЭГД преобразователей энергии. Определены закономерности тепло- и массообмена в электрических полях с целью выявления оптимальных условий интенсификации процессов переноса в зависимости от конфигурации теплообменных поверхностей, температурных и гидродинамических режимов, типа и состава теплоносителя, напряженности электрических полей и степени их неоднородности. На основе этих результатов совершенствуются технологические процессы и создаются новые тепло- и массообменные аппараты.

Показано, что интенсифицирующее действие электрических полей на теплообмен в газах обусловлено возникновением коронного разряда; выяснены закономерности теплоотдачи, обобщены опытные данные, относящиеся к различным газам. Установлено, что интенсификация теплообмена в слабопроводящих жидкостях под действием внешнего электрического поля является следствием их электроконвективного перемешивания; выявлены характерные особенности механизма влияния электрических

полей на интенсивность теплообмена; обоснованы принципы подбора теплоносителей применительно к использованию воздействия электрических полей.

Экспериментально и теоретически исследовано влияние электрического поля на теплообмен газодисперсных систем в условиях естественной конвекции и вынужденного движения. Получены расчетные зависимости и обоснованы рекомендации по практическому применению результатов при создании компактных высокоэффективных устройств регулируемого теплосъема и термостатирования.

Выполнен большой цикл работ по определению локальной структуры кавитационных течений, выяснению ее связи с интенсивностью теплоотдачи и эрозионной активностью зоны кавитации как под влиянием электрического тока, так и в его отсутствие.

Заслуживают внимания исследования, выполненные в области теплообмена при наличии фазовых переходов. Выяснены основные проявления механизма взаимодействия электрического поля с двухфазными системами, изучены закономерности теплообмена и развития процесса кипения в бинарных смесях. Установлено, что наличие поля обеспечивает существенный рост критических тепловых потоков как в большом объеме, так и в стесненных условиях, а также в пленках, создаваемых диспергированием жидкости электрическим полем. Изучен механизм и закономерности ЭГД–воздействия на теплоотдачу при пленочной конденсации и гидродинамику течения пленки в условиях конденсации чистых паров и пара из парогазовых смесей. Выявлены условия обеспечения максимальной интенсификации теплообмена и специфика электрогидродинамических воздействий на процесс конденсации. Выяснено влияние свойств и состава парогазовой смеси на интенсификацию теплообмена, получены зависимости, обобщающие экспериментальные данные. Проявлением эффективного воздействия электрических полей может служить и значительная интенсификация массопереноса в режиме электрогидродинамического диспергирования жидкостной пленки в газовом потоке. Установлены, в частности, оптимальные режимы процесса ректификации. Эти результаты могут служить основой совершенствования существующих и создания новых технологических процессов и теплообменных аппаратов.

Представляют интерес возможности очистки жидкостей в электрических полях и электросепарации дисперсных систем. В этом плане центральным является вопрос формирования максимального свободного заряда и показано, что в подавляющем большинстве процессов тепло- и массопереноса, перекачки и диспергирования жидкостей доминирующую роль играют кулоновские силы. Можно отметить результаты, касающиеся изучения электрофизических параметров эмульсий и суспензий в электрическом поле, процессов релаксации, распределения и сепарации фаз гетерогенных систем, разработки модели диспергирования и гидродинамики дисперсных систем, в том числе в поле непараллельных электродов, а также расчета и создания электрофильтров для жидкостей, которые обеспечивают реализацию ЭГД течений для транспортировки содержащихся частиц и удержания их в предусмотренных ловушках. Эти эффекты достигнуты путем использования электродов с перфорированным диэлектрическим покрытием, которое интенсифицирует электризацию жидкости, а наличие ловушек способствует развитию улавливающей частицы поверхности. При этом учитывались электрические, физические, технологические параметры и конструктивные факторы электродов. Логическим продолжением этих работ следует считать углубление исследований, связанных с максимальной электризацией рабочих сред и стабилизацией электрогидродинамических процессов, разработка эффективных электротехнологий приоритетно для трансформации энергии, в том числе солнечно-ветровой, использования в энергетике, электротехнической и микроэлектронной аппаратуре, перерабатывающей промышленности.

На основе изучения закономерностей тепло- и массообмена в процессе сублимации выяснен механизм поглощения сверхвысокочастотной энергии замороженными материалами с учетом их электрических и структурных свойств; обоснованы принципы и разработана методика определения оптимальных режимов энергоподвода при сублимационной сушке.

