

Г.П. Тищенко, Н.Г. Банник

К ВОПРОСУ ФИЗИЧЕСКОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ СОСТАВОВ И ПОКРЫТИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», г. Днепропетровск

Представлен обзор научной информации об одном из видов физической модификации – обработке материалов в электромагнитных полях (ЭМП). Подробно рассмотрено влияние ЭМП как на агрессивные среды для снижения их разрушающего действия на конструкционные материалы и покрытия, так и на защитные покрытия с целью улучшения их основных физико-химических характеристик.

Основной характеристикой лакокрасочных покрытий (ЛКП) является их долговечность и эксплуатационная надежность. Проведенные исследования [1-12] показали, что увеличение срока службы покрытий может быть достигнуто путем физической модификации ЛКП. Понятие «физическое модифицирование» включает в себя различные виды физического воздействия на материал. Представляют практический интерес такие виды физического воздействия на материалы, как: термообработка [13,14], ультразвуковая обработка [15–17], модификация лучевыми методами [18–19], обработка в электрическом поле, обработка в магнитном и электромагнитных полях.

Процесс физической модификации полимеров заключается в изменении их свойств в результате действия физических факторов (температуры, давления, излучения и т.д.), что ведет к структурно-физическим, химическим и другим превращениям в полимерах.

В научной литературе достаточно хорошо рассмотрена природа воздействия методов обработки ультразвуком, модификации лучевыми методами, термообработки, чего нельзя сказать об электромагнитных полях (ЭМП). Несмотря на то, что обработка ЭМП также нашла применение в различных отраслях промышленности и дает положительные результаты, механизм и природа воздействия электромагнитных полей изучены недостаточно, многие эффекты научно не обоснованы и не раскрыты.

Известно, что около проводника, по которому протекает ток, возникает одновременно электрическое и магнитное поля. Если ток не меняется во времени, эти поля не зависят друг от друга. При переменном токе магнитное и электрическое поля связаны между собой, представляя единое электромагнитное поле. Изучение электромагнитного поля охватывает широкий диапазон частот (от 3 до $3 \cdot 10^{20}$ Гц и более).

Электромагнитное поле характеризуется век-

торами напряженности составляющих его электрического и магнитного полей \vec{E} и \vec{H} . Среда, в которой оно распространяется, обладает некоторыми свойствами, оказывающими определенное влияние на распространение в ней этого поля, а поле, в свою очередь, может изменить свойства среды, в которой оно распространяется. Поэтому воздействие постоянного или переменного магнитного полей на объект исследования может быть использовано с целью его модификации и направленного изменения заданных специальных свойств.

Обработка в магнитном и электромагнитных полях агрессивных сред

Так в работе [20] показано, что для снижения коррозионной активности воды производится обработка нагреваемой воды магнитным полем в аппаратах серии АМО Чебоксарского завода «Энергозапчасть», в результате чего повышается эффективность ингибирования воды силикатом натрия.

Различные устройства для омагничивания воды и повышающие коррозионную стойкость оборудования описаны в работе [21].

Модификация электромагнитными полями является одним из перспективных направлений в интенсификации технологических процессов. Установлено [22], что во вращающемся и пульсирующем магнитном поле при числе Гартмана выше единицы обнаружен магниторазделительный эффект отделения сахарного раствора от несахаров, что резко повышает производительность процесса. Исследование этого явления применимо к многокомпонентным защитным составам, их очистке и регенерации, представляя несомненный интерес.

Исследовано [23] изменение скорости коррозии различных металлов в омагниченной воде. Опыты проводили в лабораторных и полупроизводственных условиях. Магнитной обработке подвергали дистиллированную воду, в которой

был растворен хлористый натрий (концентрация хлора 150 мг/кг). В раствор погружали пластинки из стали 40ХН. Напряженность магнитного поля изменяли в пределах 13,6–160 кА/м. Скорость движения раствора составляла 1,5 м/с. Обрабатываемый раствор проходил по стеклянной трубке, четыре раза пересекая магнитное поле. Температура раствора составляла 100°C. Контроль коррозии осуществляли массовым и электрохимическими способами. Кроме того, определяли концентрацию газов (CO₂, O₂) и величину рН. Электрохимический контроль заключался в определении потенциала стальных пластин (электродов) в исследуемых растворах по отношению к хлорсеребряному электроду сравнения. В опытах использовали катодный вольтметр ЛПП-60М.

