

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Международное общество ученых технического образования



ТЕХНОЛОГИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

**Материалы докладов
85-ой научно-технической
конференции профессорско-преподавательского
состава, научных сотрудников и аспирантов
(с международным участием)**

1-13 февраля 2021 года

Минск 2021

УДК 661.(06)(07.034.44)

Технология органических веществ : материалы 85-ой науч.-технич. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1–13 февраля 2021 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. В. Войтов; УО «БГТУ». – Минск : БГТУ, 2021. – 389 с.

Сборник составлен по материалам докладов научно-технической конференции сотрудников Белорусского государственного технологического университета (с международным участием), которые являются отражением новейших достижений в области химической переработки древесины, а именно совершенствования технологий производства бумаги и картона, топливных пеллет, фурановых смол, в области безопасности технологических процессов и производств, синтеза и использования новых соединений с биологической активностью и оригинальными свойствами для использования в пищевой, косметической, лакокрасочной, лекарственной промышленности, регулирования свойств пластических масс путем введения модификаторов, а также содержат вопросы биотехнологии и биоэкологии, сертификации продуктов, разработки и применения новых методов анализа веществ и материалов.

Сборник предназначен для работников отраслей народного хозяйства, научных сотрудников, специализирующихся в соответствующих отраслях знаний, аспирантов и студентов ВУЗов.

Рецензенты: Прокопчук Н. Р., член-кор. НАН Беларуси,
д-р хим. наук, профессор
Леонтьев В. Н., канд. хим. наук, доцент
Черная Н. В., д-р техн. наук, профессор

Главный редактор ректор, д-р техн. наук, профессор Войтов И.В.

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2021

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Рыжанкова А.С., Зильберглейт М.А.</i> История спичек: от алхимии до нач. XX в.....	14
<i>Ламоткин С.А., Сакович А.В., Скаковский Е.Д.</i> Изучение состава и свойств эфирного масла ели европейской произрастающей на экологически чистых территориях.....	17
<i>Ламоткин С.А., Сакович А.В., Скаковский Е.Д.</i> Характеристики эфирного масла сосны обыкновенной произрастающей в условиях национальных парков Республики Беларусь.....	20
<i>Карпова С.В., Черная Н.В., Пенкин А.А., Герман Н.А.</i> Свойства бумаги и картона в зависимости от природы и содержания связующих веществ в нанесенных на их поверхности мелованных покрытий.....	22
<i>Черная Н.В., Карпова С.В., Мисюров О.А., Чернышева Т.В., Дашкевич С.А.</i> Бумагообразующие свойства целлюлозной и макулатурной суспензий в зависимости от условий стадии размола.....	27
<i>Мисюров О.А., Карпова С.В., Черная Н.В., Чернышева Т.В., Дашкевич С.А.</i> Особенности получения волокнистых суспензий из первичных и вторичных полуфабрикатов и применения их в технологии бумаги и картона.....	32
<i>Чернышева Т.В., Черная Н.В., Карпова С.В., Мисюров О.А., Дашкевич С.А.</i> Изучение процесса термоокислительной деструкции смоляных кислот канифоли.....	37
<i>Сосновская А.А., Флейшер В.Л.</i> Динамика накопления перекисных соединений в процессе жидкофазного окисления α -пинена.....	42
<i>Андрюхова М.В., Лозикова Н.Н.</i> Влияние куркумина на оксистабильность льняного масла.....	44
<i>Флейшер В.Л., Черная Н.В., Андрюхова М.В., Боркина Я.В.</i> Свойства и применение полимеров на основе смоляных кислот канифоли.....	47
<i>Герман Н.А., Шпак С.И., Дубоделова Е.В.</i> Смешанное биотопливо с применением различных видов биомассы.....	50
<i>Боркина Я.В., Флейшер В.Л.</i> Влияние температуры и продолжительности поликонденсации диэтилентриамина и адипиновой кислоты на степень конверсии реагентов.....	52

<i>Сосновская А.А., Голешова Т.Н.</i> Исследование влияния методов экстракции на степень извлечения масла из семян люпина узколистного.....	55
<i>Залуцкая А.М., Шишаков Е.П.</i> Способы получения катионированного поливинилового спирта.....	57
<i>Киселев С.В., Ермак И.Т., Гармаза А.К., Радченко Ю.С.</i> Ядерная или альтернативная энергетика: что будет Доминировать к концу XXI века на рынке энергетически чистых технологий.....	60
<i>Хмызов И.А., Хильманович О.С.</i> Сокращение удельного расхода связующего в производстве древесных плит.....	63
<i>Хмызов И.А., Шишаков Е.П., Толстяк А.А.</i> Повышение липкости связующего в производстве древесных композиционных материалов.....	65
<i>Босак В.Н., Сачивко Т.В., Домненкова А.В.</i> Порядок информирования населения о радиационной обстановке в лесах.	67
<i>Сачивко Т.В., Босак В.Н., Домненкова А.В.</i> Нормирование содержания радионуклидов.....	69
<i>Домненкова А.В., Босак В.Н., Сачивко Т.В.</i> Возобновляемые источники энергии в Беларуси.....	71
<i>Чернушевич Г.А., Домненкова А.В., Киселев С.В., Азовская Н.О., Босак В.Н., Сачивко Т.В.</i> Радиационные технологии в пищевой перерабатывающей промышленности.....	72
<i>Лешкевич А.В., Шашок Ж.С., Усс Е.П., Кротова О.А.</i> Влияние пластификаторов из вторичного сырья на эксплуатационные свойства промышленных резин.....	74
<i>Кротова О.А., Шашок Ж.С., Усс Е.П., Белоблоцкая Н.Г., Люштык А.Ю.</i> Исследование динамических свойств шинных резин с кремнекислотными наполнителями.....	76
<i>Кротова О.А., Касперович А.В., Шашок Ж.С., Усс Е.П.</i> Исследование влияния диоксида кремния на свойства эластомерных композиций для формовых РТИ.....	79
<i>Габрусь А.А., Каюшников С.Н., Шашок Ж.С., Усс Е.П.</i> Исследование влияния температурно-временных параметров вулканизации на свойства протекторных эластомерных композиций.....	82
<i>Шашок Ж.С., Безбородов В.С., Прокопчук Н.Р., Усс Е.П.</i> Влияние микроцеллюлозы на технологические свойства эластомерных композиций.....	85
<i>Усс Е.П., Шашок Ж.С., Кротова О.А., Шадыро О.И., Ксендзова Г.А.</i> Исследование свойств эластомерных композиций с производными пирокатехина.....	87

<i>Шашок Ж.С., Усс Е.П., Лешкевич А.В., Каюшников С.Н., Карманова О.В., Тихомиров С.Г.</i> Некоторые особенности свойств резин с бутиловым регенератом.....	89
<i>Шашок Ж.С., Усс Е.П., Кротова О.А., Люштык А.Ю., Прокопович Я.М.</i> Технологические свойства шинных смесей, содержащих комбинации наполнителей.....	91
<i>Касперович О.М., Ленартович Л.А., Петрушеня А.Ф.</i> Способы модификации полимерных смесей на основе полиамидов.....	93
<i>Касперович О.М., Долинская Р.М., Ленартович Л.А., Петрушеня А.Ф., Казусик Я.П.</i> Повышение износостойкости смесей на основе вторичных полиуретанов.....	95
<i>Касперович А.В., Шевчик А.В., Медведев С.В., Гринкевич Г.А.</i> Анализ напряженно-деформированного состояния резинометаллического буфера с применением средств компьютерного моделирования.....	97
<i>Наркевич А.Л., Калинин А.Н., Кравчук А.П.</i> Технологии получения армированных композиционных материалов для применения в клинической стоматологии.....	99
<i>Глоба А.И., Касперович А.В., Духович Ю.В., Валько Н.Г.</i> Разработка метода модификации структуры и свойств лакокрасочных покрытий ионизирующим излучением.....	102
<i>Глоба А.И.</i> Двухкомпонентные адгезионные материалы на основе водных полимерных дисперсий и изоцианатных отвердителей.....	105
<i>Потапчик А.Н.</i> Влияние применяемого растворителя на свойства непигментированных эпоксидных покрытий.....	107
<i>Потапчик А.Н.</i> Разработка методики определения срока службы антикоррозионных лакокрасочных покрытий.....	110
<i>Трусов К.И., Осипенок Е.М., Юсевич А.И., Куземкин Д.В.</i> Влияние термической обработки тяжелой пиролизной смолы на выход и качество нафталина.....	112
<i>Никифоров А.А., Сиразетдинов А.В., Вольфсон С.И., Яруллин Р.С., Казаков Ю.М.</i> Исследование влияния галогенидов металлов на свойства композиции на основе биобазированного полиамида 1010.....	115
<i>Сиразетдинов А.В., Никифоров А.А., Галимзянова Р.Ю., Вольфсон С.И., Яруллин Р.С., Казаков Ю.М.</i> Исследование процесса смешения биоразлагаемых полимерных композиций на основе полимолочной кислоты.....	118

<i>Каток Я.М.</i> Синтез бис-1,4-(3-нитрофенил)- 6-фенилпиримидин-2-амина	122
<i>Шашок Ж.С., Прокопчук Н.Р., Усс Е.П., Грабко Ю.В.</i> Особенности структуры вулканизационной сетки резин на основе натурального каучука с углеродными наноструктурными материалами.....	125
<i>Ленартович Л.А., Прокопчук Н.Р., Касперович О.М., Петрушеня А.Ф., Долинская Р.М., Марач Д.Г.</i> Эффекты антагонизма и синергизма при совместном использовании модифицирующих добавок в композициях ПЭНД.....	127
<i>Степанович Ю.А., Шрубок А.О., Юсевич А.И.</i> Оптимизация состава полимерных битумных вяжущих с использованием методов планирования эксперимента.....	129
<i>Ханпи Вако Б.Ж., Шрубок А.О.</i> Влияние добавок N-метилпирролидона на качественные характеристики битумных вяжущих.....	131
<i>Грушова Е.И., Жолнеркевич В.И.</i> Экстракционная очистка масляных фракций смесью N-метилпирролидон + триэтиленгликоль.....	133
<i>Грушова Е.И., Карпенко О.В.</i> Особенности получения нефтяного твердого парафина методом статической кристаллизации из сырья разных производителей.....	136
<i>Крутько Э.Т., Коваленко Н.А., Сутиченко Г.Н., Боброва В.В., Якимцова Л.Б.</i> Использование метода потенциометрического титрования для определения содержания аминогрупп в полифункциональных олигомерах.....	138
<i>Боброва В.В., Прокопчук Н.Р., Крутько Э.Т.</i> Особенности синтеза и свойств циклоалифатических производных олигогидроксиаминофенилена	141
<i>Крутько Э.Т., Вишневский К.В., Боброва В.В., Струк В.А.</i> Композиционный материал на основе имидосодержащего политетрафторэтилена для триботехнических покрытий.....	143
<i>Безбородов В.С., Михаленок С.Г., Кузьменок Н.М., Лапаник В.И.</i> Ретроспектива развития химии жидкокристаллических и анизотропных материалов в Беларуси.....	146
<i>Михаленок С.Г., Безбородов В.С., Кузьменок Н.М., Савельев А.И.</i> Особенности реакции Кулинковича с участием хиральных этил 2-арилоксипропаноатов.....	150

<i>Михаленок С.Г., Безбородов В.С., Кузьменок Н.М., Орел А.С.</i> Реакция эфиров гидроксид- и галогензамещенных кислот с многоядерными фенолами.....	153
<i>Савельев А.И., Михаленок С.Г., Безбородов В.С., Калейник А.С.</i> Синтез замещённых по фенильному кольцу тетрагидрокарбазол-1-онов.....	155
<i>Орел А.С., Безбородов В.С., Кузьменок Н.М., Михаленок С.Г.</i> Изучение реакции конденсации солей Манниха с ацетоуксусным эфиром.....	158
<i>Орел А.С., Савельев А.И., Коваль В.В., Ахламенок Т.П., Михаленок С.Г., Безбородов В.С.</i> Получение оксимов циклогекс-2-енонов и установление их конфигурации при помощи ЯМР-спектроскопии.....	160
<i>Карманова О.В., Голякевич А.А.</i> Особенности формирования вулканизационной структуры в присутствии комплексных активаторов вулканизации.....	163
<i>Карманова О.В., Фирсова А.В., Лынова А.С.</i> Применение модифицированных бутадиен-стирольных каучуков в протекторе легковых шин.....	165
<i>Саввин П.Н., Болотов В.М.</i> Перспективы совместного выделения каротиноидных и антоциановых пигментов из растительного сырья.....	167
<i>Седых В.А., Никулин С.В., Мисин В.М., Никулина Н.С.</i> Модификация полибутадиена поливинилкарбазолом.....	170
<i>Комарова Е.В., Болотов В.М., Грезев С.В.</i> Применение природных антиоксидантов для получения новых полимерных материалов	173
<i>Болотов В.М., Саввин П.Н., Комарова Е.В., Рубцов М.В.</i> Получение и применение гидрофобных флавоноидных соединений из растительного сырья.....	176
<i>Никулина Н.С., Власова Л.А., Санникова Н.Ю., Никулин С.С.</i> Новые коагулирующие агенты в производстве эмульсионных каучуков.....	179
<i>Никулин С.С., Никулина Н.С., Рудыка Е.А., Батурина Е.В.</i> Масляно-олигомерный наполнитель в производстве синтетических каучуков.....	181
<i>Охотина Н.А., Панфилова О.А., Миннегалиев И.И., Потапов О.А., Долинская Р.М.</i> Термопластичные вулканизаты на основе бутадиен-стирольного каучука и полиэтиленов различного типа.....	184

<i>Долинская Р.М.</i> Исследование влияния различных марок каучуков специального назначения на вязкость резиновых смесей.....	187
<i>Долинская Р.М., Прокопчук Н.Р.</i> Энергосберегающая технология для изготовления бездорновых рукавов.....	190
<i>Полоз А.Ю., Долинская Р.М., Прокопчук Н.Р., Эбич Ю.Р.</i> Применение разбавителей для регулирования поведения износостойких эпоксидных композиций в условиях контактно-динамического нагружения.....	193
<i>Долинская Р.М., Гугович С.А.</i> Влияние строения диспергаторов на вулканизационные характеристики фторкаучуков.....	196
<i>Долинская Р.М., Касперович О.М., Ленартович Л.А.</i> Влияние состава композиции эластомер – вторичный полимер на прочностные свойства композиции.....	199
<i>Колодкин Д.Ю., Кордикова Е.И.</i> Формирование анизотропной структуры при аддитивном производстве FDM-методом.....	202
<i>Кордикова Е.И., Дьякова Г.Н.</i> Формуемость конструктивных элементов из полиэфирных препрегов.....	204
<i>Кордикова Е.И., Мазаник Е.Д.</i> Конструкция обвесов стрелкового оружия для производства методом послойного наплавления.....	205
<i>Дьякова Г.Н., Ходер В.Б.</i> Экспериментальное исследование экспозиционной проводимости фотополимерного материала.....	206
<i>Прокопчук Н.Р., Макаревич О.О., Ключев А.Ю.</i> Долговечность лакокрасочных покрытий на основе эпоксидных смол для защиты и электроизоляции медных изделий.....	207
<i>Войтов И.В., Дернович А.В.</i> Необходимость и возможность восстановления гидролизного производства в Республике Беларусь. Предпосылки и новые подходы.....	210
<i>Прокопчук Н.Р., Вишневская Т.А.</i> О механизме упрочнения ПЭТФ нитей углеродными нанотрубками.....	212
<i>Вишневский К.В., Крутько Э.Т., Антонов А.С.</i> Особенности свойств силоксановых каучуков с различными вулканизирующими системами.....	215
<i>Яблонская Е.И., Прокопчук Н.Р.</i> Синтез алкидно-стирольных смол с использованием дегидратированного касторового масла.....	217

<i>Шутилин Ю.Ф.</i> Молекулярные превращения биополимеров при активном нагружении.....	220
<i>Чурилина Е.В., Никулин С.С., Шаталов Г.В.</i> Исследование процесса выделения каучука из латекса в присутствии сополимеров на основе N,N-диаллил-N,N-диметиламмоний хлорида.....	222
<i>Файзуллин И.З., Вольфсон С.И., Канарский А.В., Захаров И.В., Горбачев И.В.</i> Биохимическая модификация растительного наполнителя и разработка полимерного композиционного материала на основе полипропилена и модифицированного наполнителя.....	225
<i>Файзуллин А.З., Вольфсон С.И., Файзуллин И.З.</i> Разработка одноосноориентированных полиэтиленовых пленок для производства гибкой упаковки.....	227
<i>Куземкин Д.В., Хмызов И.А., Шишаков Е.П.</i> Влияние изменения мольного соотношения карбамид : формальдегид при синтезе карбамидоформальдегидной смолы на показатели качества древесностружечных плит.....	230
<i>Прокопчук Н.Р., Глоба А.И., Лантик И.О.</i> Улучшение свойств лакокрасочных покрытий по металлу наноалмазными частицами.....	233
<i>Валько Н.Г., Юшкевич Д.Д., Глоба А.И.</i> Влияние УФ-излучения на структуру лакокрасочных покрытий с активными наполнителями.....	236
<i>Валько Н.Г., Книга В.А., Касперович А.В.</i> Исследование влияния УФ-излучения на структуру эластомеров.....	238
<i>Галиновский Д.В., Мокшина Н.Е., Подвицкий Т.А., Богдан В.З., Горшкова Т.А., Кильчевский А.В.</i> Инновационный подход прогнозирования качества льноволокна	240
<i>Губчик К.А., Бирюков Р.Н., Сурдол И.С., Казловский И.С., Костеневич А.А.</i> Создание рекомбинантного штамма, содержащего ген бета-1,3-п-ацетилглюкозамин-трансферазы и оптимизация физико-химических условий его экспрессии.....	243
<i>Игнатенко А.В.</i> Анализ активности и эффективности моюще-дезинфицирующих веществ.....	246
<i>Масехнович А.А., Игнатенко А.В.</i> Химическая безопасность иловых осадков сточных вод и их детоксикация	249

<i>Никитенко А.Н., Савенок Д.В.</i> Применение физико-химических методов для исследования утойчивости к окислению растительных масел.....	252
<i>Стасевич О.В., Сальникова Д.И., Щербаков А.М.</i> Synthesis and antiestrogenic effect of secoisolariciresinol diglucoside derivatives.....	253
<i>Сечко О.Г., Царенков В.М., Голяк Н.С., Гурина Н.С.</i> Противотуберкулезная и противомикобактериальная активность производных пропилтиадиазолохиназолина.....	256
<i>Мушкина О.В.</i> Разработка лекарственных форм на основе извлечений из листьев ольхи черной.....	259
<i>Чирикова М.С., Глушень Е.М., Целеш О.О., Кучуро А.Г., Дубойский М.В.</i> Потенциал консорциума микроорганизмов-деструкторов органических соединений для очистки стоков лакокрасочных производств	261
<i>Чернявская Е.Ф., Пянко А.В., Сакович А.С., Сергиевич Д.С.</i> Сравнительная характеристика антибактериальных свойств композиционных покрытий на основе оксида титана.....	264
<i>Кушнер М.А., Селиверстова Т.С., Савельев Н.С., Череухина Е.В., Петрова Д.С., Ярмолюк Ю.А.</i> Исследование содержания лигнина в образцах волокна льняного трепаного длинного	266
<i>Пашинская Е.С., Семенов В.М., Любаковская Л.А.</i> Применение криоконсервационных технологий для сохранения инвазионной культуры <i>Toxoplasma Gondii</i>	269
<i>Назаров К.К., Рахимов М.М., Тоштемурова Ж.М.</i> Изучение гидролитической активности промышленных ферментных препаратов на хлопковом волокне.....	272
<i>Назаров К.К., Сагдиев Х.Т.</i> Особенности ферментативного оголения семян хлопчатника.....	275
<i>Пулатова Э.К., Шукурхонова М.Г., Комолова Ш.О., Мирзарахметова Д.Т.</i> Азотфиксирующие микроорганизмы в возделывании масличной сои сорта селекта-201.....	278
<i>Кулонов А.И., Гуломкодиров Ж., Рихсибоев И., Нуритдинов А., Комилов А., Мирзарахметова Д.Т., Мирзаулукова М.У.</i> Технология получения бактериальных экзополисахаридов.....	280
<i>Қосимходжаев С.Ш., Мирзарахметова Д.Т.</i> Влияние низкочастотных волн на рост пивных дрожжей и выход этанола.....	285
<i>Бекташева М.Р., Мирзарахметова Д.Т.</i> Оптимизация процесса спиртового брожения с применением иммобилизованных дрожжей	287

<i>Тоштемирова М.Ж., Мирзарахметова Д.Т.</i> Оценка действия азотфиксирующих микроорганизмов в виде предпосевной обработки семян при возделывании российского сорта масличной сои в Ташкентской области Узбекистана.....	289
<i>Baltaeva Yu.Yu., Mirzarakhmetova D.T.</i> The role of signal transducer and activator of transcription factor 1 in the arteriogenesis process.....	292
<i>Исмаилов А.Э., Кенжабаева Н., Мухаммаджонов А., Абдукаримова О., Отакулов Д., Эшмурадова Н., Мирзарахметова Д.Т.</i> Культивирование <i>Dunaliella Salina</i>	295
<i>Буренкова Ю.П., Щур В.В., Янцевич А.В.</i> Экспрессия терминальной дезоксиноклеотидил трансферазы в клетках <i>E. Coli</i>	299
<i>Гмырак О.А., Егорова З.Е.</i> Использование пищевых добавок для обеспечения пищевой безопасности в Республике Беларусь.....	302
<i>Жданюк В.И., Пятецкая Д.В., Пирог Т.П., Леонова Н.О.</i> Образование ауксинов штаммами <i>Nocardia vaccinii</i> ИМВ В-7405 и <i>Rhodococcus erythropolis</i> ИМВ Ас-5017 на среде с пищевыми отходами.....	305
<i>Жуковская Л.А., Семашко Т.В., Демешко О.Д.</i> Характеристика препаратов глюкозооксидаз <i>Penicillium adametzii</i> , полученных с использованием различных методов очистки.....	308
<i>Криховец А.В., Слободяник В.Г.</i> Упаковочные пленки с антибактериальными свойствами на основе поливинилового спирта.....	310
<i>Подорожня И.В., Ветохин С.С.</i> Изучение некоторых физико-химических показателей питьевого молока других видов сельскохозяйственных животных.....	313
<i>Саттаров М.Э., Имомкузиева С.А., Туракулова Д.Э., Умарова Ш.А.</i> Фунгицидные свойства некоторых препаратов по предотвращению распространения различных грибковых болезней в процессе хранения фруктов.....	315
<i>Саттаров М.Э., Туракулова Д.Э., Курбонова Г.С.</i> Изучение фунгицидной активности некоторых наноструктурированных систем хитозана <i>Bombux mori</i> с ионами меди.....	317

Саттаров М.Э., Туракулова Д.Э., Шомахаматов Ш.Ш., Фазлиддинов Ш.Ж. Приготовление кормовых добавок для животноводства на основе стеблей топинамбура.....	319
Семашко Т.В., Горулева О.С., Жуковская Л.А. Перспективы использования мицелиальных грибов для синтеза наночастиц серебра	321
Семашко Т.В., Жуковская Л.А. Влияние наночастиц серебра на взаимодействие глюкозооксидазы <i>Penicillium adametzii</i> с медиаторами различной природы.....	323
Щур В.В., Буренкова Ю.П., Янцевич А.В. Температурная стабильность 5'-диметокситритилированных олигонуклеотидов..	326
Eshmurodova N.Sh., Amanova G.I., Toshtemirova M.Zh. The influence of long-term changes in the salinity of the aral sea on the dynamics of micro-and macroalgae.....	329
Леонтьев В.Н., Коваленко Н.А., Лазовская О.И., Супиченко Г.Н. Спектрофлуориметрическая методика определения гиперидина в лекарственных средствах.....	332
Страх Я.Л., Альшевская Л.В., Игнатовец О.С. Оценка антимикробной активности экстрактов морошки приземистой (<i>Rubus chamaemorus</i> L.)	335
Страх Я.Л., Игнатовец О.С. Сравнительный анализ проантоцианидинов в надземных частях морошки приземистой (<i>Rubus chamaemorus</i> L.) различных популяций.....	338
Лукашевич С.О., Нестер О.В., Маркевич Р.М. Удаление соединений азота при очистке сточных вод пивоваренного производства гранулированным активным илом..	340
Сергиевич Д.С., Игнатовец О.С., Минаковский А.Ф., Дормешкин О.Б., Шатило В.И. Оценка агрохимической эффективности органоминеральных удобрительных композиций.....	343
Прикота В.Н., Сергиевич Д.С. Определение содержания фенольных веществ в экстрактах растений-заменителей хмеля в пивоварении.....	346
Леонтьев В.Н., Маркевич Р.М., Феськова Е.В., Хильченко Т.С., Жорник В.И., Ивахник А.В., Запольский А.В. Испытание образцов смазочных материалов на биоразлагаемость.....	349
Курченко В.П., Сушинская Н.В., Киселева И.С. Биологически активные вещества плодовых тел ряда дереворазрушающих грибов.....	352

<i>Адамцевич Н.Ю., Болтовский В.С., Титок В.В.</i> Динамика накопления флавоноидов в цветках бессмертника песчаного в различные фенологические фазы.....	355
<i>Хиневич В.И., Рымовская М.В., Наврость А.Н., Кузнецов И.Н.</i> Пути повышения выхода биогаза при эксплуатации анаэробного биореактора с гранулированным илом в производственном цехе № 6 ОАО «МИНСК КРИСТАЛЛ» управляющей компании холдинга «МИНСК КРИСТАЛЛ ГРУПП».....	357
<i>Рымовская М.В., Раткевич М.В., Петрушеня А.Ф., Гребенчикова И.А., Сергиевич Д.С., Рагатка Д.А.</i> Состав, свойства и биологическое разрушение упаковочного материала на основе кукурузы.....	360
<i>Тананайко Т.М., Пушкарь А.А., Соловей В.И.</i> Исследование влияния применения кислорода на особенности созревания зерновых дистиллятов.....	363
<i>Гребенчикова И.А., Каленская Е.И., Дубовик О.С.</i> Свойства нитчатых бактерий, выделенных из биоценоза активного ила городских очистных сооружений.....	366
<i>Чернецкая Ю.Г.</i> Показатели безопасности кондитерских изделий с пониженной калорийностью.....	369
<i>Пушко А.В., Ёршик О.А.</i> Сравнительный анализ цветков календулы лекарственной.....	372
<i>Вороненко А.А., Пирог Т.П.</i> Особенности синтеза этаполана на смеси этанола и подсолнечного масла при дробном внесении субстратов.....	376
<i>Данилов О.А., Хасанишина Г.Ф., Казаков Ю.М.</i> Исследование влияния жидких продуктов быстрого абляционного пиролиза древесины на эксплуатационные свойства битумно-полимерной мастики.....	379
<i>Касач А.А., Жарский И.М., Курило И.И.</i> Коррозионная устойчивость гальванических сплавов Cu-Sn в среде искусственного пота.....	382
<i>Шишаков Е.П., Коваль В.В., Залуцкая А.М.</i> Получение катионированных полимеров для бумажного производства.....	383
<i>Сергеенко Л.А., Болтовский В.С.</i> Методы повышения выхода этилового спирта при сбраживании сусла.....	386

ИСТОРИЯ СПИЧЕК: ОТ АЛХИМИИ ДО НАЧ. ХХ В.

Спичка является одним из самых полезных и жизненно необходимых изобретений человека. Историю ее появления можно изучить даже по тем известным синонимам, которые встречаются сегодня в литературе: дрова, запалки, огниво, трески, чиркалки, швабрики, серенка, серник, серничок, серянка, люциферчики и др. Еще в 570 году нашей эры китайцы стали пропитывать палочки для трения серой, это были так называемые «прото-спички», упоминаемые в китайских текстах XIII—XIV веков. Зажигались они не путем чиркания, а путем соприкосновения с тлеющим трuтом, и служили для облегчения процесса разжигания огня с помощью трута и огнива [1]. Подобные спичкам серные палочки использовались в Европе в XVII-XVIII веках, до тех пор, пока развитие химии не позволило их усовершенствовать [2]. В 1669 алхимик Х. Бранд опытным методом случайно получил некое светящееся зеленоватое вещество и в силу удивительных свойств назвал его «фосфором» [1]. В то же время в 1680 г. английский физик Р. Бойл покрыл небольшой лист бумаги фосфорным раствором и небольшой кусок дерева серой, потер дерево о бумагу, что вызвало появление искры [Г. Хармс]. Только через 100 лет в 1805 г. французский химик-аналитик Ж. Шансель, ассистент профессора Л.-Ж. Тенара, сделал первые спички [2]. Они были деревянными и зажигались при соприкосновении головки (лучинки) из смеси серы, бертолетовой соли и киноvari [2]/(горючих веществ (угля, крахмала, сахара) и клея) [4]/(серы, хлорида калия, сахара, сурьмы) с концентрированной серной кислотой. После высушивания и обмакивания в концентрированной серной кислоте такая спичка загоралась. «Макальные» спички были слишком неудобны, так как под рукой всегда необходимо было иметь склянку с серной кислотой [4]. В 1826 г. химические спички были уже достаточно широко распространены в Европе. 7 апреля 1827 г. английский химик и аптекарь Дж. Уокер начал активное производство серников (серных спичек) [2]. Свое изобретение он придумал совершенно случайно и не запатентовал его. Это сделал английский химик С. Джонс, назвав спички «люциферчиками» (дьявольскими). Они плохо пахли и при возгорании рассыпали вокруг тучи искр. Спички состояли из полоски картона, к концу которой был прикреплен маленький пузырек с каплей H_2SO_4 [4]. Головки в спичках Дж. Уокера состояли из смеси сульфида сурьмы, бертолетовой соли и гуммиарабика [2]/ (сера, хлорид калия, сахар, сульфида сурьмы). В 1806 г. Эрнст Вагеманн использовал изобретение Шанселя, добавив кусочки асбеста для замедле-

ния процессов горения. Все попытки усовершенствовать спички Шансле были неудачными, пока немецкий студент-химик Ян Каммерер не догадался добавить в серу некоторое количество белого фосфора. Спичка с такой головкой легко зажигалась после чиркания [Г. Хармс]. В 1830 году 19-летний французский химик Шарль Сория/Сорья [3]/Заурия заменил сульфид сурьмы на белый фосфор и изобрел фосфорные спички, состоявшие из смеси бертолетовой соли, белого фосфора и клея. Эти спички были весьма огнеопасны, имели стойкий едкий запах и были вредны для здоровья. Основным недостатком спичек Уокера и Сория была нестабильность зажигания черенка спички. В 1836 г. в Вене австрийский химик, профессор Пауль Троттер Майснер изобрел фосфорные спички. Они могли самовозгораться, а если и горели, то с большим пламенем, разбрасывая искры и оставляя ожоги. Один из учеников Майснера, Янош Ирини, предложил покрывать спичечные головки оксидом свинца – так появились спички, похожие на современные образцы. Ирини продал свое изобретение купцу Иштвану Ромеру из Вены и тот начал промышленное производство новых спичек. Фосфорно-серные спички изготавливались в два этапа: сначала черенок обмакивался в смесь серы, воска или стеарина, небольшого количества бертолетовой соли и клея, а затем в смесь белого фосфора, бертолетовой соли и клея. Эти спички оставались опасными не только в производстве, но и в использовании. Проблему удалось решить, пропитав черенок спички фосфорнокислым аммонием ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$). Такие спички стали называться пропитанными и безопасными. Для стабильного горения черенка его начали пропитывать воском или стеарином (позднее — парафином) [2]. В 1844 году Густав Эрик Паш ученик Йенса Якоба Берцелиуса, отметившего безопасные свойства красного фосфора, догадался, что не обязательно обмакивать каждую спичку в фосфор, если его можно поместить на коробку. Считается, что красный фосфор – неядовитый аморфный фосфор, активность которого гораздо ниже, чем у белого, открыл 1847 (1844) году австрийский химик А. Шретер/А. Шроттер [4]. Получив патент на данное изобретение, Густав Эрик Паш свое дело не продолжил, а его идею подхватили братья Лундстремы, Йоханн и Карл [6], которые начали их промышленное производство в 1855 [2] (1851 [Г. Хармс]). В 1855 году Йохан Лундстрем нанес красный фосфор на поверхность наждачной бумаги и заменил белый фосфор в составе головки спички. Такие спички уже не приносили вреда здоровью, легко зажигались о заранее приготовленную поверхность и практически не самовоспламенялись. Он патентует первую «шведскую спичку», дошедшую до наших дней почти без изменений [2]. Головка безопасных спичек содержала не все вещества, необходимые для воспламенения: аморфный (красный) фосфор наносился на

стенку спичечной коробки. Поэтому спичка не могла зажечься случайно. В состав головки входил хлорат калия в смеси с клеем, гуммиарабиком, толченым стеклом и диоксидом марганца [3]. Уже в 1848 г. в состав головок спичек входили сера, бертолетова соль, перекись марганца, клей и выпуск фосфорных спичек прекратился [4]. В 1855 году спички Лундстрема были удостоены медали на Всемирной выставке в Париже [2]. Отдельное внимание стоит уделить сесквисульфидным спичкам. Сесквисульфид фосфора впервые получил в 1864 француз Ж.Лемуан, смешивая четыре части фосфора с тремя частями серы без доступа воздуха. В такой смеси ядовитые свойства белого фосфора не проявлялись. В 1898 французские химики А.Серен и Э.Каэн (Савен и Каен [2]) предложили способ применения сесквисульфида фосфора в спичечном производстве, вскоре принятый в некоторых европейских странах [3]. Основой довольно сложной композиции головки являются неядовитый сесквисульфид фосфора (P_4S_3) и бертолетова соль [2]. В 1900 г. компания «Даймонд мэч» приобрела право пользования патентом на спички с сесквисульфидом фосфора. В декабре 1910 У. Фэрберном была разработана новая формула безвредных спичек со сесквисульфидом фосфора. Компания опубликовала формулу патента и разрешила всем конкурентам пользоваться ею бесплатно. Был принят закон об обложении каждой коробки спичек с белым фосфором налогом, равным двум центам, после чего спички с белым фосфором были вытеснены с рынка [3]. С развитием производства «шведских» спичек использование белого фосфора в спичках было запрещено почти во всех странах [2]. В 1888 г. полный запрет на использование белого фосфора в спичечном производстве. В 1906 в Берне было подписано международное соглашение, запрещающее изготовление, импорт и продажу спичек, содержащих белый фосфор [3]. К 1910 г. производство фосфорных спичек в Европе и Америке было полностью прекращено [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Почему спички называются «люциферчиками» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pnp.ru/social/pochemu-spichki-nazyvali-lyuciferchikami.html>. – Дата доступа: 01.01.2021.
2. Спички [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. – Дата доступа: 01.01.2021.
3. Хартиг, Г. Спички. Физико-химические свойства, технология и проблемы безопасности [Текст]. – М., 1975.
4. Евразийский химический рынок [Электронное издание] / Международной деловой журнал. – chemmarket.info/ru/interesting/view/18/.
5. Спички [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://newtimes.ru/articles/detail/34361>. – Дата доступа: 01.01.2021.

УДК 630.187:630.425

С. А. Ламоткин, доц., канд. хим. наук; А. В. Сакович, студ.
(БГТУ, г. Минск);

Е. Д. Скаковский, канд. хим. наук (ИФОХ НАН Беларуси, Минск)

ИЗУЧЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ ЭФИРНОГО МАСЛА ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ НА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Ель европейская (обыкновенная) (*Picea abies L. Karst*) – типовой вид вечнозеленых деревьев из рода Ель семейства Сосновые. Широко распространена в северо-восточной части Европы, где растет сплошными лесными массивами. Еловые насаждения *Picea abies L. Karst* занимают 9,6% от лесов республики, что составляет 669,9 тыс.га, ель европейская является второй по значимости хвойной породой в видовом составе лесов Республики Беларусь.

Комплексное и рациональное использование растительных ресурсов предполагает включение в процесс производства всей биомассы растения. В частности одним из основных направлений химической переработки растительного сырья является получение и вовлечение в переработку экстрактивных веществ. Среди экстрактивных веществ особое внимание уделяется эфирным маслам, обладающим биологической активностью, что делает их незаменимыми источниками сырья при производстве фармацевтической, пищевой, парфюмерной продукции [1].

Цель настоящей работы – анализ состава терпеноидов и антимикробных свойств эфирных масел хвои ели европейской (*Picea abies (L.)H.Karst.*) произрастающей на экологически чистых территориях.

Географические условия, среди которых наиболее важными являются климатические факторы, оказывают существенное влияние на продуктивность и химический состав растений, в связи с чем изучение содержания химических веществ в лесных растениях больших регионов, как и в растениях вообще, должно проводиться с учетом возможной его изменчивости под влиянием изменяющихся географических условий [2].

В Республике Беларусь выделено 6 административных регионов, почвенно-климатические условия которых неодинаковы, в соответствии с чем и был проведен анализ влияния региона произрастания на выход и компонентный состав эфирного масла ели европейской (*P. abies L. Karst*).

Образцы древесной зелени отбирались в национальных парках Республики Беларусь – Березенский биосферный заповедник Минская

и Витебская область, ГПУ НП «Браславские озера» Витебская область, ГПУ «Национальный парк «Нарочанский» Минской области, Ландшафтный заказник Налибокский, ГПУ «Национальный парк «Беловежская пуща» Гродненская область с деревьев 50-60 летнего возраста в декабре месяце.

Из отобранных образцов хвои составляли сборную пробу от 10-15 деревьев, с которой и проводили дальнейшие эксперименты. Процесс выделения эфирного масла проводили не позднее, чем через 4-6 часов после отбора. Отобранную хвою отделяли от стволиков, измельчали до размера 3-5 мм, составляли навеску от 200 до 250 г и из нее методом гидродистилляции отгоняли эфирное масло в течение 4-х часов. Выход эфирного масла рассчитывался на абсолютно сухое сырье. Также определялась плотность и показатель преломления, как основные характеристики при входном контроле сырья. Выход эфирного масла из елей не высокий и составлял 0,20-0,24% или около 0,4% на а.с.м. при влажности хвои $60 \pm 1\%$. Величина показателя преломления (n_d^{20}) составляла $1,4745 \pm 0,0002$.

Хроматографический анализ выполняли на хроматографе Кристалл 5000.1 с использованием кварцевой капиллярной колонки длиной 60 м с нанесенной фазой 100% диметилсилоксаном. Запись спектров ЯМР проводили на спектрометре AVANCE-500 (Германия) с рабочими частотами для ядер ^1H и ^{13}C – 500 МГц и 125 МГц, соответственно.

Уровень загрязненности территории оценивали по содержанию в хвое токсичных элементов Pb, Cd, Cu, Co, Ni, Mn, Cr, S методами нефелометрии и атомно-абсорбционного анализа.

Антибактериальную активность эфирных масел определяли диффузионным методом (метод бумажных дисков). Принцип метода основан на диффузии антимикробных агентов в агар и определении диаметра зон ингибирования роста тест-культур бактерий на агаризованной среде, формирующихся под действием диффундирующих в среде веществ, обладающих антимикробной активностью [3]. Определение антибактериальной активности эфирных масел проводили с использованием 6 санитарно-показательных микроорганизмов.

Хорошо известно, что антропогенные факторы весьма существенно влияют на состав и свойства эфирных масел [4]. Поэтому для отбора образцов древесной зелени были выбраны территории с минимальным техногенным воздействием. Измеренные значения мощности дозы гамма излучения составляли 0,10 мкЗв/час (10 мкР/час), что является фоновым значением для Республики Беларусь. Кроме того отсутствие в местах отбора проб больших промышленных объектов и

транспортных магистралей приводит к весьма низкому содержанию токсичных элементов в хвое (мг/100 г. абсолютно сухой массы): Pb – 0,005, S – 86,0.

Качественный анализ эфирного масла ели европейской показал наличие порядка 65 соединений. Основными компонентами с содержанием более 1% являются: α -пинен – $8,5 \pm 0,5$; камфен – $15,7 \pm 0,5$; β -пинен – $1,6 \pm 0,3$; мирцен – $4,3 \pm 0,6$; лимонен – $16,1 \pm 0,6$; 1,8-цинеол – $9,3 \pm 0,7$; камфора – $2,1 \pm 0,3$; борнеол – $3,7 \pm 0,6$; α -терпинеол – $2,5 \pm 0,3$; борнилацетат – $19,2 \pm 1,3$.

Определение антибактериальной активности эфирных масел проводили с использованием санитарно-показательных микроорганизмов: *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Salmonella enterica* 0890, *Bacillus subtilis* 168; *Clostridium* sp., *Escherichia coli* Hfr H, *Pseudomonas aeruginosa* PAO1. Диаметр зон ингибирования роста тест-культур бактерий для 50% раствора эфирного масла в этаноле составили соответственно: $21 \pm 0,3$, $21 \pm 0,2$, $17 \pm 0,1$, $19 \pm 0,1$, $22 \pm 0,2$, $20 \pm 0,2$ мм.

Таким образом проведенные исследования показали, что состав и антибактериальные свойства эфирного масла ели европейской выделенного из растений, произрастающих на территориях с одинаковой техногенной нагрузкой и идентичных географических и климатических условиях, в рамках статистической обработки результатов практически не изменяются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пономарева, Е. И. Применение эфирных масел в фармации / Е. И. Пономарева, Е. И. Молохова, А. К. Холов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4. – С. 37–45.
2. Сарнацкий, В. В. Ельники: формирование, повышение продуктивности и устойчивости в условиях Беларуси / В. В. Сарнацкий. – Минск: Тэхналогія, 2009. – 334 с.
3. Jirovetz, L. Analysis of the essential oil volatiles of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) from Bulgaria / L. Jirovetz [et al.] // J. Serb. Chem. Soc. – 2000. – № 15. – P. 434–437.
4. Есякова, О. А. Влияние загрязненности воздушной среды Красноярска на терпеноидный состав эфирного масла ели сибирской / О. А. Есякова, Р. А. Степень // Химия растительного сырья. – 2010. – № 4. – С. 139–143.

УДК 630.187.1+630.551.52

С. А. Ламоткин, доц., канд. хим. наук; А. В. Сакович, студ.
(БГТУ, г. Минск);

Е. Д. Скаковский, канд. хим. наук
(ИФОХ НАН Беларуси, Минск)

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭФИРНОГО МАСЛА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В УСЛОВИЯХ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРКОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Сосна обыкновенная – *Pinus silvestris* L. вечнозеленое дерево, высотой до 40-50 м с мощной корневой системой. Сосна обыкновенная является первой по значимости хвойной породой в видовом составе лесов Республики Беларусь. Одним из направлений переработки биомассы сосновых насаждения является получение широкого спектра экстрактивных веществ и в частности эфирного масла.

Литературный обзор показал, что состав, свойства эфирного масла сосны широко изучается учеными всего мира. Однако, подробный анализ состава терпеноидов эфирного масла сосны обыкновенной проводился только для насаждений Минского лесного хозяйства [1].

Химический состав и свойства эфирного масла определяют качество выпускаемой продукции. При этом существенное влияние на состав масла оказывает значительное количество факторов (сезонность, климатические условия и т. д.) и в том числе экологическая обстановка в местах произрастания.

В связи с этим целью настоящей работы был анализ состава и свойств эфирного масла сосны обыкновенной произрастающей в одинаковых экологических и почвенно-климатических условиях Республики Беларусь (Березенский биосферный заповедник Минская и Витебская область, ГПУ НП «Браславские озера» Витебская область, ГПУ «Национальный парк «Нарочанский» Минской области, Ландшафтный заказник Налибокский, ГПУ «Национальный парк «Беловежская пуца» Гродненская область).

В качестве объекта исследования были выбраны деревья сосны обыкновенной 40-50 летнего возраста, произрастающие на территории Национальных парков Республики Беларусь. Хвою отбирали с различных, рядом растущих 17 деревьев, в декабре месяце. Температурный режим зимой в местах отбора образцов отличался незначительно в пределах 2 0С [2]. Для выделения эфирного масла из хвои использовали метод гидродистилляции.

Хроматографический анализ выполняли на хроматографе Кристалл 5000.1 с использованием кварцевой капиллярной колонки длиной 60 м с нанесенной фазой 100%-ым диметилсилоксаном. Запись спектров ЯМР проводили на спектрометре AVANCE-500 (Германия) с рабочими частотами для ядер ^1H и ^{13}C – 500 МГц и 125 МГц, соответственно.

Выделенное сосновое масло представляло собой жидкость светло-жёлтого цвета с древесно-хвойным запахом и жгучим вкусом, величина показателя преломления ($n_{\text{D}20}$) составила $1,4951 \pm 0,0003$.

Нефелометрическим и атомно-абсорбционным методами анализа определили уровень загрязнения территории по содержанию токсичных металлов и серы в хвое. Методами ГЖХ и ЯМР спектроскопии было идентифицировано и количественно измерено порядка 28 компонентов, суммарное содержание которых составило 77,4–77,9 % от общего содержания компонентов. Основными компонентами (содержание более 1%) являются: 3-карен – $25,2 \pm 0,5$, камфен – $1,96 \pm 0,14$, лимонен – $2,2 \pm 0,5$, мирцен – $1,66 \pm 0,07$, терпинолен – $2,52 \pm 0,06$, α -пинен – $17,7 \pm 0,6$, β -пинен – $4,3 \pm 0,7$, кариофиллен – $8,68 \pm 0,26$, на их долю приходится более половины от общего содержания компонентов эфирного масла. Высокое содержание этих компонентов в эфирном масле сосны обыкновенной, которые обладают высокой биологической активностью, позволяет использовать его в качестве сырья в фармацевтической и косметической промышленности.

После проведения статистической обработки результатов исследования выяснили, что количественный состав эфирного масла сосны обыкновенной изменяется незначительно и можно говорить о стабильности его состава в географическом и климатическом отношении на территории Республики Беларусь. Количественное содержание основных компонентов эфирного масла несколько отличается от приведенных в литературе, однако это лишний раз указывает на сложный характер зависимости состава эфирного масла от многочисленных факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бардышев, И. И. Изменение химического состава эфирных масел индивидуальных сосен во время вегетационного периода / И. И. Бардышев, Б. Г. Ударов // Доклады АН БССР. – 1978. – Т. XXII, № 10. – С. 947–950.
2. Сарнацкий, В. В. Ельники: формирование, повышение продуктивности и устойчивости в условиях Беларуси / В. В. Сарнацкий. – Минск: Тэхналогія, 2009. – 334 с.

УДК 676.262.014

С. В. Карпова, ассист., м.т.н.; Н. В. Черная проф., д-р техн. наук;

А. А. Пенкин доц., канд. техн. наук;

Н. А. Герман ассист., канд. техн. наук

(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

**СВОЙСТВА БУМАГИ И КАРТОНА В ЗАВИСИМОСТИ
ОТ ПРИРОДЫ И СОДЕРЖАНИЯ СВЯЗУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ
В НАНЕСЕННЫХ НА ИХ ПОВЕРХНОСТИ
МЕЛОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ**

В технологии мелованных видов бумаги и картона используют меловальные пасты, отличающиеся рецептурой и относящиеся к дисперсным системам. В них дисперсной фазой являются частицы присутствующих компонентов (минеральных пигментов, связующих веществ, диспергаторов и других соединений), а дисперсионной средой – вода. Содержание каждого компонента в меловальных пастах принято выражать в массных частях (мас. ч.).

Основными компонентами являются минеральные пигменты (каолин и бланфикс) и связующие вещества (природные и синтетические), на долю которых приходится 100,0 и 20,5–39,0 мас. ч. соответственно. Их суммарное содержание может увеличиваться от 120,5 до 139,0 мас. ч. за счет необходимости повышения расхода связующих веществ для повышения эффективности когезионных и адгезионных взаимодействий, протекающих при приготовлении меловальных паст и последующем получении из них мелованных покрытий соответственно. В когезионных взаимодействиях участвуют частицы минеральных пигментов; поэтому для предотвращения их агрегирования и последующего улучшения равномерности распределения на поверхности бумаги-основы (картона-основы) в меловальные пасты вводят связующие вещества. Последние принимают дополнительное участие в адгезионных взаимодействиях, протекающих между частицами минеральных пигментов и поверхностью бумаги-основы (картона-основы), что сопровождается улучшением печатных свойств мелованной бумажной и картонной продукции.

Важную роль в рецептурах меловальных паст играют связующие вещества, в качестве которых в настоящее время широко применяют различные природные соединения (производные целлюлозы (например, NaКМЦ), крахмал и продукты его модифицирования, казеиновый клей и др.) и синтетические каучуковые латексы. Однако природные соединения в отличие от синтетических вызывают технологические трудности как при приготовлении меловальных паст, так и при их использовании.

Нерешенной актуальной проблемой является развитие микроорганизмов в приготовленных меловальных пастах, что приводит не только к снижению срока их хранения, но и появлению нежелательных «темных» пятен на поверхности мелованных покрытий.

Вспомогательными компонентами являются диспергатор (0,3–0,6 мас. ч.), антисептик (0,1–0,2 мас. ч.), стабилизатор (0,8–1,0 мас. ч.), пеногаситель (0,005–0,006 мас. ч.), оптический отбеливатель (0,2–0,4 мас. ч.) и регулятор pH (0,1–1,0 мас. ч.). Их суммарное содержание достигает, как правило, 3,3 мас. ч. и в некоторых случаях (при необходимости) может увеличиваться до 6,5 мас. ч. Каждый присутствующий компонент выполняет определенную роль. Поэтому их содержание в меловальных пастах зависит от комплекса требований, предъявляемых к конкретным дисперсным системам, поскольку они влияют на их физико-химические, реологические, оптические, антисептические и адгезионные свойства.

Одним из перспективных способов устранения недостатков, возникающих в технологии мелования бумаги и картона, является способ, основанный на замене природных связующих на синтетические. Отсутствие информации в научной и технической литературе по использованию в рецептурах меловальных паст только синтетических связующих обуславливает актуальность настоящей работы с научной и практической точек зрения.

Предварительно проведенные нами исследования показали возможность применения в меловальных пастах модифицированного карбамидоформальдегидного олигомера (МКФО), впервые синтезированного на кафедре химической переработки древесины БГТУ. Однако отсутствие данных о его влиянии на свойства бумаги и картона не позволяет разработать практические рекомендации об использовании этого нового синтетического соединения вместо традиционно применяемых природных.

Цель исследования – разработка рецептуры меловальной пасты с использованием МКФО на основе изучения свойств мелованных видов бумаги и картона в зависимости от содержания нового синтетического соединения в меловальных пастах.

Объектами исследования являлись меловальные пасты, отличающиеся содержанием исследуемых связующих веществ (природных и синтетических), и полученные с их использованием образцы мелованной бумаги и элементарных слоев картона (ЭСК).

Предметами исследования являлись процессы когезии и адгезии, протекающие в меловальных пастах и на поверхности контакта мелованного покрытия с бумагой и ЭСК.

Получение меловальных паст основывалось на последовательном добавлении при постоянном перемешивании к 60%-ной пигментной суспензии (100,0 мас. ч.), содержащей 85% частиц каолина (ГОСТ 19607-74) и 15% частиц карбонат кальция (ГОСТ 4530-76) (или бария сернокислого (ГОСТ 3158-75), сначала диспергатора (0,3 мас. ч. гексаметафосфата натрия (ГОСТ 20291-80)), а затем необходимого количества связующих (природных и синтетических) и вспомогательных веществ. Природными связующими веществами являлись крахмал окисленный (ГОСТ 54647-2011), NaКМЦ (ГОСТ 25130-82) и казеин (ГОСТ 3056-90); их расход находился в пределах 1–3, 0,5–1,0 и 1–3 мас. ч. соответственно. В качестве синтетических связующих веществ применяли традиционно используемый синтетический каучуковый латекс (ГОСТ 15080-77) и новое соединение – МКФО. Содержание вспомогательных веществ являлось постоянным и составляло, мас. ч.: антисептик (ГОСТ 23787.9-2019) – 0,15, стабилизатор (ТУ 2232-002-57149839-07) – 1,0, оптический отбеливатель (ГОСТ 27404-87) – 0,2, регулятор pH (ГОСТ 55064-2012) – 0,1 и пеногаситель (ГОСТ 22295) – 0,005.

Приготовленные в лабораторных условиях меловальные пасты отличались природой и содержанием связующих веществ, в качестве которых применяли традиционные природные (образцы 1–4) и новое синтетическое МКФО (образцы 5–10). Отличие приготовленных 10-ти образцов меловальных паст состояло в том, что 60%-ная пигментная суспензия содержала 85,0 мас. ч. каолина (образцы 1–10) и 15,0 мас. ч. карбоната кальция (образцы 1, 2, 5–7) или бария сернокислого (образцы 3, 4, 8–10).

Образцы 1–4, полученные по существующей технологии, содержали связующие вещества в следующих количествах, мас. ч.: а) природные: крахмал окисленный – 1,0 в образцах 1 и 3 и 3,0 в образцах 2 и 4, NaКМЦ – 0,5 в образцах 1 и 3 и 1,0 в образцах 2 и 4 и казеиновый клей – 1,0 в образцах 1 и 3 и 3,0 в образцах 2 и 4; б) синтетические: каучуковый латекс – 16,0 для образцов 1 и 3 и 32,0 для образцов 2 и 4.

Образцы 5–10, приготовленные по предлагаемой технологии, содержали новое синтетическое связующее МКФО в следующих количествах, мас. ч.: 2,5 в образцах 5 и 8, 4,5 в образцах 6 и 9 и 7,0 в образцах 8 и 10. Вторым связующим в этих образцах являлся синтетический каучуковый латекс, содержание которого составляло, мас. ч.: 16,0 для образцов 5 и 8, 24,0 для образцов 6 и 9 и 32,0 для образцов 7 и 10.

Немелованные образцы бумаги (70 г/м²) и ЭСК (70 г/м²) изготавливали из бумажных масс, имеющих электрокинетический потенциал –29,4...–29,8 мВ. Их композиционный состав по волокну и

функциональным химическим веществам соответствовал требованиям, предъявляемым к печатным видам продукции: стандартной газетной бумаги и полиграфического картона. Они имели требуемую прочность (разрывная длина – 5400 м (норма – не менее 5000 м)) и гидрофобность (впитываемость при одностороннем смачивании – 20–22 г/м² (норма 15–30 г/м²)).

Мелованные образцы бумаги и ЭСК изготавливали на моделирующем оборудовании с использованием лабораторной меловальной установки (Германия) в соответствии с прилагаемой инструкцией. Массоёмкость нанесенного мелованного покрытия составляла 30 г/м².

Свойства мелованных образцов бумаги и ЭСК характеризовали стандартными показателями. Для них определяли массоёмкость (ISO 536-1995) и такие печатные свойства, как белизна (ISO 2470-1999), гладкость (ISO 8791-4-1992) и стойкость поверхности к выщипыванию (ISO 3783-1980).

Установлено, что свойства исследованных меловальных паст, имеющих рН 9,0–10,5, соответствуют регламентируемым значениям, о чем свидетельствуют вязкость по ВЗ-4, равная 13–17 с, и содержание сухих веществ, находящееся в пределах 50–54%.

Результаты исследования представлены в таблице.

Таблица – Свойства мелованных образцов бумаги и ЭСК, изготовленных по существующим (образцы 1–4) и исследуемым (образцы 5–10) технологиям

Номер образца	Печатные свойства			Прочность Разрывная длина, м	Гидрофобность Впитываемость при одностороннем смачивании, г/м ²
	Белизна, %	Гладкость, с	Стойкость Поверхности к выщипыванию, мм		
Существующие технологии					
1	85	250	2,3	5250	20
2	86	252	2,2	5270	19
3	87	251	2,3	5260	21
4	88	253	2,2	5280	20
Исследуемые технологии					
5	86	254	2,4	5300	18
6	87	256	2,3	5350	19
7	88	258	2,2	5380	20
8	87	256	2,4	5370	18
9	88	260	2,3	5280	20
10	89	263	2,2	5290	21

Печатные свойства образцов мелованных видов бумаги и картона при использовании МКФО превышают на 3–8% свойства аналогичных образцов, содержащих в мелованном покрытии традиционно применяемый «комплекс» природных соединений, включающих крахмал окисленный, NaКМЦ и казеиновый клей. Об этом свидетельствуют повышение белизны мелованных образцов бумаги и картона на 1–4%, возрастание гладкости на 4–13 с и увеличение стойкости поверхности к выщипыванию на 0,1–0,2 мм. При этом дополнительно повышается разрывная длина на 50–130 м и уменьшается впитываемость при одностороннем смачивании на 2–3 г/м²; эти данные позволяют сделать важный вывод об улучшении прочности и гидрофобности бумаги и картона за счет присутствия МКФО.

Результаты исследования свидетельствуют о реальной возможности дальнейшего развития перспективного направления в технологии мелования бумаги и картона, обеспечивающего одновременное решение двух актуальных проблем: 1) замена 2,5–7,0 мас. ч. «комплекса» традиционно применяемых природных связующих веществ (крахмал окисленный, NaКМЦ и казеиновый клей и др.) на одно синтетическое МКФО (разработанная технология), расход которого уменьшается в 1,7 раза; 2) упрощение рецептуры меловальной пасты за счет исключения из ее состава антисептика (0,1–0,2 мас. ч.) благодаря применению МКФО вместо трех видов природных соединений, являющихся источниками нежелательного образования микроорганизмов и способствующих их росту.

Таким образом, показана практическая целесообразность замены «комплекса» природных связующих веществ, в состав которого входят три соединения (крахмал окисленный (1–3 мас. ч.), NaКМЦ (0,5–1,0 мас. ч.) и казеиновый клей (1–3 мас. ч.)), на одно синтетическое соединение – МКФО, впервые синтезированный на кафедре химической переработки древесины БГТУ. Содержание синтетического МКФО в меловальной пасте в 1,7 раза меньше, чем содержание «комплекса» природных соединений, что имеет важное практическое значение с технологической и экономической точек зрения.

УДК 676.1:676.038.22

Н. В. Черная проф., д-р техн. наук; С. В. Карпова ассист., м.т.н.;
соискатель О. А. Мисюров; ст. науч. сотр. Т. В. Чернышева;

студ. С. А. Дашкевич

(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

БУМАГООБРАЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ И МАКУЛАТУРНОЙ СУСПЕНЗИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ СТАДИИ РАЗМОЛА

В технологии бумаги и картона стадия размола является одной из основных технологических операций. Она позволяет целенаправленно изменять бумагообразующие свойства волокнистых суспензий, от которых зависит качество бумаги и картона. Важное значение имеют межволоконные связи, образующиеся в бумаге и картона при формировании их структуры из волокон, отличающихся фракционным составом, размерами и количеством «раскрытых» на их поверхности активных отрицательно заряженных центров (гидроксильных групп). Образованию последних и формированию в дальнейшем с их участием межволоконных связей способствует стадия размола, способствующая «раскрытию» на поверхности волокон гидроксильных групп. Их увеличение сопровождается улучшением бумагообразующих свойств волокнистых суспензий, полученных из первичных (целлюлозы) и вторичных (макулатуры) полуфабрикатов. Следствием этого является повышение прочности бумаги и картона, которую оценивают по такому показателю, как разрывная длина.