Важными в научном и практическом аспекте в области интенсификации и управления процессами тепло- и массообмена являются работы по структурно-гидродинамическим особенностям при псевдооживлении в магнитном поле. Изучены возможности создания магнитооживленных слоев, определены их наиболее важные характеристики и структура в переменных и вращающихся магнитных полях, выяснен характер движения и взаимодействия частиц, закономерности тепло- и массопереноса. Разработаны приоритетные способы и устройства, созданы перспективные аппараты с магнитооживленным слоем для интенсификации тепломассообменных процессов, использования в медицине.

Можно констатировать, что в Институте прикладной физики успешно развивается новое направление в тепло- и электрофизике – исследование взаимодействия термически неоднородных слабопроводящих жидкостей, газов и дисперсных систем с электрическими полями высокой напряженности. В перспективном научном плане можно сформулировать проблемы электризации рабочих сред в электростатических полях с учетом разнообразия возможных механизмов; электрогидродинамической стабильности, включая гетерогенные среды; структуры и интенсивности ЭГД течений; взаимодействия

фаз гетерогенных систем в условиях смешанной конвекции (электрической и вынужденной); электрической и гидродинамической релаксации ЭГД процессов; электризации диэлектрических сред касательно ЭГД явлений. На основе этих результатов в прикладном плане могут быть выделены разветвления, касающиеся управления процессами тепло- и массопереноса, трансформации энергии (ЭГД насосы и генераторы), электронно-ионные технологии, эволюции электрических природных явлений. И есть все основания ожидать, что они внесут существенный вклад в совершенствование существующих и создание новых электрогидродинамических технологий и технических средств для их реализации.

Традиционно исследователи и практики особо учитывают вредные последствия кавитационных явлений и постоянно разрабатывают разнообразные приемы и способы их устранения или хотя бы ослабления. В то же время растущее внимание уделяется использованию кавитации в полезных целях с тем, чтобы обеспечить ее широкое технологическое применение. В Лаборатории гидродинамических процессов на протяжении ряда лет исследуются явление кавитации и эффекты ее воздействия с целью интенсификации технологических процессов.

Использование акустической кавитации позволило сделать существенный шаг вперед в решении проблем защиты металлических поверхностей от окисления в процессах нанесения покрытий. При этом интенсифицируется и упрощается нанесение покрытий, повышается производительность процесса и улучшаются характеристики продукта, которые не уступают достигаемым при существующей вакуумной технологии. Исследован процесс и разработана технология пропитки длинномерных многожильных проводов в статике и на проход, которая по существующим способам вообще невозможна.

Ведущую роль в производстве основных продуктов и материалов в пищевой, химической, текстильной, металлургической промышленности занимают эмульгирование и диспергирование. На основе исследований процессов воздействия кавитации, созданной двумя частотами, разработаны, изготовлены и внедрены технологические процессы и установки для создания высокодисперсных гомогенных эмульсий.

В производстве фруктово-ягодных соков большое значение имеет сохранение таких важных компонентов, как витамины, ароматические и вкусовые вещества, которые повышают пищевую ценность готового продукта. Для увеличения стойкости соков в процессе производства их неоднократно подвергают термической обработке с целью подавления микрофлоры и особенно дрожжей, что, безусловно, снижает их качество. После кавитационной обработки сока доля оставшейся микрофлоры снижается, наблюдается морфологическое изменение дрожжевых клеток, не повышается содержание спирта. Использование кавитации в производстве виноградного сока дает возможность вести технологическую обработку непастеризованного сока, что улучшает его вкусовые качества и пищевую ценность.

Из широкого диапазона перспективных работ следует выделить исследование воздействия кавитации на физико-химические процессы, происходящие при нанесении покрытия (в том числе на проволоочные и ленточные изделия), изучение кинетики формирования адгезионного слоя наносимого материала с целью получения износостойких покрытий; изучение воздействия многочастотной кавитации на кинетику формирования мелкодисперсных, высокоомогенных стойких эмульсий и суспензий с целью разработки новых технологических процессов на основе материалов типа жидкость–жидкость, твердое тело–жидкость. При этом главное внимание должно быть уделено экологическим аспектам, что особенно важно в текстильной промышленности, где в большом количестве применяются химические реагенты, которые в новых кавитационных технологиях будут частично или практически полностью исключены.