Результаты опытов показали, что при определенной напряженности магнитного поля (60 кА/м) коррозия стали уменьшается на 20%. При смежных напряженностях магнитного поля эффект снижается, и при напряженности поля 0 и 80 кА/м он равен нулю. Противокоррозионные свойства омагниченного раствора длительно сохраняются: через 24 ч после обработки раствора эффект снижался на 40–50%.

В работе [24] обобщен опыт использования аппаратов магнитной обработки применительно к промышленным жидкостям. По мнению авторов, большие перспективы имеют электромагнитные аппараты с регулируемыми параметрами по напряженности, частоте, форме сигнала для снижения коррозионной активности и вязкости добываемой и транспортируемой жидкости, разделение водо-газо-нефтяных смесей, процессов коагуляции, парафино- и солеотложений.

Исследовано [25] влияние наложенного магнитного поля на скорость растворения меди (99,99%) в фосфатных растворах. Опыты проводили на образцах листовой меди размером 3×5 см² в стеклянном стакане емкостью 250 см³, содержащем 200 см³ раствора и помещенном в магнитном поле электромагнита, соединенного последовательно с источником постоянного тока напряжением 6 В, реостатом и амперметром с большим числом диапазонов. Напряженность магнитного поля варьировалась изменением тока, протекающего через систему. Установлено, что скорость растворения меди снижается с увеличением напряженности магнитного поля, проходит через минимум и далее возрастает с увеличением напряженности магнитного поля. Такое поведение можно объяснить наличием двух противоположных потоков в диффузионном слое, один из которых индуцируется силой Лоренца. Направление силы Лоренца (вверх или вниз) зависит от относительного расположения магнитного и электрического полей. Вероятно, настоящее расположение генерирует восходящую силу Лоренца. При таких напряженностях поля слабый восходящий

магнито-гидродинамический поток замедляет нисходящий естественный конвекционный поток на поверхности меди. Снижение скорости растворения продолжается до тех пор, пока не будет достигнута точка, где восходящий поток, вызванный силой Лоренца, становится сильнее, чем нисходящая естественная конвекция. В этой точке более сильный восходящий магнито-гидродинамический поток уменьшает толщину диффузионного слоя, что приводит к последующему увеличению скорости растворения меди.

Исследовано [26] также влияние ЭМП на растворение цинка, никеля, меди и латуни в растворе азотной кислоты.

Рассмотрена [27] гипотеза магнитоотрицательного упрочнения материала под действием постоянного магнитного поля. Напряженность магнитного поля для обработки выбиралась 15 кА/м, что соответствовало максимальной магнитоотрицательности в металле. Испытывали на износ образцы из доломитных сталей марки 14ХНЗМА, 16ХНЗМА, 20ХНЗА. Одна партия образцов прошла только химико-термическую обработку, другая в течение 60 с обрабатывалась в магнитном поле с $H = 15$ кА/м, затем выдерживалась 24 ч и подвергалась размагничиванию. Износостойкость магнитообработанных образцов повысилась в 1,5 раза по сравнению с необработанными, а средняя скорость износа уменьшилась на 33%.

Эффективность электромагнитного воздействия при изготовлении режущего инструмента описана в работе [28], где изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований кинетики формирования магнитным полем алмазно-абразивного инструмента на пористой металлической и эластичной связках, кинематики, динамики и технологии алмазной, абразивной и магнитной обработки, а также магнитоэлектрического упрочнения различных материалов.

Используются магнитные поля и для улучшения свойств конструкционных и инструментальных сталей [29]. Так, при использовании термомагнитной обработки износостойкость деталей повышается в 1,7–1,8 раза.