В Республике Беларусь предприятия целлюлозно-бумажной промышленности вынуждены перерабатывать макулатуру (вторичный волокнистый полуфабрикат, подразделяется на 13 марок МС-1, МС-2, ..., МС-12, МС-13) из-за дефицита импортируемой целлюлозы (первичный волокнистый полуфабрикат). Виды макулатуры, применяемые на конкретном предприятии, существенно отличаются. Поэтому выбор конкретной марки макулатуры зависит от ее бумагообразующих свойств и возможности использования ее для выпуска необходимого ассортимента бумажной и картонной продукции и комплекса требований, предъявляемых к ее качеству в целом и прочности в частности. Повышенным спросом пользуется макулатура марки МС-7, объемы сбора которой в Республике Беларусь практически полностью удовлетворяют потребности действующих производств. Однако отсутствие в научной и технической литературе информации о бумагообразующих свойствах макулатуры марки МС-7 не позволяет повысить эффективность ее применения в технологии бумаги и картона. Поэтому инфор-

мация о бумагообразующих свойствах выбранной для исследования макулатуры марки МС-7 представляет научный и практический интерес.

Для решения проблемы импортозамещения с целью замены целлюлозы, поставляемой из-за рубежа за значительные валютные средства, в Республике Беларусь построен новый целлюлозный завод (г. Светлогорск, ОАО «Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат»). В настоящее время на этом предприятии производится целлюлоза сульфатная беленая хвойная. На широкое ее использование ориентировано производство полиграфического картона в условиях филиала «Добрушская бумажная фабрика «Герой труда» ОАО «Управляющая компания холдинга «белорусские обои». Поэтому информация о бумагообразующих свойствах целлюлозы сульфатной беленой хвойной отечественного производства, выбранной для исследования, представляет научный и практический интерес.

Цель исследования – изучение влияния условий стадии размола (концентрации целлюлозных и макулатурных суспензий и продолжительности воздействия на них размалывающей гарнитуры) на бумагообразующие свойства получаемых суспензий и прочность изготовленных из них образцов бумаги и элементарных слоев картона.

Волокнистые суспензии получали из первичного (целлюлозы сульфатной беленой хвойной, производитель ОАО «Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат») и вторичного (макулатуры марки МС-7) полуфабриката. Для этого сначала проводили процесс диспергирования полуфабрикатов с использованием дезинтегратора марки БМ-3 (стадия роспуска), а затем процессы набухания, фибриллирования и укорочения волокон с применением лабораторного ролла (стадия размола), в котором концентрация волокнистой суспензии составляла 1 и 6%. Продолжительность стадии размола увеличивали от 5 до 80 мин. Степень помола волокнистых суспензий и среднюю длину волокон определяли по стандартным методикам на аппарате СР-2 и приборе Иванова соответственно. Образцы бумаги (80 г/м^2) и элементарные слои картона (80 г/м^2) изготавливали на листоотливном аппарате «Rapid-Ketten» (фирма «Ernst Naage», Германия), моделирующем работу современной бумагоделательной (картоноделательной) машины. Прочность образцов бумаги и элементарных слоев картона характеризовали разрывной длиной, которую определяли на испытательной машине Testometric (Великобритания) в соответствии с прилагаемой инструкцией.

Получено, что исходная степень помола неразмолотых целлюлозных и макулатурных суспензий отличалась и составляла 15 и

25°ШР соответственно при средней длине волокон 2,5 и 1,7 мм. Разрывная длина образцов бумаги и элементарных слоев картона, изготовленных из таких суспензий, составляла 3500 м для целлюлозы и 2100 м макулатуры. Результаты исследования представлены в таблице.

Таблица – Влияние вида волокнистого полуфабриката и концентрации волокнистых суспензий C_i , %, на процессы, протекающие на стадии размола в течение 80 мин, и разрывную длину (начальную и конечную) образцов бумаги и элементарных слоев картона

C_i , %	Процессы, протекающие на стадии размола в течение 80 мин							
	Набухание	Фибриллирование			Укорочение («рубка»)			
	Продолжительность $\tau_{1,i}$, мин	Продолжительность $\tau_{2,i}$, мин	Скорость процесса, °ШР/мин	Разрывная длина, м		Продолжитель- ность, $\tau_{3,i}$, мин	Разрывная длина, м	
				начальная	конечная		начальная	конечная
Целлюлозная суспензия								
$C_{ц} = 1$	15	50	1,2	3500	6100	15	6100	5050
$C_{ц} = 6$	10	40	1,5	3550	6150	25	6150	5030
Макулатурная суспензия								
$C_{м} = 1$	10	35	1,4	2100	3900	35	3900	2500
$C_{м} = 6$	5	20	2,5	2140	3930	55	3930	2000

Из таблицы видно, что на стадии размола волокнистых суспензий протекают три основных процесса. Сначала происходит набухание волокон, а затем – их фибриллирование. Завершающим процессом является укорочение («рубка») волокон.

Процесс набухания волокон протекает как в целлюлозных, так и в макулатурных суспензиях. Отличие состоит в его продолжительности $\tau_{1,i}$ мин, на которую влияет вид волокон и концентрация волокнистой суспензии C_i , %. Установлено, целлюлозные и макулатурные волокна, присутствующие в 1 и 6%-ной суспензиях, набухают в течение различного времени. Макулатурные волокна, имеющие среднюю длину 1,7 мм, набухают за промежуток времени, равный $\tau_{1,m} = 10$ мин при $C_m = 1\%$ и $\tau_{1,m} = 5$ мин при $C_m = 6\%$. Для целлюлозных волокон, имеющих среднюю длину 2,5 мм, требуется в 1,5–2,0 раза больше времени, которое возрастает до $\tau_{1,c} = 15$ мин при $C_c = 1\%$ и $\tau_{1,c} = 10$ мин при $C_c = 6\%$. Процесс набухания волокон обуславливается проникно-

вением молекул воды в их люмены. Поскольку средняя длина макулатурных волокон в 1,5 раза меньше целлюлозных, то скорость проникновения воды в их люмены увеличивается в 1,5 раза и более. Обнаруженная практически прямолинейная зависимость скорости процесса набухания волокон от их средней длины позволяет рассчитать необходимую его продолжительность в производственном оборудовании, что имеет важное практическое значение и может сократить время нахождения волокнистой суспензии в размалывающих мельницах (конических, дисковых, сдвоенных и др.) и за счет этого сократить время энергоемкой стадии размола и, следовательно, сэкономить 5–10% электроэнергии.

Процесс фибриллирования волокон является основным на стадии размола, поскольку его интенсивность и глубина влияют на бумагообразующие свойства волокнистых суспензий (целлюлозных и макулатурных) за счет «раскрытия» на поверхности волокон отрицательно заряженных активных центров (гидроксильных групп). О протекании этого процесса свидетельствует постепенное повышение степени помола исходных волокнистых суспензий от 15°ШР (для целлюлозной) и 25°ШР (для макулатурной) до 75°ШР, достигающей одновременно для целлюлозной и макулатурной суспензий. При этом продолжительность этого процесса $\tau_{2,i}$ зависит от вида волокнистого полуфабриката: для целлюлозной суспензии составляет $\tau_{2,ц} = 50$ мин при $C_{ц} = 1\%$ и $\tau_{2,ц} = 40$ мин при $C_{ц} = 6\%$ и для макулатурной – $\tau_{2,м} = 35$ мин при $C_{м} = 1\%$ и $\tau_{2,м} = 20$ мин при $C_{ц} = 6\%$. Повышению скорости процесса фибриллирования целлюлозных волокон от 1,2 до 1,5°ШР/мин (в 1,25 раза) и макулатурных волокон от 1,4 до 2,5°ШР/мин (в 1,78 раза) способствует увеличение концентраций волокнистых суспензий от 1 до 6%. Достигаемый положительный эффект можно, по нашему мнению, объяснить увеличением степени контакта волокон с элементами размалывающей гарнитуры и повышением степени «раскрытия» гидроксильных групп. Это способствует улучшению бумагообразующих свойств волокнистых суспензий, о чем свидетельствует повышение разрывной длины образцов бумаги, сформированных из размолотых до степени помола 75°ШР целлюлозных волокон от 3500–3550 до 6100–6150 м (в 1,7 раза) и макулатурных волокон от 2100–2140 до 3900–3930 м (в 1,9 раза). Увеличение разрывной длины образцов бумаги, изготовленных из целлюлозных и макулатурных волокон, в 1,74 и 1,86 раза соответственно, свидетельствует о положительном влиянии процесса фибриллирования, протекающего на стадии размола, на эффект улучшения бумагообразующих

свойств исследуемых волокнистых суспензий. При этом максимально сохраняется первоначальная средняя длина волокон, что имеет важное практическое значение с технологической точки зрения.

Процесс укорочения («рубки») волокон является нежелательным, поскольку средняя длина волокон значительно уменьшается по сравнению с первоначальной их длиной. Получено, что средняя длина «перемолотых» целлюлозных волокон, подвергшихся механическому воздействию размалывающей гарнитуры в течение времени $\tau_{3,i}$, по сравнению с первоначальной длиной снижается от 2,5 до 1,0 мм (в 2,5 раза). Аналогичные результаты получены для макулатурных волокон, средняя длина которых уменьшается от 1,7 до 0,6 мм (в 2,8 раза). Получено, продолжительность процесса укорочения целлюлозных ($\tau_{3,ц}$) и макулатурных ($\tau_{3,м}$) волокон составляет $\tau_{3,ц} = 15\text{--}25$ мин и $\tau_{3,м} = 35\text{--}55$ мин. Эти ограничения связаны с установленной исследуемой общей продолжительностью стадии размола, составляющей $\tau = 80$ мин, когда $\tau = \tau_{1,i} + \tau_{2,i} + \tau_{3,i}$. Негативное влияние процесса укорочения волокон отрицательно отражается на прочности образцов бумаги, для которых разрывная длина уменьшается следующим образом: для целлюлозы – от 6100–6150 до 5030–5050 м (в среднем на 18%) и для макулатуры – от 3900–3930 до 2000–2500 м (на 37–49%).

Таким образом, целлюлозные и макулатурные суспензии отличаются способностью к размолу и, следовательно, бумагообразующими свойствами. Продолжительность и скорость протекающих процессов набухания, фибриллирования и укорочения («рубки») волокон зависят от первоначальной средней длины волокон и концентрации волокнистых суспензий. Установлено, что основным процессом, улучшающим бумагообразующие свойства суспензий, является фибриллирование. Процесс набухания предшествует процессу фибриллирования. Макулатурные волокна набухают в воде в 1,5 раза быстрее, чем целлюлозные, что связано, по нашему мнению, с ускоренным проникновением молекул воды в люмены более коротких волокон. Процесс фибриллирования целлюлозных и макулатурных волокон протекает в течение 40–50 и 20–35 мин соответственно; при этом максимально сохраняется первоначальная длина волокон (целлюлозных – 2,5 мм; макулатурных – 1,7 мм) и увеличивается разрывная длина образцов бумаги в 1,7 и 1,9 раза соответственно. Процесс укорочения целлюлозных и макулатурных волокон в 2,5 и 2,8 раза соответственно приводит к ухудшению разрывной длины образцов бумаги и картона на 18 и 37–49%.

О. А. Мисюров, соискатель; С. В. Карпова ассист., м.т.н.;
Н. В. Черная проф., д.т.н.; Т. В. Чернышева с.н.с.;
студ. С. А. Дашкевич
(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛОКНИСТЫХ СУСПЕНЗИЙ ИЗ ПЕРВИЧНЫХ И ВТОРИЧНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ И ПРИМЕНЕНИЯ ИХ В ТЕХНОЛОГИИ БУМАГИ И КАРТОНА

Расширению ассортимента бумаги и картона, отличающихся физико-механическими свойствами и областью применения, способствует использование первичных и вторичных волокнистых полуфабрикатов и различных композиций, составленных на их основе. Для получения волокнистых суспензий из первичных и вторичных полуфабрикатов традиционно применяют стадию размола. Для этого используют различные виды размалывающего оборудования, отличающегося конструктивными элементами и видом гарнитуры и способного работать при концентрациях волокнистых суспензий 1–6% и регулируемом удельном давлении. При этом эффективность стадии размола волокнистых суспензий существенно зависит от ее продолжительности. Известно [1], что этот важный технологический фактор влияет на степень помола получаемой суспензии и, следовательно, водоудерживающую способность волокон, которую условно выражают в градусах Шоппер-Риглера (°ШР). Стадия размола сопровождается протеканием в волокнистых суспензиях трех основных процессов [1]: 1) набухание; 2) фибриллирование (внешнее и внутреннее); 3) укорочение («рубка»). «Раскрытые» гидроксильные группы волокон способствуют образованию межволоконных связей в структуре бумаги и картона и, следовательно, характеризуют бумагообразующие свойства волокнистых суспензий. Последние представляют собой дисперсные системы, в которых дисперсной фазой являются волокна, а дисперсионной средой – вода.

Первичными волокнистыми полуфабрикатами являются разнообразные виды целлюлозы [2, 3], полученные путем химической переработки хвойных и лиственных пород древесины по сульфитным и щелочным способам. Однако эффективность переработки конкретного вида целлюлозы в технологии бумаги и картона существенно зависит от степени фибриллирования волокон и, следовательно, «раскрытия» на их поверхности отрицательно заряженных активных центров (гидроксильных групп). В то же время в научной и технической лите-

ратуре отсутствует информация обумогообразующих свойствах волокнистых суспензий, полученных из целлюлозы сульфатной беленой хвойной, выпускаемой на новом целлюлозном заводе ОАО «Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат». Отсутствие этой информации не позволяет расширить область ее применения на предприятиях Республики Беларусь (включая технологию полиграфического картона и бумаги (легкомелованной газетной и текстурной), производство которых ориентировано на филиал «Добрушская бумажная фабрика «Герой труда» ОАО «Управляющая компания холдинга «Белорусские обои» и РУП «Завод газетной бумаги» соответственно) и за рубежом.

Вторичные волокнистые полуфабрикаты объединяют разнообразные виды макулатуры, подразделяющиеся согласно ГОСТ 10700-89 на 13 марок (МС-1, МС-2, ..., МС-13) и перерабатываемые на многих целлюлозно-бумажных предприятиях [4, 5]. Их бумагообразующие свойства уменьшаются в ряду МС-1 > МС-2 ... > МС-13. В Республике Беларусь бумагу и картон производят преимущественно из макулатуры марок МС-5 ... МС-13 и реже из МС-1 и МС-2 из-за ограниченных объемов их сбора. Увеличение циклов переработки вторичных полуфабрикатов снижает их бумагообразующие свойства. Однако эффективность применения макулатуры марок МС-5 ... МС-13 можно повысить, по нашему мнению, за счет использования нереализованных возможностей стадии размола путем управления процессом фибрилляции и предотвращения нежелательного процесса укорочения («рубки») волокон.

Отсутствие в научной и технической литературе информации об особенностях получения волокнистых суспензий из первичных и вторичных полуфабрикатов и применения их в технологии бумаги и картона обуславливает актуальность настоящей работы с научной и практической точек зрения.

Цель исследования – разработка способа повышения бумагообразующих свойств целлюлозных и макулатурных суспензий, отличающихся концентрацией и исходной степенью помола, на основе установления зависимости влияния продолжительности стадии размола на степень помола, среднюю длину волокон и скорость процесса фибрилляции.

Предмет исследования – процессы набухания, фибрилляции и укорочения («рубки») волокон, протекающие при размолу первичных и вторичных полуфабрикатов.

Объекты исследования – волокнистые суспензии, содержащие первичные (целлюлозные) и вторичные (макулатурные) волокна, и полученные из них образцы бумаги.

Волокнистые суспензии получали из первичного (целлюлозы сульфатной беленой хвойной, производитель ОАО «Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат») и вторичного (макулатуры марки МС-7) полуфабриката. Для этого сначала проводили процесс их диспергирования с использованием дезинтегратора марки БМ-3 (стадия роспуска), а затем процессы набухания, фибриллирования и укорочения волокон с применением лабораторного ролла (стадия размола), в котором концентрация волокнистой суспензии составляла 1 и 6%. Продолжительность стадии размола увеличивали от 5 до 80 мин. Степень помола волокнистых суспензий и среднюю длину волокон определяли по стандартным методикам на аппарате СР-2 и приборе Иванова соответственно. Образцы бумаги (80 г/м²) изготавливали на листоотливном аппарате «Rapid-Ketten» (фирма «Ernst Haage», Германия), моделирующем работу современной бумагоделательной (картоноделательной) машины. Прочность образцов бумаги характеризовали разрывной длиной, которую определяли на испытательной машине Testometric (Великобритания). Результаты исследования представлены в таблице.

Из таблицы видно, что при увеличении продолжительности стадии размола от 5 до 80 мин, когда волокнистая суспензия имеет концентрацию 1 и 6%, наблюдаются три области.

В первой области происходит процесс набухания волокон. Об этом свидетельствует сохранение исходной степени помола (15°ШР и 25°ШР для целлюлозной и макулатурной суспензий соответственно), средней длины волокон, составляющей 2,5 мм для целлюлозы и 1,7 мм для макулатуры, и разрывной длины образцов бумаги, равной 3500 м для целлюлозы и 2100 м для макулатуры.

Во второй области протекает процесс фибриллирования волокон, сопровождающийся «раскрытием» отрицательно заряженных активных центров (гидроксильных групп) и участием их в образовании межволоконных связей. Подтверждением этого является увеличение степени помола волокнистых суспензий от 15 (для целлюлозной суспензии) и 25 (для макулатурной суспензии) до 75°ШР и повышение разрывной длины в 1,75–1,85 раза (от 3500 до 6100 м для целлюлозы и от 2100 до 3900 м для макулатуры). При этом максимально сохраняется первоначальная длина волокон, мм: 2,5 для целлюлозных и 1,7 для макулатурных.

Таблица - Влияние условий стадии размола на свойства волокнистых суспензий (целлюлозных / макулатурных) и прочность полученных из них образцов бумаги

Условия стадии размола		Свойства волокнистых суспензий		Прочность Образцов бумаги
Концентрация суспензий, %	Продолжительность, мин	Степень помола, °ШР	Средняя длина волокон, мм	Разрывная длина, м
1	0	15 / 25	2,5 / 1,7	3500 / 2100
	5	15 / 25	2,5 / 1,7	3500 / 2100
	10	15 / 25	2,5 / 1,7	3500 / 2150
	15	15 / 30	2,5 / 1,7	3550 / 2500
	25	30 / 45	2,5 / 1,7	4150 / 3000
	35	40 / 62	2,5 / 1,7	5000 / 3600
	45	53 / 75	2,5 / 1,7	5750 / 3900
	55	70 / 75	2,5 / 1,5	6100 / 3750
	65	75 / 75	2,3 / 1,3	5820 / 3100
	80	75 / 75	2,0 / 1,0	5050 / 2500
6	0	15 / 25	2,5 / 1,7	3500 / 2100
	5	15 / 25	2,5 / 1,7	3500 / 2150
	10	17 / 35	2,5 / 1,7	3560 / 2500
	15	20 / 50	2,5 / 1,7	4000 / 2850
	25	35 / 75	2,5 / 1,7	4850 / 3900
	35	50 / 75	2,5 / 1,4	5780 / 3850
	45	67 / 75	2,5 / 1,2	6100 / 3350
	55	75 / 75	2,1 / 1,0	5820 / 2750
	65	75 / 75	1,9 / 0,8	5450 / 2300
	80	75 / 75	1,7 / 0,6	5030 / 2000

В третьей области происходит укорочение («рубка») волокон. При этом степень помола волокнистых суспензий, достигнув максимальных значений при степени помола 75°ШР, не изменяется, а средняя длина целлюлозных и макулатурных волокон заметно уменьшается. Этот показатель изменяется от 2,5 до 1,7–2,0 мм для целлюлозных и от 1,7 до 0,6–1,0 мм для макулатурных волокон. Укорочение целлюлозных волокон в 1,25–1,47 раза приводит к ухудшению их бумагообразующих свойств на 18%, что вызывает снижение разрывной длины образцов бумаги от 6100 до 5030–5050 м. Для макулатурных волокон укорочение в 1,70–2,83 раза приводит к уменьшению разрывной длины от 3900 до 2000–2500 м, что свидетельствует об ухудшении их бумагообразующих свойств на 36–49%.

Таким образом, получение волокнистых суспензий из первичных (целлюлозы) и вторичных (макулатуры) полуфабрикатов с улуч-

шенными бумагообразующими свойствами основано на протекании процесса фибриллирования и предотвращении процесса укорочения («рубки») волокон. Сохранение первоначальной длины волокон (целлюлозных – 2,5 мм; макулатурных – 1,7 мм) обеспечивается за счет управления процессом их фибриллирования. Повышение степени помола целлюлозной и макулатурной суспензий от 15 и 25°ШР соответственно до 75°ШР, при которой завершается процесс фибриллирования и начинается «рубка» волокон, способствует повышению разрывной длины образцов бумаги в 1,75–1,85 раза по сравнению с неразмолотыми волокнами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черная, Н.В. Технология производства бумаги и картона : учеб. пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Химическая технология переработки древесины» / Н.В. Черная, В.Л. Колесников, Н.В. Жолнерович. – Минск : БГТУ, 2013. – 435 с.

2. Черная, Н.В. Технология производства сульфитной целлюлозы : учеб. пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Химическая технология переработки древесины» / Н.В. Черная. – Минск : БГТУ, 2012. – 351 с.

3. Черная, Н.В. Технология производства щелочной целлюлозы. В 2 ч. Ч. 1 : учеб. пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности «Химическая технология переработки древесины» / Н.В. Черная, Н.В. Жолнерович. – Минск : БГТУ, 2015. Ч. 1. – 268 с.; Ч. 2. – 205 с.

4. Черная, Н.В. Сбор вторичного сырья и его переработка в целлюлозно-бумажной промышленности по ресурсосберегающим и импортозамещающим технологиям / Н.В. Черная, И.И. Карпунин, В.В. Кузьмич // Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве : материалы I Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 3–4 октября 2019 г.: в 3 ч. – Минск : БГТУ. – Ч. 1. – С. 280–289.

5. Черная, Н.В. Современные технологии переработки вторичных материальных ресурсов на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности Республики Беларусь и за рубежом / Н.В. Черная, И.И. Карпунин, В.В. Кузьмич // Научно-технический прогресс в жилищно-коммунальном хозяйстве : сб. тр. : в 2 ч. / Институт жилищно-коммунального хозяйства НАН Беларуси. – Минск : БГТУ, 2020. – Ч. 1. – С. 258–269.

УДК 676.026.74-0,35.848

Т. В. Чернышева ст. науч. сотр.; Н. В. Черная проф., д-р. техн. наук;
м.т.н., ассист. С. В. Карпова; соискатель О. А. Мисюров,
студ. С. А. Дашкевич
(кафедра химической переработки древесины, БГТУ)

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ ДЕСТРУКЦИИ СМОЛЯНЫХ КИСЛОТ КАНИФОЛИ

Канифоль (талловая, живичная и экстракционная) и входящие в ее состав смоляные кислоты широко применяют в целлюлозно-бумажной промышленности, а также при получении синтетических каучуковых латексов и обогащении полезных ископаемых флотацией, в полиграфии, литейном и шинном производстве, лакокрасочной и пищевой промышленности, сельском хозяйстве, бытовой химии и др. Целлюлозно-бумажная промышленность является одним из крупнейших потребителей канифоли. К основным компонентам канифоли относятся смоляные кислоты (10–12 видов в зависимости от вида канифоли), имеющие общую структурную формулу $C_{19}H_{29}COOH$ и отличающиеся расположением сопряженных двойных связей. В технологии клееных и мелованных видов бумаги и картона канифоль используют в виде эмульсий. Поэтому эффективность применения канифоли зависит от ее химического состава и физико-химических свойств.

Однако для большинства потребителей, включая целлюлозно-бумажную промышленность, неприемлемыми являются такие свойства канифоли, как низкая температура размягчения (55–70°C), высокое кислотное число (160–174 мг КОН/г), недостаточные влагоустойчивость и мягкость, а также склонность к кристаллизации. Особое значение имеет склонность смоляных кислот к окислению в присутствии кислорода воздуха. Нежелательные окислительные процессы усиливаются, во-первых, при увеличении срока хранения канифоли и, во-вторых, при термическом воздействии на нее в реакторе, когда проводят модифицирование и нейтрализацию ее смоляных кислот.

В настоящее время в научной и технической литературе отсутствует информация о влиянии процесса термоокислительной деструкции смоляных кислот, протекающего в присутствии кислорода воздуха, на физико-химические свойства образующихся продуктов и их групповой состав. Это не позволяет оценить влияние окисленных смоляных кислот на процессы гидрофобизации и мелования бумаги и картона. Поэтому научный и практический интерес представляет информация о динамике накопления окисленных смоляных кислот, образующихся в процессе получения канифольных эмульсий, и их влия-

нии на свойства клееных и мелованных видов бумаги и картона. Отсутствие этой информации обуславливает актуальность настоящей работы.

Цель исследования – изучение процессов, происходящих со смоляными кислотами при термоокислительной деструкции в присутствии кислорода воздуха, и установление закономерностей их влияния на физико-химические, проклеивающие и связующие свойства окисленной канифоли.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- разработана методика термоокислительной деструкции смоляных кислот канифоли в присутствии кислорода воздуха, что позволило выделить индивидуальные компоненты;
- установлены закономерности влияния условий процесса термоокисления на физико-химические свойства канифоли;
- разработаны практические рекомендации по использованию окисленной канифоли в технологии клееных и мелованных видов бумаги и картона.

Объекты исследования – окисленные смоляные кислоты канифоли, полученные в процессе их термоокислительной деструкции в присутствии кислорода воздуха, и изготовленные с использованием окисленной канифоли образцы клееных и мелованных видов бумаги и картона.

Для изучения физико-химических свойств окисленной канифоли использовали соответствующие стандартные методики. Свойства исследуемых образцов канифоли характеризовали такими показателями, как кислотное и йодное числа, цветность и содержание окисленных веществ [1, 2]. Для установления структуры окисленных смоляных кислот использовали стандартный метод – ИК-спектроскопию. ИК-спектры исходных и полученных образцов окисленной канифоли записывали на инфракрасном Фурье-спектрометре «Nexus» в таблетках с KBr в соответствии с прилагаемой к нему инструкцией в области поглощения от 800 до 3000 см⁻¹. Определение содержания окисленных веществ канифоли основано на их способности не растворяться в петролейном эфире и легких фракциях бензина. Цветность образцов окисленной канифоли определяли по ГОСТ 19113-84. Для определения содержания окисленных веществ канифоли нашли распространение два способа: способ Швальбе и способ, заимствованный из практики определения окисленных веществ в талловом масле и обычно применяемый при групповом анализе канифоли. В настоящей работе при разработке методики выделения окисленных веществ смоляных кислот канифоли

был использован первый способ с внесением необходимых дополнений, что связано со специфическими особенностями проводимых соединений и условиями их получения.

Исследуемые образцы исходной и окисленной канифоли использовали для получения из них 2%-ных эмульсий по стандартной методике [3]. Их вводили в волокнистую суспензию, полученную из целлюлозы сульфатной беленой (ГОСТ 9571-89) и имеющую степень помола $40 \pm 2^\circ\text{ШР}$, в количестве 1,5% от абсолютно сухого волокна (% от а. с. в.). Для получения проклеивающих комплексов использовали 5%-ный раствор электролита (сульфата алюминия по ГОСТ 12966-85) в количестве 4,5% от а. с. в.

Клеенные образцы бумаги (80 г/м^2) и картона (340 г/м^2) изготавливали из проклеенных бумажных масс с использованием листоотливного аппарата «Rapid-Ketten» (Германия, фирма «Ernst Naage»), моделирующем работу современной бумагоделательной (картоноделательной) машины. Гидрофобность образцов бумаги и картона определяли по стандартной методике на аппарате Кобба и характеризовали впитываемостью при одностороннем смачивании (ГОСТ 12605-97).

Мелованные образцы бумаги (110 г/м^2) и картона (370 г/м^2) получали путем нанесения на их поверхность меловальной пасты (30 г/м^2), имеющей стандартную рецептуру, с регламентируемыми свойствами: вязкость – 15 с (норма 13–17 с), содержание сухих веществ – 52% (норма 50–54%), значение pH – 9,5 (норма 9,0–10,5). Процесс мелования осуществляли на установке (Германия), оснащенной регулирующими наносящими и высушивающими системами. Свойства мелованных образцов бумаги и картона характеризовали такими стандартными показателями, как массовая емкость (ISO 536-1995), толщина (ISO 534-2005), белизна (ISO 2470-1999), гладкость (ISO 8791-4-1992) и стойкость поверхности к выщипыванию (ISO 3783-1980).

Разработанная методика проведения глубокой термоокислительной деструкции смоляных кислот канифоли основывалась на том, что сначала в фарфоровый тигель объемом 100 см^3 помещали навеску исследуемой канифоли (10–15 г), после чего его помещали в муфельную печь, нагретую до температуры 300°C , и выдерживали при этой температуре в течение 1 ч. После окончания выдержки тигель с навеской охлаждали и помещали в эксикатор для проведения дальнейших исследований. По этой же методике при заданной температуре 300°C проводили термическое воздействие на образцы канифоли; продолжительность нагрева увеличивали от 1 до 5 ч. Потеря массы исследуемых образцов канифоли свидетельствовала о глубокой деструкции

(разложении) ее смоляных кислот.

Результаты исследования приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что термическая обработка канифоли при температуре 300°C в течение 1–5 ч приводит к потере массы канифоли от 14,06 до 42,60%. Это связано с тем, что в данных условиях происходит деструкция смоляных кислот канифоли, что приводит к разложению структуры ее молекул под воздействием высокой температуры и кислорода воздуха, сопровождающееся декарбоксилированием и дегидратацией смоляных кислот канифоли.

При деструкции смоляных кислот канифоли могут проходить процессы с образованием углеводородов по реакции

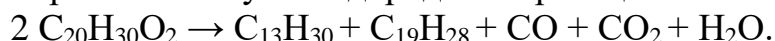


Таблица 1 – Физико-химические свойства продуктов, полученных при глубокой термоокислительной деструкции смоляных кислот канифоли

Условия процесса		Наименование и значение показателя			
Температура, °С	Продолжительность, ч	Кислотное число, мг КОН/г	Цветность	Содержание окисленных веществ, %	Потеря массы, %
300	1	153,9	F, E	11,57	14,06
	2	138,2	E	22,06	23,55
	3	131,3	D	27,11	37,95
	4	127,2	B	28,75	40,11
	5	123,5	B	33,38	42,60

Разработанная методика разделения окисленных смоляных кислот на индивидуальные компоненты основывалась на их избирательной способности к растворению в этиловом спирте и диэтиловом эфире. При этом они не растворяются в петролейном эфире.

Результаты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Групповой анализ окисленных смоляных кислот канифоли при увеличении продолжительности нагрева от 1 до 5 ч

Содержание окисленных веществ, %	Продолжительность нагрева, ч				
	1	2	3	4	5
Растворимые в этиловом спирте, %	23,90	25,45	30,87	35,83	45,26
Нерастворимые в этиловом спирте, %	75,8	74,01	68,83	64,08	54,63

Из таблицы 2 видно, что при глубокой термоокислительной деструкции канифоли образуются окисленные смоляные кислоты, которые обладают различными физико-химическими свойствами.

Таким образом, изучены процессы, происходящие при термоокислительной деструкции смоляных кислот канифоли в присутствии кислорода воздуха. Установлено, что канифоль, содержащая не более 19,96% окисленных веществ, имеет гидрофобизирующие свойства, не уступающие свойствам исходной (модельной) канифоли. Впитываемость при одностороннем смачивании клееных образцов бумаги и картона не превышает 30 г/м², что свидетельствует о высокой их гидрофобности. Последующее одностороннее мелование их поверхности позволяет обеспечить бумаге и картону регламентируемый комплекс показателей качества, характеризующих их печатные свойства: белизна составляет 85–87% (норма – не менее 85%), стойкость поверхности к выщипыванию находится в диапазоне 2,2–2,4 см (норма – не менее 2,2 см) и гладкость достигает 255–260 с (норма – не менее 250 с).

ЛИТЕРАТУРА

1. Вершук, В.И. Методы анализа сырья и продуктов канифольно-скипидарного производства / В.И. Вершук, Н.А. Гурич. – Москва: Гослесбумиздат, 1960. – 190 с.
2. Чудинов, С.В. Справочник лесохимика / С.В. Чудинов, А.Н. Трофимов, Г.А. Узлов. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 272 с.
3. Башкирцева, З.М. Влияние состава смоляных кислот на проклейку бумаги / З.М. Башкирцева, А.П. Петров // Бумажная промышленность, 1974. – № 2. – С. 8–10.

ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ПЕРЕКИСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ ЖИДКОФАЗНОГО ОКИСЛЕНИЯ α -ПИНЕНА

При жидкофазном окислении α -пинена происходит образование большого количества перекисных соединений в оксидате. В зависимости от структуры перекисных радикалов, их содержания и механизма окисления зависит качественный и количественный состав конечного продукта. Основными источниками радикалов являются термический распад гидроперекисей (окисление без участия катализатора), образование комплексов ионов металлов с кислородом (с участием кислорода и катализатора на основе солей металлов переменной валентности) и образование перекисного радикала при присоединении молекулы кислорода к свободному углеводородному радикалу (автоокисление) [1]. Количественная оценка образования перекисных соединений на стадиях механизма через определение перекисного числа (ПЧ) позволяет определить лимитирующую стадию реакции и стадию, когда происходит образование основных продуктов жидкофазного окисления.

Процесс жидкофазного окисления α -пинена проводили при следующих параметрах: температура – 70°C , расход воздуха – $16,67 \text{ см}^3/\text{с}$, продолжительность – 7 ч, масса катализатора стеарата кобальта (II) – 0,2–0,5 масс. %. Отбор проб оксидата для определения перекисного числа проводили каждый час. Перекисное число определяли согласно ГОСТ Р 51487–99 [2]. На рисунке 1 представлена динамика накопления перекисных соединений в процессе жидкофазного окисления α -пинена.

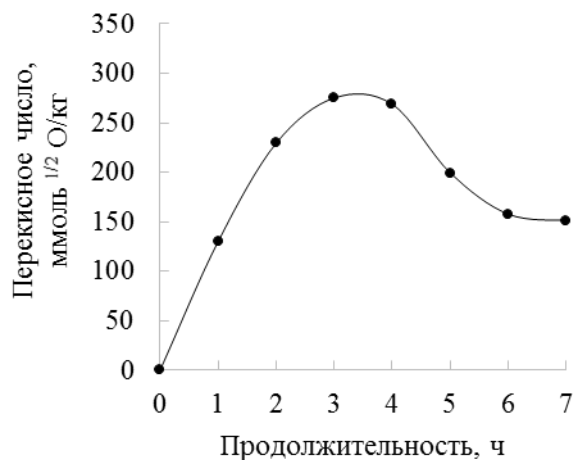


Рисунок 1 – Динамика накопления перекисных соединений в процессе жидкофазного окисления α -пинена

Можно предположить, что индукционный период, при котором происходит накопление перекисных и гидроперекисных соединений и активной формы катализатора является самым продолжительным (3–4 ч), при этом максимальное значение перекисного числа на данной стадии находилось в диапазоне 275–269 ммоль $\frac{1}{2}$ О/кг. На 4 ч окисления происходит уменьшение количества перекисных соединений, о чем свидетельствует снижение значения перекисного числа 268–151 ммоль $\frac{1}{2}$ О/кг, и, далее, его плавное выравнивание с тенденцией к снижению. Это можно объяснить тем, что количество перекисных соединений уравнивается с количеством продуктов реакции, при этом дальнейшее окисление (более 7 ч) может привести к образованию большого количества полимерных соединений, что в конечном итоге снижает выход терпеновых кислородсодержащих соединений.

Таким образом исследована динамика накопления перекисных соединений в процессе жидкофазного окисления α -пинена кислородом воздуха с использованием стеарата кобальта (II), благодаря которой можно определить характер протекания процесса и отследить предположительные стадии образования как перекисных соединений, так и продуктов реакции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кислицин А.Н., Каблукова И.Н., Трофимов А.Н. Исследование процесса жидкофазного инициированного окисления α -пинена кислородом воздуха. Сообщение 1 // Химия растит. сырья. 2003. №1. С. 53–59.
2. ГОСТ Р 51487–99. Масла растительные и жиры животные. Метод определения перекисного числа. Госстандарт России от 22 дек. 1999 г. № 643-ст. 13 с.

ВЛИЯНИЕ КУРКУМИНА НА ОКСИСТАБИЛЬНОСТЬ ЛЬНЯНОГО МАСЛА

Льняное масло, получаемое из семян масличного льна прямым холодным отжимом, является источником эссенциальных жирных кислот. По содержанию омега-3 и омега-6 жирных кислот льняное масло превосходит рыбий жир (табл. 1), что предопределяет его высокую склонность к окислению.

Таблица - Основные жирные кислоты растительных масел и рыбьего жира

Жирная кислота, % от суммы		Подсолнечное масло	Рапсовое масло	Льняное масло	Рыбий жир
Пальмитиновая (C 16:0)		6	5	6	25
Стеариновая (C 18:0)		2,5	1,7	4,5	1,5
Олеиновая (C 18:1)	омега-9	44	61	16	70
Линолевая (C 18:2)	омега-6	39	19	14	2
Арахидоновая (C 20:4)		–	–	–	2
Линоленовая (C 18:3)	омега-3	6	9	58	–
Эйкозапентаеновая (C 20:5)		–	–	–	8
Докозагексаеновая (C 20:6)		–	–	–	12

Одним из способов защиты растительных масел прямого отжима от окисления является использование антиоксидантов фенольной природы, способных взаимодействовать со свободными радикалами. В настоящее время наблюдается тенденция к производству и использованию антиоксидантов из натурального пищевого сырья: куркумина для кукурузного масла, экстракта зеленого чая, ликопина, ресвератрола, γ -оризанола для арахисового масла, экстракта кожуры граната для кокосового масла для фритюрной жарки, инкапсулированных экстрактов цитрусовых, брокколи, розмарина, листьев оливкового дерева для подсолнечного масла [1].

Куркумин (E100) обладает антиоксидантными свойствами и более эффективен в предотвращении перекисного окисления липидов,

чем альфа-токоферол, экстракт сосновой коры, экстракт виноградных косточек или широко используемый синтетический антиоксидант ВНТ (бутилгидрокситолуен).

Куркумин (диферулоилметан, $C_{21}H_{20}O_6$) – гидрофобный полифенол, полученный из корневищ куркумы (*Curcuma longa*), индийской специи, которая обычно используется при приготовлении горчицы и карри. Три куркуминоида (рис. 1), а именно куркумин, диметоксикуркумин и *бис*-диметоксикуркумин, присутствуют в природных экстрактах *C. longa* с куркумином в качестве основного компонента.

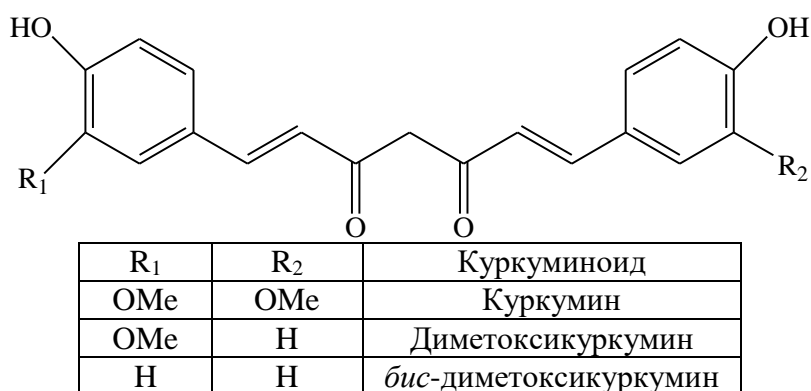


Рисунок 1 – Структурные формулы куркуминоидов

Комплекс из трех куркуминоидов более эффективен в качестве антиоксиданта, чем каждый куркуминоид в отдельности.

Благодаря своей дикетонной части куркумин подвергается кетонольной таутомерии и полностью существует в енольной форме как в растворе, так и в твердой фазе. Преобладающая енольная форма позволяет молекуле как отдавать, так и принимать водородные связи. Енольная форма также делает его идеальным хелатором ионов металлов [2].

Цель работы – исследовать действие куркумы как источника куркумина на оксистабильность нерафинированного пищевого льняного масла (ООО «Лен ОК», г. Нижний Новгород, Россия). Образцы масла, различающиеся содержанием молотой куркумы (0,5...1,5 масс. %) хранились на протяжении 42 сут в темном месте при комнатной температуре (20 ± 2) °С. Для оценки влияния куркумы на устойчивость льняного масла к окислению при хранении были определены кислотное, перекисное и тиобарбитуровое числа (рис. 2).

Кислотное число – один из основных показателей качества масел, так как характеризует степень гидролиза липидов, поскольку в природных маслах и жирах количество свободных кислот незначительно. Гидролиз протекает в процессе хранения при доступе кислорода и сопровождается окислением в первую очередь жирных кислот. Чем меньше кислотное число, тем меньше вероятность образования

канцерогенов в масле при несоответствующих требованиям условиям хранения.

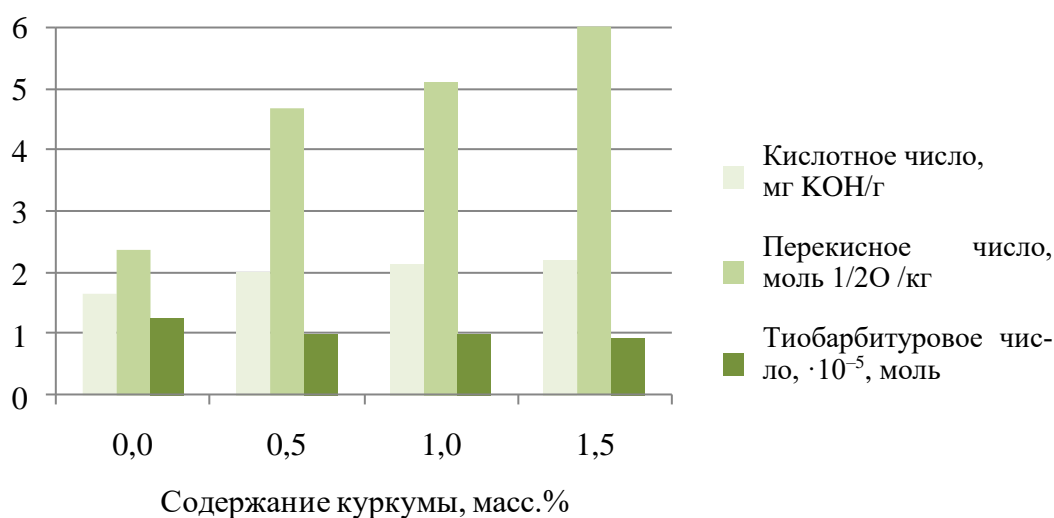


Рисунок 2 – Показатели льняного масла через 42 сут хранения в зависимости от содержания куркумы

Количество первичных продуктов окисления (перекисей и гидроперекисей) в масле характеризует перекисное число.

Тиобарбитуровое число растительных масел (содержание малонового диальдегида) – условная величина, характеризующая содержание в растительном масле вторичных продуктов окисления липидов. Именно тиобарбитуровое число считается хорошим индикатором прогорклости растительных масел.

Установлено (рис. 2), что введение в нерафинированное льняное масло молотой куркумы в количестве от 0,5 до 1,5 масс.% замедляет процессы гидролиза в 2 раза и окисления липидов с образованием первичных продуктов окисления в 3 раза. При этом тиобарбитуровое число снизилось на 28%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макарова Н.В., Воронина М.С. Исследование окислительной стабильности нескольких растительных масел при различных технологических параметрах // Инновации и продовольственная безопасность. 2019. № 3. С. 82–90.

2. Esatbeyoglu T., Huebbe P., Ernst I.M., Chin D., Wagner A.E., Rimbach G. *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* Vol. 51(22). 2012. Pp. 5308–5332.

В. Л. Флейшер, доц., канд. техн. наук;
Н. В. Черная, проф., д-р техн. наук;
М. В. Андрухова, ассист., канд. техн. наук;
Я. В. Боркина, асп.
(БГТУ, г. Минск)

СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ СМОЛЯНЫХ КИСЛОТ КАНИФОЛИ

Смоляные кислоты канифоли, благодаря наличию в своей структуре двойных связей и карбоксильной группы, являются перспективным исходным сырьем для модифицирования с целью придания им необходимых физико-химических свойств. Возможность придания канифоли заданных физико-химических свойств делает ее незаменимой при производстве упрочняющих и гидрофобизирующих материалов в технологии бумаги и картона.

Известно, что для получения высококачественных видов бумаги и картона, обладающих необходимыми прочностью и гидрофобностью, применяют два вида функциональных веществ: первое вещество – упрочняющее; второе – гидрофобизирующее. В обоих случаях эти вещества участвуют во взаимодействии с отрицательно заряженными активными центрами (гидроксильными группами) волокон. На наш взгляд, перспективным направлением в целлюлозно-бумажной промышленности является разработка функциональных веществ полимерной природы, имеющих в своем составе как гидрофобные участки, так и гидрофильные, что позволит одновременно оказывать на бумагу и картон гидрофобное и упрочняющее действие.

Анализ научной литературы показал, что данная идея является актуальной и перспективной и представляет научный и практический интерес. Одна из попыток создания подобных функциональных веществ была реализована румынскими учеными путем поликонденсации малеопимаровой (акрилопимаровой) кислоты, адипиновой кислоты и триэтилентетрамина с последующим модифицированием полученного полимера эпихлоргидрином. В результате были синтезированы полиамидоимиды (рис. 1), имеющие практическое значение в технологии бумаги и картона благодаря своей растворимости в воде, катионной активности, терморреактивности, характерной для эпоксидных соединений, гидрофобизирующей способности, а также повышению прочности бумаги во влажном состоянии. Описанный способ получения полимера имеет ряд недостатков: является многостадийным, требует использования токсичного эпихлоргидрина, а для достижения требуемых показателей прочности и гидрофобности бумаги содержа-

ние продукта в бумажной массе должно составлять не менее 3% от абсолютно сухого волокна.

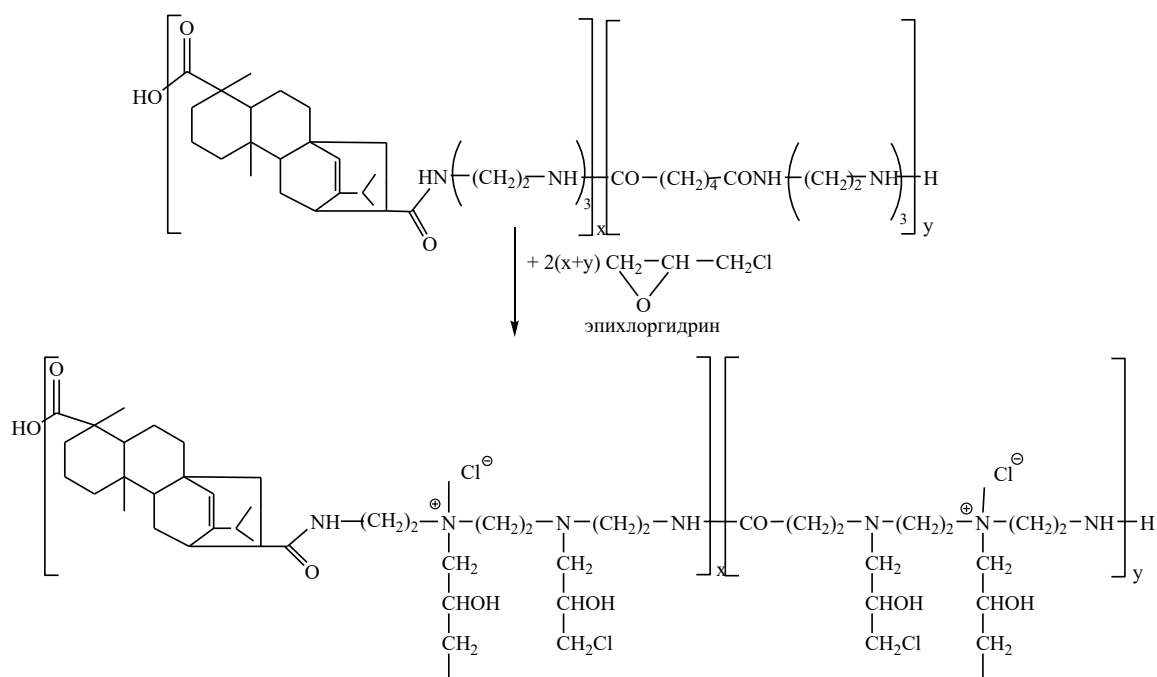


Рисунок 1 – Схема образования замещенного эпихлоргидрином продукта поликонденсации акрилопимаровой кислоты и адипиновой кислоты с триэтилеттетрамином

В сложившейся ситуации нами выдвинуто предположение, которое в дальнейшем было подтверждено в лабораторных условиях при получении массовых видов бумаги и картона, что полимер на основе дикарбоновой кислоты и полиэтиленполиамина (диэтилентриамина или триэтилеттетрамина), модифицированный амидами смоляных кислот канифоли будет оказывать на бумагу и картон упрочняющее и гидрофобизирующее действие. Упрочняющее действие полимера обусловлено наличием амино- ($-\text{NH}_2$ и $-\text{NH}-$) и амидогрупп ($-\text{CONH}-$), способных образовывать водородные связи с гидроксильными группами макромолекул целлюлозы, а гидрофобизирующее – за счет наличия в структуре полимера гидрофобных участков амидов смоляных кислот, а также радикалов свободных смоляных кислот, присутствующих в продукте.

Предполагаемый нами механизм электростатического взаимодействия (образования водородных связей) азотсодержащих групп полимера с отрицательно заряженными гидроксильными группами волокон представлен на рисунке 2.

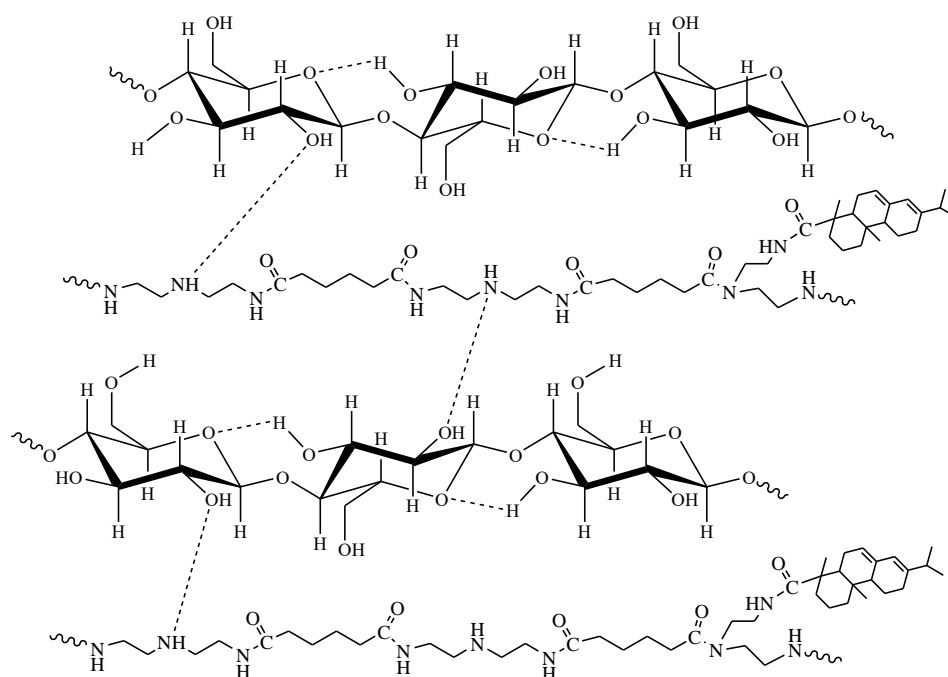


Рисунок 2 – Предполагаемый механизм электростатического взаимодействия азотсодержащих групп полиамидной смолы с гидроксильными группами волокон

Проведенные опытно-промышленные испытания разработанной полиамидной смолы (торговая марка «ПроХим DUO») проведены в филиале «Добрушская бумажная фабрика «Герой труда» ОАО «Управляющая компания холдинга «Белорусские обои», филиале «Бумажная фабрика «Красная Звезда» ОАО «Светлогорский ЦКК», ИП «Мюникс» ООО, ОАО «Зеленоборское». Применение разработанной полиамидной смолы при производстве клееных видов бумаги и картона позволяет снизить расход проклеивающего вещества на основе димеров алкилкетена на 10–25% и полностью заменить импортные упрочняющие вещества. Опытные партии бумаги отличались от серийно выпускаемых видов продукции улучшенными показателями качества, о чем свидетельствовало повышение абсолютного сопротивления продавливанию до 20% и прочности при растяжении в машинном направлении на 5–8%, а также повышалось 2,0–2,5 раза удержание волокна по сравнению с существующей технологией (без химикатов) при производстве санитарно-гигиенической бумаги.

Таким образом, разработанная полиамидная смола на основе смоляных кислот канифоли является бифункциональным веществом, оказывающим на бумагу и картон упрочняющее и гидрофобизирующее действие.

Н.А. Герман, ассист., канд. техн. наук;
С. И. Шпак, доц., канд. техн. наук;
Е. В. Дубоделова, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

СМЕШАННОЕ БИОТОПЛИВО С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ БИОМАССЫ

Традиционно в качестве сырья для получения твердого биотоплива используются отходы лесопиления и деревообработки, т.е. древесная биомасса, которая обладает высокой теплотворной способностью, а за счет достаточно высокого содержания в ней гемицеллюлоз и лигнина, которые являются природными связующими, обеспечивается образование формоустойчивых изделий. В тоже время, для получения конкурентоспособного биотоплива потенциально могут быть использованы и другие виды биомасс. На территории ЕАЭС действует ГОСТ 33103.6-2017 (ISO 17225-6:2014) «Биотопливо твердое. Технические характеристики и классы топлива. Часть 6. Классификация недревесных пеллет», нормирующий показатели качества пеллет, изготовленных из травяной, плодовой биомасс; биомассы водных растений; искусственных и непроизвольных смесей биомасс. Указанные биомассы обладают аналогичным комплексом свойств, однако имеют повышенную зольность, высокое содержание хлора, азота и серы, а также ряда макроэлементов.

Нами были рассмотрены такие виды однолетних растений, как камыш и хлопчатник в виде отходов их переработки, а также образующаяся при рубках ухода биомасса ивы, которые в настоящее время не находят практического применения. При этом важно отметить, что, нет данных о совместимости различных видов биомасс при производстве востребованных на рынке торговых форм твердого биотоплива. Так, например в соответствии с СТБ 2027-2010 «Гранулы древесные топливные. Общие технические условия», не рекомендуется использовать отходы растительно-го происхождения в количестве более, чем 10%.

Главной проблемой при использовании отходов камыша и хлопчатника в качестве исходного сырья для получения биотоплива является повышенное содержание в них минеральных веществ – порядка 4%. Однако стоит заметить, что при сжигании твердого биотоплива в современных промышленных котлах с автоматическим золоудалением зольность перестает играть существенную роль.

С целью определения оптимального компонентного состава для получения твердого биотоплива исследовали влияние смешанных композиций различных видов биомасс в соответствии с симлекс-решетчатым планом Шеффе третьего порядка. На основании результа-

тов исследований с применением программы STATISTICA было получено адекватное уравнение регрессии и с помощью надстройки «Поиск решения» найдено оптимальное соотношение исследуемых отходов растительного происхождения: древесина ивы – 65%, отходы хлопчатника – 30%, отходы камыша – до 5%.

В таблице представлены свойства твердого биотоплива, полученного при оптимальном соотношении исследуемых компонентов растительной биомассы.

Таблица - Физико-механические показатели качества твердого биотоплива

Наименование показателя	Значение, нормированное по СТБ 2027 (группа 3)	Значение для оптимизированного смешанного состава твердого биотоплива
Влажность, %	не более 12	8,5
Зольность, %	не более 2,5	1,1
Механическая прочность (содержание древесной пыли при истирании), %	не более 6,5	0,8
Предел прочности при изгибе, МПа	не нормируется	10,5
Низшая теплота сгорания (теплотворная способность), МДж/кг	не менее 17,5	18,5

Из таблицы видно, что образцы твердого биотоплива, полученные из оптимизированного состава различных видов биомассы, обладают высокими физико-механическими характеристиками, которые соответствуют требованиям СТБ 2027 и ГОСТ 33103.6-2017 (ISO 17225-6:2014).

Анализ элементного состава полученного твердого биотоплива показал отсутствие превышения массовой доли различных химических элементов, предусмотренных требованиями стандартов различных уровней.

Полученные результаты исследований показали, что найденный с помощью симплекс-решетчатых планов Шеффе оптимальный состав смешанного биотоплива соответствует по физико-механическим свойствам и химическому составу всем нормативным требованиям. Кроме этого, следует отметить, что применение планов Шеффе позволяет определять не только оптимальный состав твердого биотоплива по исходному сырью, но и осуществлять оценку показателей качества и безопасности планируемых к выпуску новых недревесных видов твердого биотоплива с целью расширения ассортимента выпускаемой продукции.

Я. В. Боркина, асп.;
В. Л. Флейшер, доц., канд. техн. наук, зав. кафедрой ХПД
(БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПОЛИКОНДЕНСАЦИИ ДИЭТИЛЕНТРИАМИНА И АДИПИНОВОЙ КИСЛОТЫ НА СТЕПЕНЬ КОНВЕРСИИ РЕАГЕНТОВ

Поликонденсация – процесс получения полимеров путем химического взаимодействия би- и/или полифункциональных мономеров, при этом в реакциях участвуют как мономеры, так и олигомеры [1]. Так как диэтилентриамин является трифункциональным мономером, то в результате его взаимодействия с адипиновой кислотой (бифункциональный мономер) могут образовываться разветвленные (сшитые) полимеры.

Цель работы – изучить влияние условий процесса поликонденсации диэтилентриамин и адипиновой кислоты (температура и продолжительность) на конверсию реагентов.

Поликонденсацию диэтилентриамин и адипиновой кислоты проводили в расплаве, при этом для смещения равновесия процесса в сторону образования высокомолекулярного соединения низкомолекулярный продукт (воду) удаляли из сферы реакции. Кроме того, это необходимо потому, что вода может взаимодействовать с образующимся продуктом с получением исходных веществ, что снизит степень полимеризации образующегося продукта.

В реактор, представляющий собой трехгорлую колбу, снабженную термометром, механической мешалкой, ловушкой Дина-Старка и холодильником, помещали исходные реагенты, взятые в молярном соотношении 1 : 1, и при перемешивании осуществляли нагревание до необходимой температуры. Протекание процесса изучали при температурах 160, 170 и 180 °С. Контроль за ходом реакции проводили по изменению количества функциональных групп мономеров – карбоксильных и аминных. Для этого определяли кислотное (рис. 1, а) и аминное числа (рис. 1, б) реакционной массы. Отбор проб для их определения осуществляли каждый час. За исходное кислотное число принимали кислотное число адипиновой кислоты, которое составляет 766,39 мг КОН/г, соответственно, за исходное аминное число принимали аминное число диэтилентриамин, составляющее 1626,00 мг КОН/г. Полученные продукты представляют собой твердые вещества светло-коричневого цвета, тяжело растворимые в воде.

