

**АСПЕКТЫ ЭЛЕКТРОФИЗИКОХИМИЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ
В ИНСТИТУТЕ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ АН МОЛДОВЫ****Мирча БОЛОГА***Институт прикладной физики АН Молдовы*

Sunt reflectate fenomene, procese, inovații cu privire la: prelucrarea materialelor prin electroeroziune și metoda termochimică accelerată în soluții apoase ale electroliților; tehnologii complexe și elaborări tehnice, inclusiv la acțiunea surselor energetice exterioare; prelucrarea electrochimică în scopul obținerii structurilor și nanomaterialelor prin precipitarea catodică și dizolvarea anodică; microprelucrarea suprafețelor, restaurarea pieselor de mașini cu acoperiri galvanice; transferul de căldură și masă în câmpuri electrice; electrosepararea, electroplasmoliza, prelucrarea materiei prime aromatice; procesele cavitaționale referitoare la emulsionare și dispersare în câmpul cavitațional acustic și hidrodinamic; purificarea lichidelor multicomponente prin electro-dializă și adsorbție; modificarea structuro-chimică a diatomitului autohton în scopul eliminării fluorului din apele subterane.

Phenomena, processes and innovations involving: spark erosion of materials and thermo chemically accelerated erosion in aqueous solutions of electrolytes, complex technological processes and technical solutions, including the effects of external energy sources; electrochemical treatment aimed at obtaining of nonmaterial and structures by cathode deposition and anodic dissolution, micro-processing of surfaces, restoration of machine parts by galvanic plating; heat and mass transfer in the electric fields; electro-separation, electro-plasmolysis, processing of aromatic raw materials; cavitation processes relating to the emulsification and dispersion at acoustic and hydrodynamic cavitations; treatment of multi-component liquids by electro-dialysis and adsorption; structural and chemical modification of the local diatomite to remove fluoride from groundwater are presented.

Юбилейные даты – это веки и рубежи, объединяющие традиции и воспоминания, реальность и перспективы, надежды и ожидания. 65-летие Молдавского университета сочетает судьбы, профессионализм и престижность профессий, по меньшей мере, трех поколений: первопроходцев, выпускников почтенного возраста и специалистов в расцвете сил и стремлений к максимальной своей реализации. Символично, что 2011 год знаменателен также 65-летием академической науки в нашем благодатном крае, 50-летием космической эры и основания Академии наук Молдовы. Созвездие таких событий тем более обязывает совершить пусть краткий ретроспективный экскурс, оглянуться на пройденный путь, оценить реальность и взглянуть в ближайшее будущее. Первый полет человека в Космос автор восторженно встретил в Москве, будучи аспирантом в системе Академии наук СССР. Это было торжество большой науки, чудо инженерной мысли. И продолжая исследования в Академии наук Молдовы, мы счастливы сознавать, что были причастны к космическому приборостроению и сумели реализовать электрофизические технологии и аппаратуру, достойные таких высот и полетов.

После окончания университета (1956 г.) и работы на кафедре общей физики, судьба автора неизменно связана с Академией наук (с 1958 года). Аспирантом влился во всемирно известный Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского. Защитил в установленный срок диссертацию и вернулся в Кишинев – в год создания Академии наук Молдовы. Выполнение диссертационной работы, слушание специальных курсов, участие в семинарах и исследованиях по весьма актуальной тематике, в сочетании с университетской подготовкой по электрофизике, сыграли основную роль в постановке и развитии исследований в Институте прикладной физики, в подготовке кадров высшей квалификации. И с учетом того, что под руководством автора защищено более 50 диссертаций и обеспечено издание международного научно-технического журнала «Электронная обработка материалов» (с 1965 г. – зам. главного редактора, с 1979-го – главный редактор) полагаем, что оправдались надежды и добрые начинания 60-х годов минувшего столетия. Руководствуясь верностью научной работе, не расставался с Академией наук и институтом, несмотря на неоднократные предложения высоких, престижных должностей; прошел все научные и административные должности. Прибегнул к этим строкам, чтобы засвидетельствовать, что пройденный путь и обстоятельства отражены исходя из личного опыта, поскольку вся жизнь прошла в академической среде.