Обработка в магнитном и электромагнитном полях полимерных покрытий

С целью модификации полимерных покрытий и обеспечения их необходимых специальных свойств в качестве физического метода модификации используют воздействие постоянными или переменными магнитными полями. С помощью обработки в магнитных полях можно добиваться улучшения таких эксплуатационных свойств полимеров, как: твердость, прочность при изгибе, прочность при растяжении, адгезия.

Магнитную обработку можно применять для воздействия на полимеры в стадии переработки.

Магнитное поле может способствовать сни-

жению температуры отверждения полимерных покрытий, полученных методом электроосаждения, и улучшению их физико-механических показателей. Магнитное поле оказывает структурирующее влияние на олигомерный осадок. Предварительное (до отверждения термического) структурирование пленкообразователя в магнитном поле способствует ускорению релаксационных процессов и снижению внутренних напряжений [30].

Под влиянием магнитного поля заметно увеличивается выход по току, причем больше в случае анодного лакокрасочного материала. Так, при действии на электроосаждение магнитным полем напряженностью $H=200$ кА/м, выход по току увеличивается от 9,1 до 13 мг/Кл для лака КЧ-0125 и от 25 до 25,5 мг/Кл для грунтовки В-ЭП-0190 [31].

Особое внимание уделяется экспериментам по ориентации молекул материалов в магнитном поле, обусловленной, главным образом, анизотропией диамагнитной восприимчивости молекул, их влиянием на структуру молекул, гибкость и межмолекулярную ориентационную корреляцию [32].

Воздействие магнитного поля обуславливает ориентацию структурных элементов расплава полимера и частиц наполнителя. Эти процессы в значительной степени влияют на физико-механические характеристики покрытий. Увеличивается адгезия, твердость, износостойкость, прочностные характеристики. Эти параметры зависят от напряженности магнитного поля [33].

Для обработки полимерных покрытий в магнитном поле применяются постоянные магниты, соленоидные электромагниты, четырехконтурные системы кругового тока и другие. Полимерные покрытия нанесенные на поверхность, как немагнитных, так и магнитных материалов, обрабатываются в пульсирующем или постоянном магнитном поле. Магнитное поле влияет на электрические свойства металлонаполненных и ненаполненных, кристаллических или аморфных полярных и неполярных покрытий на их основе [34].

С целью получения электропроводящих полимерных материалов в полимерные материалы вводят металлические порошки, которые в магнитном поле образуют замкнутую систему, которая сохраняется после отверждения полимера. Авторами [31,34] показано повышение электропроводности эпоксидной смолы (до 10^{-3} – 10^{-4} Ом·см) при ее модификации порошком никеля.

Модифицирование в магнитном поле используют для повышения прочности сцепления покрытия с металлом при разработке магнитной УФ-отверждаемой краски. Магнитный порошок, например феррит бария или окись железа, включают в состав композиции на основе эпоксидной смолы, содержащей функциональные добавки, которую обрабатывают при нанесении на защи-

щаемую поверхность в магнитном поле. Магнитное покрытие обладает высокими противокоррозионными характеристиками вследствие повышения адгезии, а также влияния магнитного поля на кинетику электрохимических реакций [33].

Качество полимерных покрытий, наносимых пневмоэкструзионным способом, можно повысить приложением знакопеременного магнитного поля. Для достижения высокой степени диспергирования в него вводят ферромагнитные порошки. Феррочастицы поочередно притягиваясь к полюсам электромагнита, генерируют колебания струи и обеспечивают высокий диспергирующий эффект [35].

Обработку магнитным полем можно использовать для повышения химической стойкости покрытий. Это объясняется диспергированием под действием электромагнитного поля надмолекулярных структур на более мелкие структурные элементы, способствующие формированию однородной структуры через стадию тиксотропного отверждения системы [36].

Термомагнитная обработка применяется при получении полимерных покрытий [37]. Магнитная обработка в сопровождении температур осуществляется в специальной установке, состоящей из нагревательной печи, изготовленной из немагнитных материалов и постоянного магнита или электромагнита. Печь устанавливается между башмаками постоянного магнита, силовые линии которого направлены параллельно продольной или поперечной осям покрытого изделия, находящегося в печи.