Перечисленные и ожидаемые результаты и технические решения свидетельствуют, что технологические процессы и их аппаратное оснащение на основе использования кавитационных явлений могут быть существенно расширены и усовершенствованы. Исследования по воздействию кавитации на различные процессы в жидкостях и накопленный в Институте опыт в отношении разработки новых технологических процессов и установок подтверждают актуальность и целесообразность использования кавитационных явлений в промышленном масштабе, что является обоснованным шагом для перехода к передовым эффективным технологиям.

Разработаны физико-химические основы электрофлотации минералов и веществ разной природы и структуры, изучены процессы выделения ценных компонентов из полиметаллических руд и технологических растворов, очистки природных, подземных и сточных вод от токсических примесей. Проведены исследования по повышению селективности и расширению диапазона флотируемых частиц на основе определения свойств минералов и разработки теории электрофлотации. Усовершенствованы процессы электрофлотационного осветления жидких пищевых продуктов, очистки промышленных растворов, выделения цветных металлов из многокомпонентных жидких систем. Разработаны научные

основы конструирования электрофлотационных аппаратов, позволяющие перейти к любой производительности без снижения технологических и качественных показателей извлечения ценных компонентов.

В результате исследований разработан ряд электрофлотационных технологий и аппаратов, позволяющих извлекать и концентрировать полезные компоненты, удалять вредные примеси, находящиеся в виде ионов, молекул, комплексных соединений из промышленных, технологических растворов, природных и сточных вод, сепарировать твердые взвешенные частицы коллоидного характера, отделять нерастворимые органические соединения от водной среды. Можно отметить технологии и установки для выделения мелких классов алмазов из песков и коры выветривания; технологию и установку для выделения золота и серебра из цианидных растворов выщелачивания, для осветления яблочного сока с использованием электрофлотации, активации природных сорбентов, удаления фтора из природных вод. Разработана технологическая схема очистки сточных вод от красителей, адсорбированных на электрогенерированном гидроксиде алюминия с использованием процессов электрокоагуляции и электрофлотации.

Особое внимание предусматривается уделить всестороннему изучению свойств природных сорбентов, что позволит создать научные принципы процесса разделения и удаления токсичных веществ из растворов, природных и сточных вод.

В перспективе заслуживают внимания исследования, направленные на совершенствование электрофлотационного метода разделения многокомпонентных систем и разработку комбинированных методов обработки дисперсий, включающие электродиализ, электрофорез, пенную сепарацию, магнитные и электрические воздействия. Применение различных сочетаний методов активации (электрические разряды, озонирование, ультразвук, термо- и электрохимические обработки) открывает широкие возможности для использования значительных запасов природных сорбентов (в том числе имеющихся на территории Молдовы: бентонит, диатомит, трепел, глауконит и др.) в процессах очистки растворов и водоподготовки, а также при обработке жидких пищевых продуктов. Данные сорбенты могут быть использованы при очистке вод различных производств (химических, гальванических, кожевенных), поскольку способны поглощать заряженные ионы. Разработка адсорбционных методов, основанных на применении природных сорбентов (натуральных и активированных электрическими и другими воздействиями), позволит в определенной степени решить проблему очистки колодезных вод от повышенного содержания нитратов, фтора, органических компонентов, токсичных ингредиентов.

Результаты электрофлотационных исследований по осветлению яблочного сока дают основание расширить в перспективе использование метода для обработки других жидких пищевых систем (виноградного, томатного, облепихового соков) с целью улучшения их качества, увеличения срока сохранности и интенсификации процессов разделения. Следует ожидать, что будут исследованы и предложены новые угольно-минеральные сорбенты на основе твердых отходов винодельческой промышленности, высокие адсорбционные свойства и селективность которых к органическим, неорганическим, токсичным соединениям позволит рекомендовать их для высокой степени очистки воды. Особого внимания заслуживает очистка водных сред от токсичных примесей мембранным методом и в первую очередь – электродиализом. Существующие методы очистки не всегда можно успешно использовать при очистке вод, содержащих малые количества токсичных ионов, а варьируя условия электродиализа (чередование ионоселективных мембран, электродов, рабочих жидкостей, плотности тока и длительности), можно существенно интенсифицировать процесс очистки вод и получать остаточные содержания ионов в пределах допустимых концентраций. Перечисленные результаты будут достигнуты на основании реализации особенностей взаимодействия фаз при электрофлотации в сочетании с другими методами обработки дисперсных систем, выяснения механизма закрепления токсичных ионов и молекул на поверхности твердых частиц и их удаления из водных сред каждым конкретным методом сепарирования. Также будут изучены и объяснены процессы, приводящие к активации твердой составляющей дисперсных систем. В конечном итоге следует ожидать разработки новых комбинированных электрических способов разделения, очистки и утилизации жидких и твердых систем, на основе которых будут созданы технологические схемы и оборудование для снижения или полного удаления примесей из воды, высокоэффективной обработки растворов и дисперсных систем.