По случаю 60-летия академической науки (2006 г.) была подготовлена работа [1] об исследованиях и инновациях в Институте прикладной физики – эволюции и достижениях в течение свыше 40 лет, около 30-ти из которых – в едином сплоченном коллективе научных лабораторий, Опытного завода и Специализированного конструкторско-технологического бюро твердотельной электроники с опытным производством. Минувшие 5 лет вписали новые яркие страницы в развитие академической науки. Наиболее масштабным и значимым явилась модернизация менеджмента науки и инновации в соответствии с Кодексом. Новая модель деятельности Академии была высоко оценена на различных международных форумах [2]. Нас радует консолидированное научное сообщество, мы располагаем институциональными проектами, государственными программами, двусторонними и многосторонними проектами, европейскими программами, сотрудничаем с престижными научно-техническими фондами. Эта многообразная деятельность объединяет нас и консолидирует и, вне всякого сомнения, необходима и дальнейшая консолидация позиций и усилий, стремлений и надежд, непоколебимая вера в науку и солидарность научной общественности.

Резюмируя основные результаты деятельности института за последние 5 лет [3], считал своим приятным долгом в первую очередь отметить, что в минувшем году наш коллектив, как и научно-техническая общественность в других странах, отметил 100-летие академика Бориса Романовича Лазаренко – основателя эрозионного способа обработки материалов, первого директора института, впоследствии вице-президента Академии наук.

Фундаментальные и прикладные исследования в институте продолжались в двух научных направлениях:

– исследование физических и физико-химических явлений в конденсированной кристаллической и аморфной среде, наноструктурированные материалы, атомы и ядра в целях разработки технологий, электронных, оптоэлектронных и фотонных устройств и аппаратов;

– экспериментальные и теоретические исследования по использованию электричества в целях интенсификации процессов тепло- и массопереноса, кавитации, электрофлотации и электроплазмоллиза; модернизация поверхностей материалов электрофизическими и электрохимическими методами; разработка передовых технологий и технических средств.

Здесь изложены результаты деятельности лабораторий по второму направлению, соответствующему исследовательским и инновационным интересам автора.

В Лаборатории электроискровой обработки материалов и антикоррозионной защиты (зав. – д.т.н. В.В. Михайлов) проводились исследования электрофизикохимических методов обработки металлических материалов – процессов электроискрового легирования (ЭИЛ) и ускоренной термохимической обработки (ХИТО) в водных растворах электролитов; антикорродирующих и физико-механических свойств восстановленных и упрочненных рабочих поверхностей. Эти процессы утвердились во времени благодаря неоспоримым преимуществам по сравнению с родственными технологиями. Они привлекательны простотой в реализации и доступностью оборудования. Физико-механические и эксплуатационные характеристики поверхностных слоев металлов, подвергнутых обработке, отличаются высокими качествами, что существенно повышает надежность легированных деталей. Разработаны и запатентованы процессы электроискрового упрочнения с порошковыми материалами в отсутствие контакта рабочего электрода с деталью, что существенно повышает эффективность обработки. Упрочнение с использованием держателей со многими электродами обеспечивает как повышение производительности процесса, превышающей установившийся предел, так и в 5-7 раз толщины нанесенных слоев. Кроме того, создаются условия для получения целой гаммы металлических комплексов, сплавов, твердых растворов и др., что позволяет варьировать в широких пределах физико-химические и эксплуатационные свойства упрочненных поверхностей.

Предпринимались усилия в части разработки комплексных технологических процессов путем воздействия на основной – ЭИЛ и ХИТО – внешними энергетическими источниками. К примеру, электрический ток малой интенсивности (около 1,5 А) через обрабатываемую деталь и магнитное поле 0,1 тесла – в рабочей зоне, показывают высокую эффективность и можно ожидать значительного расширения областей приложения подобных процессов.