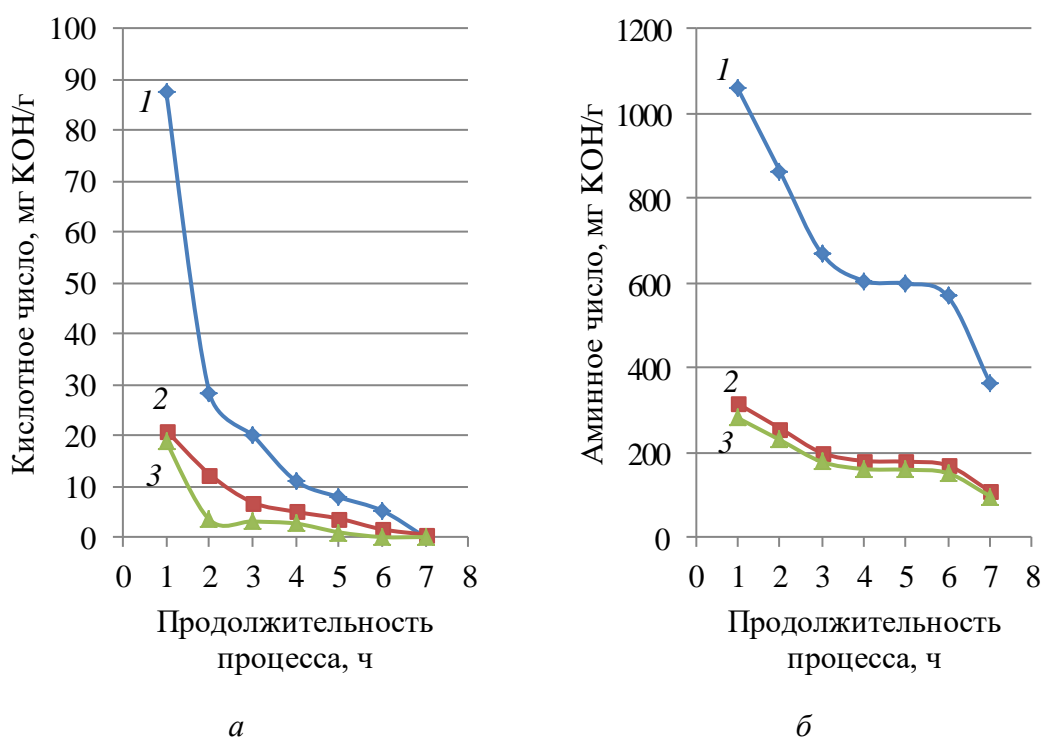


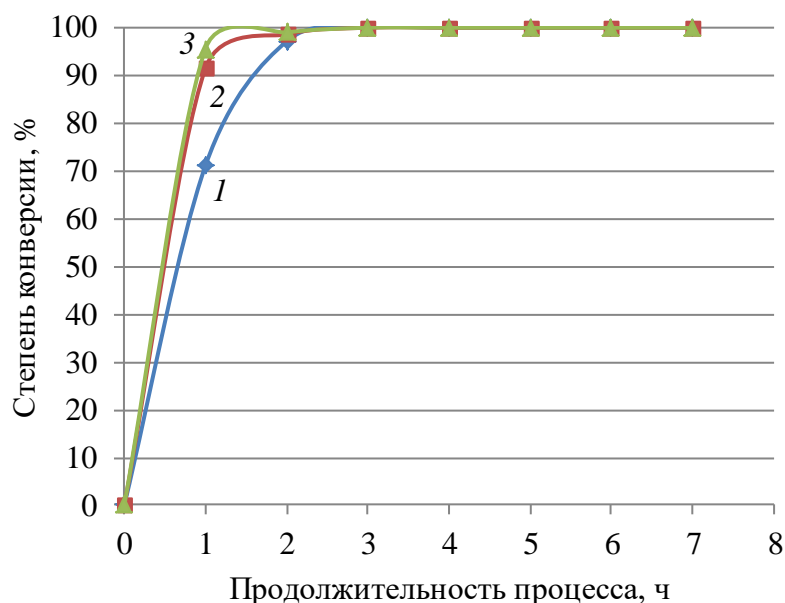
Рисунок 1 – Зависимость изменения кислотного числа (а) и аминного числа (б) в процессе взаимодействия диэтилентриамина и адипиновой кислоты при различных температурах: 1 – 160 °С; 2 – 170 °С; 3 – 180 °С

Из представленных зависимостей видно, что процесс интенсивно протекает в первые 3–4 ч, причем увеличение температуры процесса приводит к увеличению скорости протекания реакции, о чем свидетельствуют более резкое снижение кислотного и аминного чисел реакционной массы.

Степень конверсии реагентов в исследуемых процессах (рис. 2) рассчитывали по количеству низкомолекулярного побочного продукта – воды, выделение которого наблюдалось в первые 3 ч, что свидетельствовало о том, что мономерные соединения полностью вступили в реакцию. Дальнейшее снижение кислотного (рис. 1, а) и аминного (рис. 1, б) чисел реакционной массы свидетельствовало о взаимодействии олигомеров между собой и образовании высокомолекулярных соединений.

Известно, что одним из недостатков проведения процесса поликонденсации в расплаве является нарушение стехиометрического состава из-за потерь летучего амина [2]. Часть амина отводится с удаляемой водой. В связи с этим дополнительно проводили анализ выделяющейся воды на содержание в ней свободного амина. Установлено, что в процессе поликонденсации диэтилентриамина и адипиновой кислоты потери амина с удаляемой водой составляют в среднем

0,07 масс. % вне зависимости от температуры.



**Рисунок 2 – Изменение степени конверсии реагентов в процессе поликонденсации, проводимом при различных температурах:
1 – 160 °C; 2 – 170 °C; 3 – 180 °C**

Таким образом, при осуществлении процесса поликонденсации диэтилентриамин и адипиновой кислоты в расплаве реагенты полностью вступают в реакцию в течение 3 ч. Дальнейшее проведение процесса приводит к образованию сшитых полимеров. Увеличение температуры процесса приводит к увеличению скорости протекания реакции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонович А. А., Оболенская А. В. Основы химии и физики полимеров: уч. пособие. Л.: ЛТА, 1988. 84 с.
2. Herbert B., Farbe J. Makromolekulare Stoffe. Teil 3. Stuttgart, New York: Georg Time Verlag, 1987. XXI S., S. 1794–2958.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДОВ ЭКСТРАКЦИИ НА СТЕПЕНЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МАСЛА ИЗ СЕМЯН ЛЮПИНА УЗКОЛИСТНОГО

Среди видового разнообразия растений из рода люпина можно выделить несколько его видов, которые произрастают на территории Республики Беларусь: люпин узколистный (лат. *L. angustifolius* L.), желтый (лат. *L. luteus* L.), белый (лат. *L. album* L.) и многолетний (лат. *L. polyphyllus* Lind.) [1]. Именно люпин узколистный, получивший широкое распространение в связи с его устойчивостью к антракнозу, выбран в качестве объекта исследования в данной работе. В настоящее время люпин узколистный применяется в качестве не только кормового сельскохозяйственного растения, но и источника получения биологически активных веществ. Из-за ценного биохимического состава семян и масла, люпин может применяться в производстве детского и диетического питания [2]. Прежде всего ценность семян люпина заключается в высоком содержании (32–39%) белка, состоящего из легкоусвояемых фракций (альбуминов и глобулинов), что важно для сбалансированности по аминокислотному составу. В свою очередь содержание масла в семенах колеблется от 4 до 8%, что не является пределом, поскольку известны более масличные виды люпина: белый (содержание масла 11–12%) и изменчивый (до 20% масла) [3].

Цель исследования – сравнительный анализ влияния методов экстракции на степень извлечения масла из семян люпина узколистного. Анализ осуществляли тремя различными методами: настаивание измельченных семян с диэтиловым эфиром, исчерпывающая экстракция низкокипящим растворителем с помощью аппарата Сокслета и экспресс-метод ТФЭ («твердофазная экстракция»). В результате были получены данные о количественном содержании масла в образцах семян, что послужило основанием для сопоставления эффективности приведенных методик при уже имеющемся диапазоне значений масличности семян использованного вида люпина.

Исходным сырьем для экстракции являлись семена люпина узколистного (сорт «Миртан», категория ЭС). Чистота семян не менее 97,0%, содержание семян сорных растений не более 20 шт/кг, ядовитых растений – 0 шт/кг. Влажность – не более 16% [4].

Исходная масса навески семян люпина для метода настаивания с растворителем и исчерпывающей экстракции в аппарате Сокслета равна 50 г. В результате настаивания измельченных семян с диэтиловым эфиром было получено 15,11 г масла, т.е. в данном случае масличность семян

соответствует 60,44% (в пересчете на масличность по маслу 4,83%), что является достоверным по сравнению с ранее приведенными литературными данными для люпина узколистого 4–8%.

В свою очередь, используя метод исчерпывающей экстракции диэтиловым эфиром с помощью аппарата Сокслета, было выделено 79,52% масла (в пересчете на масличность по маслу 6,36%).

И последний из методов, с помощью которого можно достаточно быстро определить содержание жиров не только в семенах масличных культур, но и в пищевых продуктах, является метод ТФЭ. Данный метод относится к экспресс-методу, который основан на распределении исходного компонента между подвижной и неподвижной фазами в результате сорбционных и/или ионообменных процессов, протекающих в специальной колонке для ТФЭ [5]. Навеску измельченных семян люпина массой 6,93 г предварительно смешивали с 15,01 г безводного сернокислого натрия и помещали в шприц (20 см³), который использовали в качестве колонки для экстракции. Было проведено два опыта: первый опыт с диэтиловым эфиром, второй – смесь хлороформа и этилового спирта (в соотношении 2 : 1) [5]. В результате массовая доля жира составила в первом опыте 42,86%, во втором опыте – 42,00% (в пересчете на масличность по маслу в среднем 3,36%).

Таким образом, при сопоставлении полученных данных видно, что наибольшее извлечение масла наблюдается при использовании метода исчерпывающей экстракции с диэтиловым эфиром в аппарате Сокслета (60,44%, в пересчете на масличность по маслу 4,83%). Стоит отметить, что метод ТФЭ предназначен для очистки пробы от нежелательных примесей и концентрирование компонентов [5]. То есть, данный экспресс-метод целесообразно применять в случае, когда необходимо определить показатели качества исследуемого масла, где не требуется определять его количественное содержание в семенах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Персикова, Т.Ф., Цыганов, А.Р. Какшинцев, А.В. Продуктивность люпина узколистого в условиях Беларуси. Минск: ИВЦ Минфина. 2006. 179 с.
2. Егорова, Г.П., Шеленга, Т.В., Проскурикова, Г.И. Биохимическая характеристика семян люпина // Масла и жиры. 2020. № 7. С. 28.
3. Бенкен, И.И., Курлович, Б.С., Куртузова, Л.Т. Каталог мировой коллекции ВИР. Люпин усколистый – *Lupinus angustifolius* L. (биохимическая характеристика образцов) // Сб. науч. тр. ВИР. 1993. № 637. С. 45–51.
4. Требования к сортовым и посевным качествам семян сельскохозяйственных растений // Министерство сельского хозяйства Республики Беларусь. Минск. – 29 октября 2015 г. № 37.
5. Перкель, Р.Л., Попов, В.С. Определение содержания жиров методом ТФЭ // Масла и жиры. 2019. № 9. С. 26–27.

А. М. Залуцкая, асп.;
Е. П. Шишаков, вед. науч. сотр., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ КАТИОНИРОВАННОГО ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

В технологии производства бумаги и картона широко применяются химические вспомогательные вещества (ХВС), в частности катионные полимеры. Они используются как упрочняющие агенты, средства удержания, флокулянты и фиксаторы.

Довольно перспективным при производстве высококачественных видов бумаги из макулатурного сырья является использование упрочняющих добавок на основе катионированных полимеров, таких как поливиниловый спирт (ПВС) и сополимеры акриламида и акрилата натрия (САА и АН).

Химические свойства ПВС определяются его функциональными гидроксильными группами, реагирующими так же, как гидроксильные группы низкомолекулярных спиртов. Подобно последним, поливиниловый спирт образует сложные эфиры, алкоголяты, непредельные соединения и др. Поливиниловый спирт стоек к ароматическим углеводородам, но абсолютно неустойчив в воде полностью в ней растворяется, образуя гелеобразный раствор.

Физико-механические свойства поливинилового спирта зависят от его молекулярного веса и содержания ацетатных групп. С повышением молекулярного веса и уменьшением содержания ацетатных групп увеличиваются прочность и теплостойкость полимера.

При производстве катионированных полимеров широко применяются алкилирующие реагенты (АР), используют производные первичных, вторичных, третичных аминов или четвертичных аммонийных соединений : 2,3-эпоксипропилтриметиламмония хлорид (ЭПТ-МАХ), 3-хлор-2-гидроксипропилтриметиламмония хлорид (ХГПТ-МАХ), 3-хлор-2-гидроксипропиламин, этиленимин, эпихлоргидрин и диметиламин и/или аммиак, акрилонитрил и гидроксиламин, эпихлоргидрин и диэтиламиноэтил хлорид, глицидилдоктилдиметиоаммония хлорид, глицидилдодецилдиметиламмония хлорид, 2-гидрокси-3-метакрилоксипропилтриметиламмония хлорид, поливиниламин, хитозан и др [1].

Процесс катионирования происходит в щелочной среде при использовании гидроксидов, щелочных солей, оксидов или гидроксидов щелочноземельных металлов, четвертичных аммонийных оснований и

комбинации указанных соединений [2].

В качестве АР при экструзионном способе получения катионированного поливинилового спирта используются ЭПТМАХ (рис. 1), ХГПТМАХ и эпоксипропилтриэламмония хлорид. При этом температура реакции составляет 60–100°С, время 5–10 мин [3].

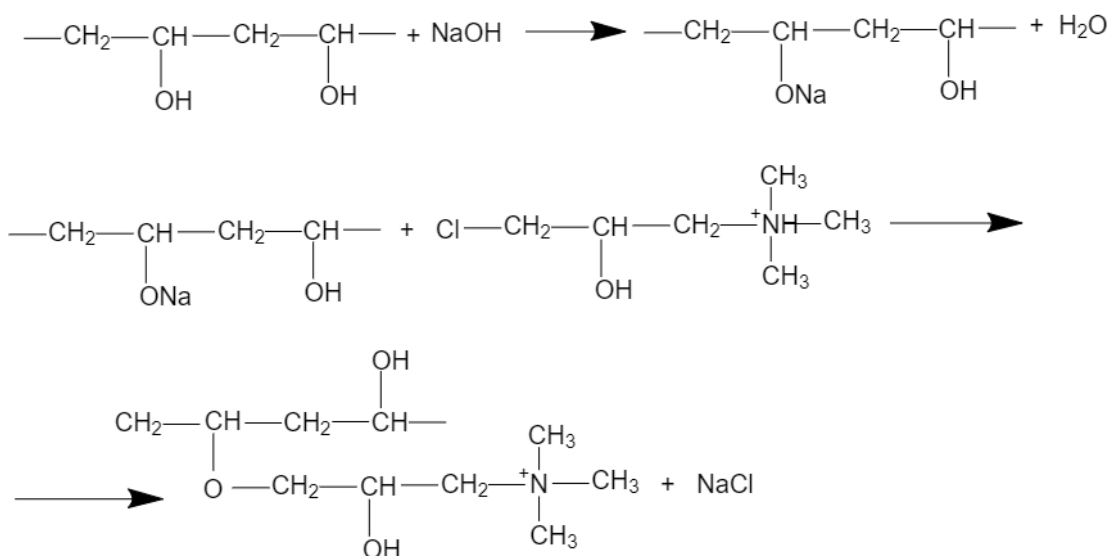


Рисунок 1 – Реакция катионирования ПВС

Существует несколько способов получения катионированного ПВС путем взаимодействия с ациклическими высокомолекулярными эпоксидами (рис. 2).

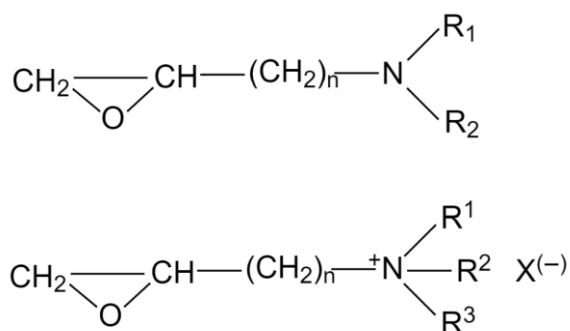


Рисунок 2 – Алкилирующие реагенты

Реакционную смесь ПВС, гидроксида или оксида щелочного, или щелочноземельного металла, воды и эпоксида гомогенизируют в течение 10–25 мин в проточном увлажняющем смесителе, реакцию катионирования проводят при температуре от 5 до 75°С [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Литвяк В.В. Научные основы технологии получения катионных крахмалов // Вести Национальной академии наук Беларуси – 2019. – Т. 57. – №1. – С. 110–121.

2. Смолин, А.С. Химия бумаги и картона в условиях современного производства / А.С. Смолин // Химия в ЦБП: сборник трудов междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 11–12 декабря 2008 года / под ред. проф. А.Н. Иванова; ГОУВПО СПб ГТУ РП. – СПб., 2008. – С. 3–6.

3. A kind of cationic polyvinyl alcohol preparation method and manufacture of paper [Electronic resource]: pat. CN 107266611A / T. Wang, Z. Wei. – Publ. date 07.06.2017. – Mode of access: <https://patents.google.com/patent/CN107266611A/zh?oq=107266611A>. – Date of access: 20.10.2020.

4. Process for the preparation of cationized polyvinyl alcohol [Electronic resource]: pat. US 4822851A / R. Stober, E. Kohn. – Publ. date 18.04.1989. – Mode of access: <https://patents.google.com/patent/US4822851A/en?oq=US4822851A>. – Date of access: 20.10.2020.

С.В. Киселев, ст. преп., канд. техн. наук;
И.Т. Ермак, доц., канд. биол. наук;
А.К. Гармаза, доц., канд. техн. наук;
Ю.С. Радченко, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ЯДЕРНАЯ ИЛИ АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: ЧТО БУДЕТ ДОМИНИРОВАТЬ К КОНЦУ XXI ВЕКА НА РЫНКЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Менее чем через 25 лет после Чернобыльской катастрофы мир стал свидетелем аварии на атомной электростанции (АЭС) «Фукусима» в Японии с зоной отчуждения и последствиями, близкими к Чернобылю.

Если из четырех блоков Чернобыльской АЭС был разрушен один, а остальные три проработали еще 10 лет, то на «Фукушиме-1» четыре блока полностью разрушены и уже никогда не будут работать. Авария на Чернобыльской АЭС, как и авария на «Фукушиме» снова показали, что ядерная энергетика неконтролируема и опасна.

Со строительством в Беларуси атомной электростанции в настоящее время 32 страны эксплуатируют АЭС. Учитывая потенциальную опасность использования ядерной энергетики, многие страны стали на путь отказа использования АЭС путем вывода их из эксплуатации и их ликвидации.

Италия стала первой страной, которая закрыла вообще все имевшиеся АЭС и полностью отказалась от ядерной энергетики. Бельгия, Германия, Испания, Швейцария, Тайвань осуществляют долгосрочную политику по отказу от ядерной энергетики.

Нидерланды, Швеция также планировали отказаться от атомной энергетики, хотя приостановили свои намерения. Литва, Казахстан временно перестали использовать ядерную энергетiku, хотя планируют вместо закрытых построить новые АЭС. Ранее отказывалась от атомной энергетики Армения, хотя затем ее единственная АЭС была пущена в эксплуатацию вновь.

Австрия, Куба, Ливия, КНДР, Польша по политическим, экономическим или техническим причинам остановили свои программы атомной энергетики и не завершили начатое строительство своих первых АЭС. Хотя две последние страны (КНДР и Польша) планируют их строительство вновь. Так же планировали ранее, но отказались от программ атомной энергетики, не имевшие ранее АЭС, Азербайджан, Грузия, Латвия, Австралия, Греция, Дания, Ирландия, Лихтенштейн,

Люксембург, Мальта, Новая Зеландия, Норвегия, Португалия, Филиппины, Гана.

Кроме полного отказа от ядерной энергетики есть мероприятия и тенденции по ее стагнации и сокращению. Как некоторые лидеры атомной энергетики – США, Великобритания, Франция, Германия (после аварии на АЭС Три-Майл-Айленд, а также аварии на Чернобыльской АЭС) и особенно Япония (после аварии на АЭС Фукусима-1), так и некоторые другие имеющие АЭС страны закрыли значительное их количество. Согласно докладу о состоянии индустрии ядерной энергетики глобально в отрасли наблюдается спад [1].

Человечество получает энергию в основном за счет сжигания ископаемого топлива и работы атомных электростанций. Отказываясь от использования атомной энергетики в настоящее время или уменьшая количество используемых реакторов в ближайшей перспективе, многие государства ведут активные разработки к переходу на альтернативные ВИЭ (возобновляемые источники энергии). Альтернативная энергетика – это методы, которые отдают энергию более экологичным способом и приносят меньше вреда окружающей среде. Скажем, в ЕС ведутся активные разработки отказа от автомобилей с двигателем внутреннего сгорания к созданию электромобилей, а также довести долю ВИЭ в структуре энергетики до 30-50% в зависимости от страны. Дополнительным стимулом к этому стала все увеличивающаяся стоимость углеводородов и нежелание государств быть зависимым от крупнейшего поставщика энергоносителей.

Основными ресурсами возобновляемой энергии являются солнечный свет, водные потоки, ветер, приливы, биотопливо (топливо из растительного или животного сырья), геотермальная теплота (недра Земли).

Из перечисленного, в качестве перспективного получения ВИЭ являются солнечная энергия, ветроэнергетика и в некоторой степени гидроэнергия.

Солнечная энергия – один из самых мощных видов альтернативных источников энергии. Чаще всего ее преобразуют в электричество солнечными батареями. Всей планете на целый год хватит энергии, которую солнце посылает на Землю за день. Впрочем, от общего объема годовая выработка электроэнергии на солнечных электростанциях не превышает 2%.

Основные недостатки – зависимость от погоды и времени суток. Для северных стран извлекать солнечную энергию невыгодно. Конструкции дорогие, за ними нужен особый уход и вовремя утилизировать сами фотоэлементы, в которых содержатся ядовитые вещества

(свинец, галлий, мышьяк). Для высокой выработки необходимы огромные площади. В теплых странах с высокими тарифами на электроэнергию, оно может покрывать нужды обычного дома.

Ветроэнергетика. Запасов энергии ветра в 100 раз больше запасов энергии всех рек на планете. Ветровые станции помогают преобразовывать ветер в электрическую, тепловую и механическую энергию. Этот вид возобновляемой энергии хорошо развит в Дании, Португалии, Испании, Ирландии и Германии. К концу 2016 года мощность всех ветрогенераторов обогнала суммарную установленную мощность атомной энергетики.

Гидроэнергия. Чтобы преобразовать движение воды в электрическую энергию, нужны гидроэлектростанции (ГЭС) с плотинами и водохранилищами. Строить ГЭС дороже и сложнее обычных электростанций, но цена электричества при их эксплуатации в два раза ниже. Турбины могут работать в разных режимах мощности и есть возможность контролировать выработку электричества.

Человечеству не грозит энергетический кризис, связанный с истощением запасов нефти, газа, угля, если оно освоит технологии использования возобновляемой энергии. В этом случае будут также решены проблемы загрязнения среды обитания выбросами электростанций, и транспорта. Ядерная энергетика, как мы знаем, чревата крупными авариями.

Альтернативные возобновляемые источники энергии повышают энергетическую безопасность и независимость владельцев ВИЭ.

Динамично развивающаяся альтернативная энергетика, основанная на инновационных технологиях, является альтернативной ядерной энергетике. По прогнозам экспертов, в 2050 году она будет доминировать на рынке энергетически чистых технологий, а к концу XXI века обеспечит 75-90 процентов всех потребностей Земли в электрической энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отказ от ядерной энергетике – Википедия [Электронный ресурс]. – 2021. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>. – Дата доступа 19.01.2021.

СОКРАЩЕНИЕ УДЕЛЬНОГО РАСХОДА СВЯЗУЮЩЕГО В ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНЫХ ПЛИТ

В производстве древесностружечных и древесноволокнистых плит, включая плиты МДФ, широко используются карбамидоформальдегидные олигомеры (КФО). Они обладают высокой адгезионной способностью по отношению к древесине, наибольшей в сравнении с другими используемыми связующими скоростью отверждения [1]. Вместе с тем, их доля в себестоимости древесных плит может достигать до 40%, что обуславливает актуальность проблемы сокращения удельного расхода КФО в производстве древесных плит.

Нами была исследована возможность сокращения расхода КФО путем предварительного нагрева перед нанесением на древесные частицы. Предположительно снижение вязкости должно улучшить распределение связующего по поверхности древесного наполнителя и увеличить площадь клеевых соединений. В табл. 1 приведена зависимость технологических характеристик смолы КФ-66 (ТУ ВУ 500126145.009-2016), используемой в производстве плит МДФ на ОАО «Мостовдрев», от температуры.

Таблица 1 – Влияние температуры на технологические характеристики смолы КФ-66

Температура, °С	Вязкость по ВЗ 4, с	Краевой угол смачивания, град.
20	56	79,9
25	37	79,1
30	35	78,6
35	29	77,8
40	27	77,2
50	24	76,0
60	20	73,5
70	18	70,0

Анализ результатов показывает, что наиболее интенсивное снижение вязкости происходит при повышении температуры до 40 °С, далее процесс замедляется. Но вместе с тем, краевой угол смачивания древесины связующим (использовалась древесина берёзы) продолжает существенно уменьшаться.

Во избежание предварительного отверждения связующего было принято решение не повышать температуру свыше 40 °С, но для реа-

лизации рассматриваемой технологии в промышленных условиях необходимо было установить, какое время допустимо выдерживать КФО при повышенной температуре перед нанесением на древесные частицы (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние времени нагрева на технологические характеристики смолы КФ-66

Время нагрева при 40 °С, мин	Вязкость по ВЗ 4, с	Краевой угол смачивания, град.
0	27	77,2
30	29	79,8
60	39	84,0
180	45	88,4
210	68	97,1

Таким образом, допустимым является нагрев КФО не более 30 минут, после чего начинают интенсивно протекать поликонденсационные процессы, нарастает вязкость КФО и существенно увеличивается краевой угол смачивания.

В промышленных условиях целесообразно установить перед смесителем древесных частиц со связующим (волоконном либо стружкой) теплообменник типа труба в трубе для непрерывного нагрева потока смолы и лабиринтный смеситель для смешивания подогретой смолы с отвердителем непосредственно перед смесителем. Такая схема обеспечивает нахождение смолы при повышенной температуре не более 5-7 минут.

Результаты определения физико-механических показателей древесностружечных плит по разрабатываемой технологии в сравнении с традиционной показали, что повышение температуры до 40 °С наносимой на древесную стружку клеевой композиции (смола КФ-66, отвердитель $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) позволяет без снижения физико-механических показателей сократить расход КФО на 12%. Достоверность выводов была подтверждена статистической обработкой результатов исследований: площадь пересечения функций распределения Гауса для показателей контрольных и экспериментальных образцов составила 93-95%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эльберт, А.А. Химическая технология древесностружечных плит. – М.: Лесная промышленность, 1984. – 224 с.

И.А. Хмызов, доц., канд. техн. наук;
 Е.П. Шишаков, ст. науч. сотр., канд. техн. наук;
 А.А. Толстяк, студ.
 (БГТУ, г. Минск)

ПОВЫШЕНИЕ ЛИПКОСТИ СВЯЗУЮЩЕГО В ПРОИЗВОДСТВЕ ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В производстве фанеры, древесностружечных и древесноволокнистых плит, включая плиты МДФ, используется холодная подпрессовка подлежащей горячему прессованию композиции. Её назначение – придание формоустойчивости прессуемому материалу и сокращение цикла горячего прессования за счет сокращения времени на сжатие прессуемого материала до требуемой толщины. Особое значение липкость связующего имеет в производстве фанеры при прессовании многослойных пакетов, когда возникают проблемы с их загрузкой в межплитное пространство горячего пресса.

Нами была исследована возможность модификации с целью повышения липкости используемых в производстве древесных плит и фанеры карбамидоформальдегидных олигомеров (КФО) следующими соединениями: гидроксиэтилцеллюлоза (ГЭЦ); ГЭЦ (50%) и технические лигносульфонаты (ТЛС) (50%); ГЭЦ (33%), ТЛС (33%) и декстрин (ДКС) (33%). В качестве КФО использовали смолу КФ-66 (ТУ ВУ 500126145.009-2016) производства ОАО «Мостовдрев». Эта смола используется для производства плит МДФ.

Нами была определена липкость КФО, содержащих перечисленные модификаторы, в количестве 3% к а.с. смоле. Липкость определялась измерением усилия отрыва полиэтилентерефталатного диска от поверхности КФО, содержащей модификатор. Полученные результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1 - Влияние модификаторов на липкость смолы КФ-66

Наименование параметра	Состав смолы			
	Без модификатора	ГЭЦ	ГЭЦ + ТЛС	ГЭЦ + ТЛС + ДКС
Липкость смолы, н/м ²	405	1261	595	290
Погрешность определения липкости	40,0	60,7	38,1	28,1

Как видно из полученных результатов, наибольший эффект даёт ГЭЦ. В табл. 2 показано влияние расхода ГЭЦ на технологические параметры смолы КФ-66.

Таблица 2 - Влияние ГЭЦ на технологические параметры смолы КФ-66

Наименование параметра	Расход ГЭЦ, % к а.с. смоле			
	0	1,5	3,0	6,0
Липкость смолы, н/м ²	405	810	1261	1620
Краевой угол смачивания, град	75	64	58	49
Вязкость по ВЗ-4, с	51	66	78	93
Время желатинизации, с	78	79	80	82
<i>Примечание.</i> Краевой угол смачивания определялся на древесине осины. В качестве отвердителя использовали (NH ₄) ₂ SO ₄ в количестве 1% к а.с. смоле.				

Увеличение липкости и вязкости смолы, содержащей ГЭЦ, сопровождается снижением краевого угла смачивания, т. е. условия для смачивания улучшаются. Соответствующая статистическая обработка подтвердила достоверность полученных результатов исследований – для всех перечисленных показателей относительное среднеквадратичное отклонение результатов измерений не превышало 10%.

Для оценки реальной эффективности повышения клеящей способности в процессе холодной подпрессовки было выполнено прессование пакетов трехслойной фанеры при расходе клея 120 г/м², давлении 1,2 МПа.

Таблица 3 - Влияние ГЭЦ клеящую способность при холодной подпрессовке

Наименование параметра	Расход ГЭЦ, % к а.с. смоле			
	0	1,5	3,0	6,0
Визуальная оценка состояния пакета после холодного прессования	Полное расслоение пакета	Незначительное (10% площади) расслоение пакета	Полностью сомкнутый пакет	Полностью сомкнутый пакет
Увеличение толщины пакета после снятия давления, %	85	28	10	8

Как видно из полученных результатов, для эффективного повышения формоустойчивости прессуемых древесных композиционных материалов достаточен расход ГЭЦ в количестве 1,5-3,0 к а.с. смоле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонович, А.А. Новые древесноплитные материалы. – СПб.: Химиздат, 2008.– 158 с.

В.Н. Босак, д-р с.-х. наук, проф.;
Т. В. Сачивко, канд. с.-х. наук, доц. (БГСХА, г. Горки);
А. В. Домненкова, канд. с.-х. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)

ПОРЯДОК ИНФОРМИРОВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ О РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКЕ В ЛЕСАХ

Порядок информирования населения о радиационной обстановке в лесах осуществляется в соответствии с Правилами ведения лесного хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС и другими ТНПА [1–6].

Информирование населения, работников лесного хозяйства о радиационной обстановке на территории лесного фонда, принимаемых мерах по ее улучшению, а также о правовом режиме территории радиоактивного загрязнения осуществляется юридическими лицами, ведущими лесное хозяйство.

Информирование о радиационной обстановке осуществляется путем размещения информационных стендов в административных зданиях юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, а также их структурных подразделений (лесничеств), установки предупреждающих и запрещающих знаков, через средства массовой информации, в том числе интернет-ресурсы, издания специальной литературы.

Информационные стенды содержат схему территории лесного фонда, окрашенную по зонам радиоактивного загрязнения, со следующими пояснениями:

- не окрашенные лесные кварталы – ведение лесного хозяйства, сбор дикорастущих ягод и грибов проводятся без ограничений;
- окрашенные в синий цвет ($37\text{--}185\text{ кБк/м}^2$ ($1\text{--}5\text{ Ки/км}^2$)) – сбор дикорастущих ягод и грибов разрешается с обязательным радиометрическим контролем;
- окрашенные в желтый цвет ($185\text{--}555\text{ кБк/м}^2$ ($5\text{--}15\text{ Ки/км}^2$)) – сбор дикорастущих ягод и грибов, сенокошение и выпас скота запрещены;
- окрашенные в зеленый ($555\text{--}1480\text{ кБк/м}^2$ ($15\text{--}40\text{ Ки/км}^2$)) и красный цвет (1480 кБк/м^2 (40 Ки/км^2) и более)) – посещение лесов запрещено.

Стенды содержат также дополнительную информацию: РДУ; формы документов, подтверждающих радиационную безопасность реализуемой лесной продукции; адреса и телефоны подразделений радиационного контроля, где можно проверить лесную продукцию на содержание радионуклидов и др.

Предупреждающие и запрещающие знаки, устанавливаются:
– в I и II зонах – на дорогах, перед въездом в зону, на съездах с дорог;

– в III и IV зонах – на дорогах, съездах с дорог и по границам лесных массивов, расположенных возле населенных пунктов.

Знаки устанавливаются в соответствии со схемой установки предупреждающих и запрещающих знаков на территории лесного фонда на столбах высотой 2,2 м. Знаки передаются в лесничества и включаются в паспорта обходов лесников, которые обеспечивают их установку и сохранность.

В средства массовой информации предоставляют информацию о радиоактивном загрязнении территории лесного фонда, лесной продукции, изменениях в радиационной обстановке, правилах лесопользования. На официальных сайтах лесхозов глобальной компьютерной сети Интернет информация представляется в разделе «Радиационный контроль», текущая информация в разделе новостей. Население информируется перед началом массового сбора дикорастущих ягод и грибов, пожароопасного сезона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Босак, В.Н. Обеспечение радиационной безопасности в лесном хозяйстве Республики Беларусь / В.Н. Босак, Т.В. Сачивко, А.В. Домненкова // Дальневосточная весна – 2018. – Комсомольск-на-Амуре, 2018. – С. 221–224.

2. Босак, В.Н. Радиационная безопасность в лесном хозяйстве / В.Н. Босак, Л.А. Веремейчик. – Минск: РИПО, 2018. – 277 с.

3. Босак, В.Н. Радиационный мониторинг в лесном фонде / В.Н. Босак, Т.В. Сачивко, А.В. Домненкова // Технология органических веществ. – Минск: БГТУ, 2020. – С. 71–72.

4. Домненкова, А.В. Радиационная обстановка на объектах и рабочих местах лесного хозяйства / А.В. Домненкова, Л.Н. Карбанович, В.Н. Босак // Технология органических вещества. – Минск: БГТУ, 2019. – С. 44.

5. Домненкова, А.В. Радиационный контроль продукции заготавливаемой в лесах Республики Беларусь / А.В. Домненкова, Л.Н. Карбанович, В.Н. Босак // Технология органических веществ. – Минск: БГТУ, 2019. – С. 200.

6. Ковалевич, З.С. Безопасность жизнедеятельности человека / З.С. Ковалевич, В.Н. Босак. – Минск: МИТСО, 2015. – 392 с.

Т.В. Сачивко, канд. с.-х. наук, доц.;
В. Н. Босак, д-р с.-х. наук, проф. (БГСХА, г. Горки);
А. В. Домненкова, канд. с.-х. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)

НОРМИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ

С целью снижения дозовой нагрузки облучения на население в Республике Беларусь сразу же после аварии на Чернобыльской АЭС были введены ТНПА по допустимому содержанию радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в различных видах продукции [1–3, 5–7].

Содержание радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде в настоящее время в Беларуси регламентируется Гигиеническим нормативом № 10-117-99 «Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде» (РДУ-99) (постановление главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 26 апреля 1999 г. № 16). На территории Таможенного союза действует технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

В лесном комплексе Республики Беларусь действуют гигиенические нормативы по допустимому содержанию радионуклидов в лесной продукции – ГН 2.6.1.10-1-01-2001 «Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей непищевой продукции лесного хозяйства» (РДУ/ЛХ-2001) (постановление главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 11 января 2001 г. № 4) и ГН 2.6.1.8-10-2004 «Республиканский допустимый уровень содержания цезия-137 в лекарственно-техническом сырье» (РДУ/ЛТС-2004) (постановление главного государственного санитарного врача Республики Беларусь от 24 декабря 2004 г. № 152).

Республиканский допустимый уровень содержания цезия-137 в лекарственно-техническом сырье (РДУ/ЛТС-2004) разработан с целью снижения внутреннего облучения населения Республики Беларусь и установлен исходя из квоты годовой дозы, равной 10 мкЗв.

Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей непищевой продукции лесного хозяйства (РДУ/ЛХ-2001) установлены, исходя из квоты дополнительного облучения населения за счет древесины, продукции из древесины и древесных материалов, прочей непищевой продукции лесного хозяйства равной 0,1 мЗв/год.

В Республике Беларусь дрова с уровнем загрязнения ^{137}Cs до 200

Бк/кг могут быть использованы на энергетических установках более 0,1 МВт, с уровнем загрязнения 200–740 Бк/кг – на энергетических установках до 0,1 МВт и индивидуальными домохозяйствами. Использование дров с уровнем загрязнения более 740 Бк/кг не допускается. Древесина с уровнем загрязнения до 1480 Бк/кг допускается к использованию в качестве древесного технологического сырья. При поставке на экспорт действуют еще более строгие ограничения по содержанию радиоактивного цезия [2, 4].

В пределах Таможенного союза допустимая удельная активность цезия-137 в плитах древесностружечных, плитах с ориентированной стружкой и аналогичных плитах из древесины, плитах древесноволокнистых, фанере клееной, панелях фанерированных и аналогичных материалах их слоистой древесины, древесине пресованной, а также мебели на основе древесины составляет 300 Бк/кг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Босак, В.Н. Безопасность жизнедеятельности человека / В.Н. Босак, З.С. Ковалевич. – Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 335 с.
2. Босак, В.Н. Радиационная безопасность в лесном хозяйстве / В.Н. Босак, Л.А. Веремейчик. – Минск: РИПО, 2018. – 277 с.
3. Домненкова, А.В. Радиационный контроль продукции заготавливаемой в лесах Республики Беларусь / А.В. Домненкова, Л.Н. Карбанович, В.Н. Босак // Технология органических веществ. – Минск: БГТУ, 2019. – С. 200.
4. Заготовка и использование дровяной древесины в зонах радиоактивного загрязнения / В.Н. Босак, А.В. Домненкова, Е.В. Сермакшева, Л.Н. Карбанович // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2017. – № 2. – С. 310–315.
5. Сачивко, Т.В. Мероприятия по обеспечению радиационной безопасности в сельском хозяйстве / Т.В. Сачивко, В.Н. Босак // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2021. – Вып. 6. – С. 34–37.
6. Сачивко, Т.В. Правовое обеспечение радиационной безопасности в АПК Республики Беларусь / Т.В. Сачивко, В.Н. Босак // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2020. – Вып. 5. – С. 166–169.
7. Сачивко, Т.В. Применение радиопротекторов для защиты от облучения / Т.В. Сачивко, В.Н. Босак, А.В. Домненкова // Технология органических веществ. – Минск: БГТУ, 2020. – С. 73–74.

УДК 620.92 (476)

А. В. Домненкова, доц., канд. с-х. наук (БГТУ, г. Минск);
В. Н. Босак, проф., д-р с-х. наук;
Т. В. Сачивко, доц., канд. с-х. наук (БГСХА, г. Горки)

ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В БЕЛАРУСИ

Современная экономическая ситуация в Беларуси требует реформирование деятельности всех отраслей народного хозяйства республики, в т. ч. и топливно-энергетического комплекса. Одной из основных задач является изменение структуры потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), с максимально эффективным их использованием. В мировой практике большое внимание уделяется возобновляемым источникам энергии (ВИЭ), вовлечение их в структуру действующего хозяйства позволит решить некоторые задачи.

Закон Республики Беларусь от 27 декабря 2010 г. № 204-З «О возобновляемых источниках энергии» определил развитие возобновляемой энергетики в Беларуси. Согласно постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 23 декабря 2015 г. № 1084 «Об утверждении Концепции энергетической безопасности Республики Беларусь» и проекта «Национальная стратегия устойчивого развития Беларуси до 2035 года», к 2035 году следует увеличить долю ВИЭ до 9%.

Доля ВИЭ в потреблении достигла в 2020 г. 6%.

Согласно национального кадастра источников ВИЭ в Республике Беларусь действует: 55 гидроэлектростанций (ГЭС и мини-ГЭС), суммарной электрической мощностью 152 МВт.; 100 солнечных электростанций (СЭС) – примерно 6 км², суммарная электрической мощность СЭС составляет около 287 МВт; 107 ветроэнергетических установок (ВЭУ), суммарной электрической мощностью 218 МВт; 38 биогазовых установок, суммарной электрической мощностью 186 МВт.; др. виды – суммарная электрическая мощность 112 МВт.

Для более эффективного освоения ВИЭ в Республике Беларусь на данном этапе целесообразно следующее: 1) необходимо отнести освоения возобновляемых источников энергии к ряду приоритетных задач с подкреплением законодательными актами, нормативно-правовой базой и соответствующими мерами; 2) разработать отдельные программы освоения конкретных видов возобновляемых источников энергии с оказанием адресной государственной поддержки, привлечением инвестиций; 3) введение государственной и независимой экспертизы проектов и программ в области освоения энергии на возобновляемых источниках.

Г. А. Чернушевич, ст. преп.;
А. В. Домненкова, доц., канд. с-х. наук;
С. В. Киселев, ст. преп., канд. техн. наук;
Н. О. Азовская, ст. преп., канд. с-х. наук (БГТУ, г. Минск);
В. Н. Босак, проф., д-р с-х. наук;
Т. В. Сачивко, доц., канд. с-х. наук (БГСХА, г. Горки)

РАДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПИЩЕВОЙ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Ежегодные потери сельскохозяйственной и пищевой продукции достигают 30%. Основные причины потерь связаны с поражением культур насекомыми-вредителями и болезнями, преждевременным прорастанием клубне- и корнеплодов, бактериальной порчей продуктов. На сегодняшний день для решения данных проблем используют химическую обработку продукции, основным недостатком которой являются негативные побочные последствия (загрязнение вредными веществами, отрицательное влияние на здоровье людей, сложность хранения токсических препаратов и т. д.) [1].

Актуальным в наши дни является внедрение экологически безопасных технологий, среди которых наиболее перспективными являются технологии с применением ионизирующего и неионизирующего излучений. Технологии облучения требуют меньших затрат энергии, заменяют или резко снижают использование химических препаратов, исключают загрязнение окружающей среды, а также поступление токсикантов в продукцию [1, 2].

Радиационные технологии в настоящее время находятся на пороге принципиально нового этапа развития и применения. Во всем мире отмечается увеличение спроса на их использование, включая сельское хозяйство, пищевую перерабатывающую промышленность. В настоящее время данные технологии используются более, чем в 60 стран мира. Ежегодно в мире обрабатывается около 1,3 млн. тонн сельскохозяйственной и пищевой продукции. Мировой рынок услуг по обработке сельскохозяйственной, пищевой продукции облучением в 2020 г. составил около 4,5 млрд. долл. США. Согласно экспертным прогнозам к 2030 г. он вырастет до 10,9 млрд. долл. США [1, 3, 4].

Объединенным комитетом экспертов ФАО/МАГАТЭ/ВОЗ, обработка пищи ионизирующим излучением была признана безопасным методом обеззараживания пищевых продуктов. Использование доз до 10 кГр считается безопасным, то есть таким, что не меняет пищевые

свойства продукта (содержание витаминов, минеральных солей, белков, углеводов и липидов), позволяя при этом инактивировать неспоровые микроорганизмы (плесень, дрожжи и бактерии), предотвращая, таким образом, порчу продукции и отравления [1, 5].

Таблица - Примеры доз облучения в зависимости от назначения

Назначение облучения	Доза, кГр	Продукты
Борьба с вредителями и паразитами	0,15-0,5	Зерновые и бобовые культуры, свежие фрукты и сухофрукты, сушеные рыба и мясо, свежая свинина и др.
Инактивация патогенных микроорганизмов и организмов, вызывающих порчу продукции	1-7	Пищевая продукция, которая характеризуется высоким уровнем влажности (свежие или замороженные: морепродукты, птица, мясо и т.д.)
Обеззараживание	5-10	Специи, зелень

Одним из основных требований безопасного использования ионизирующего облучения при обработке пищевых продуктов является их обязательная маркировка в соответствии с установленными международными правилами [6].



РАДУРА (RADURA, англ.) – международный символ, указывающий на то, что пищевой продукт был облучен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: состояние и перспективы / Сборник докладов Международной научно-практической конференции (Обнинск, 26-28 сентября 2018 г.). – Обнинск, 2018. – 358 с.
2. Безопасность и пищевая ценность облученной пищи. ВОЗ. – Женева, 1995. – 209 с.
3. Концепция стратегической программы исследований технологической платформы «Радиационные технологии». Москва-Сколково, 2012.
4. Food Manufacturing Market Trends: Global Food Irradiation Market Outlook (2014-2022). 2015. – P. 79.
5. WHO (1981) Wholesomeness of irradiated food: report of a joint FAO / IAEA / WHO Expert Committee. Geneva, World Health Organization (WHO Technical Report Series, №659).
6. General standard for the labeling of prepackaged foods // Codex Stan. 1-1985. – 7 p.

А. В. Лешкевич, ассист.;
Ж. С. Шашок, доц., канд. техн. наук;
Е. П. Усс, доц., канд. техн. наук;
О. А. Кротова, ст. преп., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИФИКАТОРОВ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕЗИН

В настоящее время все большее внимание уделяется к установлению возможности использования экологически безопасных пластифицирующих компонентов на основе вторичного нефтехимического сырья в составе резиновых смесей. Применение таких пластификаторов позволяет уменьшить нагрузку на окружающую природную среду за счет использования в технологическом цикле продуктов, полученных при переработке отходов, а также модифицировать свойства резиновых смесей в процессе переработке при сохранении и/или повышении требуемого уровня физико-механических показателей резин [1–2]. Актуальность проблемы регенерации отработанных масел не вызывает сомнений, поскольку их уничтожение, в основном путем сжигания, порождает подчас еще большие экологические проблемы, чем сами отработанные масла.

Цель работы – исследование влияния продукта переработки отработанного масла ДВЧ-2, как в и индивидуальном виде, так содержащего 0,5 и 1,0 мас. % модифицирующей присадки (МП) в сравнении с промышленными пластификаторами ПН-6 и И-20 на эксплуатационные свойства промышленных эластомерных композиций на основе каучука специального назначения СКЭПТ-50. Исследуемые добавки вводились в эластомерные композиции в дозировках 2,5; 5,0; 7,5 и 10,0 масс. ч.

Сравнительный анализ полученных данных показал, что для промышленных эластомерных композиций на основе на основе СКЭПТ-50 с исследуемыми компонентами ДВЧ-2 выявлен аналогичный характер влияния на изменения упруго-прочностных свойств резин, что и для композиций с маслами ПН-6 и И-20. В то же время резины с ДВЧ-2, содержащие модифицирующую присадку в количестве 0,5 и 1,0 мас. % характеризуются более высокими упруго-прочностными показателями, по сравнению с композициями с ДВЧ-2.

Установлено, что резины, содержащие в своем составе исследуемый пластифицирующий компонент ДВЧ-2 в индивидуальном виде, ха-

рактируются большей стойкостью к тепловому старению. В то же время выявлено ухудшение эластических свойств всех резин в процессе теплового старения, что обусловлено строением этиленпропиленового каучука, а также составом резины на его основе. При введении модифицирующей присадки в объем масла ДВЧ-2 выявлено увеличение стойкости резин к воздействию повышенных температур и кислорода воздуха по сравнению с композицией, содержащей ДВЧ-2 в индивидуальном виде, о чем свидетельствует показатель изменения условной прочности при растяжении вулканизатов. Так, значение изменения условной прочности при растяжении после 168 ч теплового старения для резин с ДВЧ-2, содержащих МП, находятся в пределах от 11,1% до 17,5%, а для композиций с ДВЧ-2 в индивидуальном виде – от 9,2% до 15,2%.

Изменение свойств вулканизатов на основе СКЭПТ-50 в процессе теплового старения, вероятно, обусловлено различиями в структуре резин, а именно плотностью поперечных связей в резине и их природой.

Определено, что введение модифицирующей присадки в объем экологически безопасной пластифицирующей добавки ДВЧ-2 не оказывает существенного влияния на плотность поперечного сшивания вулканизатов. В данном случае, значения данного показателя для резин с ДВЧ-2; ДВЧ-2 с 0,5 мас. % МП и ДВЧ-2 с 1,0 мас. % МП, введенных в минимальной дозировке, равны $5,9 \cdot 10^{-4}$ моль/см³, $6,1 \cdot 10^{-4}$ моль/см³ и $6,0 \cdot 10^{-4}$ моль/см³ соответственно. После 168 ч теплового старения выявлено увеличение на 5,2–22,2% плотности поперечного сшивания для всех резин.

Таким образом, результаты исследований промышленных вулканизатов на основе каучука СКЭПТ-50 показали, что резины с экологически безопасными пластифицирующими добавками типа ДВЧ-2 (ДВЧ-2; ДВЧ-2 с 0,5 мас. % МП и ДВЧ-2 с 1,0 мас. % МП) характеризуются повышенной стойкостью к тепловому старению, по сравнению с композициями, содержащими промышленные пластификаторы ПН-6 и И-20. Такой характер свойств обусловлен особенностями структуры вулканизационной сетки резин с данными добавками, а также наличием неопределенных компонентов в составе добавки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фроликова В.Г., Донская М.М., Яловая Л.И., Пичугин А.М., Вишняков И.И. Источники канцерогенных и токсичных веществ при производстве и эксплуатации шин // Мир шин, 2008. № 9. С. 40–44.
2. Радбиль А.М., Щепалов А.А., Долинский Т.И., Куимов А.Ф., Ходов Н.В. Новая концепция канцерогенной безопасности для современных шин // Каучук и резина, 2013. № 2. С. 42–47.

О. А. Кротова, ст. преп., канд. техн. наук;
Ж. С. Шашок, доц., канд. техн. наук;
Е. П. Усс, доц., канд. техн. наук;
Н. Г. Белоблоцкая, студ. (БГТУ, г. Минск);
А. Ю. Люштык, нач. ЦЗЛ – гл. химик
(ОАО «Белшина», г. Бобруйск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ШИННЫХ РЕЗИН С КРЕМНЕКИСЛОТНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Шинные резины, наполненные техническим углеродом, обладают высокими упруго-прочностными свойствами и износостойкостью. Однако они характеризуются большими гистерезисными потерями, вызванными перестройкой адсорбционных связей технического углерода с молекулами каучука при наложении деформационных сил на резины. С другой стороны резины, наполненные коллоидной кремниевой кислотой, обладают, по сравнению с вулканизатами с техническим углеродом, меньшей прочностью, износостойкостью, но лучшим сопротивлением раздиру и старению, эластичностью и относительным удлинением. Для уменьшения гистерезисных потерь в наполненные техническим углеродом эластомерные композиции рекомендуется вводить кремнекислотные соединения, которые обеспечивают образование прочных межфазовых связей и усиление матрицы каучука. В настоящее время проводится ряд исследований, направленных на поиск оптимальных соотношений между техническим углеродом и диоксидом кремния, вводимых в резиновую смесь протектора легковых шин. При найденных оптимальных соотношениях комплекс наиболее важных свойств протекторной резиновой смеси и резины на её основе должен быть в целом лучше, чем при отдельном использовании техуглерода и кремнекислотного наполнителя (ККН) [1].

Целью работы являлось установление соотношения технического углерода и кремнекислотного наполнителя, позволяющего получить протекторные резины с улучшенными динамическими свойствами. Исследования проводились с использованием композиции на основе комбинации каучуков НК+БСК+СКД. В качестве наполнителей использовали технический углерод марки N339 и ККН марки Exstrasil 150 ВД, вводимые в резиновые смеси в соотношении 1:1 и 3:1 соответственно. Испытание проводились на динамическом механическом анализаторе путем циклического сжатия вулканизатов при статической нагрузке 0,56 МПа, динамической нагрузке 0,50 МПа, скорости нагрева 2 К/мин и частоте 11 Гц. Температурный интервал, в котором происходило измерение показателей, от 20 до 70°C.

Комплексный модуль E^* представляет собой результирующее нормальное напряжение, отнесенное к нормальной деформации. Иными словами, комплексный модуль определяет общую сопротивляемость материала деформации.

Зависимость комплексного модуля E^* вулканизатов от температуры представлена на рис. 1.

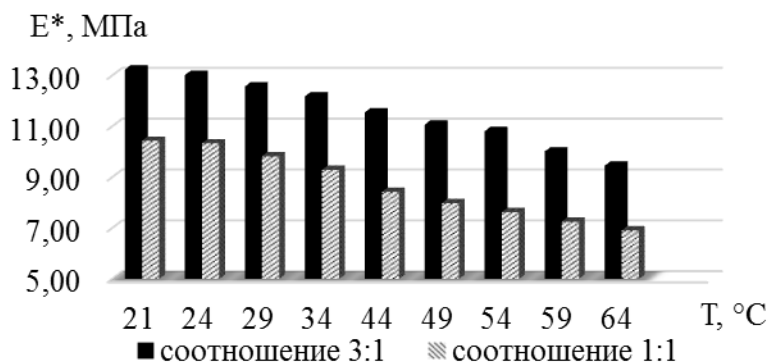
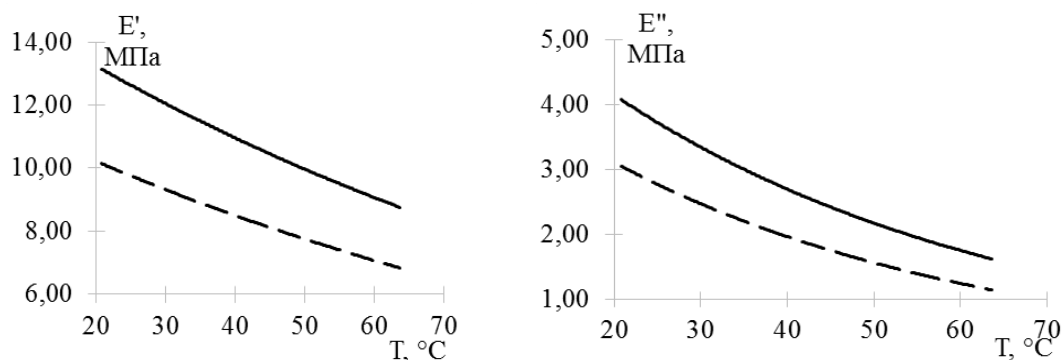


Рисунок 1 – Зависимость комплексного модуля резин от температуры

Выявлено, что с повышением температуры происходит снижение комплексного модуля упругости резин вне зависимости от соотношения применяемых наполнителей (в 1,51 раз и в 1,49 раз при соотношении 1:1 и 3:1 соответственно). При этом установлено, что резины, содержащие комбинацию технического углерода с ККН в соотношении 1:1 характеризуются на 21–26% меньшими значениями данного показателя в сравнении с вулканизатами, содержащими наполнители в соотношении 3:1. Следовательно, вулканизаты с одинаковым содержанием применяемых наполнителей обладают меньшей сопротивляемостью материала деформации, по сравнению с вулканизатами, где наполнители находятся в различном соотношении, что позволит улучшить сцепление шины с дорогой.

Составляющими комплексного модуля являются модуль упругости (накопления) и модулем потерь. Модуль упругости E' характеризует часть механической работы, которая накапливается в виде упругой деформации и обратимо возвращается при разгрузке. То есть нормальный модуль эластичности E' определяет упругость материала и способность сохранять энергию. Модуль потерь E'' определяет часть механической работы, которая необратимо рассеивается в каждом цикле в виде тепла. Чем больше значение E'' , тем больше материал нагревается в процессе эксплуатации, что приводит к большим потерям тепла в окружающую среду, и, как следствие, увеличению расхода топлива.

Зависимости модуля упругости E' и модуля потерь E'' образцов от температуры представлена на рисунок 2.



соотношение технический углерод ККН = 1:1
 соотношение технический углерод ККН = 3:1

Рисунок 2 – Зависимости модуля упругости E' и модуля потерь E'' от температуры

Результаты исследования составляющих комплексного модуля упругости вулканизатов показали, что образцы, содержащие техуглерод и ККН в соотношении 1:1, имеют на 20–24% меньшее значение модуля упругости и на 22–28% меньшее значение модуля потерь по сравнению с резинами, содержащими данные наполнители в соотношении 3:1. Т. е. вулканизаты с равным количеством наполнителей будут обладать лучшим сцеплением с дорожным покрытием и меньшими потерями тепла в окружающую среду.

Более низкие значения комплексного модуля, модуля упругости и модуля потерь резин, наполненных техуглеродом и ККН марки Exstrasil 150 ВД в соотношении 1:1 могут быть обусловлены морфологическими отличиями данных наполнителей. Т. к. толщина граничного слоя композита напрямую связана с активностью наполнителя, применение в резиновой смеси комбинации технического углерода и ККН в соотношении 1:1 обеспечивает переход в межфазный слой меньшего количества полимера ввиду небольшого содержания техуглерода, что ведет к уменьшению толщины граничного слоя, и, как следствие, снижению адгезионного взаимодействия между каучуком и частицами наполнителя.

Таким образом, наиболее целесообразно вводить в рецептуру протекторных резиновых смесей легковых шин технического углерода совместно с минеральным наполнителем Exstrasil 150 в соотношении 1:1, что позволит получить вулканизаты, характеризующиеся повышенной эластичностью и сцеплением с дорожным покрытием, а также меньшими потерями тепла в окружающую среду и расходом топлива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуслицер, Р.Л. Шина и автомобиль / Р.Л. Гуслицер. Москва: Научно-технический центр «НИИШП», 2007. 283 с.

О. А. Кротова, ст. преп., канд. техн. наук;
 А. В. Касперович, доц., канд. техн. наук;
 Ж. С. Шашок, доц., канд. техн. наук;
 Е. П. Усс, доц., канд. техн. наук
 (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ НА СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ФОРМОВЫХ РТИ

Резинотехнические изделия (РТИ) применяются в различных отраслях промышленности. При этом они должны обладать повышенной работоспособностью в агрессивных средах в широком интервале температур, давления, стойкостью к фрикционному износу, окружающей среде, атмосферостойкостью [1].

Для улучшения свойств изделий из резины широко используется модификация эластомерных композиций химически активными веществами, позволяющими получать РТИ с комплексом улучшенных физико-химических и эксплуатационных свойств.

