

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА В ИНСТИТУТЕ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ АКАДЕМИИ НАУК МОЛДОВЫ

На рубеже 55-летия академической науки Молдовы попытаемся реферативно оценить результаты исследований и разработок новых эффективных электротехнологических процессов и технических средств для их реализации, которые, надеемся, послужат толчком к разработкам в приоритетных областях, к реализации важных и многообещающих результатов как традиционных работ, так и новых начинаний коллектива Центра электрофизических проблем Института прикладной физики АН РМ.

Речь идет об исследованиях электрических воздействий с целью совершенствования и разработки эффективных методов обработки материалов, управления процессами тепло- и массопереноса, об обосновании новых электротехнологий и возможностей их реализации в различных областях с позиций не только традиционных подходов, но и новых технологических и технических решений.

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 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, но в то же время и 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 Б.Р. Лазаренко связана с Институтом прикладной физики, первым и бессменным директором которого он был.

Существенным толчком к широкому использованию электрической энергии для обработки материалов без предварительного ее превращения в другие виды энергии явилось обоснование 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 ни одной промышленно развитой страны мира, в которой бы не использовались различные варианты метода электроискровой (электроэрозионной) обработки. Наибольшее развитие в ИПФ АНМ получило электроискровое легирование металлических поверхностей. Достоинства метода – большая прочность сцепления с основой, возможность локализации процесса легирования в определенных местах поверхности, отсутствие нагрева обрабатываемой детали, приводящего к его деформации, простота и

легкость эксплуатации установок – привели к его широкому внедрению в практику. Созданным при Институте прикладной физики АН РМ по инициативе Б.Р. Лазаренко Опытным заводом 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, повысить износостойкость высоколегированных материалов, деревообрабатывающего инструмента, режущих инструментов сельскохозяйственных машин в несколько раз. Способ 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 газовым составом и структурой поверхностных слоев. 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. Установлен механизм ограничения толщины формируемых слоев, диффузионных явлений в твердой фазе; созданы модели, описывающие распределения элементов в поверхностном слое; выявлены возможности получения покрытий высокой сплошности. Показаны возможности проведения при электроискровом легировании микрометаллургических процессов, позволяющих создавать сложные металлические композиции из интерметаллидов, твердых растворов, чистых металлов. Институтом совместно с Опытным заводом разработан и выпущен ряд моделей механизированных установок, которые широко используются в практике промышленного и сельскохозяйственного производства.

В настоящее время проводятся исследования и разработки, позволяющие расширить возможности управления процессом с использованием новых методов регулирования электрическими характеристиками, расширения областей применения метода.

Другое направление исследований и применения физико-химических методов обработки, интенсивно развиваемое в ИПФ – электрохимикотермическая обработка или обработка металлов при анодном нагреве в электролитах. На основе проведенных исследований раскрыт механизм 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. Совместно с Опытным заводом создана гамма установок 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 ИПФ АН РМ 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 с использованием импульсов микросекундного диапазона длительностей. Разработаны новые

технологические процессы электрохимической размерной обработки сложнопрофильных деталей, штампов и прессформ, получения искусственной шероховатости на внутренних поверхностях труб, электрохимического шлифования и др.

Развитие электрохимических методов обработки в Институте прикладной физики связано с именем академика Ю.Н. Петрова (1921–1990 гг.). Под его руководством, в том числе совместно с лабораториями Аграрного университета 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.).

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, предложить новые составы ингибиторов коррозии. Проведена значительная работа по исследованию коррозионных особенностей природных вод Молдовы.

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 развиваются в Институте прикладной физики в тесном сотрудничестве с коллегами из других Институты Молдовы, а также ближнего и дальнего зарубежья.

За последние десятилетия интенсивное развитие получила проблема теплопереноса и наряду с классическими интенсифицирующими способами все более уверенные позиции занимают физические методы, основанные на воздействии силовых полей. Эти положения ниже 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 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.

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, газозвесели) 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 и высокоэффективных устройств регулируемого теплообмена и термостатирования.

Выполнен большой цикл работ по определению локальной структуры кавитационных течений, выяснению ее связей 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 ЭД-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.

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

Важными в научном и практическом аспекте в части интенсификации и управления процессами тепло- и массообмена являются работы по структурно-гидродинамическим особенностям при псевдоожигении в магнитном поле. Изучены возможности создания магнитоожигенных слоев, определены наиболее важные их 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 магнитоожигенным 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.

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 большое 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 в решении проблем защиты металлических поверхностей в процессах нанесения покрытий от окисления. При этом интенсифицируется и упрощается нанесение покрытий, повышается производительность процесса и 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 существующей технологии 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 качество соков. 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 приводит к улучшению его вкусовых качеств и пищевой ценности.

Перечисленные результаты и технические решения свидетельствуют, что технологические процессы и их аппаратное оснащение на основе использования кавитационных явлений могут быть существенно расширены и усовершенствованы. Проведенные исследования по воздействию кавитации на различные процессы в жидкостях и накопленный в Институте прикладной физики опыт в части разработки на их основе 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 нового столетия.

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 выполненных 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 (эмульсии, масла, нефтепродукты) от водной среды. Можно отметить технологии и установки для выделения мелких (меньше 0,5 мкм) 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.

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 электроплазмоллизом, состоящая в разрушении клеточного строения среды под воздействием электрического тока, способствует существенному улучшению перечисленных показателей. С полным основанием электроплазмоллиз может быть отнесен к современным и перспективным высоким технологиям. На протяжении последних десятилетий в Лаборатории электрических методов обработки продуктов растениеводства проведены оригинальные 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.

Электроплазмоллиз 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 электроплазмоллиза перед другими способами обработки состоят в исключительно кратковременном и эффективном воздействии тока на сырье. Ценным свойством электроплазмоллизованного сырья является увеличение коэффициентов массопереноса и теплоотдачи на уровне клеточных структур. Эти обстоятельства создают благоприятные условия для использования электроплазмоллиза при интенсификации последующих процессов экстракции компонентов или тепловой обработки сырья. Установлено существенное увеличение выхода соков (до 10%) для различных видов сырья. За последние годы разработаны и созданы электроплазмоллизаторы для электрической обработки сырья с различными коэффициентами удельной электропроводности и уровнем содержания влаги.

Преимущества электроплазмоллиза 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 эфирномасличных культур; существенным сокращением процесса сушки в производстве порошков из фруктов и овощей.

Перспективными аспектами применения электроплазмоллиза является увеличение коэффициента диффузии компонентов электроплазмоллизованного сырья, а также разработки новых технологий селективного извлечения ценных компонентов сырья, эфирных масел или компонентов для фармацевтической промышленности. Новые возможности для внедрения в перерабатывающей и пищевой промышленности открывает одновременное применение электроплазмоллиза и механической лацерации. Даже это простое перечисление позволяет заключить, что ресурсосберегающие технологии переработки биологического сырья электроплазмоллизом актуальны и достойны дальнейшего развития и промышленного внедрения.

Хочется надеяться, 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 встречаем 55-летие академической науки в Молдове, то цели и стремления, с которыми была подготовлена эта информация, вполне оправдались.