Термомагнитная обработка покрытий осуществляется следующим образом. Изделие с покрытием помещается в печь и нагревается до определенной температуры, затем включается постоянное магнитное поле с определенной напряженностью. После истечения заданного срока обработки печь и магнитное поле выключаются. В некоторых случаях изделие выдерживается в поле до полного охлаждения для закрепления созданной ориентации в материале покрытия и подложки.

Авторами работ [38,39,40] проведено систематическое исследование модификации полимерных систем воздействием переменного электромагнитного поля различной частоты и напряженности с целью регулирования комплекса их свойств. Создана установка на базе звукового генератора, усиленного батареей высоковольтных трансформаторов, позволяющих генерировать ЭМП широкого диапазона частот (от 10 до 196 Гц) и напряжений (от 50 до 2000 В), предназначенных для модификации как полимерных систем в процессе их получения и переработки, так и готовых изделий. Предложен механизм модифицирующего действия ЭМП, основанный на представлении о более равномерном и эффективном распределении пластификатора в полимер-

ной матрице. Показана возможность снижения при помощи метода физической модификации материалоемкости производства за счет сокращения расхода пластификаторов от 50 до 25 мас.% без ухудшения эксплуатационных свойств готового материала.

Исследовано [41] влияния постоянного и переменного полей на полимерные покрытия по продольному и поперечному направлениям к поверхности образцов. Результаты исследований показывают, что под воздействием как переменного, так и постоянного магнитных полей происходит изменение адгезионных и прочностных свойств полимерных покрытий, обработанных в постоянном и переменном магнитных полях с различными направлениями их силовых линий. Образцы ПЭВП, ЭД-16 и пентапласта подвергались воздействию магнитного поля в течение 1800 с при напряженности $12 \cdot 10^4$ А/м.

Усиливающее действие перпендикулярного к поверхности покрытий (поперечного) переменного и постоянного магнитного поля ниже, чем продольного, независимо от вида и полярности полимеров. Это, вероятно, объясняется тем, что при поперечном воздействии магнитных силовых линий, ориентация макромолекул происходит перпендикулярно к подложке, что вызывает увеличение их диффузии в поры адгезива и одновременно уменьшается связь в продольном направлении.

Значительное увеличение адгезионной прочности покрытий при воздействии переменного магнитного поля, по-видимому, связано с превышением амплитуды переменного поля, приложенного при отверждении, над величинами магнитных характеристик образцов, увеличением активности поверхности образца, а также с увеличением процесса диффузии между субстратом и подложкой. Улучшение адгезионной прочности и разрывной прочности полимерных покрытий можно объяснить повышением когезионной связи между молекулами за счет их активации и ориентации в магнитном поле [42,43]. Напряженность магнитного поля также может двояко влиять на адгезионную прочность, а значит и на долговечность покрытий [44]. С ростом напряженности (Н) адгезия повышается, а с увеличением Н более 120 кА/м для многих покрытий наблюдается ее снижение, поэтому напряженность поля должна быть оптимизирована.

Установлено [45], что воздействие электромагнитного поля сверхвысокочастотного диапазона при нанесении полимерного покрытия на поверхность металла повышает адгезионную прочность за счет релаксации внутренних напряжений и появления у адгезива прочной поперечно-сшитой структуры.

Существенное влияние на защитные свойства полимерных покрытий оказывают внутрен-

ние напряжения, возникающие в слое полимера после его отверждения. Эти напряжения вызывают самопроизвольное отслаивание и разрушение покрытий. Исследовано [46] влияние специфики структурных превращений на кинетику нарастания внутренних напряжений в зависимости от параметров обработки магнитным полем. Объектом исследования являлась эпоксидная смола ЭД-16, отверждаемая 13 мас.% полиэтиленполиамином, пластифицированная 20 мас.% дибутилфталата. Покрытия наносились на стеклянные подложки и подвергались воздействию магнитного поля напряженностью 400–1000 Э в течение 30 мин.