Установлен эффект квазирегулярной осцилляции интенсивности переноса материала анода в процессе импульсного разряда, структурной и фазовой трансформаций в поверхностных слоях катода

под воздействием магнитного поля. Обнаружен значительный рост скорости диффузии элементов покрытия в матрицу металла, подвергнутого упрочнению. Эти новые результаты ускорили разработку технологических установок, среди которых – как ручные, так и механизированные с числовым управлением.

Гравиметрическими, электрохимическими и физическими (УФ- и ИК-спектроскопия, рентгенофазовый анализ, электронная микроскопия) методами (*руководитель работ д.т.н. В.В. Паршутин*) изучены коррозия сталей в водопроводной воде и ингибирование различными органическими веществами, содержащими гидразин. Установлено влияние химического состава и структуры вещества на формирование защитных покрытий на корродирующей поверхности. При использовании ингибиторов коррозионные потери уменьшаются до 10 раз.

Разработаны новые методы электролитного нагрева и показано, что последующее окисление в водном растворе нитрита натрия в 7 раз повышает коррозионную стойкость сталей; метод существенно повышает рабочий ресурс без применения дорогостоящих покрытий.

Выявлены оптимальные ингибиторы для защиты сталей в концентрированных растворах хлорида натрия при проведении электрохимической размерной обработки. Найдены эффективные ингибиторы и концентрации, при которых скорость коррозии снижается в 5–7 раз. Определен оптимальный состав электролита, позволяющий вести обработку сплавов и никеля с максимальной скоростью и минимальной шероховатостью поверхности. Изучена коррозия малоуглеродистых сталей в природных артезианских водах Молдовы.

Ряд важных результатов получен **Лабораторией электрохимической обработки материалов** (*зав.– чл.-корр. А.И. Дикусар*). В целях перехода от макро- к микро- и нанообработке, исследования были направлены на разработку электрохимических (электроэрозионных) методов получения наноматериалов и структур как посредством катодного осаждения, так и анодного растворения, при химическом осаждении и электроразрядной обработке, а также методов электрохимической микрообработки поверхностей, особенности которой исследовались на примере анодного травления упрочняющих электролитических хромовых и нанокристаллических кобальт-вольфрамовых покрытий. Обработка покрытий сплавом CoW с минимальной шероховатостью и максимальным выходом по току происходит в условиях термокинетической неустойчивости (ТКН) электродного процесса. Предложен механизм удаления материала в условиях ТКН. Результаты подтверждают возможность управления процессом упрочнения (разупрочнения) поверхностного слоя после микрообработки в различных электролитах с использованием постоянного и импульсного токов. Установлено влияние режимов электрохимической микрообработки и поверхностного выделения тепла на качество поверхностного слоя при анодном травлении электролитических хромовых покрытий.

Большой цикл работ посвящен электрохимическим методам получения нанокристаллических покрытий на основе индуцированного соосаждения металлов группы железа с тугоплавкими металлами, что связано с поисками покрытий, альтернативных электролитическим хромовым в связи с экологическими аспектами получения последних. Сравнением свойств CoW покрытий, полученных из цитратного электролита, и электролитических хромовых, показано, что их износостойкость в условиях сухого трения превышает износостойкость хромовых.

Исследован механизм осаждения таких покрытий и условия получения, состав, морфология, режимы термообработки и механические свойства покрытий сплавами FeW, CoMo, CoMoP. Определено влияние длительности проработки на состав цитратного электролита и покрытий, выявлены их свойства и взаимосвязь гидродинамических условий с их составом и механическими свойствами.

Ряд работ посвящен разработке методов управления процессами электроосаждения при получении наноматериалов в условиях электрохимического темплатного синтеза. При импульсном электроосаждении вследствие дополнительного подвода электроактивного компонента в период паузы пропуска тока возможно увеличение скорости осаждения (и степени заполнения нанопор), однако вследствие размерного эффекта скорости коррозии интенсивность осаждения наноматериала в этот период может снижаться. Если коррозия обусловлена кислородной деполяризацией, удаление растворенного кислорода может быть эффективным методом управления процессом получения наноматериалов в импульсных условиях. Разработаны оригинальные электрохимические методы получения наноконструкций на основе нанопористых структур (с использованием, в частности, n- и p-InP), исследованы их свойства.