Новые безотходные, экологически чистые технологии переработки сырья стали центральными субъектами постоянно расширяющегося круга исследователей и практиков. Преследуемые цели состоят в достижении максимальной экономии энергии при минимальных отходах производства и улучшении качества конечного продукта. Переработка биологического сырья электроплазмолизом, состоящая в разрушении клеточного строения среды под воздействием электрического тока, способствует существенному улучшению перечисленных показателей. С полным основанием электроплазмолиз может быть отнесен к современным и перспективным высоким технологиям. На протяжении последних десятилетий в Лаборатории электрических методов обработки продуктов растениеводства проведены ори-

гинальные исследования и разработки, которые послужили основанием для заключения ряда опционных и лицензионных соглашений с ведущими зарубежными фирмами. Важность исследований по этой тематике определяется в первую очередь исключительной актуальностью проблемы для перерабатывающей промышленности.

Электроплазмолиз может применяться с целью увеличения выхода сока из фруктов, овощей, ягод при последующем прессовании или центрифугировании; увеличения выхода масла или жира из биологического сырья, диффузионной экстракции красящих или ценных компонентов сырья; интенсификации процесса последующей термообработки, выпаривания или сушки сырья; исключения некоторых тепловых процессов из традиционных технологий с уменьшением энергетических и материальных затрат; ускорения мацерации тканей сырья, улучшения качества и реологических характеристик конечного продукта.

Преимущества электроплазмолиза перед другими способами обработки состоят в исключительно кратковременном и эффективном воздействии тока на сырье. Ценным свойством электроплазмолизованного сырья является увеличение коэффициентов массопереноса и теплоотдачи на уровне клеточных структур. Эти обстоятельства создают благоприятные условия для использования электроплазмолиза при интенсификации последующих процессов экстракции компонентов или тепловой обработки сырья. Установлено существенное увеличение выхода соков (до 10%) для различных видов сырья. При электроплазмолизе существенно возрастает коэффициент внутренней диффузии сахара. Практически электрообработка свекловичной стружки позволяет заменить первичное воздействие температуры до начала денатурации белков, применяемое в обычной технологии, и усилить процесс экстрагирования сахарного диффузионного раствора с повышенным качеством. Обработка током клюквенной мезги позволяет получить сок с повышенной концентрацией красящих веществ, что обеспечивает красивый цвет сока и его надлежащий товарный вид. Исследованиями оптических характеристик апельсинового сока выявлена возможность управления его качеством путем изменения режимных параметров электрообработки. Электроплазмолиз рыбного сырья позволяет увеличить выход жира, а вместе с ним и ценного витамина А. Эффективная экстракция жира из электроплазмолизованного сырья может стать основой новой технологии выработки рыбной кормовой муки с пониженным содержанием жира. Представляет интерес перспектива применения электроплазмолиза в комплексе с последующей электрофлотационной очисткой для получения осветленных плодово-ягодных соков, поскольку примеси и взвешенные вещества в соке из электроплазмолизованного сырья электрически заряжены и обладают повышенной способностью агрегировать с пузырьками газа. В частности, в производстве сахара последовательное применение лацерации и электроплазмолиза позволяет сократить длительность процесса экстракции и существенно понизить температуру экстрагента.

За последние годы разработаны и созданы электроплазмоллизаторы для электрической обработки сырья с различными коэффициентами удельной электропроводности и уровнем содержания влаги. Преимущества электроплазмолиза в технологиях переработки определяются ростом количества экстрагируемых соков; интенсификацией последующих тепловых процессов переработки; ускоренным и более полным переносом ароматических и красящих веществ в производстве вин; интенсификацией процесса ферментации и повышением выхода масел при обработке эфирно-масличных культур; существенным сокращением процесса сушки в производстве порошков из фруктов и овощей.