Целью работы являлось исследование влияния полученного в БГТУ кремнекислотного наполнителя (ККН) на физико-механические свойства резин на основе бутадиен-нитрильного каучука. Образцом сравнения выступали вулканизаты с промышленно выпускаемым диоксидом кремния марки Perkasil KS-408, а также композиции без минерального наполнителя. Исследуемые ингредиенты вводились в предназначенные для изготовления формовых РТИ резиновые смеси в дозировках 5,0, 10,0 и 20,0 мас. ч на 100 мас. ч. каучука.

Характеристика применяемых в эластомерных композициях кремнекислотных наполнителей представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика кремнекислотных наполнителей

Наименование показателя	Значение показателя	
	Perkasil KS-408	Синтезированный
Внешний вид	белые гранулы	белый порошок
Удельная поверхность	151	145
Сорбционный объем, см ³ /г	0,378	0,688
Содержание SiO ₂ , %	98,0	96,1
Содержание Fe ₂ O ₃ , %	0,031	–
pH водной суспензии	6,3	6,5
Влагосодержание при 105°С, %	4,4	4,3

Результаты исследования упруго-прочностных свойств резин не выявили существенного влияния природы и дозировки вводимых мине-

ральных наполнителей на величину условной прочности при растяжении вулканизатов. В то же время введение в эластомерные композиции на основе полярного каучука БНКС диоксида кремния приводит к повышению твердости резин. Причем с увеличением дозировки наполнителей в смеси наблюдается и повышение твердости образцов: в случае с синтезированным ККН от 71,5 до 79,1 усл. ед. Шор А, а при использовании Perkasil KS-408 от 71,3 до 74,0 усл. ед. Шор А.

Причиной изменения свойств резин под действием температуры является деструкция макромолекул полимера и вулканизационных связей в результате их окисления и образования радикалов. Этот процесс может быть охарактеризован по степени изменения упругопрочностных свойств вулканизатов. Установлено, что введение в резиновые смеси ККН приводит к повышению стойкости резин к воздействию повышенных температур. Так, изменение условной прочности при растяжении вулканизатов без диоксида кремния составляет 1,0%, а у резин с исследуемыми ККН в зависимости от дозировки и природы наполнителя – 2,0–9,0%. В таблице 2 приведены результаты исследования эксплуатационных характеристик резин.

Таблица 2 – Эксплуатационные характеристики резин

Дозировка минерального наполнителя, мас. ч. на 100 мас. ч. каучука	Относительная остаточная деформация сжатия, %	Истираемость, м ³ /ТДж	Теплообразование резины, °С
0	58,2	195,26	90,3
5,0 Perkasil KS-408	48,3	156,83	108,8
10,0 Perkasil KS-408	47,5	154,54	109,8
20,0 Perkasil KS-408	46,0	147,01	112,4
5,0 ККН	49,1	192,81	100,1
10,0 ККН	47,9	179,10	110,7
20,0 ККН	46,3	165,16	122,7

Анализ результатов испытаний показал, что введение ККН в эластомерные композиции на основе БНКС способствует снижению показателя относительной остаточной деформации сжатия (ООДС). Так значение данного показателя резин с ККН в зависимости от их дозировки и природы изменяется от 46,0 до 49,1%, а у образца без минерального наполнителя составляет 58,2 %. При этом увеличение содержания кремнекислотных наполнителей в эластомерных композициях способствует некоторому понижению ООДС: на 2,8 % в случае применения синтезированного ККН, и на 2,3 % при использовании Perkasil KS-408. Уменьшении ООДС в случае использования ККН в резинах на основе БНКС может быть обусловлено совместимостью

полярного каучука с полярным наполнителем и хорошей его диспергируемостью в объеме эластомерной матрицы.

Установлено, что введение в резиновые смеси как синтезированного ККН, так и Perkasil KS-408 во всех дозировках приводит к снижению истираемости резин. Так, значение данного показателя образца без диоксида кремния составляет 195,26 м³/ТДж, а у резин с исследуемыми добавками изменяется от 147,01 до 192,81 м³/ТДж. Уменьшение истираемости вулканизатов, вероятно, связано со взаимодействием частиц минерального наполнителя с компонентами эластомерной композиции. При этом возможно образование поверхностного слоя, обладающего повышенной стойкостью к абразивному износу [2].

Результаты исследования теплообразования в резинах показали, что введение кремнекислотных наполнителей во всех случаях приводит к увеличению данного показателя. При этом наибольшее влияние на теплообразование оказывает введение в эластомерные композиции синтезированного ККН. Так, в зависимости от дозировки изменение температуры образцов при использовании полученного ККН находится в пределах от 100,1 до 122,7°С, а в резинах с Perkasil KS-408 – от 108,8 до 112,4°С (у образца без минерального наполнителя 90,3°С).

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что применение в эластомерных композициях диоксида кремния способствует повышению стойкости резин к воздействию повышенных температур, уменьшению истираемости и накоплению остаточной деформации сжатия. Однако введение ККН нежелательно в эластомерные композиции, предназначенные для изготовления резинотехнических изделий, работающих в условиях многократных деформаций, ввиду увеличения способности вулканизатов к накоплению тепла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касперович А.В., Ташлыков И.С., Шашок Ж.С., Шкодич В.Ф., Стоянов О.В. Методы химической модификации поверхности резинотехнических изделий // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 14. С. 225–230.

2. Шашок Ж.С., Усс Е.П., Касперович А.В., Абзальдинов Х.С. Влияние шунгитовых наполнителей различных марок на технические свойства протекторных резин // Вестник технологического университета. 2016. № 1. С. 84–87.

А.А. Габрусь, инж.-техн.;
С.Н. Каюшников, нач. инж.-техн. центра, канд. техн. наук
(ОАО «Белшина», г. Бобруйск);
Ж.С. Шашок, доц., канд. техн. наук;
Е.П. Усс, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ВУЛКАНИЗАЦИИ НА СВОЙСТВА ПРОТЕКТОРНЫХ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Основными факторами, влияющими на формирование пространственной вулканизационной структуры, являются условия проведения вулканизации (тепло- и энергоносители с различными физическими параметрами), давление, температура, продолжительность процесса и состав полимерной композиции. С точки зрения тепловых условий вулканизация протекает при переменных температурах и характеристиках теплообмена [1]. Выбор температурно-временных параметров вулканизации в значительной степени определяет качество вулканизуемых изделий, для установления которых необходимо изучение специфических свойств изделий и характеристик технологического процесса вулканизации.

Целью данной работы являлось исследование влияния температурно-временных параметров на износостойкость протекторных резин с целью установления наиболее приемлемого режима вулканизации.

Объектами исследования являлись протекторные эластомерные композиции на основе натурального каучука с полуэффективной и эффективной вулканизирующими системами.

Истирание заключается в механическом отрыве малых (возможно, микроскопических) частиц с поверхности резины в результате ее фрикционного взаимодействия с другой поверхностью. Поскольку истирание связано с локальными перенапряжениями в поверхностном слое резины (вследствие фрикционного взаимодействия с другой поверхностью) и сопровождается выделением тепла, то, очевидно, фрикционные характеристики вулканизата в значительной степени определяют процесс истирания. В общем силы трения для резины зависят от температуры, скорости, нагрузки, и, конечно, от молекулярной структуры эластомера и состава резиновой смеси [2].

Обеспечение максимальной износостойкости достигается при определенной степени вулканизации. Характер вулканизационных связей также должен влиять на износостойкость, поскольку он влия-

ет на прочность, усталостную выносливость и стойкость к термоокислительному старению.

Определение сопротивления резин истиранию при скольжении производили согласно ГОСТ 12251-77.

В таблицах 1 и 2 представлены результаты исследования истираемости протекторных резин с использованием полуэффективной и эффективной вулканизирующих систем при нормальных условиях испытания и после теплового старения при температуре $(100 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 72 ч.

Таблица 1 - Результаты испытаний по определению истираемости протекторных резин с использованием полуэффективной вулканизирующей системы

Истираемость, $\text{м}^3/\text{ГДж}$	Температура вулканизации, $^\circ\text{C}$ / Время вулканизации, мин						
	143	150			160		
	30	10	30	60	10	30	90
при н.у.	79	57	58	51	64	65	59
после старения	162	108	106	103	121	123	80

Таблица 2 - Результаты испытаний по определению истираемости протекторных резин с использованием эффективной вулканизирующей системы

Истираемость, $\text{м}^3/\text{ГДж}$	Температура вулканизации, $^\circ\text{C}$ / Время вулканизации, мин					
	150			160		
	10	30	60	10	30	90
при н.у.	81	78	72	83	74	65
после старения	110	102	88	120	109	95

Анализ результатов по определению сопротивления истиранию протекторных резин, полученных с различными температурно-временными параметрами вулканизации показал, что наилучшими значениями истираемости при нормальных условиях обладают резины, полученные с использованием полуэффективной вулканизирующей системы сочетающие ди- и полисульфидные связи, по сравнению с резинами, полученными с использованием эффективной вулканизирующей системы, содержащими преимущественно поперечные связи меньшей сульфидности. Так, истираемость при нормальных условиях для резин, полученных с использованием полуэффективной вулканизирующей системы, находится в пределах 51–79 $\text{м}^3/\text{ГДж}$, а для резин, полученных с использованием эффективной вулканизирующей системы 65–83 $\text{м}^3/\text{ГДж}$. Истирание резин связано с локальными перенапряжениями в поверхностном слое резины и сопровождается выделением тепла [3], поэтому можно предположить, что резины, полученные с использованием полуэффективной вулканизирующей системы, обладают пространственной сеткой, способствующей перераспределению перенапряжений при воздействии контртела на поверхностный слой, что и приводит к умень-

шению истираемости вулканизата.

Определение сопротивления истиранию резин после теплового старения показало, что при использовании эффективной вулканизирующей системы резины характеризуются несколько меньшим значением показателя истираемости, значение данного показателя находится в пределах 88–120 м³/ТДж по сравнению с полуэффективной вулканизирующей системой (80–162 м³/ТДж). Вероятно, такое изменение показателя истираемости для резин, полученных с использованием полуэффективной вулканизирующей системы, связано с распадом полисульфидных связей и протеканием процессов вторичного структурирования.

Таким образом, максимальная температура вулканизации протекторных резиновых смесей определяется, прежде всего, термической устойчивостью полимера, составом эластомерной композиции, а также кинетикой вулканизации и выбором оптимального режима по наиболее благоприятной кинетической кривой. С повышением температуры и продолжительности вулканизации преобладающими становятся процессы деструкции, что отражается в снижении прочностных характеристик резин. Кроме того, при более высоких температурах активизируются побочные процессы циклизации, окисления, модификации полимерных цепей и др., что сказывается на уменьшении плотности сшивания и ухудшении свойств резин. При этом высокую теплостойкость резин, полученных при использовании эффективной вулканизирующей системы можно объяснить формированием более термостойких связей низкой сульфидности. Вулканизаты с эффективными вулканизирующими системами характеризуются несколько меньшей прочностью при растяжении, однако они оказываются значительно более стабильными при старении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов В.В. Разработка методики оптимизации тепловых режимов вулканизации гуммировочных покрытий / В.В. Павлов, Ю.Р. Осипов, С.Ю. Осипов // Вестник Череповецкого государственного университета. 2008. №3.
2. Пичугин А.М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин: науч. изд. М.: ОАО «ВПК НПО «Машиностроение», 2008. 383 с.
3. Жовнер Н.А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров / Н.А. Жовнер, Н.В. Чиркова, Г.А. Хлебов. Омск. 2003. 276 с.

Ж. С. Шашок, доц., канд. техн. наук;
 В. С. Безбородов, проф., д-р хим. наук;
 Н. Р. Прокопчук, член-корр. НАН Беларуси, проф., д-р хим. наук;
 Е. П. Усс, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ МИКРОЦЕЛЛЮЛОЗЫ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Наиболее распространенным возобновляемым природным компонентом для полимерных композитов является целлюлоза. Целлюлоза обладает рядом ценных свойств [1], что обуславливает ее использование для модификации свойств полимерных материалов.

Целью данной работы являлось исследование влияния микрокристаллических целлюлоз с различными характеристиками на технологические свойства эластомерных композиций. Объектами исследования являлись композиции на основе комбинации каучуков общего назначения НК + СКД и каучука специального назначения БНКС-18А. Микроцеллюлозы МЦ-1 и МЦ-2 вводили в исследуемые резиновые смеси в дозировках 0,1 и 0,2 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. В качестве образца сравнения использовалась резиновая смесь без добавок.

В процессах переработки полимеров при совместном воздействии температуры и сдвиговых деформаций с большой скоростью могут протекать процессы деструкции, сопровождающиеся необратимыми изменениями вязкости, молекулярно-массового распределения, физико-механических и других свойств полимеров. Вязкость испытуемого материала по Муни, в единицах Муни, характеризуют значением крутящего момента на оси ротора по истечении 4 минут от начала его вращения [2]. Определение вязкости по Муни резиновых смесей осуществляли на сдвиговом вискозиметре MV 2000. Результаты исследований вязкости резиновых смесей приведены в таблице.

Таблица – Вязкость по Муни исследуемых резиновых смесей

Наименование добавки	Дозировка добавки (мас. ч.)	Эластомерная основа / Вязкость резиновой смеси, усл. ед. Муни	
		НК+СКД	БНКС-18А
Без добавки	–	44,4	61,6
МЦ-1	0,1	38,5	55,2
	0,2	40,4	57,4
МЦ-2	0,1	42,4	51,0
	0,2	40,7	55,2

Из представленных в таблицы данных видно, что введение всех добавок микроцеллюлозы в резиновые смеси на основе комбинации каучуков НК и СКД приводит к уменьшению их вязкости по Муни на 4,5–13,3%. При этом резиновая смесь на основе комбинации каучуков НК+СКД без добавок имеет показатель вязкости по Муни, равный 44,4 усл. ед. Муни, а для смесей с микроцеллюлозными добавками МЦ-1 и МЦ-2 данный показатель находится в пределах 38,5–42,4 усл. ед. Муни. Наибольшее снижение вязкости по Муни наблюдается при введении добавки МЦ-1 в дозировке 0,1 мас. ч. и составляет 38,5 усл. ед. Муни. Наименьшее снижение вязкости по Муни выявлено в случае применения добавки МЦ-2 в дозировке 0,1 мас. ч. – 42,4 усл. ед. Муни.

Анализ полученных данных показал, что для эластомерной композиции на основе каучука специального назначения БНКС-18А введение исследуемых материалов приводит к уменьшению вязкости по Муни резиновых смесей на 6,8–17,2%. Смесь на основе каучука БНКС-18А без добавки имеет показатель вязкости по Муни 61,6 усл. ед. Муни, а для композиций с микроцеллюлозами находится в пределах 51,0–57,4 усл. ед. Муни. Наибольшее снижение вязкости установлено для смеси с МЦ-2 в дозировке 0,1 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука, вязкость по Муни указанной резиновой смеси составляет 51,0 усл. ед. Муни. Наименьший показатель вязкости по Муни по сравнению со смесью, не содержащей микроцеллюлозы, имеет смесь, содержащая МЦ-1 в дозировке 0,2 мас. ч. Введение МЦ-1 в дозировке 0,1 мас. ч. и МЦ-2 в дозировке 0,2 мас. ч. обуславливает практически равноценное уменьшение показателя вязкости по Муни до 55,2 усл. ед. Муни.

Таким образом, на основании проведенных исследований определено, что использование микроцеллюлозных добавок приводит к снижению вязкости по Муни резиновых смесей на 4,5–17,2%, что может быть обусловлено снижением межмолекулярного взаимодействия в объеме эластомерной матрицы и облегчением ориентации макромолекул в направлении деформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Способы модификации целлюлозы при разработке полимерных композиционных материалов (обзор) / А. Ю. Анпилова [и др.] // Химическая физика полимерных материалов, 2020. № 1. С. 66–74.
2. Аверко-Антонович И. Ю. Методы исследования структуры и свойств полимеров / И. Ю. Аверко-Антонович, Р. Т. Бикмуллин. Казань: КГТУ, 2002. 604 с.

Е.П. Усс, доц., канд. техн. наук;
Ж.С. Шашок, доц., канд. техн. наук;
О.А. Кротова, ст. преп., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)
О.И. Шадыро, зав. лаб., проф., д-р хим. наук;
Г.А. Ксендзова, вед. науч. сотр., канд. хим. наук
(НИИ ФХП БГУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭЛАСТОМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С ПРОИЗВОДНЫМИ ПИРОКАТЕХИНА

В процессе эксплуатации в зависимости от условий работы резиновые изделия подвергаются целому ряду воздействий: тепловому или термическому, механическому, световому, а также воздействию окружающей среды (кислорода и озона воздуха, агрессивных сред и т.д.). Все эти воздействия приводят к деструктивным либо структурирующим процессам, негативно влияющим на свойства каучуков, на основе которых изготовлена резина, и как следствие – на физико-механические свойства и эксплуатационные характеристики резинового изделия. Защита резин от старения, т.е. их стабилизация, сводится к замедлению процессов деструкции или излишнего структурирования макромолекул каучука и вулканизационной сетки резины и продлению таким образом срока службы изделия. Для выполнения этой функции в резиновую смесь вводят противостарители, или стабилизаторы [1, 2].

Целью данной работы являлось исследование влияния природы и дозировки стабилизирующих добавок на основе производных пирокатехина на вулканизационные показатели эластомерных композиций.

Объектами исследования являлись наполненные эластомерные композиции на основе комбинации каучуков общего назначения. В качестве стабилизирующих добавок использовали производные пирокатехина с циклоаминометильными и фенилазометинным фрагментами. Технология получения исследуемых стабилизирующих добавок была разработана в лаборатории химии свободнорадикальных процессов учреждения Белорусского государственного университета «Научно-исследовательский институт физико-химических проблем». Опытные стабилизаторы вводились в резиновые смеси в дозировке 2,0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука. Оценка эффективности стабилизирующего действия исследуемых добавок проводилась в сравнении с наиболее часто применяемым в промышленности фенольным противостарителем 2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфенолом (ионол, ВНТ), который вводился в резиновые смеси в равнозначной дозировке с опытными добавками. Опытные стабилизаторы и ионол вводились совместно с промышленным аминным стабилизатором 6PPD в дози-

ровке 2,0 мас.ч. Определение вулканизационных характеристик резиновых смесей, содержащих опытные и промышленные стабилизаторы, проводили в соответствии с ISO 6502:2016.

Установлено, что введение в рецептуру опытных стабилизирующих добавок не оказывает существенного влияния на значения минимального и максимального крутящих моментов резиновых смесей по сравнению со смесью, содержащей промышленный стабилизатор ионол. Так, для резиновых смесей со стабилизаторами 1 и 2 значения показателей минимального (M_L) и максимального (M_H) крутящих моментов соответственно находятся в пределах 1,84–1,88 дН·м и 9,45–9,99 дН·м, для образца сравнения M_L и M_H равны 1,75 и 9,92 дН·м. Определено, что время увеличения минимального крутящего момента на 2 единицы резиновых смесей с производными пирокатехина сокращается на 20,9–28,6% по сравнению с образцом с ионолом, что может потребовать корректировки дозировок компонентов вулканизирующей системы с целью повышения стойкости смесей к подвулканизации при их переработке. Применение опытных добавок в составе резиновых смесей приводит к снижению времени достижения оптимальной степени вулканизации на 15,3–19,4% и увеличению общей скорости вулканизации до 27,1%, что позволит снизить энергозатраты при формовании и вулканизации эластомерных композиций, повысить производительность вулканизационного оборудования и увеличить выпуск готовой продукции. Разница между максимальным и минимальным крутящими моментами, косвенно характеризующая плотность сшивания резин, для исследуемых образцов (7,61–8,11 дН·м) находится на уровне образца сравнения (8,17 дН·м).

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что применение в составе эластомерных композиций производных пирокатехина оказывает влияние на кинетические параметры процесса вулканизации, при этом установлено сокращение времени достижения оптимума вулканизации на 15,3–19,4% и увеличение общей скорости вулканизации до 27,1% по сравнению с композицией, содержащей промышленные стабилизаторы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Большой справочник резинщика. Каучуки и ингредиенты: в 2 ч. / под ред. С.В. Резниченко, Ю.Л. Морозова. М.: ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ», 2012. Ч. 1. 744 с.
2. Экологические аспекты модификации ингредиентов и технологии производства шин: учеб. / А. А. Мухутдинов [и др.]. Казань: ФЭН, 1999. 400 с.

Ж.С. Шашок, доц., канд. техн. наук;
Е.П. Усс, доц., канд. техн. наук;
А.В. Лешкевич, ассист. (БГТУ, г. Минск);
С.Н. Каюшников нач. ИТЦ, канд. техн. наук
(ОАО «Белшина», г. Бобруйск)
О.В. Карманова, зав. каф., д-р. техн. наук;
С.Г. Тихомиров, проф., д-р. техн. наук (ВГУИТ, г. Воронеж)

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СВОЙСТВ РЕЗИН С БУТИЛОВЫМ РЕГЕНЕРАТОМ

Одной из актуальных проблем современного производства является переработка промышленных отходов и дальнейшее квалифицированное их использование. В зависимости от природы макромолекулярной цепи различные полимеры в условиях радиационного облучения подвергаются процессам структурирования или деструкции. При этом применение излучений высоких энергий для модификации и переработки полимеров охватывает многие отрасли промышленности и имеет важное значение в плане охраны окружающей среды [1].

Для композиционных материалов на основе эластомеров, учитывая потребляемые объемы, это, прежде всего, касается утилизации отработанных шин, а также резиновых изделий, применяемых при их производстве – диафрагменных и варочных камер на основе бутилкаучука (БК). Из-за стойкости резиновых изделий на основе БК к действию кислорода, озона, солнечной радиации и бактериям для их произвольного разрушения требуются долгие годы, что приводит к серьезному загрязнению окружающей среды. При этом стоимость БК выше стоимости обычных диеновых каучуков, частичная или полная замена его в резинах регенератом может дать существенный экономический эффект [2].

Целью работы являлось определение влияния дозировок бутилового регенерата на свойства эластомерных композиции основе комбинации хлорбутилкаучука ХБК) с натуральным каучуком (НК).

В качестве объектов исследования были использованы образцы бутилового регенерата, полученные радиационным методом путем радиационного воздействия с дозами облучения 30 кГр (БР(30)) и 50 кГр (БР(50)), а также дополнительно подвергшиеся специальной термомеханической обработке. Бутиловый регенерат вводился в резиновые смеси в дозировках: 5,0; 10,0; 15,0 и 20,0 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука.

Поведение сшитых эластомеров при деформировании характеризуется преобладанием упругой и высокоэластической деформации над пластической. Для сравнительной оценки упруго-прочностных

показателей при введении в состав резиновых смесей новых ингредиентов определяют такие основные характеристики как условное напряжение при заданном удлинении, условную прочность при растяжении и относительное удлинение при разрыве.

Установлено, что использование бутилового регенерата в композициях на основе ХБК+НК в дозировках 5,0 и 10,0 масс. ч. не оказывает существенного влияния на упруго-прочностные свойства резин по сравнению с резиной без регенерата. Вулканизаты характеризуются практически равноценными показателями условного напряжения при удлинении 300 % и условной прочностью при растяжении, уменьшение показателя относительного удлинения при разрыве составляет не более 4,7 %.

Определяющим фактором, оказывающим влияние на прочностные свойства резин, является структура пространственной сетки вулканизатов, формируемая в процессе вулканизации. В связи с этим проведены исследования по определению показателей структуры резин, содержащих бутиловый регенерат. Установлено, что введение в эластомерные композиции на основе комбинации каучуков ХБК+НК бутилового регенерата приводит к уменьшению плотности поперечного сшивания резин. Так, для резины без регенерата показатель плотности поперечного сшивания составляет $3,49 \times 10^{-4}$ моль/см³, а для резин с 5,0 масс. ч. с регенератом типа БР(50) – $3,45 \times 10^{-4}$ моль/см³ и с БР(30) – $3,42 \times 10^{-4}$ моль/см³. Следует отметить, что с увеличением содержания в композициях вторичного продукта переработки до 20,0 масс. ч. плотность поперечного сшивания резин уменьшается в 1,10 раза.

Таким образом, результаты исследований упруго-прочностных свойств резин и их структуры показали, что при введении в состав эластомерных композиций на основе комбинации каучуков ХБК+НК в дозировках 5,0 и 10,0 масс. ч. бутилового регенерата, полученного при дозах облучения 30 кГр и 50 кГр, не происходит ухудшений прочностных и эластических показателей вулканизатов, а также значительных изменений показателей структуры вулканизационной сетки резины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хакимуллин, Ю.Н. Некоторые особенности вулканизации радиационного регенерата бутилкаучука / Р. Р. Вагизова, Ю. Н. Хакимуллин, П. А. Степанов, Ф. М. Палютин // Вестник Казанского технологического университета: Химическая технология. – 2006. – С. 144–147.

2. Мирясова, Ф. К. Применения радиационно-химических и ионизирующих модулей для переработки полимеров в изделия с высокими физико-химическими свойствами. Казань: КНИТУ, 2005. 67 с.

УДК 678.028.2

Ж. С. Шашок, доц., канд. техн. наук; Е. П. Усс, доц., канд. техн. наук;
О. А. Кротова, ст. преп., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
А. Ю. Люштык, гл. химик – нач. лаборатории;
Я. М. Прокопович, инж.-техн. (ОАО «Белшина», г. Бобруйск)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШИННЫХ СМЕСЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ КОМБИНАЦИИ НАПОЛНИТЕЛЕЙ

Теплообразование является следствием гистерезисных потерь в результате динамических нагрузок в процессе работы шины, при которых часть механической энергии теряется в виде тепла. Теплообразование является важным параметром резин шин, т.к. в результате теплообразования повышается температура резин шины, что повышает скорость старения резины, снижает прочность резины, силу связи резины с тканью или металлокордом в брекере и каркасе, а также связь между слоями в шине, тем самым снижая долговечность шины. Большое влияние на теплообразование в резинах оказывают конструкционные, технологические и рецептурные факторы [1, 2].

Целью данной работы являлось исследование влияния рецептурных факторов на технологические характеристики шинных резиновых смесей на основе натурального каучука.

Объектами исследования являлись шинные резиновые смеси, содержащие различные системы наполнителей:

– 34 масс. ч. технического углерода марки N347 + 10 масс. ч. кремнекислотного наполнителя;

– 24 масс. ч. технического углерода марки N347 + 20 масс. ч. кремнекислотного наполнителя;

– 36 масс. ч. технического углерода марки N330 + 10 масс. ч. кремнекислотного наполнителя;

– 38 масс. ч. технического углерода марки N650 + 10 масс. ч. кремнекислотного наполнителя.

В качестве образца сравнения использовалась резиновая смесь с 44,0 масс. ч. технического углерода марки N347.

Вязкость резиновой смеси определяли методом ротационной вискозиметрии. Условия испытания в рабочем зазоре ротационного вискозиметра схожи с условиями механической обработки материала в рабочей зоне резиносмесителя закрытого типа, а также корпусе червячных машин, что является главным фактором его широкой распространенности вискозиметров Муни [3].

Установлено, что частичная замена технического углерода различных марок на кремнекислотный наполнитель во всех случаях приводит к

снижению вязкости по Муни резиновых смесей на 3–7 усл. ед. Муни. Это может быть связано с полярной поверхностью частиц кремнекислоты, имеющей меньшее сродство к неполярному каучуку, в результате чего снижается взаимодействие в системе наполнитель-каучук [4].

Эффект Пейна получил широкое распространение в качестве меры, характеризующей плотность вторичной сетки, образуемой наполнителем в результате взаимодействия наполнитель-наполнитель, приводящего к образованию агломератов. Эффект Пейна количественно характеризуют комплексным динамическим модулем G' . G' определяют как разницу между эластичности при малой амплитуде деформации $G_0'(1\%)$ и модуль сдвига при большой деформации $G_\infty'(100\%)$ [5]. Определение эффекта Пейна проводили на анализаторе перерабатываемости резиновых смесей фирмы Alpha Technologies марки RPA 2000 в течение 3 мин при частоте деформаций 1,00 Гц и температуре 100°C.

Определено, что частичная замена части технического углерода на кремнекислотный наполнитель приводит к снижению комплексного динамического модуля G' . Наименьшее значение G' наблюдается для системы 38 масс. ч. N650+10 масс. ч. Perkasil-408, что объясняется использованием менее активного технического углерода марки N650 по сравнению с марками N347 и N330. При замене технического углерода N347 на менее структурный N330 комплексный динамический модуль снижается на 54,84 кПа. Снижение G' является следствием снижения прочности сетки наполнителя и объясняется использованием наполнителей разной природы: неполярного технического углерода и полярного кремнекислотного, что снижает силу взаимодействия наполнитель-наполнитель [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Дик Дж.С. Технология резины: Рецептуростроение и испытания / Под ред. Дика Дж.С; пер. с англ. яз. под ред. Шершнева В. А. СПб.: Научные основы и технологии, 2010. 620 с.
2. Аверко-Антонович И.Ю. Методы исследования структуры и свойств полимеров: учеб. пособие / И.Ю. Аверко-Антонович, Р.Т. Бикмуллин. Казань: КГТУ, 2002. 604 с.
3. Пичугин А.М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин / А.М. Пичугин. М.: НТЦ «НИИШП», 2008. 383 с.
4. Гришин Б.С. Теория и практика усиления эластомеров. Состояние и направление развития: моногр. Казань: Изд-во КНИТУ, 2016. 420 с.
5. Zhang, P. Material Development for Lowering Rolling Resistance of Tires / P. Zhang, M. Morris, D. Doshi // Rubber Chem. Technol. 89, 79 (2016).

О. М. Касперович, доц., канд. техн. наук;
Л. А. Ленартович, ст. преп., канд. техн. наук;
А. Ф. Петрушеня, ст. преп., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

СПОСОБЫ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИАМИДОВ

Полиамиды – это класс конструкционных пластиков, отличающихся повышенной прочностью и термостойкостью, высокой химической стойкостью, стойкостью к истиранию, хорошими антифрикционными свойствами. К недостаткам полиамидов можно отнести высокое водопоглощение, низкую светостойкость, низкую вязкость, что создает трудности в переработке этих материалов методом экструзии, и достаточно высокую стоимость. Несмотря на это полиамиды широко используются в различных областях благодаря широкому ассортименту выпускаемых марок.

Полиамид 11 (ПА11) – конструкционный полиамид с повышенной эластичностью, очень низкой плотностью среди полиамидов ($1,04 \text{ г/см}^3$) очень высокой ударной вязкостью, в том числе при низких температурах, высокой прочностью и формоустойчивостью во влажной среде. Он физиологически инертен и его производят из возобновляемого сырья, что является немаловажным фактором с экологической точки зрения. Однако ПА 11 не получил широкого распространения из-за своей высокой стоимости.

Введение в состав полимера различных добавок позволяет существенно улучшить технологические и эксплуатационные свойства, снизить стоимость, создать новые виды продукции для новых областей применения. Эффективным путем направленного изменения свойств ПМ является совмещение термопластов различной природы в целях сочетания их полезных свойств в новом смесевом полимерном материале. Правильный выбор полимеров для смешения, а так же модифицирующих и компатибилизирующих добавок позволяет получить материал со свойствами, которыми не обладает ни один из используемых компонентов.

Универсальных компатибилизаторов для полимерных систем не существует и они всегда подбираются для конкретных полимерных пар. Компатибилизаторами могут являться реакционноспособные связующие агенты. Для полиолефинов компатибилизирующим действием обладает прививка к его цепи малеинового ангидрида методом реакционной экструзии. Известны так же способы повышения совместимости в смесях ПЭ/ПА путем введения иономеров в виде сополимеров этилена и метакриловой кислоты или этилен-акрилатов акрило-

вой кислоты [1].

Термоэластопласты (ТЭП) - уникальный класс технических материалов, сочетающий внешний вид, упругость и эластичность обычной терморезиновой резины и технологичность переработки пластмасс.

ТЭПы обладают рядом полезных модифицирующих качеств: они увеличивают ударную вязкость, повышают эластичность материала, известны работы по темостабилизирующему влиянию термоэластопластов в композициях на основе полиолефинов и полиамида [2].

Поэтому целью данной работы было проследить влияние введения ПВД и ТЭП в качестве компатибилизирующей добавки в полиамид 11.

Предметом исследования была композиция, содержащая полиамид ПА-11 марки *Rilsan BESN 210 TL*. В качестве добавок были использованы полиэтилен высокого давления (ПВД) марки 15803-020 ГОСТ 16337-77, олефиновый термоэластопласт (ТЭП) *Polyolefin Elastomer 8810*.

В ходе исследований были получены следующие результаты. Введение в полиамид полиэтилена в количестве до 15 мас.% приводит к весоному снижению стоимости композиции, повышению модуля упругости, ударной вязкости, прочности при растяжении при снижении эластичности композиции. При введении ТЭП наблюдается закономерное снижение деформационно-прочностных характеристик, однако значения их остаются на достаточно высоком уровне. При этом можно отметить ряд положительных моментов: значительно увеличивается относительное удлинение при разрыве, материал становится более эластичным, снижается показатель текучести расплава, что расширяет области практического применения материала, снижается водопоглощение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цвайфель, Х., Маер, Р. Д., Шиллер М. Добавки к полимерам. Справочник / Пер с англ. 6-го изд. под ред. В. Б. Узденского, А. О. Григорова. – СПб.: Профессия, 2011. –1144 с.
2. Исследование влияния содержания термоэластопластов на технологические и эксплуатационные свойства полиолефинов / Касперович О. М., Ленартович Л. А., Петрушеня А. Ф., Любимов А. Г. – Москва: ФГУП «Научно-технический центр оборонного комплекса «Компас», 2019 «Конструкции из композиционных материалов», Вып. 2(154) – С. 55–58.

О. М. Касперович, доц., канд. техн. наук;
Р. М. Долинская, доц., канд. хим. наук;
Л. А. Ленартович, ст. преп., канд. техн. наук;
А. Ф. Петрушеня, ст. преп., канд. техн. наук;
Я. П. Казусик, студ. (БГТУ, г. Минск)

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНЫХ ПОЛИУРЕТАНОВ

Высокие темпы производства и потребления полиуретанов приводят к накоплению неизбежно образующихся производственных отходов и изделий, вышедших из эксплуатации, что влечет за собой экологические и экономические проблемы [1].

Сфера производства обуви является крупной отраслью, в которой используется полиуретан. Эта отрасль производства динамично развивается – производители стараются улучшать эксплуатационные свойства обуви, что приводит к накоплению образующихся производственных отходов.

Рациональное использование вторичного полиуретана и композиционных материалов на его основе ведёт к улучшению экономической обстановки в сфере использования полиуретановых эластомеров, расширению сырьевой базы и снижению экологической нагрузки на окружающую среду.

Одним из основных способов получения материалов с заданными свойствами является создание композиций на основе известных широко используемых материалов путем их модификации.

Целью данной работы являлась модификация вторичного полиуретана на основе простых эфиров для улучшения его физико-механических свойств.

Объектом исследования являлась смесь вторичного вспененного полиуретана на основе простых полиэфиров (ПУ) и вторичного термопластичного полиуретана на основе сложных эфиров (ТПУ), являющихся отходами обувной промышленности. В качестве модификатор использовали минеральные дисперсные наполнители (каолин и пирогенная двуокись кремния «Аэросил») и пластифицирующие добавки (глицериновый эфир канифоли (ГЭК) и канифоль сосновая) [2].

Поскольку предполагаемая область практического применения разрабатываемых композиций – обувная промышленность, то основными характеристиками являлись твёрдость и износостойкость. Значение твёрдости обувной подошвы составляет 75-82 ед. по Шор А согласно ГОСТ 1731-71, абразивный износ лежит в пределах 2,5-3 см³/м.

Вторичный ПУ в чистом виде не мог быть переработан, поскольку содержал большое количество воздушных включений, что приводило к нестационарным условиям переработки, низкой вязкости расплава и получению дефектных образцов с воздушными включениями. Добавление ТПУ к ПУ позволяло значительно повысить технологичность композиции при переработке, повышало значение твердости по Шор А с 63.2 до 67.9 ед., так как ТПУ является материалом с более высокими физико-механическими характеристиками. Однако введение ТПУ в количестве более 20 мас.% экономически нецелесообразно, так как вторичный ТПУ можно применять для изготовления более ответственных деталей и он имеет относительно высокую стоимость.

Введение минерального наполнителя повышало значения твердости полимерной композиции с 67,2 ед. до 74,24 ед. соответственно. При этом добавление аэросила, по сравнению с каолином, повышало значения твердости до 79,9 ед. за счёт высокой дисперсности, развитой удельной поверхности и наличия силановых групп, способных образовывать силанольные сшивки с макромолекулами полимера. Однако введение аэросила в количестве более 7 мас.% приводило к значительному повышению вязкости расплава, что вызывало трудности в переработке.

Повышение твердости материала закономерно приводило к повышению абразивного износа, к тому же требовалось снизить вязкость расплава, поэтому был введен пластификатор (канифоль и ГЭК) для повышения пластичности материала при переработке и эластичности его при эксплуатации.

Исследования твердости и абразивного износа для композиций с минеральным наполнителем и пластификатором показало, что зависимость твердости композиции от содержания пластифицирующих добавок носит экстремальный характер с оптимумом при 3 мас.%. Причем введение ГЭК является более технологичным и не приводит к залипанию полимерного материала, хотя полученные значения исследуемых показателей были чуть ниже.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зонненшайн, М. Полиуретаны. Состав, свойства, производство, применение / М. Зонненшайн – СПб.: ЦОП «Профессия», 2011. – 576 с.
2. Цвайфель, Х. Добавки к полимерам / Х. Цвайфель, Р.Д. Маер, М. Шиллер – СПб.: ЦОП «Профессия», 2011. – 1144 с.

А. В. Касперович, доц., канд. техн. наук;

А. В. Шевчик, асп. (БГТУ, г. Минск);

С. В. Медведев, зав. лаб. синтеза технических систем, д-р. техн. наук

(ОИПИ НАН Беларуси, г. Минск);

Г. А. Гринкевич, инженер-технолог

(ООО «ЮЭйВи ПРОДАКШН», г. Минск)

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКОГО БУФЕРА С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Уникальные конструкционные свойства резины, а именно – способность значительно деформироваться при сравнительно небольших напряжениях; изменять форму при механическом нагружении, практически сохраняя постоянный объем; восстанавливать исходную форму после удаления нагрузки; поглощать в процессе деформирования и рассеивать при последующем восстановлении механическую энергию – предопределили столь широкое ее применение в самых различных отраслях хозяйства и в быту [1].

Современные средства проектирования позволяют прогнозировать степень деформации изделий и оптимизировать их, в соответствии с заданными значениями массы и прочности. В общем случае, подготавливается модель – заготовка, над которой в дальнейшем проводят различного рода испытания.

Цель работы заключалась в анализе напряженно-деформированного состояния резинометаллического буфера, путем проведения статического анализа, анализа собственных частот и случайных колебаний изделия.

В результате расчетов были получены эпюры средних напряжений по фон-Мизесу (рис. 1), эпюры деформаций материала при первых 5 собственных частотах (рис. 2), эпюра средних напряжений по фон-Мизесу при случайных колебаниях с коэффициентом демпфирования $\delta=5\%$ (рис. 3).

В результате проведения статического анализа модели выяснено, что при приложении усилия в 10000 Н со стороны рессоры на резиновую часть буфера в резине возникают напряжения порядка 3,8 МПа. Полученные напряжения не являются опасными.

Из результатов частотного анализа определили, что модель не резонирует с рабочей частотой (100–120 Гц). Это значит, что изделие не разрушается по причине резонанса.

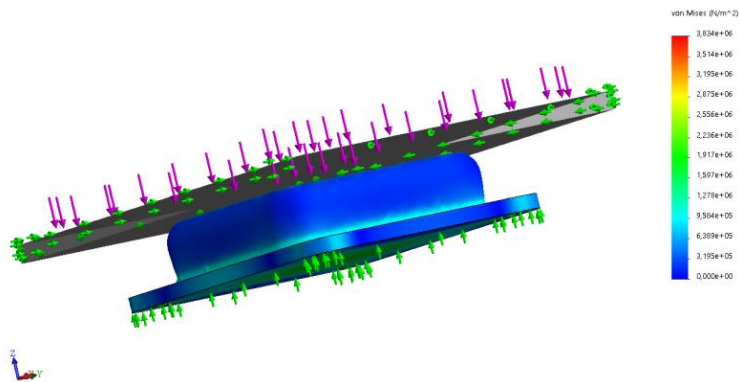


Рисунок 1 – Эпюра средних напряжений по фон-Мизесу при статическом нагружении

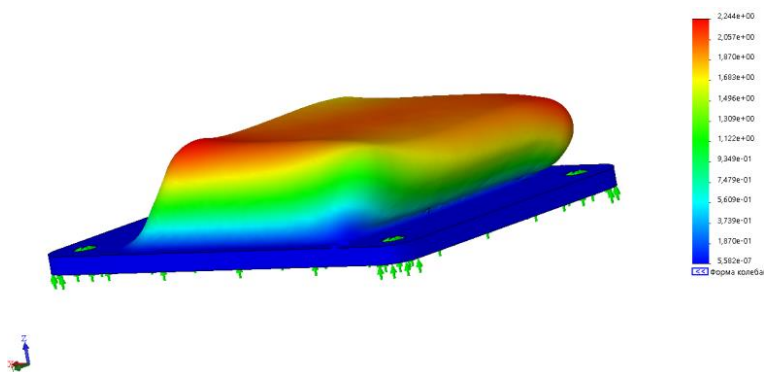


Рисунок 2 – Эпюра деформаций модели при первой частоте колебания 320,26 Гц

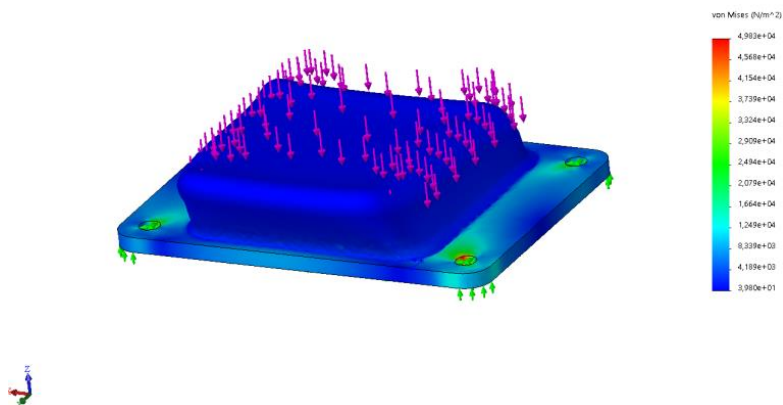


Рисунок 3 – Эпюра средних напряжений по Фон-Мизесу при анализе случайных колебаний

ЛИТЕРАТУРА

1. Осошник, И.А. Производство резиновых технических изделий / И.А. Осошник, Ю.Ф. Шутилин, О.В. Карманова. – Воронеж: Химия, 2007. – 972 с.

А. Л. Наркевич, доц., канд. техн. наук;
А. Н. Калинка, зав. лабораторией;
А. П. Кравчук, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КЛИНИЧЕСКОЙ СТОМАТОЛОГИИ

Актуальным является создание отечественных армированных композиционных материалов на основе стекловолокон для применения в клинической стоматологии в виде штифтов и шинирующей ленты.

Технологию получения композиционных материалов и производства штифтов на основе ровинга и шинирующих лент на основе тканой или плетеной нити отработывали по известным схемам [1] с использованием доступного оборудования, оснащения и материалов лабораторий университета. В результате отработки определен перечень стадий технологических процессов.

В экспериментах применяли связующие (матричный полимер) - двухкомпонентные на основе эпоксидных смол (отверждение по механизму поликонденсации) и фотоотверждаемые метакрилаты; армирующий наполнитель из стеклянных волокон-ровинг из комплексных нитей, директ-ровинг и крученую нить.

На основании опыта применения ровинга в непрерывных технологиях приведен перечень дефектов, их влияние на процесс и способы их устранения и компенсации, выработаны требования к ровингу – отсутствие обрывов, провисания и хранение и транспортирование на боковой поверхности.

В результате отработки технологии формообразования однопосредственно армированного стержня (заготовка стоматологического штифта) на основе двухкомпонентного термореактивного связующего и на основе фотоотверждаемого полимера с высоким содержанием армирующих волокон (в виде ровинга) определена оригинальная конструкция формирующей фильеры.

Так как задача стадии совмещения компонентов (пропитки волокнистой системы связующим) – фактически вытеснить связующим компонентом, находящимся в жидком состоянии, воздушные включения между волокнами ровинга (или нити), были предложены и отработаны несколько стадий пропитки: основная стадия совмещения, которая осуществляется на отклоняющихся элементах с применением ультразвукового воздействия [2] и дополнительная стадия пропитки с применением

периодического ультразвукового воздействия, применяемого при необходимости на непропитанных участках ровинга. Также применили ультразвуковое воздействие на массу связующего, поместив систему отклоняющих элементов (роликов) в ультразвуковую ванну.

Для отверждения композитов на основе двухкомпонентного связующего применяли инфракрасный обогрев. Для отверждения композитов на основе фотоотверждаемого полимера применяли ультрафиолетовую лампу. Протягивание однонаправленно армированного стержня осуществляли на тянущем устройстве валкового типа. Для заточки конца штифта применяли абразивный диск.

Основная стадия пропитки стеклоленты для получения препрега шинирующей ленты может проводиться традиционным способом, когда лента протягивается через систему роликов. Так как стеклолента может иметь структуры, чувствительные к воздействию валков, то предложен щадящий метод пропитки узкой (не более пяти миллиметров) ленты путем погружения ленты в связующее, при котором не нарушается исходная тканая или плетеная структура. Этот метод также можно использовать при ограниченном количестве опытных образцов ленты, предоставляемых для экспериментов.

Предложена модель для расчета минимального радиуса изгиба уточной нити на реверсе при получении армирующей ленты шириной до пяти миллиметров для шинирующей ленты. Модель основана на соотношении между радиусом кривизны, модулем упругости стекловолокна, диаметра волокна нити и допускаемым напряжением при растяжении для волокна. По характеристикам примененного в экспериментах волокна нити для шинирующей ленты рассчитан допускаемый радиус кривизны и соответственно зазор между соседними уточными нитями.

Из нити получили экспериментальный фрагмент ленты полотняного переплетения. При изготовлении образца стремились к максимальному сближению рядов утка, принимая во внимание жесткость нити и низкий коэффициент трения стеклянных волокон относительно друг друга. Получили, что при наиболее возможном сближении рядов утка получили значение зазора между ближайшими уточными нитями практически совпадающее с расчетным.

Совмещение компонентов при получении шинирующей ленты производили в две стадии: основная стадия совмещения погружением ленты в ультразвуковую ванну и дополнительная стадия удаления пузырьков воздуха путем вакуумирования пропитанной ленты. Упаковывали образцы светозащищенные пакеты.

В результате отработки технологии получены экспериментальные образцы заготовок стоматологического штифта в виде однонаправленно армированного стержня диаметром 1,5 мм на основе двухкомпонентного терморезактивного связующего и на основе фотоотверждаемого полимера и шинирующих лент на основе фотоотверждаемого полимера.

Штифты испытывали на изгиб. Диаграммы деформирования имели линейную зависимость вплоть до разрушения, характер разрушения – потеря устойчивости сжатых слоев и расслоение в среднем слое на участке не более 3 мм, модуль упругости - 36 ГПа (коэффициент вариации 3,5 %), прочность при изгибе – 500 МПа (коэффициент вариации 10 %), относительные деформации при разрушении – 1,4 %.

Массовое содержание волокна в штифте – до 72 %, или до 62 об.%. Стекланные волокна в поперечном сечении штифта распределены практически равномерно, а контур представляет собой правильную окружность. Известно, что плотная упаковка волокон и их равномерное распределение обеспечивают наибольшие механические характеристики.

Результаты работы могут быть использованы при организации соответствующих производств в ОАО «Полоцк-Стекловолокно».

ЛИТЕРАТУРА

1. Ставров В.П. Формообразование изделий из композиционных материалов. – Минск: БГТУ, 2006. – 482 с.
2. RU 2224649 С В 29В 15/10, 2006.

А. И. Глоба, доц., канд. хим. наук;
А. В. Касперович, доц., канд. техн. наук; Ю. В. Духович, студ.
(БГТУ, г. Минск);
Н. Г. Валько, доц., канд. физ. мат. наук (ГрГУ им. Я.Купалы, Гродно)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА МОДИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ИОНИЗИРУЮЩИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Цель данного исследования заключалась в установлении закономерностей изменения физико-химических свойств модифицированных лакокрасочных материалов (ЛКМ) различной природы и разработке метода модификации структуры и свойств лакокрасочных покрытий ионизирующим излучением.

В качестве объектов исследования были выбраны образцы пигментированных лакокрасочных покрытий, модифицированные полыми стеклянными микросферами, полученные на основе двухкомпонентного эпоксидного и однокомпонентного алкидного ЛКМ. В качестве ионизирующего излучения было использовано УФ-излучение с длиной волны 207 нм и мощность не менее 5 мВт/см², а также рентгеновское излучение с мощностью экспозиционной дозы 17 кР/ч, 50 кР/ч и 100 кР/ч. Продолжительность воздействия излучений на образцы лакокрасочных покрытий составляла от 10 до 60 мин.

На основании результатов серии экспериментальных исследований по модификации структуры и свойств лакокрасочных покрытий различной природы активными наполнителями, наилучшие результаты были достигнуты для покрытий, сформированных из двухкомпонентной эпоксидной эмали ЭП-773, модифицированной полыми стеклянными микросферами марки Q-cel 5070 и Q-cel 6048. Такая модификация дает возможность формирования покрытий с пониженной плотностью и улучшенными эксплуатационными характеристиками. Введение стеклянных микросфер в эмаль в оптимальном количестве позволяет получать ЛКМ с оптимальной вязкостью и возможностью формирования покрытий с равномерно распределенным ЛКП по окрашиваемой поверхности. Введение наполнителей приводит к увеличению массовой доли нелетучих веществ эпоксидной эмали ЭП-773 и зависит от плотности наполнителя. Положительным эффектом является уменьшение времени высыхания покрытий до 3 степени. При добавлении 10% стеклянных микросфер различных марок данный показатель снижается на 7–11 мин, что составляет 20 и 30% соответственно в сравнении с немодифицированными образцами. При увеличении

концентрации микросфер от 5 % до 10 % такие показатели, как адгезия и прочность покрытия при ударе не изменяются и составляют 1 балл и 90 см соответственно; при этом твёрдость покрытия по маятниковому прибору увеличивается на 8–16 %. Водопоглощение покрытия при добавлении микросфер в количестве 10 % в среднем снизилось на 20 %, что способствует повышению водостойкости покрытия. Введение полых стеклянных микросфер также обеспечивает значительное уменьшение укрывистости, а соответственно сокращается и расход краски на единицу площади окрашиваемой поверхности, однако блеск покрытия значительно уменьшается (при 10% Q-cel 5070 на 80,7%, а Q-cel 6048 на 88,7%).

Для понимания процессов, происходящих при облучении лакокрасочных покрытий различной природы и установления оптимальных параметров ионизирующих излучений, обеспечивающих наилучшие свойства покрытий, были проведены исследования по установлению зависимостей изменения физико-механических свойств покрытий и степени отверждения лакокрасочных материалов от продолжительности и мощности ионизирующих сред (рис.).

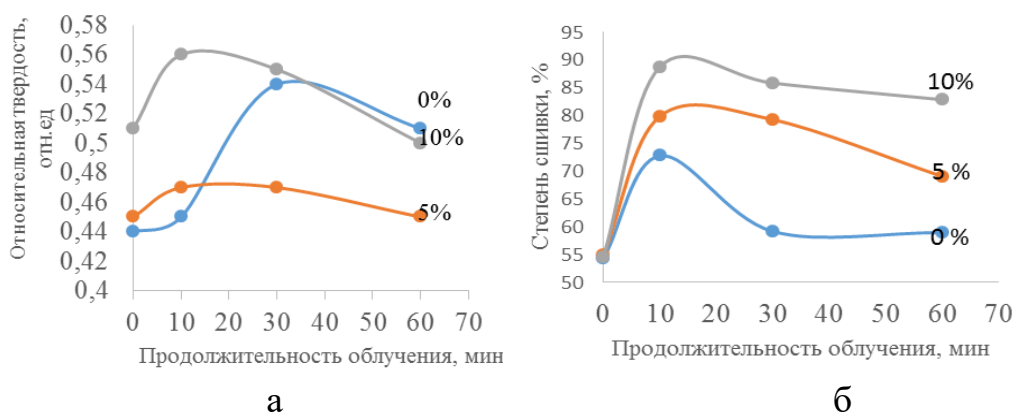


Рисунок - Зависимость относительной твердости (а) и степени отверждения (б) модифицированных покрытий на основе ЭП-773 от продолжительности облучения их рентгеновским излучением

Из графиков (рис., а) видно, что увеличение продолжительности облучения покрытия рентгеновским излучением от 0 до 30 мин приводит к увеличению твердости покрытия. Дальнейшее воздействие излучения высокой энергии (в течение 60 мин) вызывает во всех образцах снижение твердости покрытия. При этом модификация лакокрасочного материала полыми стеклянными микросферами позволяет добиться увеличения твердости покрытий от 0,44 до 0,51 отн.ед. для необлученных образцов. Следует заметить, что в модифицированных

образцах повышение твердости с увеличением продолжительности облучения и ее последующее снижение происходит гораздо в меньшей степени. Такое явление может быть связано с действием активных наполнителей, препятствующих распространению деструктивных процессов в сетчатой структуре пленкообразующего полимера под действием рентгеновского излучения. Максимальная твердость в этом случае достигается после воздействия рентгеновского излучения в течение 30 мин.

Из рис., б видно, что после 10 минут облучения мощностью экспозиционной дозы рентгеновского излучения 17 кР/ч происходит резкое увеличение степени отверждения пленки, однако при дальнейшем увеличении продолжительности облучения до 30 и 60 минут наблюдается снижение этого показателя. При этом для немодифицированных образцов значение степени отверждения после облучения в течение 60 мин близко к первоначальному значению, в то время как для модифицированных образцов степень отверждения покрытия после 60 мин облучения существенно превышает первоначальные показатели. Это, по-видимому, связано с протеканием химических реакций в полимере вызванных действием излучений высокой энергии. Поскольку энергия рентгеновского излучения составляет порядка 9–10 эВ, а энергия химических связей в полимерах 2,5–4 эВ, то такое излучение способно вызвать разрыв связей в полимерной цепи. Таким образом на начальной стадии облучения происходят деструктивные процессы, вызывающие образование свободных радикалов, которые в дальнейшем рекомбинируют, приводя к увеличению степени сшивки. Данные результаты хорошо согласуются с результатами по измерению физико-механических свойств покрытий. Наблюдается увеличение твердости покрытий после облучения их в течение 10 минут, что также свидетельствует о увеличении плотности сшивки полимера.

Таким образом, под действием излучения реакции деструкции и структурирования протекают одновременно, однако в зависимости от химического строения полимеров и продолжительности облучения одна из них может преобладать. При сравнении воздействия рентгеновского и УФ-излучения на лакокрасочные покрытия установлено, что первое приводит к более глубоким химическим изменениям в полимерах, нежели второе, что закономерно, т.к. обладает большей энергией.

ДВУХКОМПОНЕНТНЫЕ АДГЕЗИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВОДНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ДИСПЕРСИЙ И ИЗОЦИАНАТНЫХ ОТВЕРДИТЕЛЕЙ

Активное использование водных полимерных дисперсий для создания адгезионных и лакокрасочных материалов обусловлено их экологичностью, невысокой ценой, хорошими эксплуатационными свойствами адгезивов и покрытий на их основе. Однако во многих областях применения использование данных материалов ограничено их невысокой водо-, атмосферо-, свето- и химстойкостью, обусловленной термопластичностью сополимера. Одним из вариантов решения данной проблемы является получение терморезистивных совмещенных (гибридных) связующих, способные к отверждению за счет образованию пространственной полимерной сетки. Особенностью таких материалов является то, что при формировании адгезионного шва либо покрытия происходит образование, например, уретановых связей при взаимодействии гибридного пленкообразователя с изоцианатным отвердителем. Обоснованный выбор состава композиции необходим для получения полимерных адгезивов с заданным комплексом свойств.

Цель данного исследования заключалась в изучении влияния состава и химического строения пленкообразователей и отвердителей на физико-механические свойства клеевого шва. В качестве объектов исследования использовались следующие водно-дисперсионные пленкообразователи: сополимер этилена с винилацетатом (СЭВА); поливинилацетат (ПВА); стиролакриловая дисперсия (САД). Для придания этим дисперсиям терморезистивных свойств и обеспечения возможности образования пространственной сетки в них вводили водный раствор поливинилового спирта (ПВС). Степень сшивки регулировали природой и количеством изоцианатного отвердителя. В качестве наполнителя использовали карбонат кальция. В качестве отвердителей – гексаметилендиизоцианат (ГМДИ) и полиметафенилендиизоцианат (ПМФДИ), которые являются наиболее распространенными изоцианатами для этой цели из-за низкого давления пара и высокой реакционной способности.

На первом этапе было подобрано соотношение водной полимерной дисперсии и поливинилового спирта, обеспечивающее значение динамической вязкости по Брукфильду адгезионного материала в диапазоне от 6000 до 8000 мПа·с (при скорости сдвига 20 об/мин,

шпинделе № 6 и температуре 20 °С). Этот показатель является важным технологическим параметром, влияющим на технологию изготовления клееных деревянных конструкций. При этом на вязкость адгезива существенно влияет также и молекулярная масса используемого поливинилового спирта, поэтому исследования проводили с различными марками ПВС.

Для установления зависимости степени отверждения гидроксилсодержащих водно-дисперсионных гибридных адгезионных систем от их природы и концентрации изоцианатного отвердителя была определена гель-фракция отвержденных образцов. Установлено, что в процессе отверждения более высокое содержание гель-фракции соответствует композиции на основе ПВА дисперсии. Это связано с тем, что наряду с гидроксильными группами ПВС в реакции отверждения участвуют реакционноспособные группы ПВА, что обеспечивает более быстрое расходование изоцианатных групп в процессе отверждения композиции и более высокое содержание гель-фракции в клеевом шве. На втором месте по степени отверждения находятся композиции, содержащие в качестве основного пленкообразователя СЭВА, т.к. в структуре этого сополимера также содержится определенное (но значительно меньшее) количество остаточных гидроксильных групп. Наименьшая степень отверждения достигнута для составов на основе САД. Установлено, что при использовании полифункционального изоцианата (ПМФДИ) наблюдается явное увеличение степени отверждения пленкообразующей системы в сравнении с использованием бифункционального отвердителя. При этом зависимость носит экспоненциальный характер, т.е. с увеличением концентрации отвердителя наблюдается увеличение степени отверждения системы. Оптимальной концентрацией является содержание ПМФДИ 9,3 мас.% (в пересчете на сухой остаток пленкообразователей). Следует обратить внимание, что зависимость степени отверждения от концентрации бифункционального алифатического отвердителя (ГМДИ) имеет практически линейный характер, что возможно связано с тем, что в этом случае отверждение идет преимущественно за счет увеличения молекулярной массы полимера и образования преимущественно линейных макромолекулярных структур.