Разработаны технологии электрохимической размерной обработки, гальванизации и восстановления деталей машин гальваническими покрытиями. Исследовано влияние индуктивноемкостных устройств на зародышеобразование, структуру и свойства различных электролитических покрытий.

На примере электроискрового легирования электродом-инструментом из сплава, представляющего механическую смесь легкоплавкого компонента в тугоплавкой матрице (при легировании сплавом Al-Sn), показана возможность получения нанонитей из легкоплавкого компонента в условиях электроразрядной обработки, изучены свойства таких покрытий.

В Лаборатории управления тепловыми процессами электрическими методами (зав. – академик М.К. Болога) продолжались исследования, охватывающие тепло- и массообмен при воздействии электрогидродинамических явлений: механизмы электризации; прокачка жидкостей под влиянием электрогидродинамических (ЭГД) явлений; электроконвективный тепло- и массоперенос при фазовых переходах; электросепарация; дегидратация в вакууме; конвертизация энергии электрогидродинамическими методами; экстракция протеино-минеральных концентратов и изомеризация лактозы в лактулозу из вторичных молочных продуктов; определение режимов электроплазмолиза при переработке винограда; обработка ароматического сырья с сокращенными энергетическими затратами.

Изучена специфика электрических воздействий и электрогидродинамических явлений. Установлены особенности электризации гомогенных и гетерогенных систем в интенсивном электрическом поле, классифицированы механизмы электризации диэлектрических жидких сред в зависимости от электропроводности. Проанализированы причины, механизмы и закономерности электрической конвекции, ее проявления и интенсификация тепло- и массообмена. Показано, что характеристики ЭГД-устройств предопределены процессами переноса зарядов на границе жидкость – электрод.

Выявлены особенности взаимодействия электрических полей с гомогенными средами и дисперсными системами в части определения закономерностей тепло- и массообмена при стимулировании ЭГД явлений; проанализированы особенности влияния электрических полей на электроконвективный теплообмен, гидродинамику пленочных течений, на процессы кипения слабопроводящих сред и конденсацию парогазовых смесей, определены оптимальные режимы интенсификации и управления процессами переноса. Раскрыты механизм и закономерности ЭГД явлений, установлены структура и характеристики ЭГД течений в разных системах электродов.

Определено влияние изоляционных покрытий электродов и параметров межэлектродного промежутка на характеристики и особенности ЭГД течений в многоэлектродных системах, взаимное влияние ступеней, теплообмен. Показано, что дополнительная электризация среды вне электродного промежутка позволяет существенно сократить расстояние между ступенями ЭГД насоса и улучшить характеристики в системах с изоляционными покрытиями. Исследованы электрогидродинамические особенности образования паровых пузырьков при кипении, установлен режим двухфазного потока, обусловленный движением растущих пузырьков, образующих вокруг поверхности капиллярно-пористую структуру, которая определяет зависимость теплообмена от плотности теплового потока.

Изучены аспекты ЭГД явлений в целях обоснования методов конвертизации солнечной и ветровой энергии в электрическую, рассмотрены модели ЭГД солнечно-ветровых генераторов. Исследована возможность получения воды из почвы и атмосферы с целью использования конденсата для ЭГД-генератора. Изучена конденсация парогазовой смеси в электрическом поле в целях получения конденсата в зависимости от напряженности поля (тока коронного разряда), скорости смеси и объемной концентрации газов.

Установлены параметры фильтрации и сепарации дисперсных систем, проанализированы характеристики процессов переноса. В целях фильтрации коллоидных растворов в электрическом поле использована предварительная электризация технологического агента. Для повышения эффективности электрофильтрации первоначально использованы регулируемые импульсы разной частоты и длительности, затем – воздействие на коллоидные частицы электрофоретических сил в постоянном электрическом поле.