Внутренние напряжения измерялись поляризационно-оптическим методом в двух взаимно перпендикулярных направлениях — по направлению магнитных линий поля и перпендикулярно им.

Структура покрытий изучалась электронной микроскопией путем снятия угольно-платиновых реплик с поверхности покрытий, предварительно подвергнутых кислородному травлению.

С увеличением напряженности до 800–1000 Э наблюдалось резкое понижение внутренних напряжений (от 7,0 до 2,0–2,5 МПа). При этом значительно увеличивалась скорость отверждения покрытий, и внутренние напряжения достигали предельного значения через 4 ч формирования.

Обращает на себя внимание и тот факт, что направление действия силовых линий магнитного поля не оказывает значительного влияния на величину внутренних напряжений и кинематику их нарастания, что свидетельствует об отсутствии анизотропного изменения свойств в этих системах.

С повышением толщины покрытий до 800–1000 мкм этот эффект влияния магнитного поля на величину и кинетику нарастания внутренних напряжений проявляется в меньшей степени.

Анализ отечественных и зарубежных источников научно-технической литературы позволяет сделать вывод о перспективности исследования и разработки новых технологий электромагнитного воздействия как на агрессивные среды для снижения их разрушающего действия на конструкционные материалы и покрытия, так и на защитные покрытия с целью улучшения их основных физико-химических характеристик.

В отличие от ультразвуковых, вакуум-компрессионных, плазменных и лучевых методов модификации такая обработка безопасна, не требует дорогостоящего оборудования, не связана с высокими температурами и давлением.

Обработка полимерных материалов и агрессивных сред в ЭМП достаточно эффективна и экологична, что обуславливает возможность ее широкого применения для решения различных