Таким образом, результаты исследования технологических и эксплуатационных свойств адгезионных составов на основе гибридных полимерных систем показали, что использование водных полимерных дисперсий различной природы наряду с варьированием соотношения и природы отвердителя и модифицирующего полимера позволяет в широком диапазоне изменять свойства адгезивов.

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЯЕМОГО РАСТВОРИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА НЕПИГМЕНТИРОВАННЫХ ЭПОКСИДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Применение растворителей при производстве и нанесении лакокрасочных материалов во многом обуславливается необходимостью регулирования их вязкостных свойств. Промышленно выпускаемые эпоксидные смолы, используемые для производства жидких антикоррозионных лакокрасочных материалов, чаще всего поставляются в виде растворов в различных органических растворителях. Известны также продукты без содержания растворителей, однако при изготовлении лакокрасочных материалов на их основе нередко возникает необходимость обеспечить требуемый уровень вязкости получаемого лакокрасочного материала, что осуществляется с помощью использования растворителей. Последствия добавления растворителей не ограничиваются изменением вязкостных свойств лакокрасочных материалов, изменение претерпевают также физико-механические и защитные свойства лакокрасочных покрытий.

Таким образом, актуальность и важность изучения влияния различных растворителей на свойства эпоксидных лакокрасочных покрытий обусловлены широким применением растворителей в технологии производства антикоррозионных лакокрасочных материалов.

В работе исследовано влияние использования наиболее распространенных растворителей эпоксидных смол на физико-механические и электрохимические свойства формируемых ими покрытий. Исследования проводились на эпоксидной смоле CHS Epoxy 210 (Spolchemie, Чехия), представляющей собой 76% раствор в ксилоле вязкостью при 25°C 10 Па·с, с содержанием эпоксидных групп 1,77 ммоль/г. Отверждали эпоксидную смолу при комнатной температуре стехиометрическим количеством отвердителя Э-45 (70% раствор полиамидной смолы в ксилоле, содержание аминных групп 3,06 ммоль/г). Эпоксидные композиции наносили на стальные пластины, после отверждения получали покрытия с толщиной слоя 120±20 мкм. Перед испытаниями образцы выдерживали при комнатной температуре в течение 7 суток.

В таблице 1 представлены используемые растворители и вязкости составов, полученных при добавлении 20 масс. % растворителей к эпоксидной смоле. Вязкость измеряли с помощью прибора Brookfield CAP-2000+ при скорости вращения шпинделя №3 200 об/мин.

Растворители закономерно снижают вязкость эпоксидной смолы, наибольшее уменьшение вязкости наблюдается при добавлении смеси ксилол–ацетон, состоящей из 25 об.% ксилола и 75 об.% ацетона.

Таблица 1 - Вязкость исследуемых составов

Условное обозначение растворителя	Состав, (соотношение компонентов, об.%)	Вязкость при 25°C, Па·с
P1	Ксилол-ацетон, (75/25)	1,46
P2	Ксилол-бутанол, (75/25)	1,37
P3	Ксилол-МЕК, (25/75)	0,92
P4	Ксилол	1,93
P5	Ксилол-ацетон, (25/75)	0,43
P6	Ацетон-бутанол, (25/75)	0,72
P7	Ацетон-бутанол, (75/25)	0,59
P8	ДЭГ-1	4,80
Без растворителя		10,00

В таблице 2 представлены результаты определения физико-механических свойств эпоксидных покрытий, сформированных с добавлением различных растворителей.

Таблица 2 - Физико-механические свойства эпоксидных покрытий

Растворитель	Содержание гель-фракции, %	Твердость, отн.ед.	Прочность при ударе, см	Адгезия, балл
P1	90,2	0,64	100	1
P2	91,2	0,60	100	1
P3	89,8	0,61	100	1
P4	91,1	0,64	100	1
P5	91,0	0,55	100	1
P6	91,1	0,48	100	1
P7	89,6	0,53	100	1
P8	95,4	0,42	100	1
Без растворителя	92,1	0,75	90	1

Как видно из таблицы 2, дополнительное введение растворителей несколько снижает содержание гель-фракции в покрытиях. Исключение составляет растворитель P8 (диглицидиловый эфир этиленгликоля), содержащий функциональные эпоксидные группы и поэтому способный участвовать в реакциях отверждения эпоксидных смол. Твердость покрытий снижается, а прочность при ударе увеличивается, что может быть связано с пластифицирующим эффектом применяемых растворителей.

Для изучения влияния растворителей на защитные свойства эпоксидных покрытий определили их электрохимические показатели: емкость (С, Ф) и сопротивление (R, Ом) при частоте переменного тока 2000 Гц после 48 ч выдержки в 3% водном растворе NaCl (таблица 3).

Таблица 3 - Электрохимические показатели эпоксидных покрытий

Растворитель	C_{2000}, Φ	$R_{2000}, \text{Ом}$
P1	$4,73 \cdot 10^{-8}$	$2,08 \cdot 10^3$
P2	$3,97 \cdot 10^{-8}$	$8,28 \cdot 10^3$
P3	$1,83 \cdot 10^{-8}$	$1,21 \cdot 10^4$
P4	$2,43 \cdot 10^{-8}$	$1,06 \cdot 10^4$
P5	$2,59 \cdot 10^{-9}$	$7,07 \cdot 10^4$
P6	$1,16 \cdot 10^{-8}$	$1,14 \cdot 10^4$
P7	$6,83 \cdot 10^{-8}$	$2,74 \cdot 10^3$
P8	$2,84 \cdot 10^{-9}$	$2,13 \cdot 10^4$
Без растворителя	$5,69 \cdot 10^{-10}$	$1,49 \cdot 10^5$

Увеличение емкости и снижение сопротивления происходит при проникновении электролита в покрытие, поэтому по величинам значений емкости и сопротивления можно судить о их изолирующих (защитных) свойствах. По данным, представленным в таблице 3, можно сделать вывод, что дополнительное введение растворителей приводит к ухудшению защитных свойств покрытий. Наименьшее негативное влияние на защитные свойства покрытий оказывает использование растворителей P5 и P8 (ксилол–ацетон, ДЭГ-1).

Анализ полученных данных показывает, что предпочтительным растворителем для эпоксидных смол антикоррозионного назначения является смесь ксилола и ацетона (объемное соотношение компонентов 25/75), т. к. при использовании данной смеси достигается наибольшее снижение вязкости эпоксидной композиции без значительного ухудшения защитных свойств сформированных покрытий.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ АНТИКОРРОЗИОННЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Определение срока службы лакокрасочных покрытий является важной и актуальной задачей. Согласно ГОСТ 9.072-2017 под сроком службы лакокрасочного покрытия (ЛКП) подразумевается предполагаемая долговечность лакокрасочного покрытия в условиях эксплуатации, в течении которой оно сохраняет заданные свойства. Под заданными же свойствами понимается допустимый уровень ухудшения (потери) исходных свойств лакокрасочного покрытия. Из сказанного следует, что срок службы ЛКП зависит не только от его долговечности, т.е. способности противостоять разрушающим воздействиям окружающей среды, но и от принятого допустимого уровня потери каких-либо его свойств.

Прогресс в лакокрасочной промышленности привел к появлению высококачественных лакокрасочных материалов, формирующих покрытия с длительным сроком службы в различных экстремально агрессивных средах (концентрированные растворы кислот, щелочей, солей при температурах вплоть до 120°C и др.). Многие современные системы ЛКП характеризуются значительной толщиной (до 3000 мкм), что вносит существенные ограничения по применению известных методов исследования свойств покрытий и определения их срока службы. В связи с этим возникает запрос на разработку новых методов оценки долговечности таких покрытий, причем за время, значительно меньшее их предполагаемого срока службы.

Для разработки методики определения срока службы ЛКП необходимо решить следующие задачи:

1) Выбрать характеристический показатель состояния покрытия, по изменению которого в процессе эксплуатации можно судить о его долговечности;

2) Выявить критическое значение характеристического показателя, т.е. такое его значение, при достижении которого можно обоснованно сделать вывод о исчерпании ресурса службы полимерным покрытием.

3) Определить закономерности изменения характеристического показателя состояния покрытия в процессе эксплуатации в конкретных условиях (природа агрессивной среды, температура, концентрация, наличие абразивного воздействия и т.д.).

Для антикоррозионных ЛКП, основным назначением которых

является защита металлов от коррозии, в качестве характеристического показателя необходимо выбирать то, которое бы непосредственно описывало состояние окрашенного металла. Анализ литературных источников [1–4] показывает, что с этой целью используются различные электрохимические показатели: сопротивление, емкость, тангенс угла диэлектрических потерь, величины токов коррозии, поляризационные характеристики. Однако, большое омическое сопротивление современных покрытий и их существенная толщина ограничивает или даже вовсе затрудняет применение постоянноточковых методов. Поэтому основные электрохимические измерения полимерных покрытий в настоящее время проводятся на переменном токе емкостно-омическим методом и с использованием электрохимической импедансной спектроскопии. Основными величинами, которыми можно описать исследуемое полимерное покрытие в этом случае являются емкость и сопротивление при различных частотах переменного тока.

Целью данной работы является разработка методики определения срока службы полимерных покрытий при эксплуатации в жидких электролитах (преимущественно в растворах солей) при повышенных температурах. Для решения описанных выше задач и достижения цели был разработан план эксперимента, который включает экспонирование окрашенных металлических пластин в жидких агрессивных средах (растворы солей NaCl и KCl) различной концентрации при различных температурах.

При разработке плана учитывалась необходимость изучения раздельного влияния температуры и концентрации агрессивной среды на изменение свойств полимерных покрытий.

Таблица - Условия экспонирования полимерных покрытий

Содержание солей, NaCl/KCl, масс. частей	Температура электролита, °C			
	20	75	90	110
	Условное обозначение условий экспонирования			
0/0	20·1	75·1	90·1	110·1
6/6	20·2	75·2	90·2	110·2
14/14	20·3	75·3	90·3	110·3

В процессе экспонирования измеряли физико-механические и электрохимические свойства полимерных покрытий: прочность при ударе, адгезию методом отрыва, твердость по маятниковому прибору, сопротивление и емкость при различных частотах переменного тока.

После реализации эксперимента сформирована база данных по изменению физико-механических и электрохимических свойств полимерных покрытий под воздействием электролитов различной кон-

центрации и температуры. С помощью методов математической статистики выявлены закономерности изменения характеристического показателя состояния покрытия в процессе экспонирования. Установлены механизмы разрушения полимерных покрытий, определено критическое значение характеристического показателя.

На основании полученных данных разработан метод определения срока службы лакокрасочных покрытий в жидких агрессивных средах. В настоящий момент формируется заявка на патентную охрану разработанного метода, поэтому в данной публикации конкретные результаты исследования не приводятся.

ЛИТЕРАТУРА

1. Розенфельд, И. Л. Антикоррозионные грунтовки и ингибированные лакокрасочные покрытия. / И. Л. Розенфельд, Ф. И. Рубинштейн. – М.: Химия, 1980. – 200 с.

2. J. Ross Macdonald. Impedance Spectroscopy. Theory, Experiment, and Applications. / J. Ross Macdonald. – Canada: John Wiley & Sons. – 2005. – 595 с.

3. Карякина, М. И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий. / М. И. Карякина. – М.: Химия, 1988. – 272 с.

4. Методы оценки противокоррозионной эффективности лакокрасочных покрытий / А. В. Сороков [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 24. – С. 68–75.

УДК 665.666.24

К. И. Трусков, асп.; Е. М. Осипенок, преп.-стажер;
А. И. Юсевич, зав. каф. НГП и НХ, канд. хим. наук;
Д. В. Куземкин, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ТЯЖЕЛОЙ ПИРОЛИЗНОЙ СМОЛЫ НА ВЫХОД И КАЧЕСТВО НАФТАЛИНА

Нафталин является ценным химическим сырьем. Он используется в качестве исходного вещества для получения фталевого ангидрида, тетралина, декалина, других производных нафталина. Производные нафталина применяются для получения красителей, пластификаторов бетонов, пропантов для скважин, взрывчатых веществ, лекарственных средств, ядохимикатов.

Основное количество производимого промышленностью нафталина имеет коксохимическое происхождение [1]. Нафталин получают из нафталиновой фракции каменноугольной смолы, выкипающей в пределах 210–230 °С. Выделенный нафталин далее подвергают фильтрованию на барабанных вакуум-фильтрах с последующей сернокислотной очисткой и ректификацией.

Другим промышленным источником нафталина может быть тяжелая пиролизная смола (ТПС), побочно образующаяся в процессе получения этилена и пропилена методом высокотемпературного пиролиза углеводородного сырья. Содержание нафталина в ТПС может достигать до 15 %, что делает экономически оправданным его выделение. Нафталин, получаемый из ТПС, практически не содержит серы в отличие от продукта коксохимического происхождения.

Однако жидкие продукты пиролиза содержат значительное количество непредельных углеводородов, которые ухудшают качество нефтехимического нафталина и обуславливают необходимость разработки эффективных методов его очистки. Учитывая, что олефины проявляют высокую реакционную способность при повышенных температурах, представляло интерес изучить влияние термической обработки ТПС на выход и качество выделяемого из нее нафталина.

Термическую обработку ТПС завода «Полимир» ОАО «Нафтан» осуществляли при температуре 260 °С в условиях, подробно описанных в статье [2]. Исходную и термообработанную ТПС перегоняли под вакуумом, отбирая дистиллятные фракции, содержащие нафталин. Остаток от перегонки представлял собой нефтеполимерную смолу. Дистиллятные фракции подвергали вторичной перегонке с выделением фракции 200–230 °С. Нафталиновую фракцию охлаждали при температуре 5 °С в течение 2 ч, после чего выпавший в осадок нафталин отфильтровывали на воронке Бюхнера под вакуумом, отжимая осадок стеклянной пробкой.

Содержание нафталина во фракции 200–230 °С исходной и термообработанной ТПС определяли газохроматографическим методом на приборе Хроматэк Кристалл 5000.2 с пламенно-ионизационным детектором и стальной капиллярной колонкой Restek МХТ-1. Температуру плавления нафталина измеряли в стеклянном капилляре на приборе ВУСНІ В-540 Melting Point.

На рисунке представлены данные по выходу нафталиновых фракций и содержанию нафталина в них. Можно видеть, что выход нафталиновой фракции после термообработки ТПС уменьшился на 5,1 %, но концентрация нафталина возросла на 13,4 %. По-видимому, увеличение содержания нафталина обусловлено переходом реакцион-

носпособных мономеров нафталиновой фракции в более высокомолекулярные продукты в результате полимеризации, в то время как нафталин не претерпевает химических превращений.

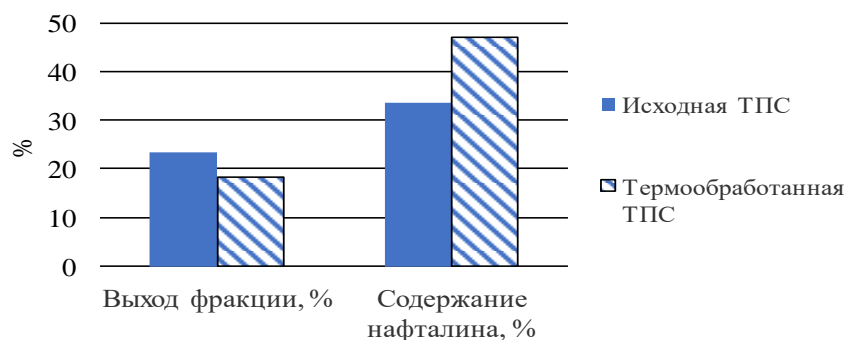


Рисунок - Выход нафталиновой фракции и содержание в ней нафталина, полученные при перегонке ТПС до и после термообработки

В таблице приведены данные о фактическом выходе и качестве нафталина, выделенного из исходной и термообработанной ТПС. Массовую долю основного вещества в нафталине определяли на основании его температуры плавления ($t_{пл}$) по зависимости, приведенной в [3]. Из данных таблицы следует, что выход сырого нафталина при выделении из термообработанной ТПС в 1,56 раза выше, чем из исходной. Температура плавления нафталина после термической обработки и, соответственно, его концентрация также значительно выше. С целью дополнительной очистки нафталина провели его перекристаллизацию из этилового спирта. Выход перекристаллизованного продукта составил порядка 63 % для исходной ТПС и 80 % для термообработанной. Из термически обработанной ТПС удалось получить образец, соответствующий технической марке ТВ согласно ГОСТ 16106.

Таблица - Фактический выход и качество нафталина

Сырье	Сырой нафталин			Перекристаллизованный из этанола нафталин		
	Выход на сырье, мас. %	$t_{пл}$, °C	Концентрация, мас. %	Выход на сырье, мас. %	$t_{пл}$, °C	Концентрация, мас. %
Исходная ТПС	4,21	65,2	73,98	2,68	77,8	95,70
Термообработанная ТПС	6,58	74,5	89,52	5,36	78,7	97,39

Таким образом, качество нафталина, выделяемого из жидких продуктов пиролиза углеводородного сырья, можно существенно по-

высить путем их предварительной термической обработки. Это должно сократить затраты на последующие стадии очистки кристаллического нафталина. Также термическая обработка ТПС способствует повышению выхода продукта при его выделении из нафталиновой фракции методом фильтрования. Стоит отметить, что существенным преимуществом данного метода является попутное получение еще одного товарного продукта – нефтеполимерной смолы, пригодной для использования в качестве мягчителя эластомерных композиций.

ЛИТЕРАТУРА

1. González Azpíroz, C. Gutierrez Blanco, Casal Banciella, The use of solvents for purifying industrial naphthalene from coal tar distilled oils // Fuel Processing Technology. – 2008. – Vol. 89, Issue 2. – P. 111–117.

2. Оптимизация условий термической полимеризации тяжелой пиролизной смолы с целью получения нефтеполимерных смол – мягчителей резиновых смесей / А. И. Юсевич [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. – Минск: БГТУ, 2020. – № 2 (235). – С. 56–61.

3. Глузман, Л.Д. Лабораторный контроль коксохимического производства / Л.Д. Глузман, И.И. Эдельман. – М.: Metallurgy, 1968. – 473 с.

УДК 678.8:691.175.3

А. А. Никифоров, доц., канд. техн. наук;
А. В. Сиразетдинов, асп. 1-го курса;
С. И. Вольфсон, проф., д-р техн. наук;
Р. С. Яруллин, проф., д-р техн. наук;
Ю. М. Казаков проф., д-р техн. наук
(КНИТУ, г. Казань)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАЛОГЕНИДОВ МЕТАЛЛОВ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ БИОБАЗИРОВАННОГО ПОЛИАМИДА 1010

Конструкционные полимерные материалы на сегодняшний день являются одним из наиболее востребованных типов материалов. Сфера применения этих материалов постоянно расширяется, и они всё чаще и чаще занимают место металлов в различных отраслях таких, как автомобилестроение, судостроение, строительство и самолётостроение. В связи с этим они должны обладать высоким уровнем физико-механических свойств.

В то же время растёт запрос со стороны общества на охрану окружающей среды. По этой причине попытки перейти на использование возобновляемых ресурсов при получении исходного сырья для синтеза полимеров становятся актуальными.

Полиамид 1010, кроме того, что является конструкционным материалом с высокими эксплуатационными свойствами, также относится к биобазированным полимерам на 100 % состоящим из природного сырья. Физико-механические показатели данного полимера хотя и являются высокими и без наполнителей, однако нередко являются недостаточными для того, чтобы соответствовать всем требованиям, которые предъявляет автомобильная и авиационная промышленность к используемым материалам. Они могут быть значительно повышены с использованием армирующих наполнителей. Но ввиду того, что температура переработки полиамида 1010 составляет 230 °С, возникают трудности с армированием композиции целлюлозными волокнами из-за их термической деструкции. В связи с этим актуальной задачей является разработка композиции на основе полиамида 1010 с температурой переработки 200 - 210 °С для использования целлюлозных волокон. Для решения этой задачи необходимо изучить характер воздействия галогенидов металлов на материал так, как из литературных данных известно, что галогениды металлов способны оказывать влияние на температуру плавления полиамидов. В связи с чем, в данной работе был рассмотрен характер влияния хлоридов кальция и цинка на температуру плавления и физико-механические свойства ПА 1010.

Смещение полиамида с наполнителями проводилось при температуре 190 – 230 °С в двухшнековом экструдере с однонаправленным вращением шнеков ZE25A×60D UTXi (фирмы Krauss Maffei Berstorff). Для удаления адсорбированной полиамидом влаги гранулы перед экструзией и перед литьём под давлением просушивались в течение четырех часов при 80 °С осушенным воздухом на сушилке фирмы Koch до остаточной влажности менее 0.1 % мас. Лопатки для испытаний отливались на литьевой машине Arburg All Drive 370 при 220 – 250 °С.

В настоящей работе были проведены исследования влияния некоторых галогенидов металлов на свойства композиции на основе полиамида 1010.

Первоначально были изготовлены композиции с хлоридом лития, который чаще используется для понижения температуры плавления композиций на основе полиамидов, а для компенсации нежелательного увеличения вязкости в композицию вводили пластификатор НББСА (н-бутилбензолсульфенамид). Влияние хлорида лития на температуру плавления оценивали методом ДСК (дифференциальной сканирующей

калориметрией). Исходя из данных ДСК следует, что введение 3 и 4 % хлорида лития понижает температуру плавления на 16 °С.

Для оценки влияния хлорида лития и НББСА на вязкость были изготовлены ненаполненные композиции ПА 1010 с разным соотношением добавок. Для получения зависимостей вязкости от скорости сдвига испытания на вискозиметре были проведены как при стандартной температуре переработки полиамида 230 °С, так и при пониженной температуре 210 °С, поскольку введение хлорида лития предполагает понижение температуры плавления полиамида (рис. а и б).

Из рис. а следует, что добавление хлорида лития и НББСА приводит к увеличению вязкости минимум на 30 % при содержании 4 % мас. НББСА и 3 % мас. хлорида лития, а у композиции ПА 1010 с 4 % мас. LiCl и 3 % мас. НББСА вязкость растёт на 47 %. Отличия же вязкости наполненной и ненаполненной композиций менее существенны при обычной температуре переработки ПА 1010, равной 230 °С, что, скорее всего, связано с меньшим влиянием хлорида лития на вязкость при этой температуре.

При снижении температуры испытания с 230 °С до 210 °С (рис. б) вязкость чистого ПА 1010 увеличивается на 19 %, в то время как для композиции ПА 1010 с 3 % LiCl и 3 % НББСА вязкость растёт на 72 %.

Подобное увеличение вязкости однозначно усложнит процесс переработки композиционных материалов традиционными методами экструзии и литья под давлением.

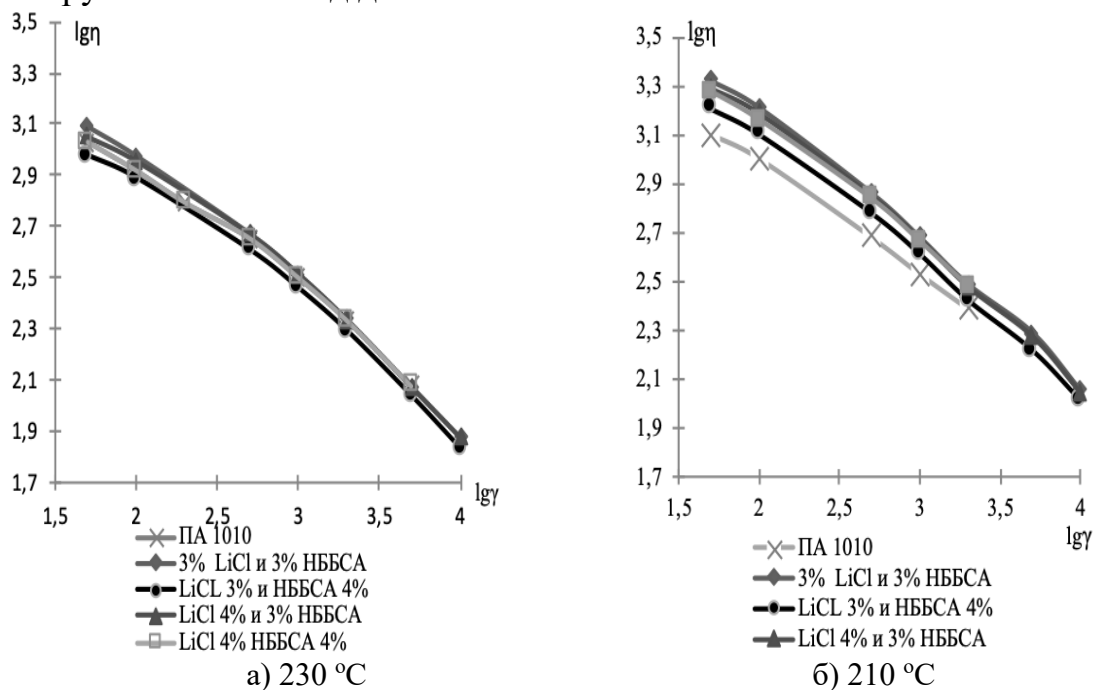


Рисунок - Зависимость вязкости от скорости сдвига композиций на основе полиамида 1010 с хлоридом лития и НББСА

Далее в работе исследовали влияние введения хлорида лития и НББСА на физико-механические характеристики композиций на основе ПА 1010. Результаты испытаний представлены в таблице.

Таблица - Физико-механические испытания композиций ПА 1010 с хлоридом лития и н-бутилбензолсульфамидом

Содержание добавок, % мас	Предел текучести при растяжении, МПа	Модуль упругости при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %
Без добавок	45,9±2,5	1673±9	201
LiCl (3)+ НББСА (3)	34,6±5,5	918±72	182
LiCl (3)+ НББСА (4)	39,7±2,4	1111±45	181
LiCl (4)+ НББСА (3)	39,0±2,7	1165±20	184
LiCl (4)+ НББСА (4)	40,3 ±2,1	1240±31	197

Из таблицы следует, что введение НББСА совместно с хлоридом лития приводит к снижению предела текучести и модуля упругости при растяжении во всех исследуемых дозировках компонентов.

УДК 678.8:691.175.3

А. В. Сиразетдинов, асп. 1-го курса;
 А. А. Никифоров, доц., канд. техн. наук;
 Р. Ю. Галимзянова, доц., канд. техн. наук;
 С. И. Вольфсон, проф., д-р техн. наук;
 Р. С. Яруллин, проф., д-р техн. наук;
 Ю. М. Казаков, проф., д-р техн. наук
 (КНИТУ, г. Казань)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СМЕШЕНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПОЛИМОЛОЧНОЙ КИСЛОТЫ

Пластмассы, получаемые из нефтепродуктов, внесли большой вклад в развитие современной экономики, объём их производства продолжает расти из года в год. Ежегодно в мире производится 230 млн тонн пластмасс. Переработка полимеров на основе углеводов и их производство вызывает ряд экологических проблем: загрязнение окружающей среды, повышенное выделение CO₂, парниковый эффект. Поэтому весьма актуальным является создание полимеров биологического происхождения, которые разлагаются в окружающей среде под действием физических факторов, грибов, водорослей, мик-

роорганизмов. На текущий момент доля биополимеров в мировом производстве составляет около 2%.

Полимолочная кислота (ПМК) является в настоящее время одним из наиболее перспективных биоразлагаемых полимеров. Это обусловлено тем, что производство ПМК возможно, как синтетическим способом, так и ферментативным брожением сырья биологического происхождения (кукурузы, суслу зерна, и т.д.). Полимолочная кислота биоразлагается в условиях компостирования, а также усваивается микроорганизмами морской воды, поэтому создание композиций на её основе и дальнейшая их переработка в изделия позволит сократить потребление невозобновляемых природных ресурсов, а также значительно улучшить экологическую обстановку в мире. Несмотря на широкий спектр возможностей применения полимолочной кислоты, её использование ограничивают сравнительно высокая цена и низкие технологические и физико-механические свойства: ударная вязкость, относительное удлинение и др.

Аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы показал, что учеными было исследовано несколько направлений по улучшению физико-механических свойств полимолочной кислоты путем создания композиций с дисперсными наполнителями, термопластами и эластомерами.

В качестве дисперсных наполнителей чаще в литературе встречаются работы с использованием древесной муки, лигнина, глиняных и наноразмерных наполнителей, а также гидроксилпатит. Наполнители улучшают физико-механические свойства полимолочной кислоты за счет увеличения адгезии между частицами наполнителя и матрицей полимолочной кислоты. Наполнители улучшают ударную вязкость, повышают термостабильность композитов. К сожалению, многие наполнители получают из нефтепродуктов, что впоследствии негативно влияет на экологию и не позволяет создать композит из полностью возобновляемого сырья.

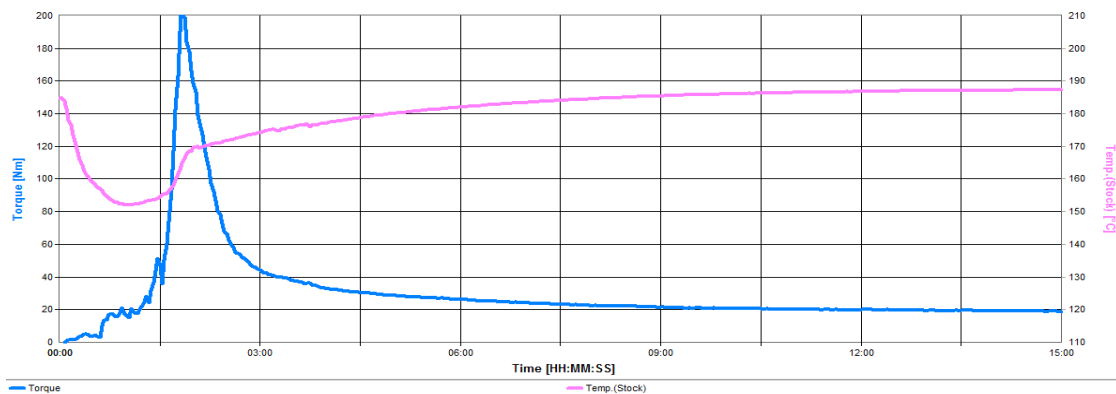
Одно из первых мест в мире в производстве упаковочных материалов сегодня занимают полиолефины, чему в немалой степени способствует их экономическая доступность. В связи с этим большая часть исследований по улучшению физико-механических свойств полимолочной кислоты посвящены композициям с использованием термопластов. В качестве термопластов в работах используют полиэти-

лены, поливинилхлорид, АБС-пластик. Из исследований результаты анализа дифференциально-сканирующей калориметрии показывают, что смеси термопластов и полимолочной кислоты малосовместимы. В связи с этим в работах использовались различные компатибилизаторы, как синтетического, так и природного происхождения, что представляет наибольший интерес. Термопласты улучшают комплекс деформационно-прочностных свойств композитов.

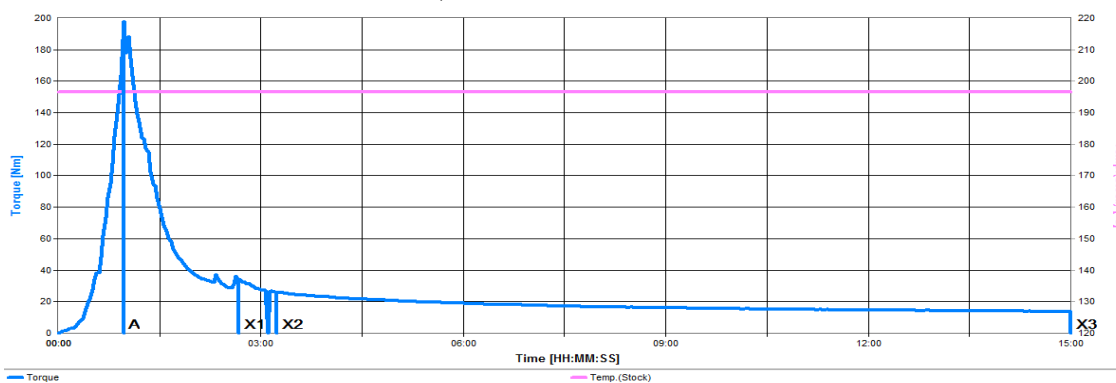
Исследования по улучшению физико-механических свойств полимолочной кислоты путем добавления эластомеров, в основном посвящены натуральному, бутадиен-нитрильному и уретановому каучукам. Так же некоторые исследования посвящены смесям полимолочной кислоты с полибутадиеновым, этилен-пропилен-диеновым, полиизопреновым каучуками, этиленвинилацетатом, полиамидным эластомером. Аналогично с термопластами используются компатибилизаторы. Все каучуки в значительной степени увеличивают ударную вязкость, прочность на разрыв и относительное удлинение полимолочной кислоты. Наибольший интерес исследователей направлен на получение композитов с использованием натурального каучука, так как таким образом можно получить полностью биоразлагаемую композицию.

Как было упомянуто выше, полимолочная кислота обладает низкими технологическими характеристиками – термомеханическое воздействие при переработке приводит к деструкции полимера. Несмотря на большое количество исследований, в научно-технической литературе сведений об изменении такого практически важного показателя как крутящий момент при смешивании немного. Так как для создания композиций происходит в процессе смешения поэтому важно было изучить как будет изменяться крутящий момент в зависимости от температуры и времени смешения полимолочной кислоты. Было исследовано влияние температуры смешения полимолочной кислоты на показатель крутящего момента. Смешение проводили в смесительной камере закрытого роторного смесителя «Brabender» при трех температурах – 180, 190 и 200 °С, и при скорости смешения 60 об/мин в течении 15 минут (рис., а, б, в).

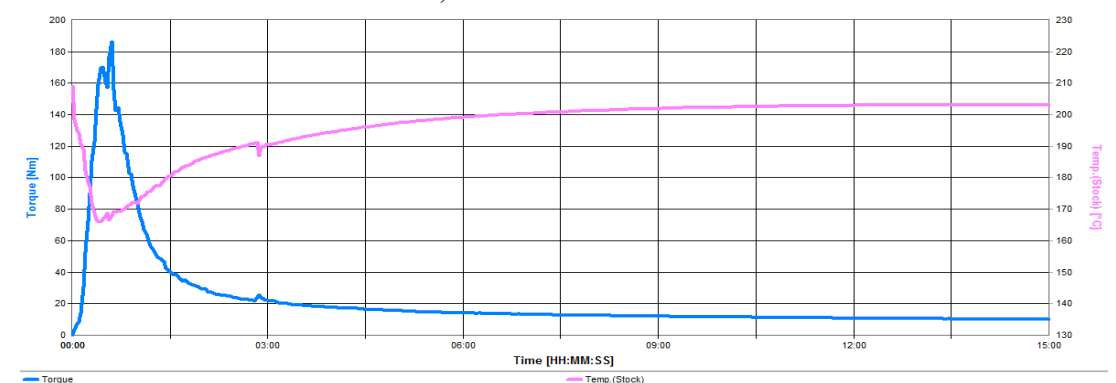
Из зависимости, изображённой на рисунке следует, что с увеличением времени смешения идёт снижение крутящего момента. Также следует отметить, что повышение температуры смешения также приводит к снижению крутящего момента.



а) 180° C, 60 об/мин



б) 190° C, 60 об/мин



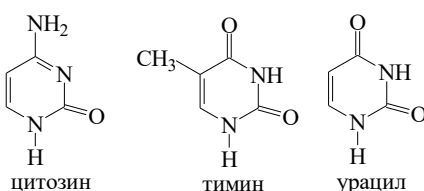
в) 200° C, 60 об/мин

Рисунок – Зависимость крутящего момента (Н·м) от времени смешения полимолочной кислоты

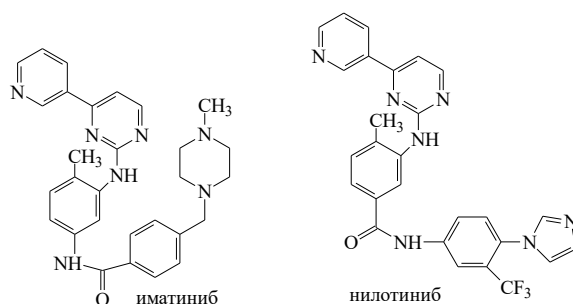
Наблюдаемые изменения свидетельствуют о снижении вязкости композиций в процессе переработки, что предположительно связано с деструкцией полимолочной кислоты. Следует отметить, что снижение идёт более интенсивно с увеличением температуры смешения. Исходя из этого следует сказать, что нужно ограничивать время смешения для того, чтобы не происходило дополнительной деструкции.

СИНТЕЗ БИС-1, 4-(3-НИТРОФЕНИЛ)-6-ФЕНИЛПИРИМИДИН-2-АМИНА

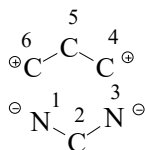
Производные пириимидина широко распространены в живой природе, где участвуют во многих важных биологических процессах. В частности, такие соединения как цитозин, тимин, урацил входят в состав нуклеотидов, являющихся структурными единицами нуклеиновых кислот, пириимидиновый цикл входит в состав молекулы витамина В1, некоторых коферментов и антибиотиков.



Химические соединения, содержащие фрагмент 2-ариламинопириимидина, отличаются высокой селективностью биологического действия и являются действующими веществами многих известных лекарств, обладающих определенным терапевтическим эффектом – антибактериальным, противогрибковым, противоопухолевым [1]. Например, такие синтетические ингибиторы клеточного роста и деления как иматиниб, нилотиниб оказались эффективны в лечении рака, аутоиммунных заболеваний, нарушений метаболизма:



Синтез 2-аминопириимидинов можно осуществить реакцией конденсации бис-электрофилов – соединений, имеющих в структуре цепочку из трех атомов углерода и формирующих углеродный C⁴–C⁵–C⁶ фрагмент, с бинуклеофилами, формирующими N¹–C²–N³ фрагмент пириимидинового цикла [1]:



В качестве бис-электрофилов применяют β -дикарбонильные соединения, α,β -ненасыщенные соединения, содержащие карбонильную, сложноэфирную или нитрильную группы. В качестве бинуклеофильного фрагмента используют мочевины и ее производные, гуанидин.

Цель данной работы осуществить с применением описанного выше подхода синтез функционализированного производного 2-аминопиримидина – бис-1, 4-(3-нитрофенил)-6-фенилпиримидин-2-амин.

Для реализации данного синтеза были получены бис-электрофильная составляющая – 3-нитробензилиденацетофенон (**1**) и бинуклеофил – 3-нитрофенилгуанидин (**2**).

Соединение **1** синтезировали реакцией конденсации 3-нитробензальдегида и ацетофенона (схема 1). В погруженный в баню со льдом стакан емкостью 250 мл, снабженный мешалкой и термометром, помещали раствор 1,9 г NaOH в смеси 9,8 г воды и 10 мл 95%-ного этилового спирта. В щелочной раствор добавляли 2,6 г свежеперегнанного ацетофенона, охлаждали до 5°C и сразу вносили 2,5 г 3-нитробензальдегида. Во время реакции температуру смеси поддерживали строго в интервале 15–30°C при энергичном перемешивании в течение 2 ч. Смесь оставляли на 8 ч. Полученный осадок 3-нитробензилиденацетофенона отфильтровали на воронке Бюхнера, промыли на фильтре 3 мл охлажденного до 0°C этанола и высушивали на воздухе до постоянной массы.

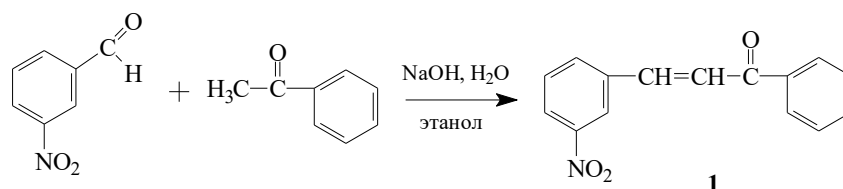


Схема 1

3-Нитрофенилгуанидин **2** получили при кипячении в пропан-2-оле 3-нитроанилина и 50%-ного водного раствора цианамиды в присутствии соляной кислоты с осаждением продукта в виде азотнокислой соли [2] (схема 2).

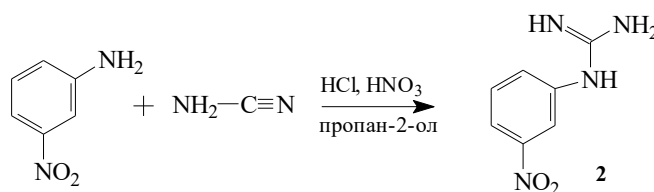


Схема 2

В данной схеме реализуется реакция нуклеофильного присоединения 3-нитроанилина по нитрильной группе цианамида, которую можно рассматривать в качестве эквивалента карбонильной группы.

Целевой продукт **3** был получен реакцией конденсации 3-нитробензилиденацетофенона и 3-нитрофенилгуанидина (схема 3). Реакцию проводили в растворе ДМФА при нагревании до 100-110°C в течение 6ч. Предварительно азотнокислую соль гуанидина обработали эквимольным количеством водного раствора щелочи при 50°C. Контроль протекания реакции проводили методом ТСХ. Реакционную смесь охлаждали до комнатной температуры, добавляли охлажденный пропан-2-ол и оставляли кристаллизоваться на ночь. Выпавший осадок отфильтровали и длительно промывали водой для полного удаления ДМФА. Бис-1,4-(3-нитрофенил)-6-фенилпиримидин-2-амин получен с выходом 72%.

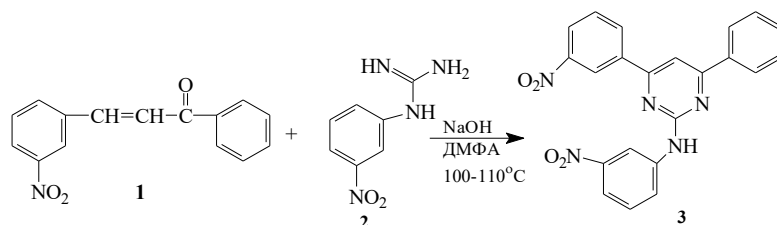


Схема 3

Структура соединения **3** доказана современными физико-химическими методами анализа: ИК и ЯМР спектрами.

Полученное производное пиримидина представляет интерес как возможное потенциальное биологически активное вещество и с другой стороны может быть модифицировано с целью получения новых соединений на его основе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Королева, Е.В. Синтез и применение производных 2-аминопиримидина в качестве ключевых интермедиатов химического синтеза биомолекул / Е. В. Королева, К. Н. Гусак, Ж. В. Игнатович. Успехи химии. 2010. Т. 79, № 8. С. 720–746

2. Королева, Е.В. Замещенные 2-ариаминопиримидины – ключевые соединения в направленном синтезе биомолекул / Е. В. Королева, Ж. В. Игнатович, А. Л. Ермолинская, Ю. В. Синютин, А. В. Барановский, С. А. Махнач. Весці НАН Беларусі. Сер. хім. навук. 2013. № 3. С. 79–86.

Ж. С. Шашок, доц., канд. техн. наук;
Н. Р. Прокопчук, член-корр. НАН Беларуси, проф., д-р хим. наук;
Е. П. Усс, доц, канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
Ю. В. Грабко, нач. технолог. сектора СКГШ ЦЗЛ
(ОАО «Белшина», г. Бобруйск)

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ВУЛКАНИЗАЦИОННОЙ СЕТКИ РЕЗИН НА ОСНОВЕ НАТУРАЛЬНОГО КАУЧУКА С УГЛЕРОДНЫМИ НАНОСТРУКТУРНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Резины на основе натурального каучука обладают высокими значениями прочности и относительного удлинения, что связано с кристаллизацией полимера при деформации. Это явление, которое может рассматриваться как «самоусиливающийся эффект» обычно объясняется однородной микроструктурой натурального каучука (цис-конфигурация макромолекулярных цепей). Наличием кристаллитов, действующих в качестве дополнительных поперечных связей в структуре сети, и их ориентацией в направлении растяжения объясняются высокие механические свойства резин на основе НК [1]. При наполнении каучуков наблюдается постепенное уменьшение высокоэластической деформации ввиду затруднений в изменении конформаций макромолекул под влиянием связей «каучук – наполнитель» и уплотнении упаковки цепей каучука на поверхности технического углерода [2].

Цель работы – определение влияния наноструктурных углеродных добавок на показатели структуры вулканизационной сетки резин на основе натурального каучука (НК).

В работе использовался углеродный наноматериал (УНМ), полученный на предприятии «Перспективные исследования и технологии» (ТУ ВУ690654933.001-2011). Было опробовано три типа наноматериала. Первый (УНМ1) – материал, полученный непосредственно с установки, представляющий собой широкодисперсную смесь углеродных нанотрубок и нановолокон с примесями аморфного углерода, металлов и их окислов. Второй и третий материалы прошли специальную обработку (функционализацию) для прививки кислородсодержащих групп (УНМ2) и аминок групп (УНМ3) с целью увеличения эффективности взаимодействия частиц добавки с эластомерной матрицей. Углеродные наноматериалы вводились в эластомерные композиции в дозировках от 0,1 до 0,5 мас. ч. на 100,0 мас. ч. каучука. Резиновые смеси, содержали в качестве наполнителя высокоактивный технический углерод марки N134 и малоактивный технический углерод марки N772.

Установлено, что в эластомерных композициях на основе непо-

лярного НК с малоактивным техническим углеродом N772 в дозировке 25,0 мас. ч. при введении углеродных наноматериалов вулканизаты, содержащие нанодобавки УНМ1 и УНМ2, характеризуются меньшей плотностью поперечного сшивания (в 1,02–1,06 раза) по сравнению с резиной без нанодобавки. При увеличении дозировки технического углерода N772 до 50,0 мас. ч. резины с наноматериалами как до, так и после теплового старения, имеют большую (до 5,2%) плотность поперечного сшивания по сравнению с резиной без добавки.

В композициях с высокоактивным техническим углеродом N134 в дозировке 25,0 мас. ч. определено, что плотность поперечного сшивания в резине без добавки при воздействии повышенной температуры уменьшилась, а для резин с углеродными наноматериалами увеличилась (в 1,03–1,06 раза). При увеличении содержания высокоактивного технического углерода N134 до 50,0 мас. ч. плотность поперечного сшивания резин, содержащих наноструктурные углеродные материалы, меньше в 1,03–1,08 раза по сравнению с резиной без нанодобавки. При этом в процессе теплового старения резин на основе высоконасыщенного карбоцепного каучука определено значительное увеличение плотности сшивки, которое может быть обусловлено взаимодействием продуктов термоокислительной деструкции с двойными связями макромолекул полимера с образованием дополнительных сшивок, что и приводит к увеличению жесткости системы и потере вулканизатом прочностных и эластических свойств.

Установленный характер изменения свойств резин в зависимости от природы углеродного наноструктурного материала может быть обусловлен тем, что все типы наполнителей оказывают наиболее существенное влияние на свойства резиновой матрицы при низком содержании наполнителя [1], что и позволяет углеродной нанодобавке в большей степени влиять на процессы, протекающие в резине при тепловом старении. Степень сшивания и характер образующихся при вулканизации связей могут быть неодинаковыми в слоях каучука, прилегающих к поверхности наполнителя, и в объеме вулканизата [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Vokobza, L. Natural rubber nanocomposites: a review / L. Vokobza // *Nanomaterials*. – 2019. – Vol. 9, № 1 – P. 1201–1221.
2. Шутилин, Ю. Ф. Физикохимия полимеров / Ю. Ф. Шутилин. – Воронеж : Воронеж. обл. тип., 2012. – 972 с.
3. Жовнер, Н. А. Структура и свойства материалов на основе эластомеров: учебн. пособие / Н. А. Жовнер, Н. В. Чиркова, Г. А. Хлебов. – Омск: Филиал Рос-ЗИТЛП, 2003. – 276 с.

УДК 678.073/.074 (047.31)

Л. А. Ленартович, ст. преп., канд. техн. наук;
Н. Р. Прокопчук, член-корр. НАН Беларуси, проф., д-р хим. наук;
О. М. Касперович, доц., канд. техн. наук;
А. Ф. Петрушеня, ст. преп., канд. техн. наук;
Р. М. Долинская, доц., канд. хим. наук;
Д. Г. Марач, студ. (БГТУ, г. Минск)

ЭФФЕКТЫ АНТАГОНИЗМА И СИНЕРГИЗМА ПРИ СОВМЕСТНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК В КОМПОЗИЦИЯХ ПЭНД

При изучении литературных источников были выявлены факты влияния различных добавок при их совместном введении в полимерную матрицу. Использование комбинаций добавок приводит к изменению деформационно-прочностных свойств, твердости, огнестойкости. В статье [1] показано, что при введении дилаурилтиодипропионата в полипропилен, содержащий госсипол (природный полифенол), происходит ускорение процесса окисления полимера, т.е. проявляется эффект антагонизма. Антагонизм имеет место при совместном использовании HALS с галогенсодержащими антипиренами. Вредное влияние бромсодержащих антипиренов на УФ-стабильность полимера обусловлено инактивацией стабилизатора бромистоводородной кислотой за счет образования пиперидиновой соли [2].

Целью данной работы было изучение совместного влияния различных функциональных добавок на изменение свойств композиций на основе ПЭНД под влиянием повышенной температуры. В ходе исследований определено изменение деформационно-прочностных свойств композиций, плотность и твердость по Шору Д, а также расчетные значения энергии активации термоокислительной деструкции. Для защиты композиций от термоокислительной деструкции применяли фенольный антиоксидант Hostanox O3. Также в работе были использованы следующие функциональные добавки: суперконцентрат мелонаполненный EFPP 1001 E-Filler, суперконцентрат гранулированный тальконаполненный ADDITIVE 13169, антистатические добавки Cromex AE 50025 и ПОАЭ 23, скользящая добавка ADDITIVE DL 5644, антиблокирующая добавка AB 50035. Образцы, полученные методом литья под давлением, испытывали до и после старения на растяжение, определяли плотность и твердость по Шору Д, а также рассчитывали энергию активации термоокислительной деструкции. Образцы подвергали ускоренному старению в воздушной среде при температуре 100°C.

Установлено, что после старения в течение 600 ч для чистого ПЭНД значения относительного удлинения составляют 105,2%. Для нестабилизированной композиции ПЭНД + ПОАЭ 23 значение относительного удлинения после старения при 100°C в течение 600 ч равно 95,4%, что свидетельствует о протекании деструктивных процессов. Использование стабилизатора Hostanox в концентрации 0,3% масс. совместно с антистатической добавкой ПОАЭ 23 приводит к повышению устойчивости к тепловому старению, значение ϵ для этой композиции составляет 115,1%, что свидетельствует о выраженном стабилизирующем синергическом эффекте. Обратный эффект был обнаружен при совместном использовании стабилизатора с мелосодержащей добавкой EFPP 1001, а также с талькосодержащей добавкой ADDITIVE 13169. При введении в ПЭНД меловую добавку в количестве 10% масс. после 600 ч старения происходит некоторое закономерное снижение относительного удлинения при разрыве до 92,77%. При введении в данную композицию дополнительно стабилизатора Hostanox значение ϵ снижается до 60,22%, что на 42% ниже, чем для чистого ПЭНД. Аналогичный эффект наблюдается и для композиций с ADDITIVE 13169, в этом случае по сравнению с чистым ПЭНД показатель снижается на 78%. Полученные данные подтверждаются рассчитанными значениями энергии активации термоокислительной деструкции. Так, для композиции ПЭНД+EFPP 1001 значение энергии активации составляет 70,09 кДж/моль, дополнительное введение в композицию стабилизирующей добавки приводит к снижению энергии активации до 45,17 кДж/моль.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о совместном влиянии функциональных добавок в композициях на основе ПЭНД. При этом наблюдается как положительное влияние, выражающееся в повышении свойств композиции, так и обратное. Полученные данные свидетельствуют о необходимости научно обоснованного подхода к выбору компонентов полимерных композиций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Malik, J. Новые системы стабилизаторов в полиолефиновых водопроводных трубах / J. Malik, M. Sidgi // Пластические массы. 2006. № 10. С. 36-39.
2. Екимов, А.И. Некоторые аспекты антагонизма компонентов в термопластичных полимерных материалах / А.И. Екимов, И.А. Айзинсон, О.Б. Кулачинская // Полимерные материалы, 2007. № 9. С. 6-11.

Ю. А. Степанович, ассист.;
А. О. Шрубок, доцент, канд. техн. наук;
А. И. Юсевич, зав. каф., канд. хим. наук
(БГТУ, г. Минск)

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ПОЛИМЕРНО-БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Для получения износостойких дорожных строительных материалов с увеличенным сроком эксплуатации все чаще находят применение модифицированные битумные вяжущие, полученные смешением нефтяного битума и различных полимеров. При введении последних в битум изменяется его дисперсная структура, образуется непрерывная фаза полимера в объеме битума, что приводит к значительному изменению эксплуатационных показателей вяжущего: наблюдается увеличение интервала пластичности, прочностных характеристик, снижение температуры хрупкости и т. д. При этом, к полимерно-битумным материалам предъявляется целый ряд требований: смешиваемые компоненты должны обладать хорошей совместимостью, получаемые вяжущие должны быть однородны и иметь комплекс заданных эксплуатационных характеристик [1].

В современных условиях жесткой конкуренции на рынке и возрастающих требований по качеству дорожных материалов получение качественных полимерно-битумных вяжущих невозможно без использования дополнительных компонентов при их производстве (пластификаторов, поверхностно-активных веществ и т.д.). Однако использование дорогостоящих полимеров, пластификаторов и других модификаторов значительно удорожает стоимость полимерно-битумного вяжущего и может быть экономически невыгодным.

В связи с этим, одной из важных задач в технологии производства качественных полимерно-битумных вяжущих является оптимизация его состава. С одной стороны, полимерно-битумные материалы представляют собой многокомпонентную систему, состоящую из нефтяного битума, полимерного компонента, пластификатора и других добавок, а с другой, возникает необходимость иметь зависимости эксплуатационных свойств многокомпонентного материала от состава в широком диапазоне изменения всех компонентов, что в совокупности значительно усложняет прогнозирование свойств готового вяжущего.

Целью данной работы являлась оптимизация составов трехкомпонентных полимерно-битумных вяжущих и установления законо-

мерностей изменения их основных эксплуатационных характеристик от содержания каждого из компонентов.

Для выявления оптимальных свойств многокомпонентных систем хорошо зарекомендовал себя симплекс-решетчатый метод планирования эксперимента, предложенный Шеффе. При таком планировании экспериментальные точки равномерно располагаются в узлах $\{q, n\}$ -решетки, накладываемой на симплекс, где q – число компонентов смеси, n – степень полинома [2]. Поскольку количество вводимых модификаторов в нефтяной битум ограничено экономической и технологической целесообразностью, исследование зависимости эксплуатационных характеристик от состава проводили в заданной локальной области симплекса, а планирование эксперимента осуществляли в системе координат псевдокомпонентов. В качестве компонентов полимерно-битумного вяжущего использовали нефтяной битум марки БНД 70/100 и следующие модификаторы: термоэластопласт (СБС) в количестве 1–6 мас. % и нефтеполимерную смолы – 1–20 мас. %. Для подбора оптимальных составов полимерно-битумных вяжущих был разработан план эксперимента, представляющий собой 2-мерный симплекс с десятью точками для расчета коэффициентов регрессии полинома третьего порядка. По матрице планирования на первом этапе проводились опыты в десяти точках матрицы. В каждой точке плана было реализовано по два параллельных опыта. В качестве выходных параметров откликов были приняты стандартные эксплуатационные показатели битумов: температура размягчения, пенетрация при 25°C, температура хрупкости по Фраасу.

Были получены диаграммы «состав–свойства» и уравнения регрессии третьего порядка, отражающие зависимость эксплуатационных характеристик полимерно-битумных вяжущих от содержания компонентов – полимерного модификатора и нефтеполимерной смолы. Установленные закономерности позволяют прогнозировать качество и разрабатывать составы полимерно-битумных вяжущих с заданным комплексом эксплуатационных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Полимерно-битумные вяжущие материалы на основе СБС для дорожного строительства. Обзорная информация / Л. М. Гохман [и др.]. – М.: Информавтодор, 2002. – 112 с.

2. Зедгенидзе, И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И. Г. Зедгенидзе. – М.: Наука, 1976. – 390 с.

**ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК N-МЕТИЛПИРРОЛИДОНА
НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ**

Долговечность асфальтобетонного дорожного покрытия определяется качественными показателями используемого битумного вяжущего. Однако используемые в Республике Беларусь битумы, получаемые окислением нефтяных остатков, характеризуются высокой пластичностью, но низкой эластичностью, что негативно сказывается на длительности бездефектного периода службы дорожных покрытий. С целью улучшения качественных характеристик битумных вяжущих и расширения их интервала работоспособности в них рекомендуется вводить различного вида модификаторы (полимеры, концентраты определенных недостающих групповых химических компонентов, пластификаторы, адгезионные добавки и т.п.) [1]. При этом получение качественного битумного вяжущего требует использования различных пластифицирующих и адгезионных добавок, позволяющих улучшить пластичные и низкотемпературные свойства битумного вяжущего, его сцепление с минеральными наполнителями. Для улучшения адгезионных свойств битумов в основном используются азотсодержащие добавки (амины, соли алифатических и ароматических аминов и др.). Такие добавки часто являются малотоксичными веществами и способны улучшить адгезию вяжущего, как к кислым, так и к основным материалам в составе асфальтобетонной смеси.

В связи с вышеизложенным, представляло интерес изучить возможность использования в качестве модифицирующей добавки промышленного растворителя N-метилпирролидона, который обладает высокими эмульгирующими свойствами, растворяющей способностью и малой токсичностью. Введение добавки в нефтяной битум осуществляли при температуре 80–100°C при интенсивном перемешивании в течение 0,5–2 часов. Для полученных вяжущих определялись следующие показатели: температура размягчения, пенетрация, температура хрупкости, структурно-групповой состав и сцепление битума с минеральным наполнителем (мрамором).

На рис. показано влияние добавки N-метилпирролидона на основные эксплуатационные свойства битумных вяжущих: температуру размягчения и пенетрацию.

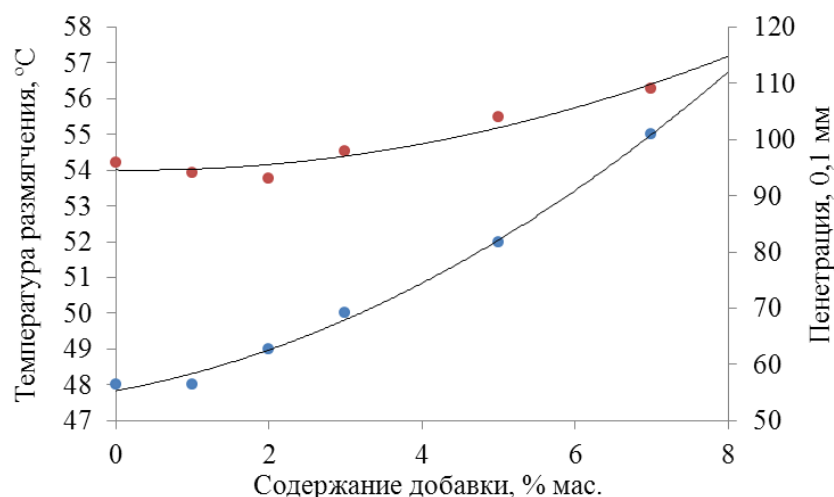


Рисунок – Влияние добавок N-метилпирролидона на температуру размягчения и пенетрацию битума

Наблюдаемое увеличение температуры размягчения при введении N-метилпирролидона в нефтяной битум связано с возрастанием соотношения асфальтенов к насыщенным углеводородам за счет протекания реакций окисления углеводородов. Согласно [2], N-метилпирролидон способен катализировать процессы окисления нефтяного сырья и приводить к ускоренному образованию смол и асфальтенов.