Перспективными аспектами применения электроплазмолиза является увеличение коэффициента диффузии компонентов электроплазмолизованного сырья, а также разработки новых технологий селективного извлечения ценных компонентов сырья, эфирных масел или компонентов для фармацевтической промышленности. Эффективность этих процессов зависит от степени предварительной обработки биологического сырья, взаимосвязанной с уровнем разрушения клеточной структуры, который в свою очередь определяет рост коэффициентов внутренней и внешней диффузии межклеточных веществ. Электроплазмолиз предусматривает их высокую селективность, оказывает существенное влияние на интенсификацию последующих процессов экстракции и сепарирования ценных веществ из сырья. Углубленное знание процесса позволит его моделирование и оптимизацию на основе электрофизических свойств сырья.

Исследования и разработки, предусматривающие совершенствование существующих и создание новых технологий производства соков, паст и тонких порошков из овощей, фруктов постоянно находятся в поле зрения исследователей и практиков. Внимание будет уделено разработке новых технологий обработки продуктов растениеводства с использованием электроплазмолиза в условиях экономии электрической и тепловой энергии, выявлению основных факторов процесса модификации клеточных мембран, в части оптимизации электроплазмолиза и его применения в технологии обработки продуктов растениеводства путем разработки электроплазмолитаторов, превосходящих существующие по своим характеристикам. Новые возможности для внедрения в перерабатывающей и пищевой промышленности открывает одновременное применение электроплазмолиза и механической лацерации. Даже это простое перечисление позволяет заключить, что ресурсосберегающие технологии переработки биологического сырья электроплазмолизом актуальны и достойны дальнейшего развития и промышленного внедрения.

Решение большинства перечисленных проблем продиктовано существующими и перспективными требованиями жизни. В то же время оно актуально и с общенаучной точки зрения, поскольку задачи решаются на должном уровне, о чем свидетельствуют приоритеты, защищенные впечатляющим числом изобретений, публикации, конференции. Учитывая научную значимость, высокую эффективность, технологические и технические аспекты, развитие этих исследований, совершенствование и разработка способов и электрофизических методов сомнения не вызывает. Остается подчеркнуть, что учитывая научное и практическое значение исследований в области процессов переноса и обработки материалов, активное и плодотворное участие в решении этой важной проблематики, Институту прикладной физики было доверено издание единственного в этом плане научно-технического журнала “Электронная обработка материалов”. Мы остаемся открытыми к научно-техническому сотрудничеству и, возможно, самые интересные и впечатляющие результаты будут получены в рамках широкого сотрудничества и кооперирования.

Надеемся, что время и обстоятельства позволят успешно продолжить эти многообещающие исследования, расширить области и формы реализации электрофизико-химических технологий, позволит вернуться на страницы журнала с обобщающими результатами и практическими решениями, раскрывающими преимущества и перспективы исследований и разработок, по-нашему убеждению, неоспоримого значения. Так же хочется верить, что перспективные исследования и разработки по раскрытию неиспользованных возможностей применительно к совершенствованию электрических методов обработки материалов, управлению тепло- и массопереноса будут и впредь успешно развиваться. Научная и практическая значимость новых изысканий являются серьезными стимулирующими факторами, своеобразным девизом для исследователей, посвятивших себя поиску в этих многообещающих областях знаний. И если подспорьем тому могут служить, хотя бы в определенной степени, результаты, с которыми мы приходим к 40-летию Института прикладной физики, то цели и стремления, с которыми была подготовлена эта информация, вполне оправдали себя.

Поступила 01.03.04

Summary

Results and some perspectives of the research related to electrical machining methods of materials and control on heat processes which are under way in the Institute of Applied Physics of the Academy of Sciences of Moldova have been reviewed. The data have been provided concerning novel technological processes, electrophysico-chemical technologies and their potential practical application, including the electrospark machining of materials, machining of metals by anodic heating in electrolytes, electrochemical dimensional machining of materials, deposition of galvanic coatings, metal corrosion inhibition. The results are given of the research based on the interaction of the electric field, current and discharges with liquids, gases and dispersed systems in the processes of heat and mass transfer via convection, at boiling and condensation; on characteristic features and possibilities of using electric and magnetic liquification; investigation of the mechanisms of cavitation processes; electroflotation of dispersed systems and electroplasmolysis. Some application aspects are underlined, and possible ways of targeted application of the results are proposed.