Анализ состава сыворотки и методов ее обработки позволил выдвинуть гипотезу об экстракции протеиновых фракций в концентрат с одновременной изомеризацией лактозы в лактулозу, аргументировать ее и экспериментально подтвердить. Предложены и исследованы приемы электрофизической обработки молочной сыворотки. Выявлены основные закономерности комплексообразования протеинов в протеино-минеральных концентратах, роль протеиновых фракций в комплексообразовании и

изменение анодной жидкости с целью оптимизации экстракции. Определение характеристик процессов электрофизической активации позволило разработать приемы электрофизической обработки сыроворотки, рекомендовать направления обработки сыровороточных молочных продуктов, предусматривающие получение протеиновых концентратов предопределенного состава и одновременную изомеризацию лактозы в лактулозу с существенным сокращением энергозатрат безотходной технологии.

Проанализированы и обоснованы методы повышения эффективности обезвоживания при низких температурах: оптимизация этапа частичного удаления свободной воды без фазового перехода; разработка эффективных энергетических схем по обезвоживанию через испарение; схемы привлечения нетрадиционных и вторичных источников энергии; интегрирование энергетических и экологических аспектов в технологиях обезвоживания при низких температурах. Исследованы методы криоконцентрации и предложены высококачественные эффективные модули. Разработана методика расчета и оптимизации процессов обезвоживания при низких температурах.

Изучены возможности электроплазмолиза в части интенсификации массо- и теплопереноса при переработке растительного сырья и улучшения качества конечного продукта, в частности – путем повышения количества ценных компонентов, экстрагированных из кожицы винограда и дубильных веществ. Установлена зависимость удельного сопротивления измельченной массы на примере винограда от удельной энергии, введенной в зону электроплазмолиза, а также возможность плазмолиза виноградной мезги при предварительном нагреве до режимов традиционной технологии.

Предложены технологические экологические приемы обработки растительного ароматического сырья с сокращенными энергозатратами. Проведены исследования и тестирования по обработке лаванды в целях разработки комплексной технологии получения ароматических продуктов, основанной на энергоэффективных технологических процессах и аппаратуре.

Результаты по интенсификации тепло- и массообмена при воздействии электрогидродинамических явлений представляют теоретические и экспериментальные основы для разработки электротехнологий и технических средств в рассматриваемых областях. Исследования поведения слабопроводящих жидкостей и дисперсных систем при электрических воздействиях и процессов переноса определяют возможности разработки передовых экологических, энергоэффективных электротехнологий и современных технических решений.

В Лаборатории гидродинамических процессов и электрофлотации (зав. – д.т.н. П.Г. Думитраш) продолжались исследования по эмульгированию и диспергированию под воздействием акустической и гидродинамической кавитаций, методам очистки поликомпонентных жидкостей электродиализом и адсорбцией с целью интенсификации и создания новых технологических процессов. Исследованы особенности кавитационных течений в кольцевых каналах и соплах, обнаружены режимы течений с новыми свойствами, вызванные интерференцией инжектированных струй. При этом развивается интегральное движение с когерентными структурами, периодичность которых прямо пропорциональна скорости струй. Проанализированы особенности прохождения одиночных струй в плоских и кольцевых каналах с преимущественно двумерными течениями. Изучалась гидродинамическая интерференция струй в кольцевом канале и на основе результатов разработан новый тип кавитационных генераторов, а также технологических процессов эмульгирования и тонкого диспергирования, предложены кавитационные технологии, позволяющие получать эмульсии и суспензии с высокой степенью дисперсности частиц размером (0,1–2,0 мкм).

Для повышения производительности и эффекта воздействия кавитации разработан новый прием обработки, основанный на воздействии двух частот: низкой (до 1 кГц), генерирующей гидродинамическую кавитацию, для грубого диспергирования материала и высокой (до 22 кГц), генерирующей акустическую кавитацию, для тонкого диспергирования.