Исследование адгезионных свойств битумных вяжущих осуществляли по ГОСТ 11508. Установлено, что все образцы при испытании их на сцепления с мрамором соответствуют контрольному образцу № 1.

Таким образом, добавка N-метилпирролидона в битум интенсифицирует процессы окисления углеводородов при низких температурах (80–100°С), что может приводить к более быстрому термоокислительному старению битума, при этом полученные вяжущие характеризуются высокими адгезионными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуреев, А. А. Нефтяные вяжущие материалы / А. А. Гуреев. – М. : Издательский дом «Недра», 2018. – 239 с.
2. Цамаева, П. С. Интенсификация процесса окисления в присутствии азотсодержащей добавки / П. С. Цамаева, Н. А. Страхова // Вестник АГТУ. – 2005. – № 6 (29). – С. 126–129.

ЭКСТРАКЦИОННАЯ ОЧИСТКА МАСЛЯНЫХ ФРАКЦИЙ СМЕСЬЮ N-МЕТИЛПИРРОЛИДОН+ТРИЭТИЛЕНГЛИКОЛЬ

Получение товарных масел из нефтяного сырья представляет собой многостадийный процесс, в основе которого лежат физические и физико-химические способы очистки масляных дистиллятов и гудронов.

Несмотря на широкое внедрение гидрогенизационных процессов (гидроочистки, гидрокрекинга) в технологию производства минеральных масел, традиционные процессы селективной очистки масляных фракций нефти с применением полярных растворителей (фенола, фурфурола, N-метилпирролидона) не только продолжают функционировать на нефтеперерабатывающих заводах, но и совершенствуются в основном за счет применения эффективных экстрагентов.

Цель данной работы состояла в разработке способа интенсификации стадии очистки масляных фракций нефти от низкоиндексных компонентов N-метилпирролидоном.

Одним из доступных способов интенсификации процесса жидкостной экстракции является использование в качестве разделяющего агента смешанного растворителя [1]. Чтобы снизить потери масла в процессе селективной очистки к промышленному экстрагенту N-метилпирролидону добавляли триэтиленгликоль, который обладает большей избирательностью по отношению к ароматическим углеводородам [2]. Основные физико-химические свойства растворителей приведены в таблице 1. Триэтиленгликоль вводили в базовый экстрагент в количестве 10 мас. %.

Таблица 1 – Основные свойства растворителей

Показатель	N- метилпирролидон	Триэтиленгликоль
Плотность, ρ^{20}	1.027	1.1200
Показатель преломления, n_D^{20}	1.4706	1.4550
Температура кипения, °С	204	285
Теплота испарения при 20 °С, кДж/моль	493.1	62.60

Эффективность действия смеси N-МП + ТЭГ оценивали по данным селективной очистки вакуумного дистиллята ВД-3, свойства которого представлены в таблице 2. Экстракцию проводили при 50 °С, при кратность растворитель:сырье 2:1 (м.ч.), согласно [3].

Таблица 2 - Основные свойства вакуумного дистиллята

Показатель	ВД-3
Фракционный состав:	
– температура выкипания 5%, °С	не менее 430
– температура выкипания 95%, °С	не более 510
Показатель преломления, n_D^{50}	1,5060
Вязкость μ , (мм ² /с), при 100 °С	10,0
Структурно-групповой анализ методом ИК-спектрометрии:	
– $C_2=D_{860}/D_{1460}$ – условное содержание полициклических ароматических структур	0,09
– $C_3=D_{810}/D_{1460}$ – условное содержание полизамещенных моно- и бициклических ароматических структур	0,12
– $C_4=(D_{860}+ D_{810})/D_{1460}$ – условное содержание полициклических ароматических и полизамещенных моно- и бициклических ароматических структур	0,21
– $C_5=(D_{860}+ D_{810})/D_{1600}$ – условное отношение полициклических ароматических и полизамещенных моно- и бициклических ароматических структур к общему содержанию ароматических структур	8,40

В таблице 3 приведены показатели селективной очистки ВД-3 N-МП и N-МП, содержащим соэкстрагент.

Таблица 3 - Показатели селективной очистки

Показатель:	Растворитель	
	N-МП	N-МП + 10 мас. % ТЭГ
1	2	3
Рафинат:		
– выход, мас. %	66,3	75,8
– показатель преломления, n_D^{50}	1,4840	1,4925
– анилиновая точка, °С	70	65
– структурно-групповой анализ методом ИК-спектрометрии:		
– $C_1=D_{1600}/D_{1460}$ – условное содержание ароматических структур	0,04	0,05
– $C_2=D_{860}/D_{1460}$ – условное содержание полициклических ароматических структур	0,05	0,06
– $C_3=D_{810}/D_{1460}$ – условное содержание полизамещенных моно- и бициклических ароматических структур	0,07	0,08
– $C_4=(D_{860}+ D_{810})/D_{1460}$ – условное содержание полициклических ароматических и полизамещенных моно- и бициклических ароматических структур	0,13	0,14

Продолжение таблицы 3

1	2	3
– $C_5=(D_{860}+ D_{810})/D_{1600}$ – условное отношение полициклических ароматических и полизамещенных моно- и бициклических ароматических структур к общему содержанию ароматических структур	2,56	2,64
Экстракт:		
– показатель преломления, n_D^{50}	1,5545	1,5640
– структурно-групповой анализ методом ИК-спектроскопии:		
– $C_1=D_{1600}/D_{1460}$ – условное содержание ароматических структур	0,19	0,24
– $C_2=D_{860}/D_{1460}$ – условное содержание полициклических ароматических структур	0,20	0,24
– $C_3=D_{810}/D_{1460}$ – условное содержание полизамещенных моно- и бициклических ароматических структур	0,29	0,33
– $C_4=(D_{860}+ D_{810})/D_{1460}$ – условное содержание полициклических ароматических и полизамещенных моно- и бициклических ароматических структур	0,49	0,57
– $C_5=(D_{860}+ D_{810})/D_{1600}$ – условное отношение полициклических ароматических и полизамещенных моно- и бициклических ароматических структур к общему содержанию ароматических структур	2,55	2,39
Селективность, $S=n_D^{50}$ эк. – n_D^{50} р.	0,0705	0,0715

Согласно данным, представленным в таблице 3, введение добавки триэтиленгликоля позволяет увеличить выход рафината на 9,5 мас. % и показатель преломления, понизить анилиновую точку масла, в масле возрастает доля ароматических структур. Селективность очистки рафината возрастает на 1,4 %. Спектроскопическое исследование рафинатов и экстрактов подтверждает полученные результаты, т. к. новый растворитель позволяет больше извлечь в рафинат ароматических структур как полизамещенных моно- и бициклических, так и полициклических ароматических.

Таким образом, предложенный растворитель N-МП, содержащий 10 мас. % ТЭГ обеспечивает более селективное выделение низкоиндексных компонентов из вакуумного дистиллята ВД-3, так как показатель селективности S возрастает на 1,4 %. Этому эффекту сопутствует увеличение выхода рафината на 9,5 %. Кроме этого для экстрактов повышаются показатели $C_1 - C_5$, т.е. увеличивается содержание полициклических ароматических структур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черножуков, Н. И. Технология переработки нефти и газа. Ч. 3. / Н.И. Черножуков. – М.: Химия, 1978. – 360 с.

2. Грушова Е. И., Химическая технология мономеров в производстве органических продуктов: учебное пособие. / Е.И. Грушова – Мн.: БГТУ, 2003 – 275 с.

3. Влияние природы сырья на эффективность селективной очистки масляных фракция N-метилпирролидоном, содержащим со-экстрагент. / Е. И. Грушова [и др.] // Труды БГТУ Сер. IV, Химия и технология орган. в-в 2006. Вып. XIV. С. 39–41.

УДК 665.637.7

Е. И. Грушова, проф., д-р. техн. наук; О. В. Карпенко, асп.
(БГТУ, г. Минск)

ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕФТЯНОГО ТВЕРДОГО ПАРАФИНА МЕТОДОМ СТАТИЧЕСКОЙ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ ИЗ СЫРЬЯ РАЗНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Наиболее универсальными методами выделения твердых парафинов из гача, полученного при депарафинизации рафинатов селективной очистки масляных фракций и содержащего значительное количество масла, являются методы кристаллизации с применением избирательных растворителей.

Выделение твердых парафинов методом статической кристаллизации не ново, однако, в настоящее время становится очень актуальным в связи с тем, что обеспечивает снижение энергетических и материальных затрат, не требует применения в технологии полярных растворителей, отсутствуют дорогостоящие узлы фильтрации и центрифугирования продукта, экологически безопасно [1, 2].

Вместе с тем, обезмасливание таким способом подвергают только маловязкие гачи с содержанием масла до 10% мас. Поэтому с целью установления влияния состава исходного сырья на выход и качество готового продукта, эффективного ведения процесса на лабораторной установке были проведены опыты по обезмасливанию гачей производства ОАО «Нафтан» (РБ), «Омский завод смазочных материалов» – филиал ООО «Газпромнефть-СМ» (РФ), ООО «Новокуйбышевский завод масел и присадок» (РФ), ОАО «Ангарская нефтехимическая компания» (РФ), парафина нефтяного спичечного НС производства ООО «Лукойл-Пермнефтеоргсинтез» (РФ), ООО «Новокуйбышевский завод масел и присадок» (РФ).

Сырьё для процесса обезмасливания и полученный нефтяной твердый парафин были проанализированы по следующим физико-химическим показателям: температура плавления, вязкость кинемати-

ческая при 100°C, содержание масла, углеводородный состав.

Основные физико-химические показатели углеводородного сырья для установки получения парафина методом статической кристаллизации приведены в таблице 1.

Как видно из представленной в таблице 1 информации, физико-химические показатели углеводородного сырья в зависимости от месторождения исходной нефти и технологической схемы ее переработки на разных нефтеперерабатывающих заводах существенно отличаются.

Основные технологические параметры и физико-химические показатели полученного нефтяного твердого парафина приведены в таблице 2.

Таблица 1 - Основные физико-химические показатели углеводородного сырья

Номер образца сырья	Температура плавления, °С	Массовая доля масла, %	Вязкость кинематическая при 100°C, сСт	Содержание n/iso углеводородов, %	Содержание УВ С35+, %
Образец 1	51-53	5-9	4,2-4,7	40/60	14-20
Образец 2	50-54	10-12	4,0-4,2	60/40	8-15
Образец 3	50-54	10-12	4,0-4,5	50/50	3-5
Образец 4	54-56	4-7	4,4-4,6	55/45	13-18
Образец 5	51-53	3-4	3,3-4,0	70/30	менее 1
Образец 6	57-58	2-3	4,3-4,6	45/55	13-17
Образец 7	58-59	3-4	5,0-5,2	45/55	28-30
Образец 8	55-56	5-8	4,4-4,7	50/50	14-16

Таблица 2 - Основные физико-химические показатели нефтяного твердого парафина

Номер образца парафина	Количество стадий для получения парафина	Выход парафина, %	Температура плавления парафина, °С	Массовая доля масла, %	Содержание n/iso углеводородов, %
Образец 1	2	30-50	59-61	0,8-1,8	60/40
Образец 2	2	50-55	57-58	0,8-1,8	75/25
Образец 3	2	50-55	58-60	0,8-1,8	65/35
Образец 4	1	60-65	58-59	0,8-1,8	70/30
Образец 5	1	65-70	53-55	0,4-0,8	75/25
Образец 6	1	45-50	59-60	0,8-1,8	65/35
Образец 7	2	30-50	62-64	1,2-1,8	55/45
Образец 8	1	50-55	58-60	1,2-1,8	60/40

Как видно из представленных данных, от качества исходного сырья существенно зависит количество и качество конечного продукта – нефтяного твердого парафина. Полученные результаты позволили определить основные параметры углеводородного сырья, которые позволяют оптимально использовать данную технологию для получе-

ния продукта заданного качества. Таким образом, обезмасливанию методом статической кристаллизации следует подвергать углеводородное сырье с содержанием масла до 10% мас. и не более 20% мас. углеводородов выше С35 нормального и изостроения. На процесс обезмасливания также влияет соотношение углеводородов нормального и изостроения – процесс протекает быстрее и с лучшим выходом целевого продукта при переработке сырья с большим содержанием углеводородов нормального строения.

Полученные результаты необходимы для определения условий, обеспечивающих эффективное ведение процесса выделения парафинов из нефтяного сырья методом статической кристаллизации, и решения проблем, обусловленных переработкой высоковязких гачей.

ЛИТЕРАТУРА

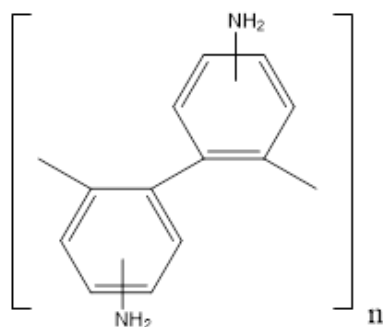
1. Казакова Л.П. Твердые углеводороды нефти. – М.: Химия, 1986. – 176 с.
2. Карпенко, О.В. Интенсификация процесса выделения твердого парафина из нефтяного сырья методом статической кристаллизации / О.В. Карпенко, Е.И. Грушова // Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2016. – №4 (186) – С. 54–58.

УДК 678.074

Э. Т. Крутько, проф., д-р. техн. наук;
Н. А. Коваленко, доц., канд. хим. наук;
Г. Н. Супиченко, ст. преп., канд. хим. наук;
В. В. Боброва, асп. (БГТУ, г. Минск);
Л. Б. Якимцова, доц., канд. хим. наук (БГУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКОГО ТИТРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АМИНОГРУПП В ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОЛИГОМЕРАХ

Олигоаминофенилены синтезировали следующим образом: в колбу, снабженную мешалкой, термометром, обратным холодильником, загружали перекристаллизованный мета- или парафенилендиамин и катализатор (пара-толуолсульфокислота). Реакционную смесь нагревали при 250 °С в течение 8–10 часов в токе очищенного и осушенного азота. Полученный продукт очищали от мономера экстракцией изопропанолом в аппарате Сокслета. Получали олигомерный продукт с выходом 55–60 %, имеющий следующую структурную формулу:



Строение полученных продуктов доказывали методами элементного анализа, ИК-спектроскопии. В ИК-спектрах синтезированных олигомеров, наблюдаются полосы поглощения в области 3030, 1605, 1465 см^{-1} , которые относятся к валентным колебаниям С-Н и колебаниям связей углеродного скелета ароматических циклов, что полностью подтверждает ароматическую природу олигоаминофениленов [1]. Наличие полос поглощения в области 3330 и 3210 см^{-1} подтверждает присутствие в олигомерах первичных аминогрупп [2].

Количество аминогрупп определяли потенциометрическим титрованием раствора олигомер 0,1 нормальным раствором хлорной кислоты, а также по значениям кислотных чисел, соответствующих амидокислот, получаемых при взаимодействии олигоаминофенилена с ангидридами циклических ненасыщенных дикарбоновых кислот. Определение количества аминогрупп проводили по методу, применяемому для анализа мономерных, модельных и полимерных соединений ряда бензимидазола [3], и заключалось в титровании аминогрупп раствором хлорной кислоты в метилэтилкетоне. Выбор указанного растворителя обусловлен тем, что другие растворители (уксусная, муравьиная, пропионовая) кислоты оказывают нивелирующее действие на основания и не позволяют провести дифференцированное определение смесей основных соединений в их среде, в то время как раствор хлорной кислоты в метилэтилкетоне обеспечивает отдельное потенциометрическое титрование смесей органических оснований, в том числе смесей изомерных о-, м- и п-изомеров фенилендиаминов друг с другом и с моноаминами.

Экспериментально определение содержания аминогрупп в олигоаминофенилене проводили на лабораторном иономере И-130М со стеклянно-каломельной системой электродов. Титр раствора хлорной кислоты устанавливали визуально по бифталату калия в присутствии индикатора кристаллического фиолетового. В стаканчик емкостью 50 мл помещали навеску олигоаминофенилена около 0,025 г., приливали 12,5 мл ДМФА и перемешивали с помощью магнитной мешалки до полного растворения олигоаминофенилена, затем добавляли 12,5 мл

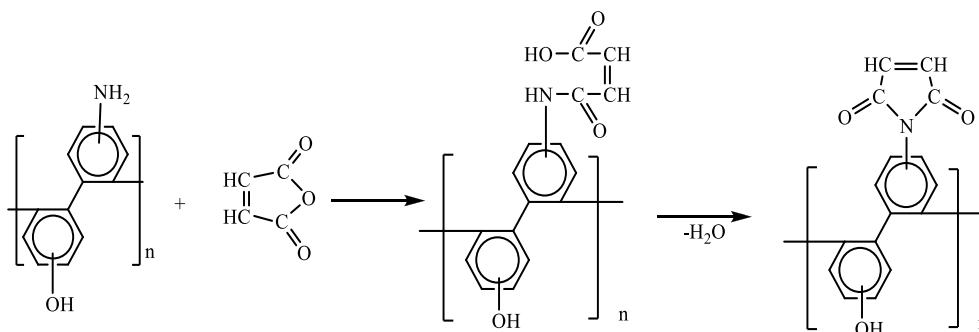
метилэтилкетона. Бюретку заполняли титрующим раствором и закрывали верхнее и боковое отверстия хлоркальциевыми трубками. Перед титрованием электроды омывали дистиллированной водой, ополаскивали этанолом, осушали фильтровальной бумагой и опускали в раствор олигоаминофенилена. Титрованный раствор хлорной кислоты добавляли при перемешивании в стаканчик с раствором по 0,1 мл, а вблизи точки эквивалентности по 0.02–0.05 мл. Титрование продолжали до установления постоянного потенциала. Параллельно проводили контрольный опыт. Погрешность определения содержания аминогрупп составляла 3 %. Полученная кривая титрования в проведенных нами экспериментах характеризовалась двумя перегибами, которые соответствуют раздельной нейтрализации двух типов аминогрупп в синтезированном олигомере. Второй перегиб был выражен менее отчетливо. Возможно, это связано с природой олигомера, представляющего собой смесь индивидуальных соединений. По расчету количества хлорной кислоты, пошедшей на титрование общего числа аминогрупп в синтезированных соединениях, при расчете их на молекулярную массу олигомера, полученную в результате криоскопических определений, количество аминогрупп соответствовало четырем в молекуле олиго-аминофенилена (в выше представленной формуле олигомера $n=2$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Паушкин Я. М., Омаров О. Ю., Левашова В. И. О высокотемпературных превращениях ароматических диаминов в присутствии п-толуол-сульфокислоты // Докл. АН БССР. – 1972. – Т.16. №2. – С.132–134.
2. Исследование распада и ресинтеза полиамидокислот в твердой фазе / М. И. Цаповецкий, Л. А. Лайус, Т. И. Жукова и др. // Высокомолек. соед. А. – 1988. –Т.30, №2. – С. 328–333.
3. Крешков А. П., Быкова Н. Л., Шемет Н. Ш. Потенциометрический метод определения дифференцированного титрования органических оснований в среде метилэтилкетона // Докл. АН СССР. – 1960. – Т.134, № 1. –С. 96–99.

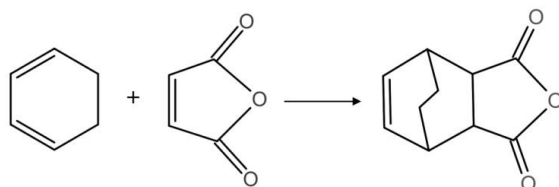
ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА И СВОЙСТВ ЦИКЛОАЛИФАТИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДНЫХ ОЛИГОГИДРОКСИАМИНОФЕНИЛЕНА

В последние годы весьма перспективным направлением модифицирования промышленно-производимых полимеров с целью улучшения их эксплуатационных свойств является использование полиимидных смол в качестве модифицирующих реагентов. В этой связи нами была поставлена задача синтезировать на основе олигоаминофенилена, малеинового ангидрида, ангидрида бициклоктен- и бициклогептендикарбоновых кислот соответствующие циклоалифатические производные. Для этого осуществляли синтез олигогидроксиаминофенилена путем конденсации в расплаве пара-аминофенола в присутствии катализатора с последующим взаимодействием его с циклоалифатическими (малеиновым, бициклооктен- и бициклогептен-) ангидридами кислот с последующей химической имидизацией образовавшейся олигоамидокислоты на примере синтеза малеимидогидроксифенилена по схеме:



Олигоаминофенилен растворяли в диметилформамиде до получения 10 %-ного раствора. Затем в колбу при перемешивании и охлаждении на водяной бане прибавляли малеиновый ангидрид, ангидрид бициклооктен- или бициклогептен дикарбоновой кислоты реакцию проводили в течение 2 ч. К образовавшемуся раствору приливали имидизирующую смесь, состоящую из уксусного ангидрида (70 мас. %), ацетата цинка (20 мас. %) и бензимидазола (10 мас. %). Продолжительность имидизации при комнатной температуре составляла 10–12 ч. По завершении имидизации реакционную смесь осаждали в дистиллированной воде и многократно промывали, затем отфильтровывали и сушили в вакууме при температуре 100 °С.

Синтез ангидрида бицикло(2,2,2)-окт-5-ен-2,3 дикарбоновой кислоты (АБОК) осуществляли конденсацией циклогексадиена – 1,3 с малеиновым ангидридом по реакции Дильса-Альдера. Реакция проводилась следующим образом: в реактор, снабженный мешалкой, обратным холодильником, капельной воронкой вводили расчетное количество малеинового ангидрида, растворенного в 300 мл свежеперегнанного бензола. Затем медленно по каплям прибавляли из капельной воронки циклогексадиен (60 мл). Температуру реакционной среды поддерживали при 40 ± 1 °С. После окончания синтеза раствор охлаждали, образовавшиеся кристаллы ангидрида бицикло(2,2,2)-окт-5-ен-2,3 дикарбоновой кислоты отфильтровывали, а затем перекристаллизовывали из смеси бензол: петролейный эфир (1:1), получали 60 г (58%) АБОК с $T_{пл.}$ 147–149 °С.



Для увеличения выхода АБОК нами исследована возможность использования ряда других растворителей для синтеза (толуол, гексан, дибутиловый эфир фталевой кислоты). Из них наиболее эффективным оказался дибутиловый эфир фталевой кислоты. Выход целевого продукта при его использовании составил 68 %, что на 10 % выше, чем при применении бензола, толуола, гексана, причем значительно сократилась продолжительность синтеза при 60 °С (с 60 мин до 30 мин). Ангидрид бициклопентен дикарбоновой кислоты (АБК) синтезировали аналогичным образом путем конденсации циклопентадиена с малеиновым ангидридом.

Химическое строение синтезированных соединений подтверждено методами ЭПР, ПМР-, ИК-спектроскопии, элементного анализа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щербина А. Э., Матусевич Л. Г., Сенько И. В., Звонак А. М. Органическая химия. Реакционная способность основных классов органических соединений. Учебное пособие для студентов химико-технологических специальностей. – Мн.: БГТУ, 2000. – 624 с.

Э. Т. Крутько, проф., д-р. техн. наук;
К. В. Вишнеvский, директор РНПЦ НХПиП, канд. техн. наук;
В. В. Боброва, асп. (БГТУ, г. Минск);
В. А. Струк, проф., д-р. техн. наук
(ГрГУ им. Я. Купалы, г. Гродно)

КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ИМИДОСОДЕРЖАЩЕГО ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА ДЛЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

При получении изделий из композиционных триботехнических материалов на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) с суммарным содержанием наполнителей и модификаторов более 5 мас. % для достижения повышенных параметров деформационно-прочностных и триботехнических характеристик необходимо применять специальные методы, повышающие адгезионное взаимодействие на границе раздела «ПТФЭ-наполнитель».

Известен композиционный триботехнический материал на основе ПТФЭ, содержащий армирующий углеродный наполнитель – фрагменты углеродного волокна (УВ) с размером 50–150 мкм и сухую смазку – графит. Преимуществом этого материала перед аналогами является минимальное абразивное действие наполнителя на сопряженное металлическое контртелo, что позволяет использовать изделия из него в узлах трения, вал которых выполнен из незакаленных углеродистых или легированных сталей, а также из цветных металлов (Ti, Al) и сплавов на их основе (латуни, бронзы). Вместе с тем, этому материалу присущ ряд недостатков, важнейшими из которых являются:

- невысокая прочность при растяжении, составляющая 17–20 МПа, что существенно ниже, чем исходная прочность ПТФЭ (30–32 МПа);
- сложная технология получения наполнителя, которая включает операцию графитизации волокна и трехстадийное измельчение полуфабриката со значительными затратами электроэнергии.

В данной работе предложен композиционный триботехнический материал на основе ПТФЭ с повышенными параметрами деформационно-прочностных и триботехнических характеристик, обладающий простой технологией получения и переработки. Отличие технологии его получения от известных аналогов заключается в том, что в качестве углеродсодержащего армирующего наполнителя используются продукты термоокислительной деструкции олигомеров, выбранных из группы: олигомалеамидокислоты аминoфенилена, аминoгидроксифенилена, олигоаминoфенилен, тетраамалеина-мидокислота дифе-

нилоксида, N,N',4,4'-бис-малеамидокислоты ряда ароматических диаминов, полученные при температуре 350–380 °С в течение 8–20 ч при следующем соотношении компонентов, мас. %:

- олигоамидокислоты: 0,1–20,0;
- сухая смазка: 0,1–10,0;
- политетрафторэтилен: остальное.

Обнаружено, что армирующий эффект от введения продуктов термоокислительной деструкции олигоамидокислот существенно выше чем при использовании углеродных частиц, полученных по другим технологиям, т.к. частицы этих продуктов не уступают по прочности другим наполнителям, а по активности в процессах взаимодействия с матрицей – значительно их превосходят. Кроме того, форма и размеры исходных частиц олигоамидокислот и, соответственно, частиц продуктов их термоокислительной деструкции близки к форме и размерам частиц ПТФЭ. Поэтому в процессе смешивания компонентов в лопастных смесителях могут формироваться составы более высокой гомогенности без образования кластерных структур наполнителя, которые представляют собой дефекты, снижающие параметры прочности композита.

После смешения ПТФЭ с наполнителем получали образцы холодным прессованием с последующим спеканием в печи с температурой 350–380 °С в течение 8–20 ч (в зависимости от размеров заготовки). Установлено, что при этом происходит термоокислительная деструкция дисперсных частиц олигомеров, которая приводит к образованию углеродсодержащего продукта со сшитой трехмерной структурой. Данные ИК-спектроскопии свидетельствуют о протекании процессов сшивки по месту функциональных групп С=О и кратных связей –С=С, обусловленных окислением и процессами структурирования. На основании данных ДТА сделан вывод об образовании аддукта с высокой термостойкостью, которая превышает термостойкость исходных олигомеров и политетрафторэтилена. Кроме того, возможно протекание процессов взаимодействия –CF₂– групп макромолекулы ПТФЭ и функциональных групп, входящих в исходную структуру олигомеров, с образованием связей различного типа.

Благодаря термической обработке дисперсных частиц олигомеров в конечных продуктах увеличивается относительное содержание углерода, что превращает исходный олигомер в углеродный продукт с трехмерной структурой. Такие продукты в составе композита увеличивают коэффициент трения, так как не обладают характерными свойствами углеродных наполнителей. Повышение температуры обработки частиц олигомеров до 400–450 °С на воздухе приводит к об-

разованию большого количества летучих продуктов термической и термоокислительной деструкции, которые резко снижают прочностные характеристики структурированной частицы и препятствуют образованию бездефектной структуры композиционного материала.

Определение параметров деформационно-прочностных характеристик проводили на образцах в виде колец и столбиков. Триботехнические характеристики определяли на машине трения ХТИ-72 при трении 3-х образцов с полусферической головкой по полированной поверхности стального диска при нормальной нагрузке на 3 образца 300 Н и линейной скорости скольжения 1,0–3,0 м/с.

Составы полученных композиционных триботехнических материалов на основе политетрафторэтилена по прочностным и триботехническим характеристикам превышают аналогичные показатели композиции прототипа – композиционного триботехнического материала на основе ПТФЭ «Флувис-20» («Флубон-20ЛЮ»), который выпускают на ОАО «Гродненский механический завод» по ТУ 6-05-14-69-79 и на ОАО «Гродно Азот» по ТУ 03535279.071-99. При этом технологический процесс изготовления изделий из разработанных составов не требует специальных операций диспергирования и активации, исключается стадия (циклодегидратации) имидизации олигоамидокислот, что существенно снижает материало- и энергоемкость процесса, снижая стоимость конечного продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глоба А. И. Синтез, регулирование структуры и свойств пленкообразующих имидосодержащих композиций для функциональных покрытий: Дис. к-та хим. наук: 02.00.06. – Минск, 2011. – 150 с.
2. Щербина А. Э., Матусевич Л.Г., Сенько И. В., Звонак А. М. Органическая химия. Реакционная способность основных классов органических соединений. Учебное пособие для студентов химико-технологических специальностей. – Мн.: БГТУ, 2000. – 624 с.

В. С. Безбородов, проф., д-р хим. наук,
С. Г. Михалёнок, доц., зав. кафедрой, канд. хим. наук;
Н. М. Кузьменок, доц., канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск)
В. И. Лапаник, зав. лабораторией
(НИИ ПФП БГУ, г. Минск)

РЕТРОСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ ХИМИИ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ И АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ В БЕЛАРУСИ

Работы по синтезу и исследованию зависимости свойств мезоморфных соединений от химической структуры молекул до 60-х годов прошлого века носили во многом чисто академический характер. Начиная с 60-х годов, после появления в США патентов (Фергасон) на применение холестерических ЖК для визуализации тепловых и СВЧ-полей и в других приложениях, интерес к ЖК резко возрос. Во многих странах мира (США, Япония, ФРГ, ГДР, Англия и др.), включая СССР, стали интенсивно вестись работы по синтезу и исследованию холестерических ЖК. Последующее открытие эффекта динамического рассеяния света в тонких слоях нематического ЖК с отрицательной диэлектрической анизотропией, а также обнаружение эффективной переориентации молекул нематических ЖК с положительной анизотропией под воздействием слабого электрического поля, стимулировали рост числа работ и патентов по синтезу, исследованию физических свойств и применению жидких кристаллов. Это привело к тому, что к 80-м годам сформировался новый специфический раздел органической химии – «Химия жидких кристаллов» со своей стратегией синтеза мезоморфных веществ и различных добавок, необходимых для создания эффективных ЖК материалов, и с тщательным анализом связи между структурой молекул мезоморфных соединений и их свойствами, что необходимо для целенаправленного выбора жидких кристаллов, обладающих улучшенными эксплуатационными параметрами.

К этому времени в Беларуси сформировалась научная школа, центр которой базировался в НИИ прикладных физических проблем БГУ. Позже к этим исследованиям присоединились ученые Белорусского государственного технологического университета, которые сгруппировались вокруг проф. Безбородова В.С., имеющего авторитет и опыт работы в этой области не только в нашей стране, но и за рубежом (США, Германия, Польша, республика Корея и др.).

Следует отметить, что в настоящее время, несмотря на успехи,

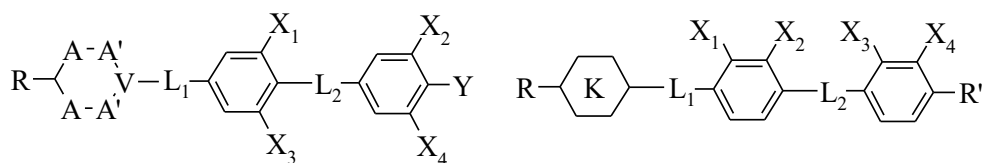
достигнутые в области синтеза жидкокристаллических соединений и создания на их основе разнообразных композиций, по-прежнему, несомненно, актуальной является разработка жидкокристаллических соединений, характеризующихся невысокой температурой образования мезофаз и широким температурным интервалом их существования, имеющих малую вязкость нематической фазы, высокое значение положительной или отрицательной диэлектрической анизотропии, хорошо смешивающихся с жидкокристаллическими соединениями различных классов. Методы синтеза этих соединений должны характеризоваться доступностью исходных реагентов, отсутствием сложных технологических стадий, высоким выходом конечных продуктов.

Имея более чем 45 летний опыт исследований различных типов жидкокристаллических материалов, ученые РБ разработали оригинальные **методологии** синтеза и создания не только ЖК материалов для всех типов электрооптических устройств отображения информации, но новых анизотропных материалов и устройств с широким спектром практического использования [1-4].

Предлагаемые подходы получения новых материалов и анизотропных веществ, моделирования различных процессов базируются на закономерностях эволюционного развития природных органических соединений; многочисленных данных, полученных в последние десятилетия при изучении жидких кристаллов и упорядоченных сред; на использовании анизотропии молекул полифункциональных соединений для дизайна новых молекулярных структур (инженерия молекул), пленок, жидких кристаллов, мембран, мицелл и т. д.; для создания анизотропных ансамблей молекул и биологических систем.

Так, в результате проведенных исследований для получения полярных мезоморфных соединений были разработаны оригинальные методы синтеза, позволившие создать соединения с новыми сочетаниями используемых для этой цели структурных фрагментов и более высокими, по сравнению с известными ЖК компонентами, значениями положительной или отрицательной диэлектрической анизотропии.

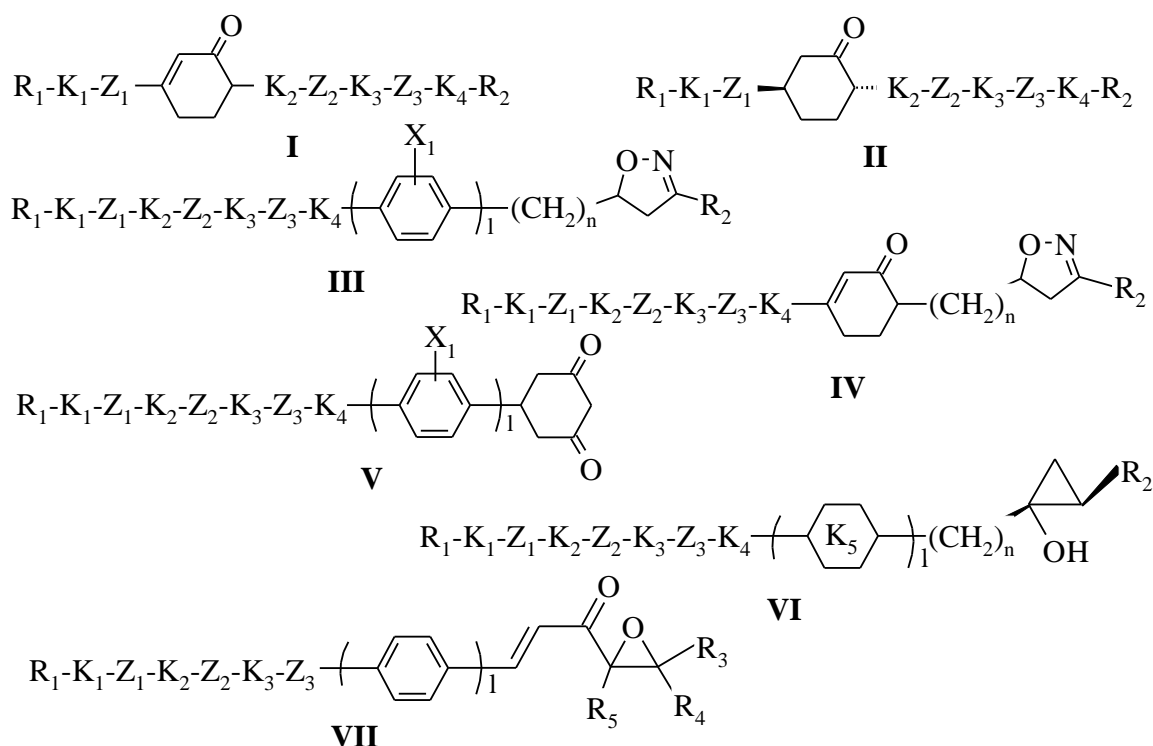
Общие формулы полученных соединений указаны ниже.



$A, A' = O, C; V = C, B, N; X_{1-4} = H$ или $F, Cl, CF_3, CH_3; Y = F$ или Cl, CN, NCS, CF_3, OCF_3 $K =$ циклогексановое или бензольное кольцо; $R, R' =$ алкильный или

алкоксильный радикалы; L_{1-2} = связь или CH_2CH_2 , COO

Для синтеза анизотропных карбоциклических и гетероциклических соединений, имеющих стержнеобразную форму молекул и характеризующихся их ориентационной упорядоченностью было предложено использовать полифункциональные анизотропные соединения, такие как 3,6-дизамещенные циклогекс-2-еноны (**I**), *транс*-2,5-дизамещенные циклогексаноны (**II**), 3,5-дизамещенные 2-изоксазолины (**III**, **IV**), 5-замещенные циклогексан-1,3-дионы (**V**), 1,2-дизамещенные циклопропанола (**VI**) и непрелдельные эпоксикетоны (**VII**).



$R_{1,2}$ = алкильный или алкоксильный радикалы, F , Cl , CN , CF_3 , OCF_3 или хиральный фрагмент; K_{1-4} = связь или бензольное, циклогексановое, циклогексеное кольцо; $n = 0-5$; Z_{1-3} = связь или CH_2CH_2 , или другие мостиковые фрагменты; $l = 0$ или 1 ; R_{3-6} = H или алкильный, арильный фрагменты

Доступность и многообразие исходных реагентов, высокие выходы продуктов реакций, возможность модификации циклогексанового, циклогексанового, изоксазолинового, циклопропанового, непрелдельного эпоксикетонного фрагментов различными реагентами позволили целенаправленно проводить синтез анизотропных материалов с желаемой комбинацией алкильных, циклических, мостиковых фрагментов; необходимым количеством и положением атомов галогенов, гидроксид-, других функциональных или полярных групп в центральной и терминальных частях молекул. Восстановление изоксазо-

линового фрагмента, раскрытие оксиранового цикла водой в кислой среде, галогенводородными кислотами, вторичными аминами открывают доступ к соответствующим α -диолам, галогенгидринам или аминоспиртам, при этом последние могут быть переведены в водорастворимую форму в виде солей с минеральными кислотами. Это позволило получать анизотропные водорастворимые вещества, характеризующиеся высокой упорядоченностью молекул друг относительно друга, и является несомненным отличительным достоинством указанных соединений.

Результаты наших исследований также показали, что анизотропные свойства и хорошее упорядочение молекул природных полимеров дают возможность получения оригинальных высокоупорядоченных композитов с широким спектром практического использования путем включения биополимеров в синтетическую полимерную матрицу. Использование пептидных и углеводных строительных блоков в структуре сополимера позволяет не только улучшать мезоморфное поведение и свойства, но и контролировать упорядоченность структуры и его биологическую функциональность.

Несомненно, предлагаемая нами методология получения жидкокристаллических и анизотропных веществ является креативной, имеет целый ряд отличительных достоинств, в сравнении с известными методами синтеза аналогичных структур, моделирования биологических систем и с успехом может быть использована для создания новых поколений материалов, не уступающих по свойствам природным.

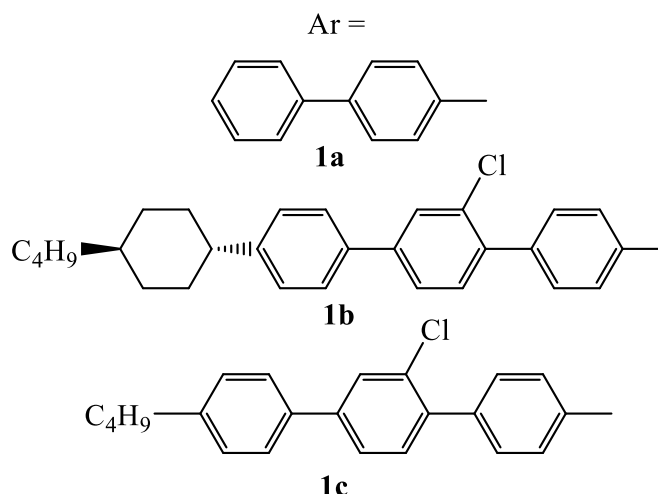
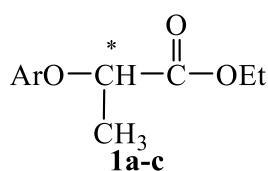
ЛИТЕРАТУРА

1. Bezborodov V.S., Dabrowski R. Present and future of the liquid crystal chemistry. *Mol.Cryst.Liq.Cryst. Sci. and Techn.* – 1997. Vol. 299, № 1. – P. 1–17.
2. Dąbrowski R., Bezborodov V. Developing syntheses of new liquid crystals. *Liq. Cryst.* – 2006. – Vol. 33, № 11–12. – P. 1487–1489.
3. Bezborodov V.S., Mikhalyonok S.G., Kuz'menok N.M., Lapanik V.I., Sasnouski G.M.. Polyfunctional intermediates for the preparation of liquidcrystalline and anisotropic materials. *Liquid Crystals.* – 2015. Vol. 42, № 8. – P. 1124–1138.
4. Безбородов В.С. Химия жидкокристаллических материалов / В.С. Безбородов. – Мн.: БГТУ, 2017.– 277 с.

С. Г. Михалёнок, зав. кафедрой, канд. хим. наук;
 В. С. Безбородов, проф., д-р. хим. наук;
 Н. М. Кузьменок, доц., канд. хим. наук;
 А. И. Савельев, асп.
 (БГТУ, г. Минск)

ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИИ КУЛИНКОВИЧА С УЧАСТИЕМ ХИРАЛЬНЫХ ЭТИЛ 2-АРИЛОКСИПРОПАНОАТОВ

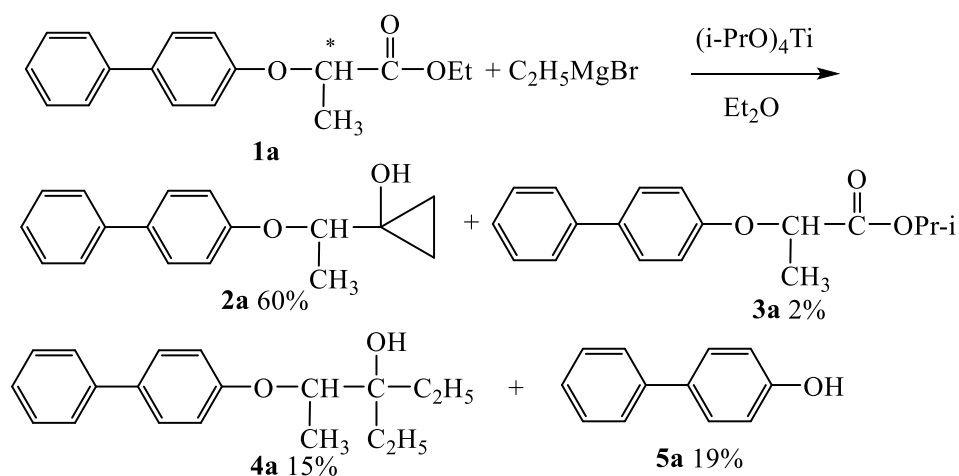
С целью синтеза хиральных циклопропанолов, содержащих жестко фиксированную полиядерную систему бензольных колец, для последующих направленных трансформаций по малому циклу в реакцию Кулинковича были введены этил 2-арилоксипропаноаты **1a-в**, полученные по методике Мицунобу [1], взаимодействием этил L-(–)-лактата с соответствующими фенолами.



Исследованию реакции Кулинковича в последние десятилетия уделяется значительное внимание [2]. Однако, в нашем случае оказалось, что гладкое протекание этой реакции, которую рекомендуется осуществлять с использованием трехкратного мольного избытка магнийорганического соединения в присутствии каталитических количеств изопропилата титана (IV) осложняется рядом конкурентных процессов с участием как исходных субстратов, так и целевых продуктов, что приводит к существенному снижению выхода последних до 30–60%.

Для более подробного исследования этих процессов в качестве модельного соединения был использован этил лактат **1a**. После проведения реакции и разделения реакционной смеси с помощью колоночной хроматографии удалось выделить и идентифицировать кроме

целевых циклопропанола **2a** (выход 60%) и традиционно отмеченного продукта переэтерификации **3a** (2%), третичный спирт **4a** (15%) и фенол **5a** (19%). В связи с известными фактами высокой реакционной способности гидроксциклопропанов и их склонностью вовлекаться в реакции с раскрытием цикла [3] нами была изучена стабильность соединений **2a–c** в присутствии избытка этилмагний бромида. Исследование реакции циклопропанола **2a** как модельного соединения с избытком этилмагний бромида в отдельном эксперименте показало, что после часовой реакции этих соединений при комнатной температуре наблюдалось заметное образование спирта **4a** и фенола **5a**.

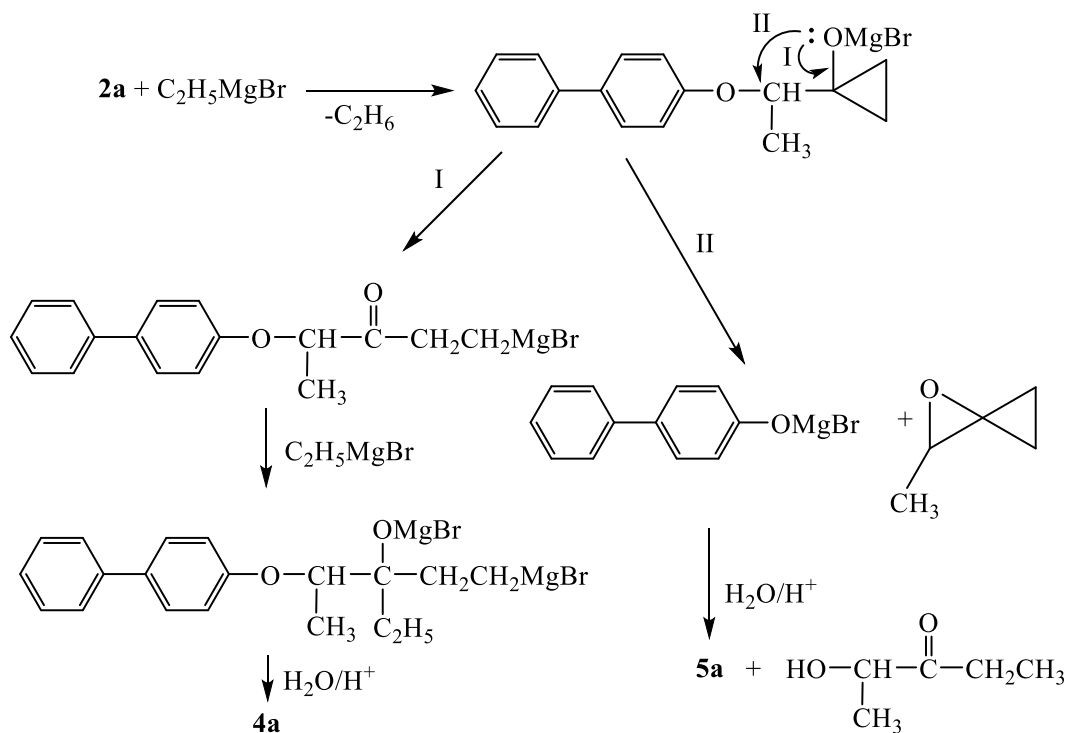


Следует отметить, что введение в реакцию Кулинковича эфиров **1b** и **1c** характеризуется аналогичным составом итоговой реакционной смеси с существенным увеличением содержания фенола **5b** до 36% и снижением выхода циклопропанола **2b** до 30%.

Образование соединений **4a–c** происходит вследствие изомеризации циклопропанолов **2a–c** с последующим восстановлением промежуточного кетона (превращение I).

Выделение фенолов **5a–c** является, по-видимому, результатом расщепления простой эфирной связи со стороны алифатического фрагмента алколюлятов **2a–c** вследствие внутримолекулярного нуклеофильного замещения. Судьба возможного спироциклического оксирана определяется последующим гидролизом в кислой среде в процессе выделения с превращением в алифатический гидроксикетон.

Состав и строение всех выделенных продуктов **2a–c – 5a–c** доказано данными спектров ЯМР ^1H и ^{13}C [4].



Таким образом, использование избытка этилмагний бромиды в реакции с этил 2-арилоксипропаноаты как и увеличение времени реакции способствует расщеплению целевого циклопропанола со снижением его выхода и усложнением реакционной смеси.

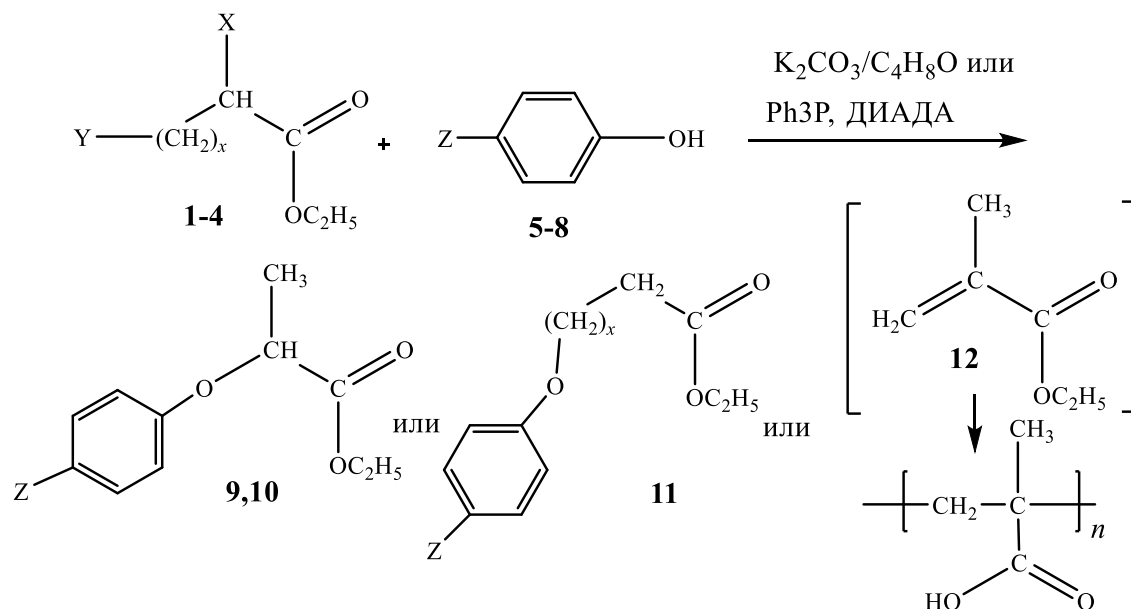
ЛИТЕРАТУРА

1. Dodge, J. A. A general procedure for Mitsunobu inversion of sterically hindered alcohols: inversion of menthol. (1s,2s,5r)-5-methyl-2-(1-methylethyl)cyclohexyl 4-nitrobenzoate / J. A. Dodge, J. S. Nissen, M/ Presnell // *Organic Syntheses, Coll. Vol.* – 1998. – Vol. 9. – P. 607–608.
2. Kulinkovich, O. G. The Chemistry of Cyclopropanols / O. G. Kulinkovich // *Chemical Reviews.* – 2003. – Vol. 103, № 7. P. 2597–2632.
3. Матюшенко, Е.А. Развитие химии малых циклов на кафедре органической химии в последнее десятилетие / Е.А. Матюшенко, Ю.Ю. Козырьков // *Вестник БГУ, Сер. 2.* – 2011. № 36 С. 35–41.
4. Кузьменок, Н. М. Использование спектрального анализа для идентификации продуктов реакции Кулинковича / Н. М. Кузьменок, С. Г. Михалёнок, В. С. Безбородов // *Технология органических веществ: материалы докладов 84-й научно-технической конференции, посвященной 90-летию юбилею БГТУ и Дню белорусской науки (с международным участием), Минск, 03-14 февраля 2020 г.* – Минск: БГТУ, 2020. – С. 106–108.

С. Г. Михалёнок, зав. кафедрой, канд. хим. наук;
 В. С. Безбородов, проф., д-р. хим. наук;
 Н. М. Кузьменок, доц., канд. хим. наук;
 А. С. Орёл, ассист. (БГТУ, г. Минск)

РЕАКЦИЯ ЭФИРОВ ГИДРОКСИ- И ГАЛОГЕНЗАМЕЩЕННЫХ КИСЛОТ С МНОГОЯДЕРНЫМИ ФЕНОЛАМИ

Цель настоящей работы заключалась в синтезе ключевых синтонов для получения несимметричных ариларифатических винилкетонов, способных к образованию упорядоченных двухмерных (сметических или нематических) анизотропных фаз при нагревании кристаллов. Для получения отмеченных синтонов необходимо было осуществить синтез этиловых эфиров карбоновых кислот, содержащих в своей молекуле жесткоцепной структурный фрагмент. В качестве последнего хорошо зарекомендовали себя полиядерные фениленовые системы. В этой связи в качестве исходных субстратов были выбраны эфиры гидрокси- и галогензамещенных кислот. Задача алкилирования гидрокси- и галогензамещенных кислот многоядерными фенолами для получения соответствующих производных с алкиларифатической простой эфирной связью была решена при использовании методик реакций Мишунобу (для эфиров гидроксикислот) и Вильямсона (для эфиров бромзамещенных кислот) [1, 2].



В таблицах 1,2 представлены структурные параметры исходных соединений, введенных в реакции алкилирования.

**Таблица 1 - Структурные фрагменты эфиров
замещенных карбоновых кислот 1-4**

№ соединения	X	Y	x
1	ОН	H	1
2	H	Br	4
3	CH ₃	Br	1
4	CH ₃	ОН	1

Таблица 2 – Структурные фрагменты многоядерных фенолов 5-8

№ соединения	Z
5	C ₆ H ₅
6	4-C ₃ H ₇ C ₆ H ₄
7	4-C ₄ H ₉ C ₆ H ₄ (2-ClC ₆ H ₃)C ₆ H ₄
8	4-C ₃ H ₇ C ₆ H ₁₁

Оказалось, что целевые эфиры **9-11** гладко образуются в реакции этилового эфира α -гидроксипропионовой кислоты **1** с фенолами **5,7** в присутствии аддукта трифенилфосфина с диизопропилазодикарбоксилатом (ДИАДА) в тетрагидрофуране по Мицунобу и этилового эфира ϵ -бромпрокапроновой кислоты **2** с фенолом **7** в бутаноне в присутствии безводного карбоната калия по Вильямсону, при этом выход продуктов **9-11** достигает 56-98%. В то же время введение в реакцию эфиров β -бром- или β -гидроксизамещенных кислот **3,4** с фенолами **6,8** в обоих случаях вызывает дегидрогалогенирование или дегидратацию с выделением исходных фенолов и этилметакрилата **12**, который в условиях реакции подвергается полимеризации.

Следует отметить, что введение в реакцию Мицунобу этил-S-лактата позволило выделить оптически активные эфиры **9,10**, которые представляют самостоятельный интерес как потенциальные жидкокристаллические соединения.

Состав и строение всех синтезированных соединений подтверждены данными элементного анализа и спектрально.

ЛИТЕРАТУРА

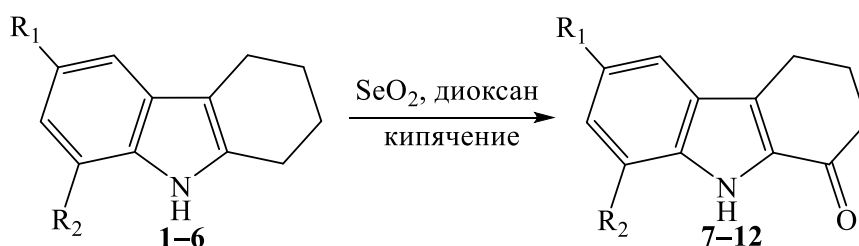
1. Общая органическая химия. / Под ред. Д. Бартона и У.Д. Ол-лиса. – Т.4. М.: Химия, 1983. – С. 635. с.
2. Вацуро Л.В., Мищенко Г.Л. Именные реакции в органической химии. М.: Химия, 1976. – 528

А. И. Савельев, асп.;
 С. Г. Михалёнок, зав. кафедрой, канд. хим. наук;
 В. С. Безбородов, проф., д-р. хим. наук;
 А. С. Калейник, студ. (БГТУ, г. Минск)

СИНТЕЗ ЗАМЕЩЁННЫХ ПО ФЕНИЛЬНОМУ КОЛЬЦУ ТЕТРАГИДРОКАРБАЗОЛ-1-ОНОВ

Замещённые по фенильному кольцу тетрагидрокарбазолы широко применяются как предшественники в синтезе соединений обладающих биологической активностью [1]. Широко применяемый для окисления активированных метиленовых групп диоксид селена весьма распространённый реагент в лабораторной практике. В описанной в литературе методике при оксигенировании 2,3,4,9-тетрагидро-1*H*-карбазола **1** оксидом селена IV по положению 1 выход целевого 2,3,4,9-тетрагидро-1*H*-карбазол-1-она **7** составляет 44%, а при окислении замещённых по фенильному кольцу тетрагидрокарбазолов выход соответствующих тетрагидрокарбазолонов не превышает 20% [1]. Данная работа является продолжением ранее начатых исследований, в которых нам удалось повысить выход целевого тетрагидрокарбазол-1-она до 52% [2]. В представленной работе мы поставили перед собой цель доработать предложенную нами методику и применить её для синтеза замещённых по фенильному кольцу тетрагидрокарбазол-1-онов.

На основе 2,3,4,9-тетрагидро-1*H*-карбазолов **1–6** нами были получены 2,3,4,9-тетрагидро-1*H*-карбазол-1-оны **7–12** согласно схеме, представленной ниже.



На примере окисления диоксидом селена незамещённого тетрагидрокарбазола ($\text{R}_1=\text{R}_2=\text{H}$) **1** был произведён подбор условий этой реакции. Как видно из данных в таблице 1, относительно первых двух опытов (литературная методика) [1], соотношение окислитель/субстрат было уменьшено с целью предотвратить возможность дальнейшего окисления, получаемого тетрагидрокарбазол-1-она **7** имеющимся в реакционной смеси избытком диоксида селена.

Таблица 1 - Подбор условий реакции окисления тетрагидрокарбазола 1 диоксидом селена

№ опыта	Время реакции, мин	Соотношение SeO ₂ /тетрагидрокарбазол 1, моль/моль	Соотношение диоксан/тетрагидрокарбазол 1, мл/г	Выход тетра-гидрокарбазол-1-она 7, %
1	20	1,6	75	19
2	30	1,6	150	29
3	70	1,2	220	46
4	80	1,2	1000	52
5	95	1,2	1500	70
6	115	1,2	1600	81

Видно, что уменьшение количества окислителя положительно сказывается на выходе целевого продукта **7**. Дальнейшее же уменьшения соотношения окислитель/субстрат приводило к тому, что реакция не протекала до конца. Также выход продукта **7** увеличивается по мере разбавления реакционной смеси диоксаном, но при этом увеличивается и время проведения реакции. Время реакции определяли, контролируя полноту её протекания методом тонкослойной хроматографии. Такая взаимосвязь выхода продукта **7** и степени разбавления реакционной смеси, видимо также может быть объяснена меньшей вероятностью дальнейшего окисления получаемого продукта **7** в более разбавленной реакционной смеси. А также в более концентрированных растворах возможно образование каких-либо ассоциатов или продуктов реакций с участием неустойчивых промежуточных интермедиатов, образующихся согласно механизму аллильного окисления.