технологических задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тищенко Г.П., Трофимович А.Н., Шмаленюк В.Н. Повышение химической стойкости эпоксиполиамидных покрытий обработкой в электромагнитных полях // Новые коррозионностойкие металлические сплавы, неметаллические и композиционные материалы и покрытия: Тез. докл. III Респ. науч.-техн. конф. – Киев. – 1983. – Вып. 4. – С.53-55.
2. Тищенко Г.П., Трофимович А.Н., Кольцова И.Л. Влияние электромагнитных полей на диффузию полимеров в металлические подложки // Диффузионные соединения металлических и неметаллических материалов: Тез. докл. XI Всесоюзной науч. конф. – М. – 1984. – Вып. 2. – С.25-26.
3. Тищенко Г.П., Трофимович А.Н. Повышение долговечности строительных конструкций пищевых производств // Сб. Пищевая промышленность. – 1983. – № 4. – С.43-46.
4. Совершенствование методов исследований физико-химических свойств полимерных материалов и защитных покрытий / Тищенко Г.П., Кураченков В.Н., Анисимов В.Н. и др. – Обзор. инф. сер. Общепромышленные вопросы. – М.: НИИТЭХИМ. – 1985. – Вып. 12. – 36 с.
5. Тищенко Г.П., Трофимович А.Н., Кольцова И.Л. Повышение химстойкости защитных покрытий аппаратов с использованием электромагнитных полей // Создание и внедрение химического оборудования с использованием физических методов интенсификации технологических процессов: Тез. докл. Всесоюзного науч.-техн. совещания. – М. – 1984. – С.40-41.
6. Изучение релаксационных переходов в полимерах при воздействии магнитных полей / Гуль В.Е., Садыхзаде С.М., Трифель и др. // Механика полимеров. – 1971. – № 4. – С.611-614.
7. Мирошниченко В.Ф., Семенов Н.И. Термодинамические основы процесса влияния электромагнитных полей на расплав полимеров // Пластические массы. – 1970. – № 10. – С.35-36.
8. Тищенко Г.П., Трофимович А.Н. Влияние обработки полимеров в электромагнитном поле на защитные свойства покрытий // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1984. – № 5. – С.62-64.
9. Тищенко Г.П., Трофимович А.Н., Вязовая И.В. Исследование влияния электромагнитных полей на свойства полимерных покрытий // Экспресс информация. Сер. Коррозия и защита окружающей среды / ВНИИОЭНГ. – 1984. – № 7. – С.12-15.
10. Тищенко Г.П., Трофимович А.Н., Шмаленюк В.Н. Влияние электромагнитных полей на химическую стойкость эпоксиполиамида в кислых средах // Вопросы химии и хим. технологии. – 1985. – № 7-8. – С.48-50.
11. Тищенко Г.П., Важенин С.Ф., Ермаков П.П. Использование электронной микроскопии при исследовании влияния электромагнитных полей на структуру полимеров // Новые возможности дифракционных, рентгеноспектральных и электронно-микроскопических исследований в решении научно-технических проблем в области физико-химии твердого тела и поверхности: Тез. докл. Всесоюзного совещания. – М. – 1987. – С.86.
12. Тищенко Г.П., Мойсеенко Н.Ю., Мирошник Д.Ж. Влияние модификации на прочностные характеристики защитных покрытий // Защита от коррозии нефтегазового оборудования в процессе строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности: Тез. докл. Всесоюзного совещания. – Красный Курган. – 1987. – С.81-83.
13. Тищенко Г.П. Влияние концентрации наполнителей и режимов отверждения на износостойкость защитных покрытий // Защита от коррозии нефтегазового оборудования в процессе строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности: Тез. докл. Всесоюзного совещания. – Красный Курган. – 1987. – С.83-84.
14. Применение износостойких полимеров для повышения эксплуатационной надежности оборудования / Тищенко Г.П., Трофимович А.Н., Горох А.П. и др. // Ферментная и спиртовая промышленность. – 1984. – № 1. – С.15-18.
15. Колосов О.Є. Обґрунтування процесів та обладнання для одержання виробів з композицій епоксиполімерів ультразвуковою модифікацією: Автореф. дис...д-ра техн. наук: 05.17.08 / НТУУ «ХПИ». – К., 2010. – 36 с.
16. Тищенко Г.П. Химико-технологические методы снижения коррозии металлов // Ферментная и спиртовая промышленность. – 1987. – № 1. – С.14-17.
17. Тищенко Г.П., Жужман В.Я. Антикоррозионная защита металлоконструкций и коммуникаций. – К.: Будивельник, 1988. – 160 с.
18. Отверждение стеклопластиков с использованием ИК-излучения / Т.А. Манько, И.М. Ермолаев, В.Б. Щенева, А.В. Соловьев. – Днепропетровск: ДГУ, 1988. – С. 5.
19. Коваленко В.С., Котляров В.П., Дятел В.П. Применение лазеров в машиностроении. – К.: Выща шк., 1988. – 162 с.
20. Вильберлиц С.М. Влияние силикатирования и магнитной обработки воды на ее коррозионную активность // Системы центрального водоснабжения: Сборник науч. трудов. – М. – 1986. – С.113-119.
21. Класен В.И. Омагничивание водных систем. – М.: Химия, 1982. – 296 с.
22. Федоткин И.М. Перспективные направления в интенсификации технологических процессов пищевых производств // Пищ. пром-ть. – 1983. – № 3. – С.26-29.
23. Тебенихин Е.Ф. Безреагентные методы обработки воды в энергоустановках. – М.: Энергия, 1977. – 183 с.
24. Аппараты для магнитной обработки жидкостей / Инюшин Н.В., Ишемгужин Е. И., Каштанова Л.Е. и др. – Уфа: Реактив, 2001. – 147 с.
25. Fattah A.A., Dessouri H.A., Owes G. The corrosion behavior of manganese in phosphate solutions // Corros prev and court. – 1988. – Vol.35. – № 3. – P.75-78.
26. Aussudre S., Priou A. Emplol des onder electromagnetiques dans les techniques // Rech. Acrospat. – 1988. – № 5. – P.1-13.
27. Захаров В.Н. Повышение износостойкости долотных сталей магнитной обработкой // Тр. Науч.-техн.

конф. Мол. ученых и спец. – М.: Ин-т нефти и газа, 1988. – С.26-29.