С целью улучшения некоторых технологических приемов в консервной и винодельческой промышленности испытаны установки для получения сока с мякотью и диспергирования бентонита применительно к обработке виноматериалов. Кавитационный способ гомогенизации и диспергирования сока с мякотью отличается от существующих тем, что в 10–15 раз менее энергоемкий, в 30–40 раз менее металлоемкий и более производительный. Другие преимущества: простота реализации процесса, дешевизна оборудования, малые габариты, возможность быстрого монтажа, отсутствие вращающихся деталей.

Для тонкого диспергирования бентонита разработана технологическая кавитационная линия, включающая гидродинамический кавитационный аппарат (измельчение до 40–60 мкм); кавитационный роторный аппарат (измельчение до 8–15 мкм); кавитационный акустический блок (измельчение до 0,1–2,0 мкм). Технология обеспечивает измельчение бентонита до субмикронных частиц; уменьшение расхода бентонита при обработке вин до 10 раз, что приводит к увеличению производительности фильтрации и сокращению количества дорогостоящего фильтрующего материала; улучшение качества осветления вин; увеличение производительности осветления вин до 8 раз. Разработанные технологии и установки могут быть вмонтированы в промышленные линии в цехах предприятий пищевой, текстильной, химической, фармацевтической и других отраслей промышленности.

В части методов и оборудования для очистки многокомпонентных жидкостей с помощью электродиализа и адсорбции (руководитель – д.х.н. В.И. Зеленцов) исследован процесс структурно-химического модифицирования (СХМ) местного диатомита соединениями алюминия с целью придания селективных свойств по отношению к фтору. Процесс СХМ оптимизирован, что позволило сократить расход щелочи, снизить температуру обработки и длительность процесса по сравнению с аналогичным методом для системы диатомит – модификатор. Определены изменения физико-химических, поверхностных, фазовых и структурных свойств, которые происходят при модифицировании диатомита и вызывают рост числа активных положительных адсорбционных центров на поверхности и в его объеме.

Исследованы равновесие и кинетика адсорбции фтора модифицированным диатомитом и оксигидроксидами алюминия из модельных водных растворов. По кинетическим кривым адсорбции фтора при разных температурах рассчитаны энергия активации и коэффициенты диффузии, выяснен механизм удаления фтора модифицированным диатомитом. Проверены и подтверждены оптимальные условия удаления фтора, установленные для модельных водных растворов больших концентраций (0,015–0,25 моль/л) и для малых концентраций фтора (2–20 мг/л), характерных для большинства источников подземных вод Молдовы.

Разработаны и реализованы электродиализные лабораторные аппараты с изменяющимся числом (3–16) камер, снабженные электродами и ионоселективными мембранами. Определены оптимальные условия электродиализа (ЭД) очистки воды для исходных концентраций фтора (2,1–12 мг/л), при которых его остаточное содержание соответствует минимальной допустимой концентрации в воде. Исследованы закономерности удаления нитратов из модельных и природных вод с использованием ЭД. Предложена технологическая схема процесса, включающая электродиализную установку, которая позволяет проводить очистку воды от фтора и нитратов до стандартных норм.

В рассматриваемый период научная и университетская деятельность становится все более престижной. Есть все основания утверждать, что в консолидируемой научной среде преодолеем неопределенность, обеспечим стабильное продвижение по восходящей траектории, и благословенные Молдова и Академия наук заслуженно станут европейскими жемчужинами. А юбилей 65-летия Молдавского госуниверситета останется приятным воспоминанием о пройденных вместе годах, воодушевляя и укрепляя веру в счастливое будущее науки, которое мы, несомненно, заслуживаем.

Литература:

1. Болога М.К. Исследования и инновации в Институте прикладной физики. Эволюция и достижения // Электронная обработка материалов, 2006, №42(3), с.4-91.
2. Raport privind activitatea Consiliului Suprem pentru Știință și Dezvoltare Tehnologică și rezultatele științifice principale, obținute în sfera științei și inovării în perioada anilor 2006-2010. - Chișinău, 2011.
3. Болога М.К. Институт прикладной физики. К 65-летию академической науки в Молдове // Электронная обработка материалов, 2011, №47(4), с.7-55.

Prezentat la 30.09.2011