Далее согласно разработанной методики был получен ряд замещённых по фенильному кольцу тетрагидрокарбазол-1-онов **8-12**. Как видно из таблицы 2 наибольший выход характерен для незамещённого 2,3,4,9-тетрагидро-1H-карбазол-1-она **7**.

Таблица 2 – Синтезированные 2,3,4,9-тетрагидро-1H-карбазол-1-оны 7–12

№ соединения	Название соединения	R ₁	R ₂	Выход, %
7	2,3,4,9-тетрагидро-1H-карбазол-1-он	H	H	81
8	6-нитро-2,3,4,9-тетрагидро-1H-карбазол-1-он	O ₂ N	H	32
9	6-метил-2,3,4,9-тетрагидро-1H-карбазол-1-он	H ₃ C	H	25
10	1-оксо-2,3,4,9-тетрагидро-1H-карбазол-6-карбоновая кислота	HOOC	H	77
11	6-бром-2,3,4,9-тетрагидро-1H-карбазол-1-он	Br	H	71
12	8-метил-2,3,4,9-тетрагидро-1H-карбазол-1-он	H	H ₃ C	45

Соединения **10**, **11**, содержащие акцепторные заместители, получены с большими выходами в сравнении с соединениями **9**, **12**, содержащими донорные метильные группы. Из этой закономерности

выбивается соединение **8**, содержащие нитрогруппу в положении 6. Меньшие выходы продуктов **9, 12**, могут быть связаны с возможностью окисления ароматических метильных групп в условиях реакции, но стоит отметить, что продукты подобного рода не были выделены нами из реакционной смеси.

Таким образом в результате проведенной работы нами были разработаны методики получения 2,3,4,9-тетрагидро-1*H*-карбазол-1-онов **7-12** из соответствующих 2,3,4,9-тетрагидро-1*H*-карбазолов **1-6**, путём их окисления диоксидом селена. Разработанные нами методики позволяют получать целевые продукты с выходами, превосходящими таковые для упоминаемых в литературе методик окисления тетрагидрокарбазолов диоксидом селена [1]. Индивидуальность синтезированных соединений и их структуры были подтверждены данными ЯМР- и ИК-спектроскопии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Therapeutic compounds and methods to treat infection Ceramic substrate and method for the production thereof [Electronic resource] : pat. WO 2019005841A1 / E.J. Lavoie, A. Parhi, H.Y. Sagong. – Publ. date 03.01.2019. – Mode of access: <https://patents.google.com/patent/WO2019005841A1/en>. – Date of access: 29.01.2019.

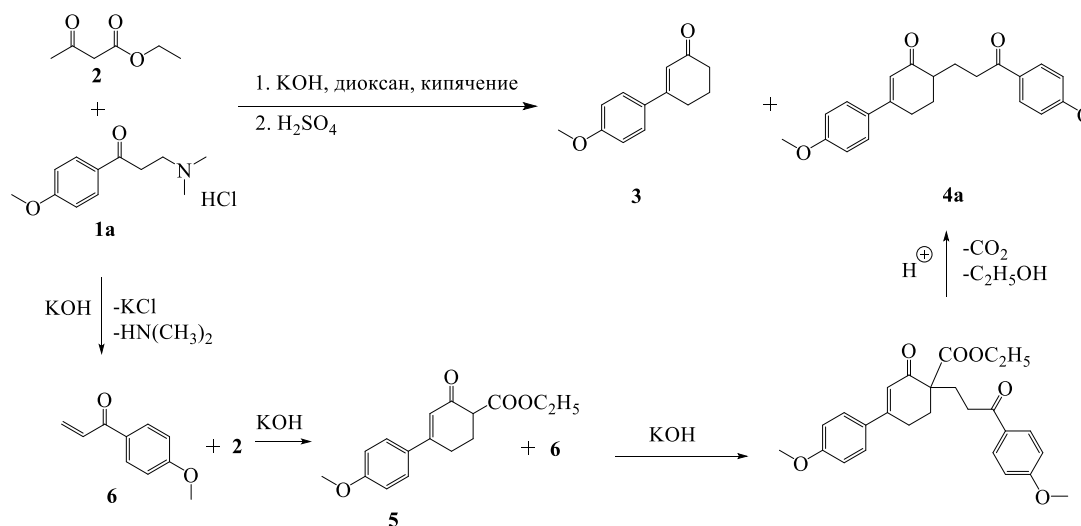
2. Савельев, А. И. Синтез 2,3,4,9-тетрагидро-1*H*-карбазол-1-она / А.И. Савельев, С.Г. Михалёнок, В.С. Безбородов // 72-я всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием : материалы конф., Ярославль, 24 апреля 2019 г. : в 3 ч./ Ярославский государственный технический университет; редкол.: М.А. Канакотина. – Ярославль : Издат. дом ЯГТУ, 2019. – Ч.1. – С. 136 – 138.

А. С. Орёл, ассист.;
 В. С. Безбородов, проф., д-р. хим. наук;
 Н. М. Кузьменок, доц., канд. хим. наук;
 С. Г. Михалёнок, зав. кафедрой, канд. хим. наук
 (БГТУ, г. Минск)

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ КОНДЕНСАЦИИ СОЛЕЙ МАННИХА С АЦЕТОУКСУСНЫМ ЭФИРОМ

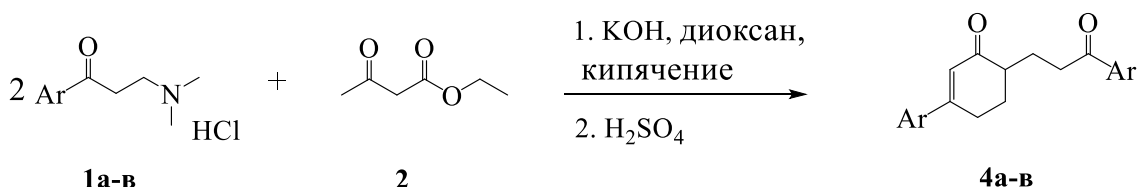
Конденсация солей Манниха с 1,3-дикарбонильными соединениями является классическим методом получения циклогекс-2-енонов [1]. В рамках систематических исследований в области химии жидкокристаллических соединений, проводимых на кафедре органической химии БГТУ, ранее нами был осуществлён синтез циклогексенонов с арильными, алкильными и алкенильными заместителями [2, 3]. С целью дальнейшего расширения круга получаемых продуктов мы решили осуществить простую на первый взгляд конденсацию ацетоуксусного эфира с солью Манниха в надежде получить 3-замещённый циклогекс-2-енон.

При попытке провести конденсацию соли Манниха **1a** с ацетоуксусным эфиром **2** (соотношение реагентов **1a:2:KOH** = 1:1:3,5) образуется смесь циклогекс-2-енонов **3** и **4a**. Разделение реакционной смеси позволило выделить в качестве основного продукта дикетон **4a** с выходом 22%. Очевидно, что данный дикетон получается при присоединении по Михаэлю образующегося циклогекс-2-енона **5** к винилкетону **6**.



Описанная возможность образования 1,5-дикетонов пробудила интерес к исследованию возможности разработки препаративного ме-

тогда получения соединений аналогичных **4**. Следует предположить, что применение двух эквивалентов солей Манниха в конденсации с ацетоуксусным эфиром приведёт к получению производных **4a-в** с препаративными выходами. Серия экспериментов, направленных на оптимизацию данного процесса показала, что наилучшие результаты получаются при соотношении **1a-в:2:KOH**= 2,1:1:5,5. Выходы продуктов составляют 65–72 %.



Ar= 4-CH₃OC₆H₄ (**a**) 66%;
 4-CH₃C₆H₄ (**б**) 65%;
 6-метоксинафталин-2-ил (**в**) 72%.

Строение всех синтезированных соединений подтверждено спектральными методами. В спектрах ¹H ЯМР стоит отметить сигнал протонов H-2 циклогекс-2-еноновой системы в области 6,37–6,56 м.д., который представляет собой дублет с малой константой (1,0–2,2 Гц) или синглет. В спектрах ¹³C ЯМР присутствует сигнал карбонильных групп в регионе 199–202 м.д., в регионе 114–162 м.д. – набор ароматических сигналов, а также набор вторичных углеродных сигналов метиленовых групп в регионе 26–46 м.д.. В ИК-спектрах всех синтезированных циклогекс-2-енонов присутствуют характерные полосы поглощения сопряжённой еноновой системы при 1650 см⁻¹ и 1600 см⁻¹.

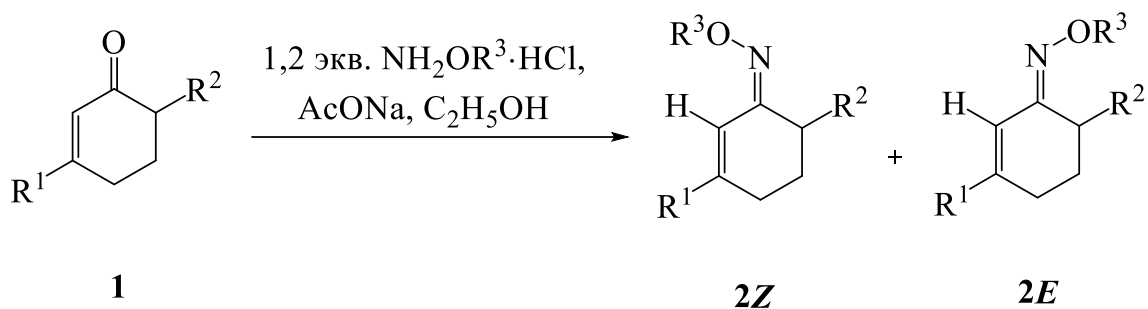
ЛИТЕРАТУРА

1. Bezborodov, V. Present and future of the liquid crystals chemistry / V. Bezborodov, R. Dabrowski // *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* – 1997 – Vol. 299, № 1 – P. 1–18.
2. Synthesis and physical properties of liquid crystals having a chlorine atom in the lateral position of a benzene ring / V. Bezborodov [et al.] // *Liq. Cryst.* – 2006. – Vol. 33, № 11–12. – P.1490–1496.
3. The efficient synthesis of substituted 2-methylbenzofurans / S.G. Mikhalyonok, [et al.] // *ХГС.* – 2019. – Т. 55, № 3. – С. 205–211.

А. С. Орёл, ассист.;
 А. И. Савельев, асп.;
 В. В. Коваль, ассист.;
 Т. П. Ахламёнок, соискатель;
 С. Г. Михалёнок, зав. кафедрой, канд. хим. наук,
 В. С. Безбородов, проф., д-р. хим. наук
 (БГТУ, г. Минск)

ПОЛУЧЕНИЕ ОКСИМОВ ЦИКЛОГЕКС-2-ЕНОНОВ И УСТАНОВЛЕНИЕ ИХ КОНФИГУРАЦИИ ПРИ ПОМОЩИ ЯМР-СПЕКТРОСКОПИИ

В рамках систематических исследований трансформаций циклогекс-2-енонов, проводимых на кафедре органической химии, нами было принято решение осуществить синтез оксимов данных кетонов с целью изучения возможности их дальнейших превращений под действием различных реагентов с получением гетероциклических соединений [1]. Получение оксимов проводили стандартным методом в спиртовом растворе при комнатной температуре с использованием ацетата натрия в качестве основания. Взаимодействие циклогексенонов **1** с гидросиламинами протекало гладко с образованием эквимольной смеси *E/Z*-оксимов **2**.



Выходы оксимов **2а-г** (в виде смеси *E/Z*-изомеров) составили 62–70%. *Z*-изомеры были выделены кристаллизацией из этанола, в то время как *E*-изомеры оставались в маточном растворе с небольшим количеством *Z*-изомеров, и представляли собой маслообразные продукты. Такой способ разделения *E/Z*-изомеров представляется удобной находкой, так как не требует значительных усилий со стороны экспериментатора. Данные о физических константах и выходах оксимов **2а-г** представлены в таблице.

Наличие в оксимах **2а-г** жёсткого циклического каркаса обуславливает возможность чётко различать *Z*- и *E*-изомеры при помощи ЯМР-

спектроскопии. Наибольшее влияние конфигурация оксимов оказывает на химический сдвиг протонов Н-2 и Н-6 еноновой системы.

Таблица - Данные о физических константах и выходах оксимов 2а-г

№	Оксим 2			Суммарный выход 2E/Z, %	Т пл, °С
	R ¹	R ²	R ³		
2а Z	4-CH ₃ C ₆ H ₄	аллил	H	68	133,7–135,3
2а E	4-CH ₃ C ₆ H ₄	аллил	H		масло
2б Z	4-CH ₃ OC ₆ H ₄	аллил	H	70	134,6–137,8
2б E	4-CH ₃ OC ₆ H ₄	аллил	H		масло
2в Z	4-CH ₃ OC ₆ H ₄	пропаргил	H	62	140,7–142,8
2в E	4-CH ₃ OC ₆ H ₄	пропаргил	H		масло
2г Z	4-CH ₃ OC ₆ H ₄	пропаргил	CH ₃	65	61,5–63,8
2г E	4-CH ₃ OC ₆ H ₄	пропаргил	CH ₃		масло

На рисунке представлены сканы ¹H ЯМР-спектров E/Z-оксимов 2г.

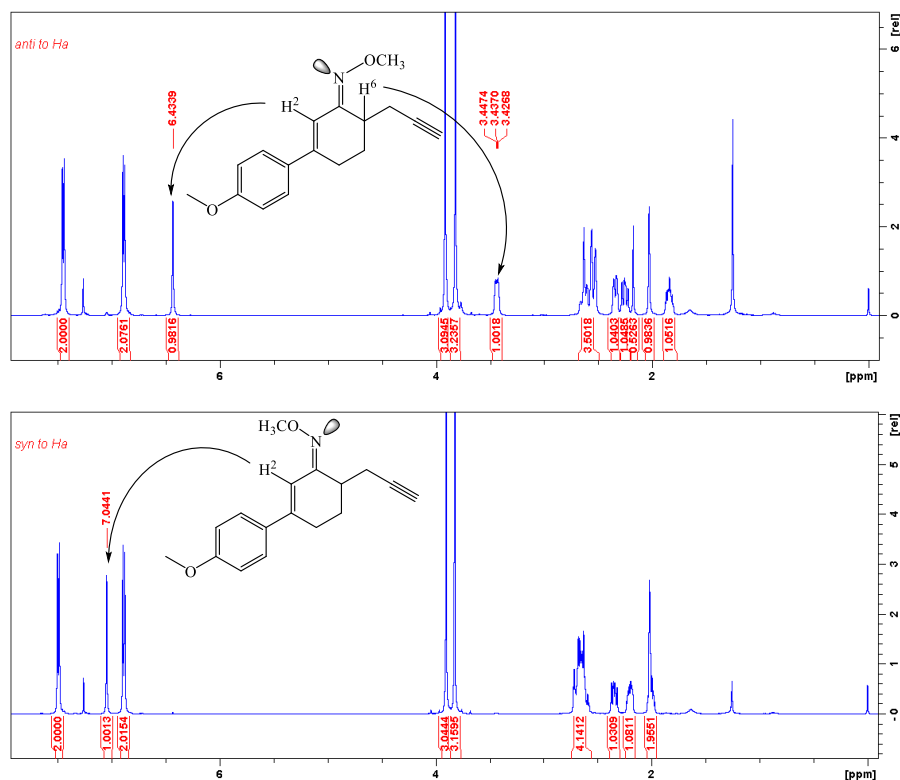


Рисунок - Спектры ¹H ЯМР E/Z-оксимов 2г в CDCl₃

Сигналы протонов Н-2 еноновой системы E-оксимов находятся в области 6,41–6,54 м.д., а сигналы тех же протонов Z-оксимов – в области 7,04–7,24. Это связано со взаимным пространственным распо-

ложением протонов Н-2 и атома кислорода оксима. Влиянию также подвержены протоны Н-6 еноновой системы, сигналы которых в спектрах *E*-оксимов находятся при 3,44 м.д., в спектрах *Z*-оксимов указанные сигналы вычлениить не удаётся в связи с обилием мультиплетов в области 1,8–3,0 м.д. Полученные данные хорошо согласуются с известными литературными примерами [2, 3]. Также нами было зафиксировано исчезновение сигналов О–Н при записи спектров CDCl₃ и наличие чётких синглетов в ДМСО-*D*₆, на что указывали авторы [4].

В спектрах ¹³C влияние конфигурации оксима наиболее сильно отражается на химических сдвигах С-2 и С-6 положений еноновой системы. В ¹³C спектрах *E*-оксимов сигналы С-2 еноновой системы находятся в области 117–118 м.д., в то время как для *Z*-оксимов эти сигналы проявляются в более сильном поле 110–111 м.д. Сигналы С-6 еноновой *E*-оксимов системы находятся в области 29–31 м.д., в то время как для *Z*-оксимов эти сигналы смещены в более слабое поле 36–37 м.д.

Таким образом, в результате проведённых исследований осуществлён синтез новых представителей оксимов 3,6-дизамещённых циклогекс-2-енонов. При помощи ЯМР-спектроскопии установлена конфигурация синтезированных оксимов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Synthesis and physical properties of liquid crystals having a chlorine atom in the lateral position of a benzene ring / V. Bezborodov [et al.] // *Liq. Cryst.* – 2006. – Vol. 33, № 11–12. – P.1490–1496.

2. Sridharan, V. A Novel Synthetic Route for the Synthesis of 4,6-Diaryl-2-methyl-1,3-benzoxazoles / V. Sridharan, S. Muthusubramanian, S. Sivasubramanian // *J. Heterocyclic Chem.* – 2005. – Vol.42. – P. 1321–1330.

3. Zaidlewicz, M. Reduction of O-Methyl Oxime Ethers of Conjugated Cyclohexenones with Aluminum Hydride / M. Zaidlewicz, I.G. Uzarewicz // *Heteroatom Chemistry.* – 1993. – Vol. 4, № 1. – P. 73–77.

4. A simple and straightforward method for determination of oxime group configuration in ethanone oximes by differential NOE experiments / A.S. Shashkov [et al.] // *Tet. Lett.* – 2011. – Vol. 52, №43. – P. 5684–5687.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВУЛКАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ В ПРИСУТСТВИИ КОМПЛЕКСНЫХ АКТИВАТОРОВ ВУЛКАНИЗАЦИИ

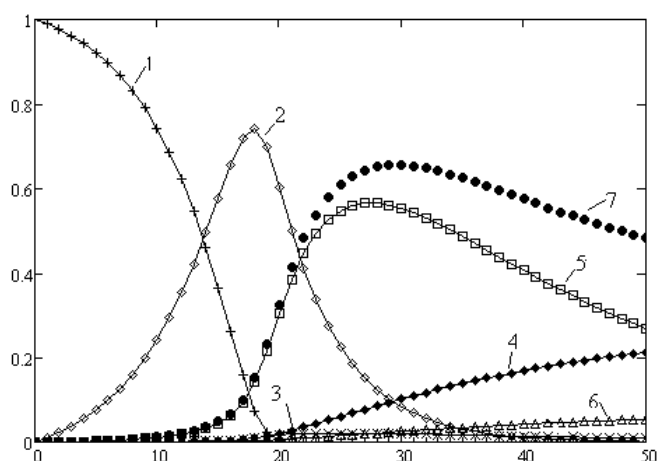
Вулканизация каучуков характеризуется определенными закономерностями и заключается в образовании единой пространственной сетки в результате гетерогенной химической реакции каучука с вулканизирующим агентом на поверхности частиц последнего [1]. С каучуком реагируют активные частицы, возникающие в результате превращений компонентов вулканизирующей группы (серы, ускорителей и активаторов вулканизации).

В процессе вулканизации формируются свойства резин, изменения которых с продолжительностью вулканизации неодинаковы. При рассмотрении зависимости модуля резиновой смеси от продолжительности вулканизации по данным реометрических испытаний выделяют ряд стадий [2]. Для оценки кинетики и определения констант скорости отдельных стадий реометрическая кривая разделена на несколько областей: в первой области реакции между ускорителем, активатором и серой приводят к образованию активного сульфидирующего комплекса, являющегося действительным агентом вулканизации (ДАВ), во второй – ДАВ приводит к формированию поперечных связей между молекулами каучука, в третьей области происходит перегруппировка поперечных связей и преобладают реакции деградации вулканизационной сетки.

Проведены исследования кинетики вулканизации диеновых каучуков в присутствии комплексных активаторов вулканизации, полученных на основе оксида цинка, смеси высших карбоновых кислот и минерального адсорбента при соотношениях «оксид цинка : карбоновые кислоты» = 1:1 и 2:1. При получении комплексных активаторов вулканизации в зависимости от условий синтеза в готовом продукте помимо оксида цинка присутствуют жирные кислоты, их соли и эфиры жирных кислот в разных соотношениях. Применение солей жирных кислот как активатора вулканизации способствует получению высокомолекулярных вулканизатов с высокими эластичностью и сопротивлением разрыву [1]. Вулканизационные свойства резиновых смесей изучали с использованием модельных рецептур на основе изопренового, бутадиен-стирольного каучуков; вулканизирующий агент – сера; ускоритель

вулканизации – сульфенамид Ц для изопренового каучука, альтакс – для бутадиен-стирольного каучука.

Расчет кинетических параметров вулканизации резиновых про- водили с использованием компьютерной программы в интегрированной среде Borland C++ Builder 6.0. С помощью данной программы опреде- ляли концентрацию поперечных связей на каждой стадии вулканиза- ции (рис.). Для расчета констант скорости вулканизации резиновых смесей в присутствии опытных активаторов вулканизации рассматри- вали уточненную схему кинетики вулканизации Корана [1].



1 – сульфидирующий комплекс, 2 – предшественник сшивания, 3 – активная форма предшественника сшивания, 4 – ди- и моносulfидные поперечные связи между макромолекулами каучука, 5 – внутримолекулярносвязанная сера, 6 – полисульфидные поперечные связи

Рисунок - Расчетные зависимости концентраций вулканизационных узлов относительно максимальной плотности поперечного сшивания как функции времени

На основе анализа кинетических параметров резиновых смесей установлено, что применение комплексных активаторов вулканизации изменяет механизм формирования действительных агентов вулканиза- ции диеновых каучуков: взаимодействие компонентов вулканизирующей группы происходит на стадии приготовления композиции (до вулканизации), что позволяет оптимизировать режимы изготовления и вулканизации резиновых смесей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Догадкин Б.А., Донцов А.А., Шершнеv В.А. Химия эластоме- ров – М.: Химия, 1981.- 376 с.
2. Карманова О.В., Калмыков В.В. Особенности формирования структуры вулканизатов //Конденсированные среды и межфазные границы. 2006. Т. 8. № 2. С. 112–116.

О. В. Карманова, проф., д-р. техн. наук;
А. В. Фирсова, ст. преп., канд. техн. наук;
А. С. Лынова, асп. (ВГУИТ, г. Воронеж)

ПРИМЕНЕНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНЫХ КАУЧУКОВ В ПРОТЕКТОРЕ ЛЕГКОВЫХ ШИН

В настоящее время повышаются требования к эксплуатационным характеристикам высокоскоростных автомобильных шин. Одним из приоритетных требований, предъявляемых к пневматическим шинам, является снижение сопротивления качению для повышения топливной экономичности, а также улучшение сцепления с мокрой и/или обледенелой дорогой для хорошей устойчивости и управляемости [1].

Одним из решений проблемы улучшения эксплуатационных характеристик является совершенствование полимерной основы – применение новых марок растворных бутадиен-стирольных каучуков, а также регулирование системы наполнителей: повышение дозировок кремнекислотного наполнителя и комбинирование его с техническим углеродом [1–2]. Применение растворных бутадиен-стирольных каучуков (ДССК) взамен эмульсионных каучуков позволяет улучшить эксплуатационные характеристики, но в полной мере не решает поставленные задачи.

Проведены исследования свойств протекторных резиновых смесей и вулканизатов, в рецептуру которых включены модифицированные бутадиен-стирольные каучуки ДССК-2560М27 следующих марок: ДССК-2560М27-Ф1, ДССК-2560М27-Ф2, (применялись модификаторы на основе алкоголятов натрия, кальция, оксиалкилированных анилинов), ДССК-2560-М27ВВ (с повышенным значением вязкости по Муни).

Результаты исследования модифицированных каучуков представлены в таблице 1, основных свойств протекторных резиновых смесей и резин на их основе – в табл. 2

Установлено, что применение высоковязкого каучука, характеризующегося более узким молекулярно-массовым распределением по сравнению с серийным каучуком, обеспечивает улучшение упругогистерезисных свойств протекторных резинах на их основе.

Проведена оценка эффективности действия модифицированных ДССК в рецептурах протекторных резиновых смесей, предназначенных для изготовления «зеленых» шин. Установлено улучшение вулканизационных и эксплуатационных характеристик протекторных резин на основе модифицированных бутадиен-стирольных каучуков.

**Таблица 1 - Структурные характеристики
модифицированных каучуков ДССК**

Наименование показателей	Серийный ДССК-2560-М27	ДССК-2560-М27ВВ	ДССК-2560-М27-Ф1	ДССК-2560-М27-Ф2
Мас. доля 1,2-зв., %	65,0	66,1	56,0	65,0
Мас. доля 1,4-транс, %	13,5	16,3	19,0	20,5
M_n , 10^{-3} , а.е.м.	212	263	232	160
M_w , 10^{-3} , а.е.м.	450	498	375	165
M_w/M_n	2,12	1,89	1,6	1,3

**Таблица 2 - Свойства резиновых смесей и резин
на основе исследуемых каучуков**

Наименование показателей	Серийный ДССК-2560-М27	ДССК-2560-М27ВВ	ДССК-2560-М27-Ф1	ДССК-2560-М27-Ф2
Вязкость по Муни, $ML_{1+4}(100\text{ }^\circ\text{C})$	36	45	52	51
ML, дНм	1,4	1,4	1,1	1,0
MН, дНм	12,3	11,8	10,8	11,3
ts1, мин.	1,2	1,7	1,6	1,5
t' 90, мин	9,3	9,3	11,8	10,5
f_{100} , МПа	2,3	2,3	2,4	2,2
f_{300} , МПа	9,1	11,1	9,8	9,3
f_p , МПа	16,1	17,2	16,4	17,0
ϵ_p , %	500	450	490	460
H, усл.ед.	63	62	60	62
tg δ (0 $^\circ\text{C}$)	0,423	0,456	0,960	1,251
tg δ (60 $^\circ\text{C}$)	0,150	0,154	0,150	0,117

ЛИТЕРАТУРА

1. Куперман Е.Ф. Новые каучуки для шин. Растворные каучуки с повышенным содержанием винильных звеньев, альтернативные эмульсионному БСК. Транс-полимеры и сополимеры изопрена и бутадиена. Москва 2011. – 367 с.
2. Фирсова А.В., Карманова О.В., Глуховской В.С., Земский Д.Н. Изучение влияния смешанных алкоколятов оксипропилированных ароматических вторичных аминов на структуру диеновых полимеров // Вестник ВГУИТ, 2014. №4. С. 147–150.

ПЕРСПЕКТИВЫ СОВМЕСТНОГО ВЫДЕЛЕНИЯ КАРОТИНОИДНЫХ И АНТОЦИАНОВЫХ ПИГМЕНТОВ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Цвет продуктов питания, их внешняя привлекательность – один из важнейших факторов оценки изделий, и поэтому современные технологии пищевых продуктов предусматривают применение пищевых красителей для окрашивания или восстановления цвета при изготовлении различных продуктов питания. В настоящее время для получения качественных продуктов питания производитель все в большей степени применяет натуральные пищевые красители, многие из которых обладают не только красящими, но и антиоксидантными и другими полезными для человека свойствами биологически активных соединений [1].

Флавоноидные (флавоноловые и антоциановые) соединения обладают капилляроукрепляющим действием на стенки кровеносных сосудов (витамин Р), а также антиоксидантной активностью, блокируя реакции радикального окисления кислородом воздуха в организме человека. Каротиноидные вещества обладают также антиоксидантными свойствами, способствуют регенерации кожных тканей, а α - и β -каротин являются провитаминами А. При использовании каротиноидных красителей необходимо учитывать, что большинство экстрактов натуральных красителей содержит в своем составе гидрофобные красящие вещества (экстракты каротинов – Е160а, маслосмолы паприки – Е160с и др.), поэтому могут применяться для окраски только жиросодержащих продуктов питания.

Применение этанола с объемной долей этилового спирта 96 % в качестве экстрагента, особенно при условии предварительной термофилизации каротиноидсодержащего сырья [3] позволит одновременно извлекать обе группы биологически активных соединений.

В качестве источника антоцианов в работе использовались ягоды ежевики *Rubus caesius*, каротиноидов – плоды тыквы *Cucurbita pepo*. При получении смесевых красителей смешивали антоциансодержащее и термообработанное каротиноидное растительное сырье в необходимом весовом соотношении, экстрагировали красящие вещества 96%-м этанолом при нагревании [2], и определенной длительности процесса, параллельно проводили эксперименты по смешиванию от-

дельных каротиноидных и антоциановых экстрактов. Готовые экстракты анализировались спектрофотометрически на анализаторе СФ-56 Результаты спектрофотометрии измерений представлены на рис. 1–2.

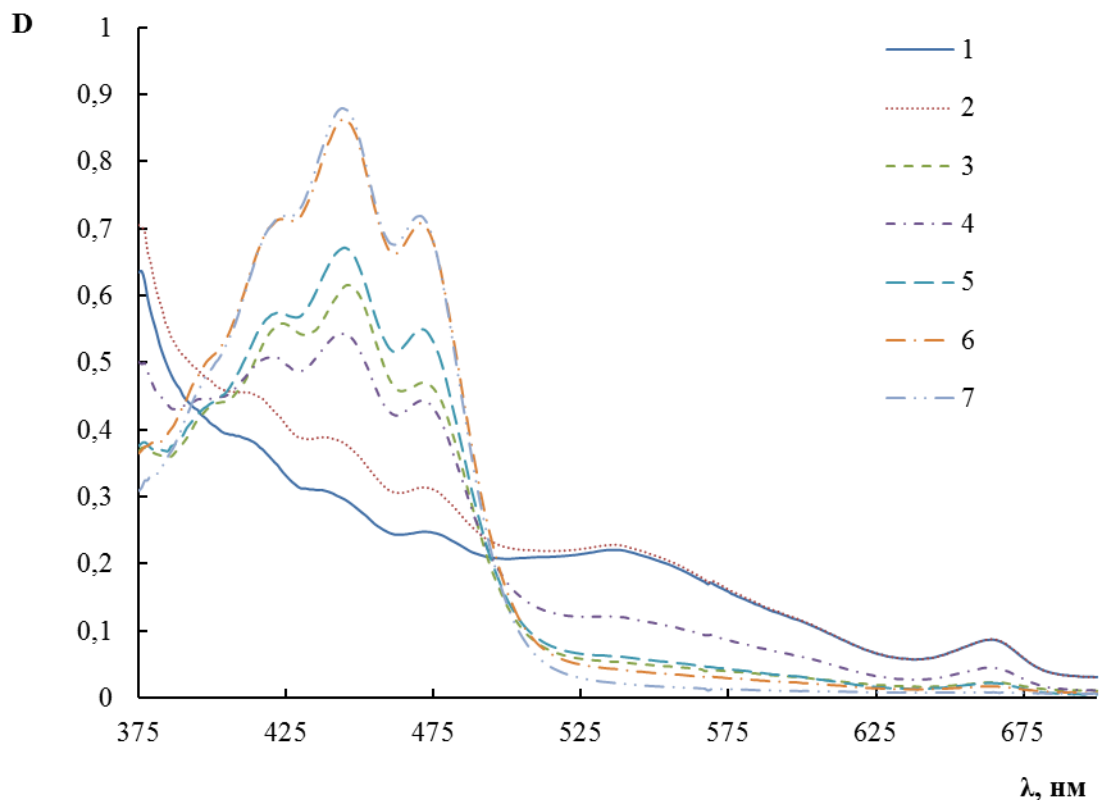


Рисунок 1 - Спектр поглощения смеси готовых экстрактов ежевики-тыквы с содержанием экстракта каротиноидов:

1 – 100 %; 2 – 90 %; 3 – 75 %; 4 – 50%; 5 – 25 %; 6 – 10 %; 7 – 0 %

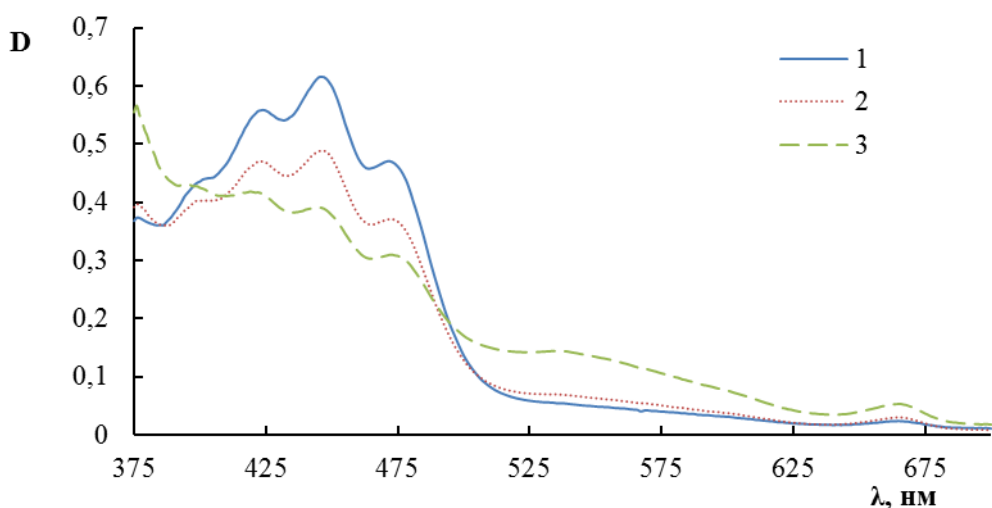


Рисунок 2 - Спектр поглощения экстрактов смесей ежевики-тыквы этиловым спиртом при содержании каротиноидсодержащего сырья в смеси:

1 – 75%; 2 – 50 %; 3 – 25 %

Показано, что экстракт тыквы имеет характерные для каротиноидов пики в области 423, 450 и 475 нм, ежевика тоже содержит каротиноиды (также имеются пики на спектре), хотя и в значительно меньших количествах. При смешивании готовых экстрактов на спектрах антоцианов (при объемной доле экстракта ежевики в смеси до 25%) наблюдаются характерные пики в области 540 и 666 нм, принадлежащие катионной и хиноидной структурам антоцианов соответственно. При большей доле каротиноидов в смеси наблюдается вырождение характерного для антоцианов максимума светопоглощения и рост оптической плотности для каротиноидных пигментов.

Спектральные характеристики экстрактов смесей каротиноид- и антоциансодержащего сырья носят аналогичный характер.

Можно сделать заключение о возможности совместного экстрагирования каротиноидных и антоциановых пигментов из смесей растительного сырья этиловым спиртом. Полученные экстракты обладают широкой цветовой гаммой окраски (от желтого до малинового через оранжевый и красный) и могут использоваться для обогащения ликероводочных и кондитерских изделий биологически активными веществами, придания им антиоксидантных свойств и красивой окраски.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болотов, В. М. Пищевые красители: классификация, свойства, анализ, применение / В. М. Болотов, А. П. Нечаев, Л. А. Сарафанова. – СПб. : ГИОРД, 2008. – 240 с.
2. Пат. 2220172 Российская Федерация, МПК С09В 61/00 (2000.01). Способ получения антоцианового красителя из цветочного сырья / Один А. П., Хайрутдинова А. Д., Болотов В. М. ; заявитель и патентообладатель ГОУ «Воронежская государственная технологическая академия». – № 2002119475/13; заявл. 17.07.2002; опубл. 27.12.2003. Бюл. № 36.
3. Пат. 2221829 Российская Федерация, МПК С09В 61/00 (2000.01). Способ получения спирто-водорастворимого каротиноидного красителя из растительного сырья / Перикова Л. И., Болотов В.М., Рудаков О. Б. ; заявитель и патентообладатель ГОУ «Воронежская государственная технологическая академия». – № 2002119910/13; заявл. 22.07.2002; опубл. 20.01.2004. Бюл. № 2.

УДК 678.4

В. А. Седых, проф., канд. техн. наук;
С. С. Никулин, проф., д-р. техн. наук (ВГУИТ, г. Воронеж);
В. М. Мисин, вед. научн. сотр., д-р. хим. наук (ИБХФ РАН, г. Москва)
Н. С. Никулина, ст. преп., канд. техн. наук (Воронежский институт
повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России, г. Воронеж)

МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИБУТАДИЕНА ПОЛИВИНИЛКАРБАЗОЛОМ

Полибутадиен марки СКД (ГОСТ 14924-75) – аморфный ненасыщенными каучук линейной стереорегулярной структуры, незаменимая основа вулканизатов эксплуатируемых в условиях динамических деформаций и низких температур.

К недостаткам СКД относятся плохие технологические свойства и склонность к хладотекучести. Последний недостаток затрудняет его транспортировку и хранение. Устранение хладотекучести и регулирование вязкости расплава одна из задач совершенствования потребительских свойств СКД [1, 2].

Модифицирующая добавка - поливинилкарбазол (ПВК) представляет собой прозрачный бесцветный термопластичный аморфный полимер, растворяющийся в ароматических и хлорированных углеводородах. Объемные карбазольные группы придают ему высокую теплостойкость, гидрофобность, химическую стойкость и повышенную хрупкость.

Цель работы – изучение влияния добавки поливинилкарбазола, вводимой на стадии выделения полимера, на совместимость с полибутадиеном и его технологические и реологические свойства.

Введение в СКД добавок поливинилкарбазола (до 5% масс. на каучук) осуществлялось смешением толуольных растворов с последующим высушиванием пленок при 30°C – 72ч.

С ростом содержания ПВК пленки теряли прозрачность, конфекционную клейкость и приобретали белесый оттенок. Отмечено, что, при содержании до 5% масс. ПВК в СКД в пленках не наблюдалось появление отдельных фаз.

Изучение реологических показателей товарного СКД (хладотекучести).

Образцы пленок полибутадиена с содержанием ПВК 0, 1, 3 и 5 % масс. до и после вальцевания испытывались на хладотекучесть.

Набранные из пленок столбики подвергали нагрузке 49Н в пластометре при 20°C. Затем вычисляли скорость деформирования каучука.

Далее образцы каучука в присутствии ПВК подвергали сдвиговым воздействиям в зазоре лабораторных вальцов ЛБ320 160/160 при 20°C и повторно определяли скорость хладотекучести каучука.

Установлено уменьшение скорости хладотекучести с 0,05 до 0,02 мм/с с увеличением содержания ПВК от 0 до 5 % масс. В образцах, подвергнутых предварительному сдвиговому воздействию, обнаружена зависимость сглаживалась. Так, с увеличением содержания ПВК в СКД, уменьшение скорости хладотекучести стало незначительным с 0,05 до 0,04 мм/с. По-видимому, после сдвигового воздействия, в ходе восстановления надмолекулярной структуры каучука в присутствии ПВК, требуется большее время.

Изучение реологических показателей расплава СКД.

Исходный полибутадиен с содержанием ПВК 0, 1, 3 и 5% масс. не подвергнутый механо-термоокислительному воздействию продавливался через капилляр диаметром 2,1 мм вискозиметра ИИРТ – 5М при 190 °С и нагрузке 96,4 Н.

Кинетика изменения текучести расплава (ПТР) не подвергнутого механо-, термоокислительной деструкции СКД при различном содержании ПВК описывалась ломанной линейной зависимостью.

Показано, что кинетика изменения ПТР расплава каучука в присутствии ПВК включала 2-а периода: 1-й – интенсивное падение текучести (увеличение вязкости) по причине стабилизации температурного режима и выдавливания низкомолекулярных фракций; 2-й – медленное (на порядок) снижение текучести расплава СКД [3]. Определены расчетные временные границы периодов.

Это объяснялось образованием надмолекулярных структур в каучуке при 190°C [2].

Далее воспроизводились условия переработки СКД при изготовлении резиновых смесей.

Полибутадиен в присутствии поливинилкарбазола 0, 1, 3 и 5% масс. подвергался сначала механодеструкции на холодных вальцах, статическому термоокислительному воздействию при температуре 110°C в течение 1 ч, а затем сдвиговому воздействию при 190°C (капилляр вискозиметра).

Кинетика изменения ПТР подвергнутого механо-, термоокислительной деструкции СКД при различном содержании ПВК так же описывалась ломанной линейной зависимостью.

Установлено влияние добавок ПВК на вязкость расплава обработанного каучука.

Предварительное механо-, термоокислительное воздействие на исходный каучук без ПВК привело как к снижению уровня начальной

вязкости расплава, так и увеличению скорости восстановления вязкости в 1-м периоде. В результате продолжительность 1-го периода кинетики изменения вязкости расплава сократилась почти в 1,5 раза (с 2,9 до 1,9 мин).

В присутствии ПВК механо-, термоокислительное воздействие на каучук привело к росту продолжительности 1-го периода кинетики изменения вязкости расплава с 2,9 до 2,4-2,9 мин за счет снижения скорости, повышению уровня вязкости расплава СКД во 2-м периоде, а также выравниванию скорости роста вязкости в этом периоде [3].

Таким образом, изучено влияние добавок ПВК на такие технологические свойства каучука СКД как хладотекучести и реологические показатели его расплавов.

Доказана термодинамическая совместимость СКД с ПВК при содержании до 1 % масс., и, наоборот, нарушение совместимости при содержании последнего 5% масс. и более.

Показана возможность использования ПВК в СКД в качестве реологической добавки (до 3% масс.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин, Б. С. Материалы резиновой промышленности (информационно-аналитическая база данных) : монография. Ч. 1 / Б. С. Гришин; Федер. агентство по образованию, Казан. гос. технол. ун-т. – Казань : 2010. – 506 с.

2. Марк, Дж. Каучук и резина. Наука и технологии. Монография. Пер. с англ.: Научное издание/ Дж. Марк, Б. Эрман, Ф. Эйрич (ред.) – Долгопрудный: Изд. Дом «Интеллект», 2011. – 768 с.

3. Коровина, В.С. Термоокисление полибутадиена в присутствии поливинилкарбазола / В.С. Коровина, К.А. Алексеев, В.А. Седых // Инновации в области химии и технологии высокомолекулярных соединений («РМС-2019»): материалы 2-го всероссийского этапа VII международного конференции-конкурса и 1-го научно-технического форума «Полимеры - материалы будущего», Воронеж, 27-28 мая 2019. С. 86–91.

Е. В. Комарова, доц., канд. техн. наук;
В. М. Болотов, проф., д-р. техн. наук;
С. В. Грезев, асп. (ВГУИТ, г. Воронеж)

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ АНТИОКСИДАНТОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ НОВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время в химической промышленности широко используются продукты растительного и животного происхождения в качестве ингредиентов различного назначения. Эти продукты – надежный, возобновляемый в больших количествах, недорогой, нетоксичный источник сырья.

В условиях развития рыночных отношений в России проблемы, связанные с разработкой научных основ производства и технологии оформления процессов, а также ассортимента химических продуктов и реактивов химического синтеза претерпевают некоторые изменения. Это связано с резким повышением цен на сырье и, как следствие, значительным сокращением их производства.

По оценкам отечественных и зарубежных экономистов, а также маркетинговых служб, в настоящее время в качестве заменителя таких компонентов наиболее целесообразным оказалось применение натуральных продуктов природного происхождения, как наиболее дешевых и экологически безопасных.

Разработка полимерных материалов, обладающих новыми функциональными свойствами, является актуальным вопросом. Расширить их ассортимент позволяет применение для изготовления натуральных БАС, обладающих повышенной антиоксидантной активностью.

В последнее время серьезное внимание уделяется так называемому оксидативному стрессу – окислительному повреждению биологических молекул, которое генерируется в основном свободными радикалами. Их избыток разрушает структуру взаимодействующих молекул, что чаще всего ассоциируют с последствиями свободнорадикального окисления.

Введение в окислительные процессы антиоксидантов подавляет или значительно замедляет скорость протекающих реакций. Укрепление естественных антиоксидантных механизмов обеспечивается за счет соединений, обладающих ингибирующими свойствами (флавоноиды, дубильные вещества, токоферолы, каротиноиды, ликопин, гидроксиды и аминокислоты, аскорбиновую кислоту и др. органические вещества).

Эффективность использования добавок в каждой конкретной

композиции зависит от совокупности химических и коллоидно-химических характеристик композиции и способов ее переработки.

Важными являются факторы совместимости полимера и добавок, характер диффузии добавок и степень ассоциации молекул в эластической матрице, вызывающие изменение различных физических свойств композиции, а также степень воздействия на химические реакции в полимерной композиции или в условиях эксплуатации.

Более важным представляется совокупность факторов, определяющих взаимодействие добавок и дальнейшее изменение образующихся продуктов в условиях эксплуатации.

Поэтому наиболее эффективное применение БАС в композициях с полимерами должно основываться на знании закономерностей изменений под их влиянием структуры композиции, а для выбора конкретных добавок необходимо проведение специальных экспериментов. Несмотря на большое количество работ, посвященных этому вопросу, влияние БАС на свойства полимеров недостаточно выяснено.

В этой связи, проводимые исследование, разработка и последующее внедрение новых БАС, обладающих антиоксидантной активностью, представляется весьма актуальной задачей.

При производстве натуральных БАС используется сырье, содержащее в своем составе природные антиоксиданты. В то же время, используемые в настоящее время синтетические антибактериальные препараты не обладают.

В качестве объектов исследования было выбрано каротиноидсодержащее растительное сырье. Полученные образцы БАС представляют собой сложную смесь каротиноидов, а также сопутствующих им веществ, извлекаемых из сырья в ходе экстракции.

Сложный химический состав, достаточно высокая реакционная способность органических соединений, а также межмолекулярная ассоциация молекул с хромофорными и ауксохромными группами обуславливают особенности технологий получения БАС.

Изучение литературы и проводимые исследования показывают, что свойства природных соединений определяются не только их химической структурой, но и природой межмолекулярных взаимодействий, как между собой, так и с другими органическими соединениями.

Например, при нагревании каротиноидсодержащего растительного сырья в присутствии кислорода воздуха в условиях сохранения системы сопряженных π – связей каротиноидов происходит не только их окисление с введением в молекулу гидроксильных групп, но и ограниченный гидролиз природных углеводсодержащих компонентов растений.

Образование ассоциата между гидрофобными каротиноидами и гидрофильными углеводами позволяет получать гидрофилизированные каротиноиды в виде комплекса (ассоциата) и экстрагировать их из растительного сырья водно-этанольными растворами с объемным содержанием воды не менее.

Для определения антиоксидантной активности нами использован прибор ЦветЯуза-01-АА, который позволяет проводить прямые количественные измерения антиоксидантной активности исследуемых проб, причем, варьируя полярность и величины приложенных потенциалов можно определять не только суммарную антиоксидантную активность, но и активность отдельных классов биологических соединений.

В результате эксперимента была определена суммарная антиоксидантная активность термофилизированных каротиноидных красителей в экстракте и в концентрате (стандарт – α -токоферола ацетат) составляла 433,6 г/дм³ и 8,27 г/г соответственно.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что модифицированные природные каротиноиды можно использовать для получения полимерных материалов с повышенной антиоксидантной активностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болотов В.М., Перикова Л.И, Комарова Е.В., Саввин П.Н. Ассоционные взаимодействия в каротиноидсодержащих биосистемах // Актуальная биотехнология. 2013. № 1. С. 5–7.

2. Комарова Е.В, Болотов В.М., П.Н.Саввин Получение антоциановых и каротиноидных соединений из растительного сырья и применение их для повышения антиоксидантной активности продуктов питания. Теоретические и практические вопросы интеграции химической науки, технологии и образования: материалы конференции. - Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2017. – С. 43–50.

В. М. Болотов, проф., д-р. техн. наук;
П. Н. Саввин, доц., канд. техн. наук;
Е. В. Комарова, доц., канд. техн. наук;
М. В. Рубцов, асп. (ВГУИТ, г. Воронеж)

ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОФОБНЫХ ФЛАВОНОИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Среди биологически активных органических веществ растений широко распространены флавоноидные соединения, являющиеся полифенольными производными кислородсодержащего гетероцикла бензопирана и соединенного с ним фенильного радикала.

Молекулы флавоноидов классифицируются по природе функциональных групп в структуре фенилбензопирана на флаваны, флаванолы, флавоны, флавонолы, антоцианы и др. соединения.

Природные флавоноиды дополнительно содержат в своем составе высокополярные углеводные фрагменты с гидроксильными группами, что придает этим соединениям высокие гидрофильные свойства и хорошую растворимость в воде и водных растворах.

Присутствие в структуре флавонолов и антоцианов фенольных гидроксильных и хромофорных групп придает молекулам антиоксидантные свойства и свойства природных красителей [1].

Применение природных флавоноидов в технологии производства продуктов питания позволяет витаминизировать, повысить антиоксидантные свойства и окрашивать продукты питания в желтый цвет при использовании флавонолов и красный цвет – антоцианов в кислой среде (кондитерские изделия, безалкогольные напитки и др.) [2–4].

Нами проводятся исследования по возможности применения природных и модифицированных молекул флавоноидов в качестве антиоксидантов полимерных материалов медицинского назначения.

Для увеличения совместимости макромолекул гидрофобных полимерных материалов с природными высокополярными молекулами флавоноидов нами предложено увеличить их гидрофобные свойства реакцией гидролиза гликозидной связи между агликоном (фенилбензопираном) и углеводным остатком [5].

Выполненный расчет гидрофильно-гидрофобных свойств молекул флавоноидов для гликозидированной структуры и агликона по величине расчетного коэффициента межфазного распределения (ClogP) полифенолов в системе бутанол-вода показывает на более высокие гидрофобные свойства флавоноид-агликонов (таблица 1).

Таблица 1 - Значения расчетных коэффициентов межфазного распределения (ClogP) флавоноидов в системе бутанол–вода

№ п/п	Наименование добавки	ClogP
1	Цианидин-3-глюкозид	-0,01
2	Кверцетин-3-глюкозид	-1,36
3	Цианидин	1,76
4	Кверцетин	1,50

Способ получения гидрофобных флавоноидных антиоксидантов из растительного сырья предусматривает высушивание, измельчение флавоноидсодержащего растительного сырья (выжимок ягод черной смородины, черноплодной рябины, лепестков цветов красной розы, гвоздики, луковой шелухи и другого сырья) и экстрагирование природных флавоноидов. Затем объединяют фракции экстрактов и раствор концентрируют в 2–3 раза путем отгонки воды под вакуумом (высушивание) при температуре не более 70°C.

После этого к концентрату экстракта добавляют концентрированную ортофосфорную кислоту в количестве 4–6% от содержания сухих веществ и проводят гидролиз гликозидных форм флавоноидов нагреванием реакционной смеси при температуре 70–80°C и непрерывном перемешивании до постоянного содержания сухих веществ в составе экстракта.

По окончании гидролиза раствор охлаждают, выпавшие в осадок гидрофобные агликоны флавоноидов отфильтровывают и сушат при комнатной температуре или в условиях вакуумной сушки [5].

Изучение физических свойств и результаты ИК–исследований подтверждают химическую структуру молекул природных гликозидированных флавоноидов и их агликонов.

По внешнему виду гликозиды флавоноидов являются кристаллическими соединениями темно-красного (антоцианы) или желто-коричневого (флавонолы) цветов.

Агликоны флавоноидов представляют собой порошки от шоколадно-коричневого (для антоцианов) до темно-коричневого (для флавонолов) цвета, нерастворимые в воде, хорошо растворяются в низших спиртах (этиловом изопропиловом спирте), ацетоне, плохо растворяются в сложных эфирах (этил- и бутилацетате) и других малополярных растворителях.

В табл. 2 представлены результаты исследований влияния агликонов флавоноидов на сохранность пленки полистирола в условиях ее окисления кислородом воздуха в присутствии ультрафиолетового освещения.

Таблица 2 - Антиоксидантные свойства флавоноидов

Наименование добавки	Интенсивность накопления С=О -группы в пленке полистирола ($A_{300\text{нм}}/A_{350\text{нм}}$)		Эффект стабилизации
	без добавки	с добавкой	
Кверцетин	2,95/1,75=1,69	2,90/2,80=1,04	1,69/1,04=1,6
Антоцианидин	2,14/0,67=3,19	1,86/0,84=2,21	3,19/2,21=1,4

Таким образом, проведенные исследования показывают возможность получения гидрофобных флавоноидов из природных соединений растительного сырья и возможность их применения в качестве антиоксидантов полимерных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болотов, В.М. Пищевые красители: классификация, свойства, анализ, применение [Текст] / В.М., А.П.Нечаев, Л.А.Сарафанова. СПб.:ГИОРД, 2008. – 240 с.
2. Болотов, В.М. Исследования антиоксидантных свойств желейного мармелада/ В.М.Болотов, П.Н.Саввин // Ж. «Химия растительного сырья», –2008. –№4. С. 177–179.
3. Болотов, В.М. Черносмородиновый краситель – источник антиоксидантов при производстве кондитерских изделий / В.М.Болотов, П.Н. Саввин // Ж. «Пищевая промышленность». – 2010.– № 8. С. 26–27.
4. Болотов, В.М. Композиционные каратиноидно-антоциановые красители в технологии ликероводочных изделий / В.М.Болотов, Е.В.Комарова, П.Н.Саввин, М.Ю.Парашкин // Ж «Пиво и напитки», 2017. №1. С. 43–51.
5. Патент № 2733411 (РФ). Способ получения гидрофобных флавоноидных и антоциановых соединений из флавоноидсодержащего растительного сырья/ В.М.Болотов, Е.В.Комарова, П.Н.Саввин // БИ 2020г, №28. – С. 6.

УДК 678.762.2

Н. С. Никулина, канд. техн. наук (ФГБУ ДПО «Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС, МЧС России», г. Воронеж);

Л. А. Власова, доц., канд. техн. наук;

Н. Ю. Санникова, доц., канд. хим. наук (ВГУИТ, г. Воронеж);

С. С. Никулин, проф., д-р. техн. наук
(ВГУИТ, ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж)

НОВЫЕ КОАГУЛИРУЮЩИЕ АГЕНТЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭМУЛЬСИОННЫХ КАУЧУКОВ

В настоящее время непрерывно повышаются к качеству и ассортименту выпускаемой продукции из высокомолекулярных соединений. Ужесточаются и экологические требования к их производству. Данные требования относятся и к производству синтетических каучуков и композитов на их основе. Особый интерес в этой связи представляют полимеры, наполненные ароматизированными маслами, получение которых освоено в промышленных масштабах [1].

С целью снижения экологических рисков данных производств, требуется совершенствовать стадию выделения каучуков из латекса.

Наиболее оптимальным в этом случае можно считать выбор коагулирующих агентов, способных снизить или полностью исключить применение минеральных солей [2].

В данной работе предлагается использовать для снижения агрегативной устойчивости дисперсной системы (латекса) бисоставного коагулянта, включающего в свой состав побочного продукта производства свеклосахарного производства – мелассу обедненную (МСО) и хлорид натрия.

В работе [3] показана перспективность применения в производстве эмульсионных каучуков коагулянта на основе хлорида натрия и мелассы: показано снижение расхода коагулянтов при сохранении параметров всех основных показателей каучуков, резиновых смесей и вулканизатов. Однако при изготовлении маслonaполненных каучуков возможность применения бисоставного коагулянта не изучалась.

В данной работе изучалась возможность получения маслonaполненных каучуков с применением в технологии их выделения из латекса бисоставного коагулянта на основе хлорида натрия и мелассы.

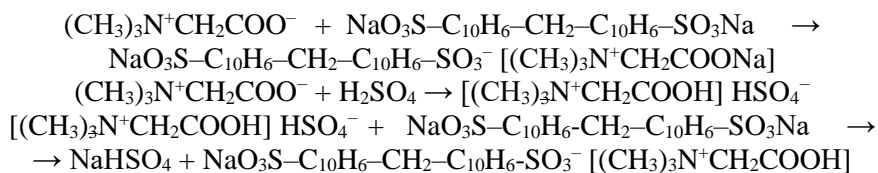
При изучении процесса изготовления маслonaполненного каучука использовали промышленный бутадиен-стирольный латекс марки СКС-30АРКМ -15, обладающий следующими показателями: сухой остаток – 21.7 % мас., рН – 9,5. Характеристики мелассы следующие:

сухой остаток – 68 % мас., рН – 12, массовая доля сахара по прямой поляризации – 12 % мас.

Для извлечения каучука из латекса СКС-30 АРК использовали раствор МСО с концентрацией 25-30 % мас. Процесс проводили при температуре 60 ± 2 °С классическим способом [4].

Проведенными исследованиями установлено, что выход наполненной маслом крошки каучука зависел от расхода коагулирующих агентов. Так, при использовании для снижения агрегативной устойчивости латекса в качестве коагулирующего агента хлорида натрия полноту выделения каучука достигали при расходе 130–140 кг/т каучука, а мелассы обедненной – 170–175 кг/т каучука. При использовании же бисоставного коагулянта, включающего хлорид натрия и мелассу, полноту коагуляции достигали при расходе хлорида натрия – 50 кг/т каучука и мелассы – 40 кг/т каучука. Снижение расхода коагулянта можно объяснить синергизмом действия компонентов, входящих в состав коагулянта.

Отмечено, что содержание гепатотогенного продукта – лейконола в водной фазе (серуме) снижается в 4–7 раз. Это связано с тем, что сульфогруппы лейконола взаимодействуют с положительно заряженной аммониевой группой молекулы бетаина с образованием комплексов:



и взаимодействии с мылами карбоновых кислот :



В ходе исследований определены основные характеристические показатели резиновых смесей и вулканизатов, приготовленных по общепринятой рецептуре на основе выделенного каучука (таблица).

Установлено, что вулканизаты, изготовленные на основе образцов каучука, выделенного МСО, бисоставным коагулянтom соответствовали предъявляемым требованиям и были аналогичны контрольному образцу, полученному из латекса с применением в качестве коагулянта хлорида натрия.

Возможно вторичное использования серума, образующегося в процессе коагуляции латекса, для приготовления раствора мелассы и серной кислоты.

**Таблица - Свойства каучуков и вулканизатов на основе каучука
СКС-30 АРКМ-15**

Показатели	Требования на каучук СКС-30 АРКМ-15 по ТУ 8.403121-98	Контрольный коагулянт (хлорид натрия)	Экспериментальные коагулянты	
			МСО	Бисоставной коагулянт
Вязкость каучука по Муни	47 – 52	50	48	51
Напряжение при 300 % удлинении, МПа	не менее 10,8	11,7	11,0	11,2
Условная прочность при растяжении, МПа	не менее 21,6	23,1	22,7	23,9

ЛИТЕРАТУРА

1. Папков В.Н., Ривин Э.М., Блинов Е.В. Бутадиен-стирольные каучук. Синтез и свойства. Воронеж.: ВГУИТ. 2015. 315 с.
2. Вережников В.Н., Никулин С.С. Применение азотсодержащих соединений для выделения синтетических каучуков из латексов // Химическая промышленность сегодня. 2004. № 11. С. 26–37.
3. Bulatetskaya T.M., Nikulina N.S., Nikulin S.S., Verezhnikov V.N. Provotorova M.A The use of three component molassts coa ulant – sodium chloride – sulfuric acid in the technolo of emulsion rubbers // International Research Conference on Technology, Science, Engineering & Management. USA: Los Gatos. 2018. P. 56–65.
4. Пояркова Т.Н., Никулин С.С., Пугачева И.Н., Кудрина Г.В., Филимонова О.Н. Практикум по коллоидной химии латексов. М.: Издательский дом Академии Естествознания. 2011. 124 с.