28. *Ящерицын П.И., Забавский М.Т.* Алмазно-абразивная обработка и упрочнение изделий в магнитном поле. – Минск.: Наука и техника, 1988. – 272 с.

29. *Берштейн М.П., Пустовой В.И.* Термическая обработка стальных изделий в магнитном поле. – М.: Машиностроение, 1897. – 256 с.

30. *Зубов П.И., Сухарева Л.А.* Структура и свойства полимерных покрытий. – М.: Наука, 1982. – 270 с.

31. *Александрова Г.В., Крылова И.А., Елисаветский А.М.* Влияние магнитного поля на процесс окраски методом электроосаждения // Лакокрасочные материалы. – 1988. – № 6. – С.56-57.

32. *Сильные и сверхсильные магнитные поля и их применени:* Пер. с англ. / Ред. Ф. Херлака. – М.: Мир, 1988. – 456 с.

33. *Электрические и магнитные поля в технологии полимерных компонентов / Ю.И. Воронежцев, В.А. Гольаде, Л.С. Пинчук, В.В. Снежков / Ред. Свириденка А.И.* – Минск: Наука і техника, 1990. – 263 с.

34. *Гуль В.Е., Голубева М.Г., Шенфиль Л.З.* Модификация полимеров как резерв экономии полимерного сырья, расширения ассортимента и областей применения полимерных материалов и повышения качества изделий из них // Тез докл. и сообщ. – М. – 1968. – С.220.

35. *Григорьева Л.Ф.* Термическая обработка полимерных материалов за рубежом. – М.: ЦИНТИ химнефтемаш, 1973. – 208 с.

36. *Тищенко Г.П., Трофимович А.Н.* Повышение долговечности пищевого оборудования. – М.: Агропромиздат, 1988. – 208 с.

37. *Молчанов Ю.Н., Родин Ю.П., Касис Э.В.* Воздействие неоднородного постоянного магнитного поля на свойства полимеров // Механика полимеров. – 1978. – № 3. – С.537-538.

38. *Сайдук А.А., Порватова Л.М., Андрианова Г.П.* Создание прибора для обработки полимерных композиций электромагнитными полями // Вестник МГУДТ. – 2003, – С.95-102.

39. *Сайдук А.А., Сайдук В.А., Бокова Е.С.* Модификация поливинилиденхлорида электромагнитными полями // Молодые ученые XXI века: Тез. докл. науч. конф. – М.: МГУДТ, 2006. – С.56.

40. *Бокова Е.С., Сайдук А.А., Андрианова Г.П.* Влияние электромагнитной обработки на условия получения и свойства полимер – полимерных комплексов на основе полиакриловой кислоты и мочевиноформальдегидного сополимера // Пластические массы. – 2007. – № 2. – С.44-46.

41. *Негматов С.С., Евдокимов Ю.М., Садыкав Х.У.* Адгезионные и прочностные свойства полимерных материалов и покрытий на их основе. – Ташкент: Фан, 1979. – 168 с.

42. *Басин В.Е.* Адгезионная прочность. – М.: Химия, 1989. – 208 с.

43. *Вакула В.Л., Прыткин Л.М.* Физическая химия и адгезия полимеров. – М.: Химия, 1995. – 224 с.

44. *Садыков Х.У., Негматов С.С.* О способах обработки покрытий в магнитном поле // Композиционные полимерные материалы: Сборник науч. трудов. – Ташкент: Ташкентский политех. институт. – 1979. – С.69-76.

45. *Влияние электромагнитных волн сверхвысокочастотного диапазона на адгезионную способность полимерных материалов / И.Р. Кузеев, И.Г. Ибрагимов, Е.М. Абакачев, К.А. Киреев // Нефтяное дело. – 2011. – № 6. – С.452-456.*

46. *Усманов Д.И.* Исследование механизма изменения адгезионных свойств полимерных покрытий. Композиционные полимерные материалы: Сб. науч. трудов. – Ташкент: Ташкентский политех. институт. – 1979. – С.105-119.

Поступила в редакцию 11.04.2013