УДК 678.762.2

С. С. Никулин, проф., д-р техн. наук (ВГУИТ, ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж);
 Н. С. Никулина, канд. техн. наук (ФГБУ ДПО «Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС, МЧС России», г. Воронеж);
 Е. А. Рудыка, доц., канд. техн. наук;
 Е. В. Батурина, доц., канд. техн. наук (ВГУИТ, г. Воронеж)

МАСЛЯНО-ОЛИГОМЕРНЫЙ НАПОЛНИТЕЛЬ В ПРОИЗВОДСТВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ КАУЧУКОВ

В последние годы в нефтехимической промышленности повышенное внимание уделяется разработкам малоотходных и безотходных технологических процессов. Примером может служить получение полибутадиена (ПБ) полимеризацией бутадиена в присутствии катализаторов Циглера-Натта в углеводородном растворителе [1].

Данный процесс сопровождается образованием в качестве по-

бочных продуктов - димеров и тримеров бутадиена, основными из которых являются: 4-винилциклогексен (ВЦГ); n-додекатетраен-2,4,6,10 (НДТ); циклододекатриен-1,5,9 (ЦДТ) и др. Кроме того образование ВЦГ, ЦДТ, НДТ отмечено и в других процессах органического синтеза с участием бутадиена [2].

Целью исследования явилось получение олигомеров на основе стирола и побочных продуктов производства ПБ для получения масляно-олигомерного наполнителя.

Частичная замена масла ПН-6 на олигомерный наполнитель позволяет снизить потери углеводородного сырья и использовать побочные продукты нефтехимии.

В исследовании использовали побочный продукт производства полибутадиена (ПППБ), содержащий в % : толуол – ~ 35,0; ЦДТ, НДТ и другие высококипящие соединения – ~ 18,0; ВЦГ – ~ 47,0.

Получение низкомолекулярных сополимеров на основе ПППБ и стирола (шихта) осуществляли с использованием природного алюмосиликатного катализатора. Процесс проводили при температуре 160–170 °С. Выход олигомерных продуктов достигал 99 %.

Синтезированный олигомер вводили в масло ПН-6 в соотношении 50/50. Молекулярная масса олигомера составляла 800–900, определенная гель-хроматографическим методом. В полученную смесь вводили антиоксидант ВС-1. После чего ее подвергали эмульгированию и направляли на смешение с каучуковым латексом с целью получения каучука СКС-30 АРКМ-15.

В таблице 1 представлены экспериментальные результаты по влиянию содержания стирола в углеводородной шихте, а также продолжительности процесса на выход олигомеров.

Таблица 1 – Влиянию содержания стирола и продолжительности процесса на выход олигомеров

Содержание стирола в исходной смеси мономеров, %	Выход низкомолекулярных сополимеров, % при продолжительности синтеза, ч					
	4	8	12	16	20	24
0	12,4	30,8	41,2	47,0	51,9	56,1
20	18,2	42,4	53,2	59,9	66,0	68,7
40	39,1	63,6	70,2	75,8	84,8	90,9
60	54,2	69,0	74,7	81,0	88,9	92,4
80	63,6	72,7	80,1	86,5	91,3	95,9
90	70,1	77,5	81,8	88,9	94,3	99,0

Проведенные исследования показали, что чем больше содержание стирола в исходной смеси мономеров, тем выше выход олигомеров.

Получаемый продукт представляет собой вязкую массу коричневого цвета при 20–25 °С.

Проведенные исследования показали (таблица 2), что по всем своим основным показателям каучуки, резиновые смеси и вулканизаты соответствуют предъявляемым требованиям (ГОСТ 11138-78), а по контрольному образцу превосходят вулканизаты с маслом ПН-6.

Таблица 2 – Свойства каучуков и вулканизатов на основе каучука СКС-30 АРКМ-15, содержащего олигомерный наполнитель

Показатели	Масло ПН-6	Олигомерный наполнитель				
		Содержание стирола в олигомерном наполнителе, %				
		0	20	40	60	80
Вязкость по Муни каучука	52,0	48,0	49,5	51,0	52,5	54,0
Массовая доля свободных органических кислот, %	5,8	6,1	6,0	5,9	6,2	6,3
Массовая доля мыл органических кислот, %	0,15	0,17	0,16	0,14	0,15	0,15
Потеря массы при сушке, %	0,19	0,18	0,16	0,14	0,15	0,13
Напряжение при 300 % удлинении, МПа	12,7	11,6	11,5	12,0	12,5	12,7
Условная прочность при растяжении, МПа	24,6	24,2	25,0	26,0	25,9	26,4
Относительное удлинение при разрыве, %	560	610	560	550	540	520

Примечание. Содержание связанного стирола – 22,8 %; содержание масляно-олигомерной добавки – 15 %; содержание ВС-1 – 0,3%.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что увеличение содержания стирола в олигомере приводит к возрастанию вязкости по Муни с 48 до 54. Это связано с тем, что часть низкомолекулярного масла ПН-6 заменяется на более высокомолекулярный олигомерный продукт, приводящий к повышению вязкости системы. С ростом содержания стирола в олигомерных звеньях повышаются и прочностные показатели вулканизатов. Влияние олигомера с высоким содержанием стирола на получаемый композит, аналогично действию на каучуки высокостирольной смолы.

Содержащие стирол олигомерные материалы, синтезированные на основе побочных продуктов производства ПБ, могут быть использованы в качестве наполнителей эмульсионных каучуков в сочетании с маслом ПН-6. Применение олигомерной добавки при производстве эмульсионных каучуков позволяет снизить потери ценного углеводородного сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверко-Антонович Л.А., Аверко-Антонович Ю.О., Давлетбаева И.М., Кирпичников П.А. Химия и технология синтетических каучуков. М.: КолосС, 2008. 359 с.
2. Фельдблюм В.Ш., Москвичев Ю.А. Непредельные углеводороды и их производные: новые возможности синтеза, катализа, технологии. М.: Мир, 2003. 174 с.

УДК 678.7-139-9: 678.742.3:678.762.2

Н. А. Охотина, канд. техн. наук, проф.;

О. А. Панфилова, канд. техн. наук, доц.;

И. И. Миннегалиев, магистрант;

О. А. Потапов, бакалавр (ФГБОУ ВО «КНИТУ», г.Казань);

Р. М. Долинская, доц., канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск)

ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ ВУЛКАНИЗАТЫ НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-СТИРОЛЬНОГО КАУЧУКА И ПОЛИЭТИЛЕНОВ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

Термопластичными вулканизатами (ТПВ) называются смесевые термоэластопласты, при получении которых в процессе высокотемпературного и высокоскоростного смешения термопластов и каучуков в состав композиции вводятся вулканизирующие вещества для частичной вулканизации каучуковой фазы. В качестве термопластичной фазы чаще всего используется полипропилен, но находят применение полиэтилен и поливинилхлорид, а из каучуков предпочитают использовать малоненасыщенные типы, но достаточно широко известны системы на основе ненасыщенных каучуков [1].

В настоящей работе представлены результаты исследования термопластичных вулканизатов на основе бутадиен-стирольного каучука СКМС-30 АРКМ-15 и следующих марок полиэтиленов как высокой, так и низкой плотности:

- Казпелен 273-83 – полимодальный полиэтилен высокой плотности, получаемый газофазным методом, с показателем текучести расплава (ПТР) 0,40-0,65 г/10 мин (190°C / 5 кг);

- Снолен EP 0,26/51 (полиэтилен 100) – бимодальный полиэтилен высокой плотности, получаемый суспензионным методом, с ПТР 0,20-0,26 г/10 мин (190°C / 5 кг);

- LLDPE Sabic 118NJ – линейный полиэтилен низкой плотности с ПТР 1 г/10 мин (190°C / 2,16 кг);

- Sabic 318BJ – линейный полиэтилен низкой плотности с ПТР 2,8 г/10 мин (190°C / 2,16 кг);

- mLLDPE Ineos Eltex PF 6212 AA – линейный полиэтилен низкой плотности с ПТР 1,3 г/10 мин (190°C / 2,16 кг).

Линейные полиэтилены низкой плотности являются сополимерами полиэтилена с бутеном, гексеном или октеном, полимеризация проводится на металлоценовых катализаторах с одним центром полимеризации, что позволяет регулировать структуру полимера [2].

Термопластичные вулканизаты изготавливались в смесительной камере пластикордера Брабендер в две стадии, когда на первой стадии

получалась резиновая смесь с вулканизирующей системой, а на второй стадии при температуре расплава полиэтилена резиновая смесь смешивалась с компонентами термопластичной фазы [3]. Процесс получения ТПВ с соотношением эластомерной и термопластичной фаз от 30:70 до 70:30 контролировался по пластограмме смешения. Образцы для физико-механических испытаний вырубались из ленты, получаемой путем экструдирования композитов через плоскощелевую головку приставки пластикордера.

Результаты испытаний образцов ТПВ, полученных на основе полиэтиленов разных марок и при разном соотношении эластичной и термопластичной фаз представлены в табл. 1.

Таблица - Влияние соотношения эластомерной и термопластичной фаз и марки полиэтилена на свойства ТПВ

Показатели	СКМС:ПЭ				
	30:70	40:60	50:50	60:40	70:30
<i>Казпелен 273-83</i>					
f_p , МПа	12,6	10,1	9,5	8,4	5,4
ε , %	643	553	527	460	350
$\varepsilon_{ост}$, %	501	372	323	197	101
<i>Снолен EP 0,26/51</i>					
f_p , МПа	12,0	10,5	8,4	7,5	6,2
ε , %	573	535	430	350	330
$\varepsilon_{ост}$, %	410	380	263	143	60
<i>Sabic 318BJ</i>					
f_p , МПа	10,1	9,2	6,8	5,3	6,5
ε , %	650,7	618	512	502	510
$\varepsilon_{ост}$, %	492	333	260	188	126
<i>Sabic 118NJ</i>					
f_p , МПа	12,9	11,5	8,1	6,9	7,3
ε , %	660	635	618	573,5	564
$\varepsilon_{ост}$, %	580	392	324	246	196
<i>PF 6212 AA</i>					
f_p , МПа	16,2	12,4	9,92	8	8,6
ε , %	592,6	585,6	554,5	541,8	531,9
$\varepsilon_{ост}$, %	390	340	272	156	125
f_p – условная прочность при растяжении; ε – относительное удлинение при разрыве; $\varepsilon_{ост}$ – относительное остаточное удлинение.					

Полученные результаты свидетельствуют о том, что свойства композитов зависят и от соотношения фаз, и от марки полиэтилена. Так, закономерно, что с увеличением содержания каучука в составе ТПВ прочность снижается, поскольку прочность резин ниже прочности термопластов. При этом для полиэтиленов высокой плотности (Казпелен 273-83 и Снолен EP 0,26/51) снижение монотонно, для ли-

нейных полиэтиленов низкой плотности (Sabic 318BJ, 118BJ, PF 6212 AA) наблюдается минимальное значение при соотношении 60:40. Марка полиэтилена влияет и на численные значения прочности ТПВ. Для суспензионных марок значения показателей близки, то в случае растворных полиэтиленов наиболее высокую прочность имеют ТПВ на основе марки mLLDPE Ineos Eltex PF 6212 AA, поскольку эта марка линейного ПЭ имеет наиболее регулярную структуру за счет использования при синтеза металлоценовых катализаторов. Более низкие значения прочности ТПВ на основе марки Sabic 318BJ можно объяснить повышенными значениями показателя текучести расплава (2,8 г/10 мин для 318BJ, 1,3 г/10 мин для PF 6212), который связан с молекулярной массой и ММР. Общий высокий уровень значений относительного удлинения при разрыве характерен для ТПВ на основе полиэтилена по сравнению с ТПВ на основе полипропилена. Здесь также есть различия во влиянии содержания эластомерной фазы и марки полиэтилена: для полиэтиленов высокой плотности относительное удлинение снижается ростом содержания каучука в большей степени. Аналогично изменяются и показатели относительного остаточного удлинения.

Полученные результаты показывают, что, несмотря на структурные различия полиэтиленов (высокая или низкая плотность, полиили бимодальное распределение, наличие коротких ветвей в случае 1-алкеновых сомономеров) в одинаковых рецептурно-технологических режимах получают термопластичные вулканизаты с примерно одинаковым уровнем свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Холден Д., Крихельдорф Х. Р., Куирк Р. П.. Термоэластопласты. ЦОП «Профессия». СПб. 2011. 720 с.
2. Ethylene Polymers, LLDPE/ Simpson D. M., Vaughan G. A.// Encyclopedia of Polymer Science and Technology. 2003. Vol. 2. P. 441-482.
3. Влияния состава полимерной части на свойства термопластичных вулканизатов на основе бутадиен-стирольных каучуков и полиэтилена/ О.А. Панфилова [и др.]// Вестн. Казан. технол. ун-та, 2016. Т. 19. № 14. С.57-59.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МАРОК КАУЧУКОВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ВЯЗКОСТЬ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

На современном этапе развития производства эластомерных материалов, предназначенных для изготовления уплотнительных резинотехнических изделий (РТИ), которые будут работоспособны при высоких температурах, устойчивы к воздействию агрессивных сред, а резиновая смесь будет обладать хорошими технологическими свойствами, актуальными являются исследования направленные на подбор марки этиленпропилендиенового каучука (ЭПД), тройного сополимера, для разработки эластомерной композиции с улучшенным комплексом эксплуатационных свойств. Для производства уплотнительных РТИ, которые могут длительно эксплуатироваться в жестких условиях, актуальным является разработка эластомерных композиционных материалов на базе ЭПД с добавкой третьего мономера. Выбор типа третьего мономера зависит от его влияния на скорость вулканизации и комплекс физико-механических свойств. В связи с этим исследования, направленные на подбор марки ЭПД, тройного сополимера для разработки эластомерной композиции, для изготовления на их основе уплотнительных РТИ с улучшенным комплексом технологических и эксплуатационных свойств является важной актуальной задачей.

В качестве объекта исследования выбрана эластомерная композиция на основе этиленпропилендиенового (ЭПД) каучука различных марок, предназначенная для изготовления уплотнительных колец.

В настоящее время для изготовления кольца уплотнительного используется ЭПД каучук марки СКЭПТ-50, однако, он не обеспечивает требуемого уровня показателя «относительная остаточная деформация сжатия».

Для оценки технологического поведения эластомерной композиции использовали показатель вязкости, который служит мерой усилия необходимого для осуществления течения материала с заданной скоростью на той или иной стадии процесса переработки. Резиновые смеси это псевдопластики, поэтому для них вязкость не является физической константой, она зависит от напряжения сдвига, а, следовательно, и от скорости деформации.

Для исследований выбраны марки ЭПД каучуков, отличающиеся между собой типом третьего мономера, его содержанием, содержанием пропилена, ММР, вязкостью. Характеристика исследуемых марок ЭПД каучуков представлена в таблице.

Таблица - Характеристики этиленпропилендиеновых каучуков

Марка каучука	Тип третьего мономера	Вязкость по Муни МБ 1+4 (125°С)	Содержание третьего мономера, % масс.	Содержание пропилена, % масс.	ММР
Vistalon 2504	ЭНБ	25	3,8	44,5	широкое
Dutral TER4047	ЭНБ	55	4,5	46	узкое
СКЭПТ-50	ДЦПД	52	6,5	60	широкое
Keltan 2750	ЭНБ	27	7,8	52	узкое
Vistalon 8700	ЭНБ	76	8,0	37	бимодальное
Keltan 6950	ЭНБ	62	9,0	52	среднее

На рисунке 1 приведены изменения вязкости различных марок каучуков и резиновых смесей на их основе.

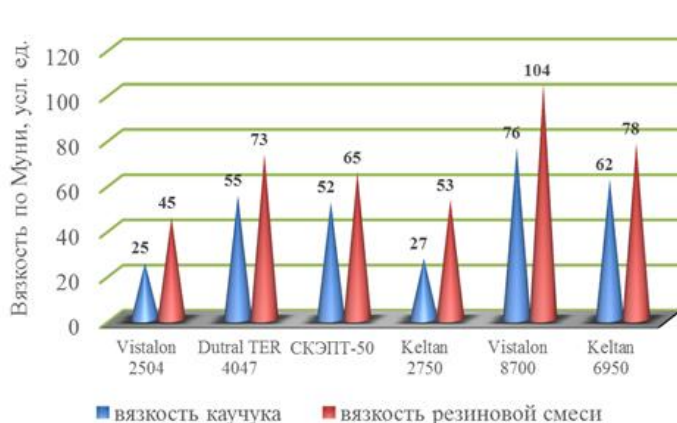


Рисунок 1 – Зависимость вязкости резиновой смеси от вязкости применяемого каучука

Исследования показали, что тип третьего мономера, его содержание в каучуке, как и следовало ожидать, оказывают влияние на вязкость каучуков.

Вязкость резиновых смесей изменяется пропорционально изменению вязкости каучука. Сопротивление подвулканизации резиновых смесей на основе ЭПД каучука зависит от типа третьего мономера и его содержания в каучуке и вязкости каучука.

Как видно из рисунка 2 резиновые смеси на основе исследуемых марок каучуков по склонности к подвулканизации расположились в ряду: Vistalon 8700 > Keltan 6950 > Keltan 2750 > Dutral TER 4047 > СКЭПТ-50 > Vistalon 2504, это вероятно связано с тем, что при увеличении содержания третьего мономера и вязкости каучука увеличивается количество двойных связей в полимере, что приводит

к возрастанию степени сшивки и увеличению склонности к подвулканизации.

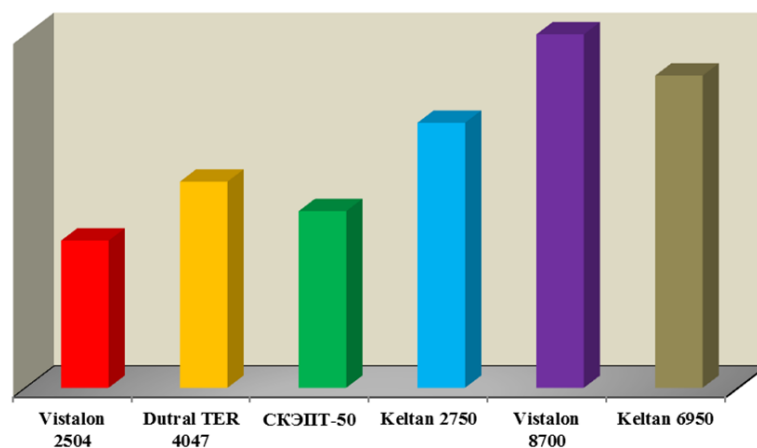


Рисунок 2 – Диаграмма склонности к подвулканизации эластомерных композиций

Исследования показали, что резиновые смеси при применении каучука Vistalon 2504 и СКЭПТ-50 практически не подвержены подвулканизации при переработке, что подтверждает известные положения о роли третьего мономера в каучуке. Третьим мономером является ДЦПД, который придает каучуку СКЭПТ-50 не высокую вязкость, в каучуке Vistalon 2504 в качестве третьего мономера ЭНБ и соответственно изменяется вязкость. Наибольшей склонностью к подвулканизации обладает эластомерная композиция на основе каучука марки Vistalon 8700, что обусловлено высокой вязкостью каучука и высоким содержанием третьего мономера ЭНБ в нем.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕЗДОРНОВЫХ РУКАВОВ

Среди огромного ассортимента резинотехнических изделий, применяемых во многих отраслях промышленности, одно из ведущих мест принадлежит рукавам.

Несмотря на то, что объём производства и ассортимент рукавных изделий возрастает из года в год, потребности в этих изделиях увеличивается в связи с увеличением выпуска автомобилей, тракторов, а также с развитием угольной и горнодобывающей промышленности.

Устранить дефицит рукавов возможно увеличением объёма их выпуска, повышением их качества, совершенствованием технологических процессов.

Производство рукавов занимает одно из ведущих мест в резиновой промышленности. Рукава служат для передачи газов, жидкостей и сыпучих материалов в самых различных условиях: от вакуума до давления 70 МПа в интервале температур 60–250°C.

К рукавам предъявляются весьма высокие требования. При длительной эксплуатации они должны сохранять герметичность, прочность и гибкость, продолжительное время противостоять воздействию окружающей среды и транспортируемых материалов, сопротивляться внешним механическим нагрузкам, сохранять постоянство геометрических размеров.

Конструкция рукавных изделий должна позволять быстро и надёжно устанавливать их на соответствующие штуцеры, патрубки и прочие типы посадочных мест машин и механизмов. Рукава должны просто и быстро соединяться в единую транспортную магистраль.

Несмотря на разнообразие конструкций и размеров рукавов, существует четыре основных способа их изготовления: дорновый, полудорновый, бездорновый и на гибких дорнах.

При изготовлении рукавов дорновым способом все процессы сборки и вулканизации проводят на дорне – металлической трубе. Дорновым способом можно собирать рукава всех размеров и конструкций, но длина получаемых изделий ограничивается длиной дорнов и обычно не превышает 6 м.

Наиболее перспективным является бездорновой способ изготов-

ления рукавов. Главное достоинство этого способа – изготовление рукавов значительной длины, что позволяет увеличить производительность труда. Таким образом, разработка технологии изготовления рукавов бездорновым способом, является актуальной.

Целью данного исследования является разработка рецептуры эластомерных композиций повышенной твердости, предназначенных для выпуска рукавов навивочной конструкции бездорновым способом.

Для рукавов, изготавливаемых бездорновым способом необходимо применение более жесткой, твердой резиновой смеси для обеспечения каркасности и предотвращения деформации камер.

Увеличить твердость резиновой смеси возможно следующими способами:

- увеличением содержания наполнителей;
- уменьшением содержания мягчителей.

Нами проведены исследования, направленные на увеличение твердости резиновой смеси. Исследования проводили для композиций резиновых смесей на основе комбинации бутадиен-нитрильных БНКС-18АМН и БНКС-28АМН каучуков, которые используются для изготовления рукавов дорновым способом, с целью изготовления на их основе рукавов бездорновым способом.

Нами изучено влияние содержания наполнителей на свойства композиций.

Полученные результаты подтвердили влияние содержания наполнителя на комплекс физико-механических показателей вулканизатов. При увеличении содержания углерода технического П 803 в резиновой смеси возрастают показатели вязкости, твердости, а относительное удлинение при разрыве уменьшается. Условная прочность при растяжении увеличивается незначительно, а при его содержании до 115 м.ч. снижается. Вероятно, это связано с тем, что данная марка технического углерода имеет не высокую удельную поверхность ($16 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{г}$), на которой отсутствуют активные центры, способные взаимодействовать с активной поверхностью каучука.

Уменьшение значения показателя условная прочность при растяжении и значительное увеличение твердости свидетельствует об избытке содержания технического углерода в резиновой смеси, следовательно, как показали проведенные исследования, оптимальное содержание углерода технического П 803–110 м.ч. на 100 м.ч. каучука.

Учитывая погрешность эксперимента с увеличением содержания углерода технического П 803 твердость резины возрастает на 9%, а относительное удлинение при разрыве снижается на 4%. Так как при

введении твердых наполнителей в эластомере происходит существенное уменьшение молекулярной подвижности макромолекул, это приводит к возрастанию степени упорядочивания макромолекул и плотности упаковки.

При увеличении содержания технического углерода П 803 в резиновых смесях прочность при растяжении проходит через максимум, определяющий оптимум наполнения.

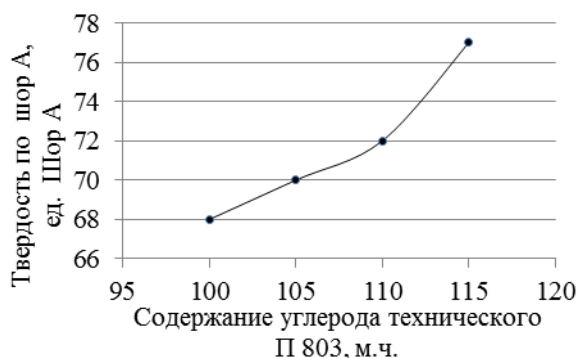


Рисунок 1 – Зависимость показателя твердости от содержания углерода технического в резиновой смеси

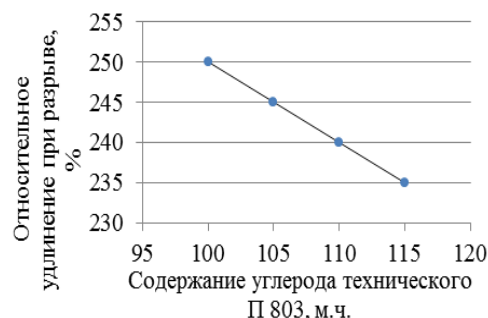


Рисунок 2 – Зависимость показателя относительного удлинения при разрыве от содержания углерода технического в резиновой смеси

В результате проведенной работы разработаны рецепты резиновых смесей для изготовления внутреннего слоя рукавов обеспечивающие комплекс физико-механических показателей.

Обеспечение комплекса физико-механических показателей резин является залогом эффективной эксплуатации изделий из них, особенно при контакте с агрессивными средами.

Таким образом, при изготовлении рукавов по разработанным рецептам позволит изменить способ изготовления рукавов.

Изменение способа позволит:

- Сократить число основных технологических операций
- Увеличить объем производства (за счет непрерывности технологического процесса).
- Снизить процент брака готовой продукции.
- Высвободить производственные площади.

А. Ю. Полоз, канд. техн. наук
(ООО «Новые технологии», г. Днепр, Украина);
Р. М. Долинская, доц., канд. хим. наук;
Н. Р. Прокopcук, проф., д-р хим. наук
(БГТУ, г. Минск, Беларусь);
Ю.Р. Эбич, проф, д-р хим. наук
(ГВУЗ УГХТУ, г. Днепр, Украина)

ПРИМЕНЕНИЕ РАЗБАВИТЕЛЕЙ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ В УСЛОВИЯХ КОНТАКТНО-ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

Модификация эпоксидных смол по-прежнему находится в центре внимания исследователей как основной способ улучшения их свойств [1-3]. Существенный интерес в этой связи представляют разбавители эпоксидных смол, которые снижают начальную вязкость композиций и участвуют в формировании пространственной сетки, изменяя свойства отвержденных материалов. Эпоксидные композиционные материалы широко используются в качестве износостойких покрытий, для ремонта и защиты оборудования, подверженного действию потока абразивных материалов.

В современной мировой практике для таких композиций применяют в повышенных количествах наполнители с высокой твердостью по шкале Мооса: силиций и бор карбиды, нитрид кремния, электрокорунд и др., часто в комбинации с волокнистыми материалами.

Введение таких наполнителей в повышенных количествах (более 300 мас.ч. на 100 мас.ч. эпоксидной матрицы) даже в широко применяемые низковязкие диановые смолы различных производителей связано с определенными трудностями вследствие значительного повышения вязкости композиций, трудности равномерного распределения наполнителей в эпоксидной матрице.

С целью снижения начальной вязкости композиций и соответственно повышения возможности введения значительных количеств наполнителей в эпоксидную матрицу вводятся разбавители – активные и неактивные.

Активные разбавители (широко используемые эпоксидсодержащие вещества) способны взаимодействовать с отвердителями и участвовать в модификации полимерных цепей, формировании трехмерной сетки.

Неактивные разбавители (дибутилфталат, олигоэфиракрилаты и

др.) способствуют повышению эластичности, трещиностойкости эпоксидных композиций вследствие изменения их надмолекулярной структуры.

Обычно для таких разбавителей приводятся данные их влияния на реологические, физико-механические, адгезионные характеристики и практически отсутствуют сведения поведения таких композиций в условиях контактно-динамических нагрузок от передаваемых материалов, характерных при работе оборудования на обогатительных фабриках, определенных защитных покрытий и др.

Такие сведения необходимы для целенаправленного выбора соответствующего разбавителя при заданных условиях эксплуатации защитных износостойких эпоксидных композиций.

В этой связи целью данного исследования явилась сравнительная оценка разбавителей различной химической природы и активности на поведение износостойких эпоксидных композиций в условиях контактно-динамического нагружения, данные которой позволяют рационально подойти к выбору соответствующих известных и разрабатываемых новых разбавителей.

Объектами исследования являлись эпоксидные композиции холодного (20°C) отверждения на основе наиболее распространенной диановой эпоксидной смолы ЭД-20, в качестве разбавителей использовали олигоэфиракрилат ТГМ-3, дибутилфталат, эпоксидсодержащие моно-, ди- и трифункциональные смолы.

Отверждение композиций осуществляли полиэтиленполиамидом по режиму: $20^{\circ}\text{C} \times 24 \text{ ч} + 100^{\circ}\text{C} \times 3 \text{ ч}$.

Разбавители вводили в равных массовых количествах – 10 мас.ч. на 100 мас.ч. ЭД-20.

Вязкоупругие свойства в динамических условиях определяли при температуре $22 \pm 2^{\circ}\text{C}$ с использованием прибора ИПМ-1К, разработанного в Институте прикладной физики НАН Беларуси с применением соответствующих математических зависимостей.

Метод динамического индентирования, используемый в приборе, заключается в нанесении удара посредством жесткого индентора по испытываемому композиту в однократном импульсном режиме.

При импульсном нагружении композит проявляет вязкоупругие свойства, которые невозможно оценить при статическом воздействии; кроме того, динамическое нагружение моделирует наиболее жесткие условия, которым может подвергаться композиционный материал в процессе эксплуатации.

Вязкоупругие свойства характеризовали с использованием моделей Максвелла и Кельвина-Фойхта.

Методом динамического индентирования определяли также время активной t_1 (внедрение в композит) и пассивной t_2 (отскок) фаз деформации, максимальную величину деформации h_{\max} .

Установлено, что для изученных разбавителей различной природы время активной фазы деформации композиций изменяется в более широких пределах (56-62 мкс) при практически одинаковом времени пассивной фазы деформации (52-53 мкс) и является определяющим в процессе деформации и износа композиций.

Установлена прямолинейная зависимость максимальной величины деформации (h_{\max}) от времени активной фазы деформации (t_1) для эпоксидных композиций с разбавителями различной активности, экстраполяцией которой получены минимальные значения времени активной фазы и величины максимальной деформации, достигаемые при использовании разбавителей для данной эпоксидной матрицы.

Выявлены идентичные прямолинейные зависимости h_{\max} и t_1 от соотношения упругой и вязкой составляющих энергий деформирования (α) изученных эпоксидных композиций с разбавителями и показано, что минимальная величина деформации композиций и соответственно минимальный износ достигаются при $\alpha \sim 1,65-1,70$ и соотношении t_1 / t_2 , близком к 1,0.

Таким образом, для рационального использования известных и новых разбавителей в износостойких эпоксидных композициях в качестве оценочных параметров рекомендуется использовать соотношения упругой и вязкой составляющих энергии деформирования α и времени активной и пассивной фаз деформации t_1 / t_2 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Мужев, В.В. Совместимость компонентов и фазовое разделение в процессе формирования эпоксидно-каучуковых композиций / В.В. Мужев, В.П. Бойко, В.Д. Мышак, В.К. Грищенко, А.Е. Нестеров // Полимерный журнал. – 2016. – Т. 38. – № 2. – С. 125–134.

2. Николайчик, А.В. Новый модификатор эпоксидных диановых смол / А.В. Николайчик, Н.Р. Прокопчук, А.А. Мартинкевич, Э.Т. Крутько // Доклады НАН Беларуси. – 2004. – Т. 48. – № 6. – С. 49–53.

3. Prokopchuk, N.R. Modification of Epoxy Resins by Polyisocyanates / N.R. Prokopchuk, E.T. Krut'ko, F.V. Morew // Journal of Nature Science and Sustainable Technology. – 2015. – Vol. 9, Issue 1. – P. 90–94.

ВЛИЯНИЕ СТРОЕНИЯ ДИСПЕРГАТОРОВ НА ВУЛКАНИЗАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФТОРКАУЧУКОВ

Из всех применяемых в промышленности эластомеров фторкаучуки являются самыми лучшими по стойкости к высоким температурам и к набуханию в маслах. Большим стимулом для широкого использования фторкаучуков в промышленности является их относительно невысокая, по сравнению с некоторыми другими каучуками специального назначения, стоимость.

Благодаря ценному комплексу свойств, фторкаучуки могут найти широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. При правильном выборе вулканизирующей группы, наполнителей и других ингредиентов на основе фторкаучуков можно получить разнообразные композиционные материалы на основе эластомеров, удовлетворяющие высоким требованиям автомобильной и других отраслей промышленности.

В отличие от эластомерных композиций, на основе углеводородных ненасыщенных каучуков, содержащих много различных ингредиентов (наполнители, вулканизирующие агенты, ускорители вулканизации, активаторы, диспергаторы, пластификаторы, антикорчинги и др.), смеси на основе фторкаучуков содержат обычно только три типа ингредиентов: наполнители, акцепторы галогенводорода и вулканизирующие агенты.

В качестве основных объектов исследования использовали резиновые смеси на основе фторкаучука Вайтон GLT.

Для фторкаучуков характерно, что в интервале температур от 90 до 120°C при вальцевании не происходит образование шкурки и полимер крошится. Это явление может быть обусловлено либо специфическим изменением формы полимерных цепей и надмолекулярной структурой, либо неблагоприятным молекулярно-массовым распределением. Процесс самослипания при вальцевании и формовании сильно зависит от условий обработки. Фторсополимеры при вальцевании на холодных вальцах не разрушаются. Однако отсутствие деформации – явление кажущееся и носит характер суммарного процесса. Таким образом, фторкаучуки при вальцевании не пластицируются. Показатель вязкости по Муни при их вальцевании в течение 30 мин

при температуре 30°C практически не меняется.

Изготовление смесей из фторкаучуков производили на вальцах при скорости вращения переднего вала 28 и заднего – 40 об/мин. Вулканизирующий агент вводили в смесь медленно при относительно холодных вальцах (20–60°C). В первую очередь в каучук вводили акцепторы кислоты, затем наполнители и пластификаторы и в последнюю очередь вулканизирующие агенты. Перед снятием смеси с вальцов ее пропускали через тонкий зазор, чтобы удалить пузырьки воздуха. Для улучшения распределения ингредиентов в каучуке смеси после нескольких часов отдыха вновь подвергали дополнительному рафинированию через плотно прижатые один к другому валки с последующим 5-ти минутным вальцеванием. Вулканизацию проводили в две стадии: формование в прессе и довулканизация в термостате. Термостатирование проводили в термостате с внутренними стенками из нержавеющей стали с максимальной циркуляцией горячего воздуха и хорошей вентиляцией для удаления паров воды и других продуктов вулканизации в течение 24 ч при температуре 240°C.

Испытания проводили на вискозиметре Муни марки «RNGi» типа ИО. Частота вращения ротора составляла $2,0 \pm 0,1$ об/мин. В соответствии с ГОСТ 12535-84 с помощью ротационной вискозиметрии определяли следующие показатели, характеризующие технологические свойства композиций: вязкость, склонность к преждевременной вулканизации (время начала подвулканизации и скорость подвулканизации). Значение вязкости резиновых смесей определяли при температуре 100°C, а время начала подвулканизации и скорость подвулканизации – при 120°C. Количество вводимых диспергаторов составляло 0,25 мас. ч. на 100 масс. ч. каучука.

Для улучшения диспергируемости и повышения растекаемости резиновой смеси на основе фторкаучука Вайтон GLT использовали диспергаторы, соединения 1–10, представляющие собой сложные эфиры и амиды алифатических перфторкислот (соединения 1–7), а также производные перфторциклогександикарбоновой кислоты (соединения 8–10): 1) $\text{CF}_3\text{O}(\text{CF}_2\text{CF}_2\text{O})_n\text{CF}_2\text{CONHC}_m\text{H}_{2m+1}$, где $n = 2, 3, m = 10 - 14$; 2) $\text{CF}_3\text{O}(\text{CF}_2\text{CF}_2\text{O})_n\text{CF}_2\text{CONHC}_m\text{H}_{2m+1}$, где $n = 1, m = 10 - 14$; 3) $\text{CF}_3\text{O}(\text{CF}_2\text{CF}_2\text{O})_n\text{CF}_2\text{CONHC}_6\text{H}_5$, где $n = 1$; 4) $\text{C}_3\text{F}_7\text{O}(\text{CF}(\text{CF}_3)\text{CF}_2\text{O})_n\text{CF}(\text{CF}_3)\text{CONHC}_m\text{H}_{2m+1}$, где $n = 1 - 5, m = 10 - 14$; 5) $(\text{F}(\text{CF}_2)_8\text{C}(\text{O})\text{OCH}_2)_4\text{C}$ – тетраперфторпеларгонат пентаэритрита; 6) $\text{F}(\text{CF}_2)_8\text{C}(\text{O})\text{NHC}_6\text{H}_5$, аниlid перфторпеларгоновой кислоты; 7) $\text{Cl}(\text{CF}_2)_8\text{C}(\text{O})\text{NHC}_6\text{H}_5$, аниlid 9-хлорперфторпеларгоновой кислоты; 8) цикло- C_6F_{10} -1,2-($\text{COOCH}_2\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{C}_4\text{H}_9$)₂, -1,2-бис-(2-этилгексиловый) эфир перфтор-

циклогександикарбоновой кислоты, ТУ 2389-067-00209409-2008; 9) цикло- $C_6F_{10}1,2-(COONHC_6H_5)_2$, 1,2-бис-(анилид) перфторциклогексан-дикарбоновой кислоты; 10) цикло- $C_6F_{10}1,2(COOSCH_2CH=CH_2)_2$, диаллиловый эфир 1,2-перфторциклогександикарбоновой кислоты [1].

Изучение кинетических характеристик вулканизации резиновых смесей с использованием 1–10 диспергаторов показало, что с увеличением содержания диамина в эластомерной композиции уменьшается вязкость, повышается растекаемость резиновых смесей в сравнении с исходной композицией и эти показатели выше для композиций, содержащих диспергаторы 5–7. Кроме того, наблюдается также увеличение скорости и уменьшение оптимального времени вулканизации резиновых смесей. Вероятно, это связано с тем, что при вулканизации заблокированным диамином образуются сшивки, не содержащие между полимерными цепями амино- и иминогруппы, склонные при повышенных температурах к гидролизу. Поэтому вулканизаты более устойчивы к термоокислительному старению.

При сравнении комплекса показателей для образцов 1 и 2 было установлено, что увеличение дозировки гексаметилендиамина и одновременно значительном (в два раза) увеличении содержания в композиции гидроксида кальция (акцептора галогеноводородов) приводит к значительному увеличению вязкости, условной прочности при растяжении, твердости, но при этом все показатели после старения улучшаются. Вероятно, гидроксид кальция, связывая фтороводород, оказывает значительное влияние на формирование структуры вулканизационной сетки, причем важную роль играет разрушение глобулярной структуры каучука. Для фторкаучуков характерно сильное межмолекулярное взаимодействие и это влияет на физико-механические показатели, которые можно варьировать различным содержанием компонентов вулканизирующей группы.

При сравнении комплекса показателей для образцов 3 и 4 было установлено, что увеличение дозировки гексаметилендиамина в композиции приводит к значительному снижению вязкости, условной прочности при растяжении, твердости, но при этом все показатели после старения улучшаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочанов А.С., Пичхидзе С.Я., Подсевалов П.В. Новые диспергаторы для резиновой смеси на основе СКФ-26 // Резиновая промышленность. Сырье. Материалы. Технологии: материалы XI Юбилейной науч.-практ. конф. М.: НИИШП, 2005. С. 99–100.

Р. М. Долинская канд. хим. наук, доц.;
О. М. Касперович канд. техн. наук, доц.;
Л. А. Ленартович канд. техн. наук, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА КОМПОЗИЦИИ ЭЛАСТОМЕР – ВТОРИЧНЫЙ ПОЛИМЕР НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИИ

Вторичная переработка (рециклинг) бывших в употреблении полимеров является важной проблемой для экологии и ресурсосбережения.

Рециклинг полимерных отходов может рассматриваться как важный экономический фактор, поскольку энергия и материалы поступают в повторное использование. Это позволяет сократить использование естественных ресурсов, снизить выбросы в окружающую среду, уменьшить потребление энергии и при этом необходимо, чтобы технология вторичной переработки позволяла получать чистый и дешевый продукт (энергию или материалы).

Использование вторичного сырья в качестве новой ресурсной базы – одно из наиболее динамично развивающихся направлений переработки полимерных материалов в мире.

В работе [1] нами было показано, что резиновая крошка является перспективным ингредиентом для создания новых неотчетственных резиновых изделий.

Однако, представляет интерес использовать вторичные полимеры и в частности измельченную резиновую крошку и регенерат для создания композиций, используемых для изготовления резинотехнических изделий, например, монолитных шин, предназначенных для использования в ручных или прицепных тележках, передвижном производственном или торговом оборудовании и стеллажах при эксплуатации по дорогам с асфальтовым и бетонным покрытием, по деревянным и металлическим поверхностям в условиях, исключающих их механическое повреждение при температуре окружающей среды от минус 20°C до плюс 40°C при скорости движения до 4 км/ч.

При эксплуатации такого типа колес не допускается пробуксовка, рывки, резкие повороты и резкое торможение, приводящее к износу резинового массива, высота препятствий не должна превышать 5 % диаметра колеса [2].

Нами были проведены исследования, направленные на разработку рецептур композиций с использованием бинарного полимера.

В составе композиции использовали различное содержание вто-

ричного полимера (резиновой крошки с размером частиц ~ 1,0 мм и регенерата). В таблице приведены показатели исследованных нами композиций.

Таблица – Физико-механические показатели эластомерных композиций

Показатель	Номера образцов							
	9	10	11	12	13	14	15	16
Условная прочность при растяжении, МПа	15,1	9,2	7,4	6,5	6,8	6,1	5,2	4,1
Относительное удлинение после разрыва, %	10	54	96	206	188	212	256	260
Относительная остаточная деформация после растяжения, %	4	12	12	14	14	16	24	20
Твердость по Шор А, усл. ед.	93	83	77	67	66	65	63	60
Температурный предел хрупкости, °С	0	-5	-10	-26	-27	-32	-33	-36

Анализ полученных результатов показал, что использование бинарной композиции эластомер – вторичный полимер позволяет получить композицию с заданным комплексом физико-механических свойств.

Для некоторых резинотехнических изделий большое значение имеют такие физико-механические показатели, как твердость по рабочей поверхности и по поперечному сечению. Использование бинарной композиции приводит к увеличению этих показателей, а относительная деформация сжатия и относительная деформация по наружному диаметру снижаются ~ на 12-14%.

Увеличение содержания в композиции вторичного полимера (резиновой крошки) и исключение из нее регенерата приводит к уменьшению относительного удлинения, возможно, это происходит из-за ослабления связей между эластомером и мелкодисперсной крошкой.

Уменьшение содержания крошки и исключение из композиции регенерата приводит к увеличению твердости и эластичности. Причиной отрицательного влияния резиновой крошки на свойства композиционных материалов, вероятно, является недостаточная прочность связей в системе «полимер – вторичный полимер», а также то, что, возможно, на поверхности крошки происходит адсорбция пластификаторов и мягчителей, что в свою очередь негативно влияет на свойства полимерного материала.

Повысить качество смеси даже при высоком (1 : 1-1,5) содержа-

нии вторичного полимерного материала можно за счет изменения количественного состава вулканизирующих групп или использования компатибилизаторов, способствующих более прочной адгезии между компонентами, например, инденкумароновых смол.

В результате реакций функциональных групп компатибилизатора со вторичным полимером на поверхности раздела компонентов смеси образуются химические связи, способствующие улучшению адгезии и, как следствие, повышению большинства механических характеристик.

Другой способ повышения физико-механических показателей композиций заключается в дополнительном введении рестабилизирующих агентов – специальных технологических добавок. Такие добавки способны компенсировать обусловленное деструкцией и последующей рекомбинацией макрорадикалов каучуков ухудшение механических показателей. Эти добавки препятствуют излишнему сшиванию макромолекулярных цепей, увеличению молекулярной массы структурированной композиции, превышению ее жесткости. В результате улучшаются физико – механические показатели, стабилизируется величина относительного удлинения при разрыве; уменьшается относительная деформация сжатия.

Проблем в использовании вторичных полимерных материалов много, и их эффективное решение будет определяться главным образом не только чисто техническими аспектами (в частности, совершенствованием существующих и разработкой новых технологий рециклинга, но и наличием соответствующей законодательной базы и программ организации рециклинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долинская Р.М, Свидерская Т.Д., Щербина Е.И., Прокопчук Н.Р., Марусова С.Н., Русецкий Д.В. Отходы резиновых производств - перспективный материал для создания новых изделий // Труды БГТУ. 2013. №4. С. 45-47.

2. Шинки резиновые монолитные: ТУ РБ 00149438-052-93. - Введ. 1994-04-01. - М: Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации, 1993.

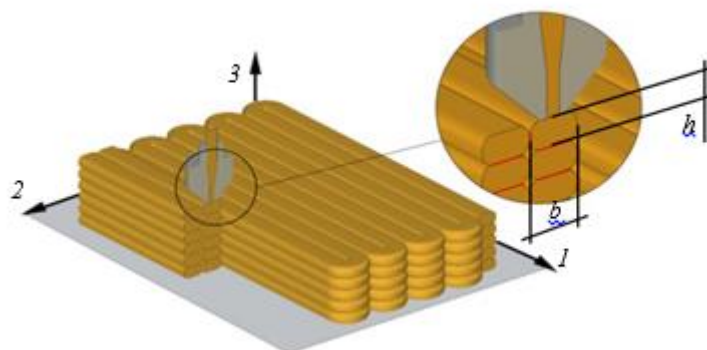
Д. Ю. Колодкин, ассист.;
Е. И. Кордикова, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ФОРМИРОВАНИЕ АНИЗОТРОПНОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ FDM-МЕТОДОМ

Применение аддитивных технологий в производстве является одним из передовых направлений развития из-за ряда преимуществ [1].

Выгодно выделяются аддитивные технологии, использующие в качестве сырья перспективные и легкодоступные термопластичные полимеры, самой распространенной и доступной из которых является метод послойного наплавления (FDM – Fused deposition modeling). Однако, этот класс технологий не нашел широкого применения в производстве и в основном используется в прототипировании [1]. Причины этого в сложности прогнозирования свойств получаемых изделий, достаточно низкие физико-механические характеристики, низкая разрешающая способность и значительная усадка получаемых изделий, которую сложно учесть [2–4].

При формировании изделий FDM-методом образуются структуры материала, схематично показанные на рис.



Направления: 1 – продольное; 2 – поперечное; 3 – синтеза;
параметр ширины b и высоты h дорожки

Рисунок – Вид фрагмента материала, полученного методом FDM

При реализации технологии материал из сопла экструдера наплавляется вдоль заданной траектории в виде элементарных дорожек экструдата, которые взаимодействуют посредством аутогезии. Размеры и форма этих дорожек являются одними из основных технологических параметров процесса. В данной работе исследовалась гипотеза о том, параметры дорожки экструдата, наряду с температурой и скоростью печати, определяют физико-механические характеристики получаемых материалов и требуют тщательного подбора.

Параметры дорожки экструдата определяют форму ее профиля, от которой зависит площадь контакта между ними (рис. 1). Возникающее аутогезионное взаимодействие между структурными элементами материала (дорожками), величина которого зависит в основном от температуры контакта в момент наплавления, является производной величиной скорости печати и массового расхода материала. Для проверки гипотезы проведен ряд испытаний образцов с продольным и поперечным направлением печати на растяжение и изгиб.

Результат показал, что площадь контакта между дорожками напрямую влияет на физико-механические характеристики полученного материала, т.к. аутогезионное взаимодействие между ними является удельной к площади величиной. Соответственно подбор оптимальной формы профиля экструзии, при которой площадь контакта между дорожками будет максимальной, является важной задачей для получения материалов с высокими механическими характеристиками.

Имеется такой набор параметров дорожки, при котором все исследуемые характеристики имеют наибольшую величину. Разделение на зоны дает возможность уйти от жесткого соотношения h/b , позволяя выбирать его в некотором приемлемом диапазоне. Определено, что печать с соотношением $h/b > 1$ приводит к значительному увеличению характеристик в поперечном направлении печати.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колесников Л. А. Состояние и перспективы развития технологий быстрого прототипирования в промышленности (Часть первая) / Л. А. Колесников, Г. П. Манжула и др. // Наука и техника – 2013 – №5. – С. 3–9.

2. Федулов В. М. Влияние технологических режимов при FDM-печати на качество поверхностей детали из ABS и PLA пластика / В. М. Федулов, Ю. С. Федулова и др. // Вестник рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П. А. Соловьева – 2017 – № 4. – С. 162–167.

3. Савицкий В. В. Исследование влияния параметров 3D-печати на размерную точность изделий / В. В. Савицкий, А. Н. Голубев // Вестник ВГТУ. 2018. № 2 С. 52–61.

4. Кондрашов С. В. Влияние технологических режимов FDM-печати и состава используемых материалов на физико-механические характеристики FDM-моделей (обзор) / С. В. Кондрашов, А. А. Пыхтин // Труды ВИАМ – 2019 – № 10. – С. 34–49.

УДК 678.072.027

Е. И. Кордикова, доц., канд. техн. наук; Г. Н. Дьякова, асист.
(БГТУ, г. Минск)

ФОРМУЕМОСТЬ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ПОЛИЭФИРНЫХ ПРЕПРЕГОВ

Полиэфирный препрег представляет собой листовой, предварительно пропитанный, химически загущённый стеклонаполненный терморезистивный пресс-материал.

Получение изделий из таких материалов в пресс-формах основано на временной пластичности, которую они приобретают при нагреве. Период, когда нагретый реактопласт пластичен и обладает текучестью, используют для заполнения им под давлением оформляющей полости пресс-формы. По истечении определенного времени (выдержки) отформованное в горячей пресс-форме изделие отвердевает и приобретает прочность, позволяющую удалить его без разрушения.

Текучесть реактопластов зависит от внутреннего и наружного трения и от скорости отверждения. Недостаточная текучесть может вызывать появление брака по недопрессовке, что мешает точному оформлению изделия. При чрезмерной текучести наблюдается вытекание пресс-материала через зазор. Определение текучести помогает подобрать оптимальные температуру и давление при изготовлении изделия.

Экспериментальное определение текучести полиэфирного препрега осуществляли в оснастке, имеющей съемную литьевую щель различной ширины и длиной 200 мм при температурах формования. Эксперимент позволяет установить зависимости усилия прессования (удельного давления) от времени и ширины щели при получении отпрессовки заданной длины. Течение материала осуществляется вместе с наполнителем, что положительно влияет на отформованные элементы.

На основании данных о текучести материалов определяется удельное давление при прессовании изделий. Применяемое удельное давление обратно пропорционально текучести: чем выше текучесть, тем меньше должно быть удельное давление.

Полученные результаты показателей формуемости можно использовать при конструировании изделия сложной конфигурации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ставров, В.П. Формообразование изделий из композиционных материалов. – Минск: БГТУ, 2006. – 482 с.

УДК 623.442

Е. И. Кордикова, доц., канд. техн. наук; Е. Д. Мазаник, студ.
(БГТУ, г. Минск)

КОНСТРУКЦИЯ ОБВЕСОВ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОГО НАПЛАВЛЕНИЯ

На каждом этапе истории военное искусство развивалось в сторону получения преимущества над оппонентом, улучшении и модификации существующего оружия, создания совершенного новых видов, а прогресс в науке и технике позволял воплощать в реальность задуманные идеи.

С имеющимися в наличии данными изделий аналогов, в соответствии с необходимыми требованиями [1], с учётом рекомендаций служащих войск специального назначения, разработана конструкция пистолетной и передней тактической рукояток, цевья и накладки на газоотводную трубку.

При конструировании учтены индивидуальные параметры кистей рук стрелка, соблюдались требования военных стандартов, а также оптимизирована геометрия под 3D-печать. Для проверки разработанных конструкций, расчёта напряжений и деформаций, возникающих при приложении нагрузок, использовано программное обеспечение «Ansys». Расчёты подтвердили, что разработанные конструкции удовлетворяют прочностным требованиям.

С учётом используемых в настоящее время материалов для изготовления обвесов, выбран материал для изготовления методом послойного наплавления (FDM-технология). Определены физико-механические свойства материала в направлениях анизотропии печати. Изготовлены прототипы разработанных конструкций.

Для проверки, разработанные конструкции устанавливались на стрелковое оружие АКС-74. В ходе монтажа и последующей эксплуатации определены конструкторские ошибки, а также выделены новые рекомендации по изготовлению следующих прототипов и конечных изделий.

Полученные результаты позволяют расширить сферу использования аддитивных технологий на территории Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тюнинг карабинов [Электронный ресурс] / Официальный сайт компании «ЗЕНИТ». / – Режим доступа: <https://zenitco.ru> – Дата доступа: 15.09.2020.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПОЗИЦИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ ФОТОПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА

Процесс фотополимеризации в ванне (SLA-технология) предполагает воздействие ультрафиолетового излучения на полимеры, подвергающиеся химическому преобразованию и становятся реакционно-способными в присутствии жидких мономеров, в результате чего они реагируют с их молекулами формируя полимерную цепь.

Описание реакции фотополимеризации в ванне с использованием упрощенных моделей позволяет определить параметры, напрямую или косвенно влияющие на процессы происходящие внутри модели: исходные данные о материалах и источниках энергии, используемых в технологическом процессе.

Существует большое количество экспериментальных методик по определению свойств полимерных отверждаемых материалов, которые в большинстве своем основаны на изучении параметров отверждения, химического состава и проводимости слоев материалов. Подобные методики так или иначе не подходят для определения свойств фотополимерных материалов, представленных для аддитивных технологий, в связи с характером отверждения и недостаточности информации об их химическом составе.

Для оценки экспозиционной проводимости фотополимерной смолы проведено исследование времени отверждения и времени гелеобразования смолы в виде образцов различной толщины под воздействием установленного источника излучения. Полученные в ходе эксперимента данные о времени гелеобразования и отверждения образцов обрабатываются и производится расчет экспозиционной проницаемости материала.

По данным зависимости экспозиции отверждения материала от толщины слоя строится рабочая характеристика полимера, которая соответствует закону Бугера (Бугера-Ламберта-Бера) [1].

Полученные данные можно использовать при расчете скорости засветки поверхности для отверждения материала на определенную глубину.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика: учеб. пособие, Москва, 1996. – 608 с.

УДК 678.06

Н. Р. Прокопчук, член корр. НАН Беларуси, проф., д-р. хим. наук;
О. О. Макаревич магистрант (БГТУ, г. Минск);
А. Ю. Клюев, вед. науч. сотр., д-р. техн. наук
(ИФОХ НАН Беларуси, г. Минск)

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ ДЛЯ ЗАЩИТЫ И ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИИ МЕДНЫХ ИЗДЕЛИЙ

В основе оценке долговечности полимерных материалов (пластмасс, пленок, волокон) лежит уравнение С.Н. Журкова [1] общего вида:

$$\tau = \tau_0 \cdot e^{\frac{u_0 - \gamma \sigma}{RT}}, \quad (1)$$

Однако оценка долговечности при умеренных температурах (в основном до 100°C) в поле механических сил требует большего времени – более 5 рабочих дней. Кроме того, эти методом невозможно оценить долговечность лакокрасочных покрытий (адгезированных на твердой поверхности пленок).

Согласно [2] принципа температурно-силовой ($T - \sigma$) аналогии следующего из самого уравнения Журкова – уравнения реакции первого порядка по убыли долговечности материала, можно проводить определение энергии активации термоокислительной деструкции E_d при повышенных температурах без наложения механического поля.

Поэтому возможно оценивать равномерность, густоту и прочность пространственной сетки сшитых эпоксидных смол (ЭС) отвердителями различной химической природы по значениям E_d . При этом значения E_d должны определяться по данным динамической термогравиметрии по возможности в одинаковых или близких температурных интервалах. Чем выше E_d , тем прочнее пространственная сетка и тем больше долговечность защитного адгезированного лакокрасочного покрытия [3].

Образцы композиций основе эпоксидных смол ЭД 20, Этал 245 и различных отвердителей (таблица 1), в качестве которых были выбраны стандартные отвердители для эпоксидных смол полиэтиленполиамин (ПЭПА), триэтилентетрамин (ТЭТА), Этал 45 и экспериментальный отвердитель канифолетерпеномалеиновый аддукт (КТМА), в качестве пластификатора – эпоксидная смола ДЭГ-1. Оценка энергии активации термоокислительной деструкции E_d полученных эпоксидных покрытий проводились на термоаналитической установке TA 4000 Mettler Toledo (Швейцария):

Таблица 1 - Энергии активации термоокислительной деструкции ЭС

№	Образец	Значение, кДж/моль
	Состав	
1	ЭД 20 + ПЭПА	105
2	ЭД 20 + ПЭПА + ДЭГ-1	155
3	Этал 245 + Этал 45	69
4	ЭД 20 + Этал 45	76
5	ЭД 20 + ТЭТА	143
6	ЭД 20 + ТЭТА + ДЭГ-1	145
7	ЭД 20 + КТМА	119
8	ЭД 20 + КТМА + ДЭГ-1	130

Анализ данных таблицы показывает, что химическая природа отвердителя и наличие или отсутствие пластификатора сильно влияет на значение E_d : они варьируются от 69 кДж/моль до 155 кДж/моль. Образцы композиций по значению E_d различаются в ряду: №2 > №6 > №5 > №8 > №7 > №1 > №4 > №3. Следует отметить положительное влияние пластификатора на прочность сформированной сетчатой структуры. Например, E_d образца №2, содержащего ДЭГ-1 155 кДж/моль, а образца №1 без него – 105 кДж/моль. Значение E_d образца №8, содержащего ДЭГ-1 130 кДж/моль, а образца №7 без пластификатора – 119 кДж/моль. Это можно объяснить тем, что пластификатор снимает перенапряжение в жестких сшитых эпоксидах, что обусловлено увеличением подвижности участков цепей между узлами сетки. С учетом данных об энергиях активации термоокислительной деструкции проводили расчет долговечности лакокрасочных покрытий по формуле:

$$\tau_{T_3} = \left[10^{-0,1167 \cdot E_d - 0,09} \times e^{E_d/RT} \right] / 365, \quad (2)$$

При температуре эксплуатации 70°C (343,15°K) для образца №1 ЭД 20 + ПЭПА долговечность составит:

$$\tau_{70^0} = \left[10^{-0,1167 \cdot 105 - 0,09} \times e^{105/2,85} \right] / 365 = 12,5 \text{ года,}$$

Аналогично образом производятся расчеты и для остальных образцов. Образец №7 ЭД 20 + КТМА:

$$\tau_{70^0} = \left[10^{-0,1167 \cdot 119 - 0,09} \times e^{119/2,85} \right] / 365 = 39,3 \text{ года,}$$

Образец №8 ЭД 20 +КТМА+ДЭГ-1:

$$\tau_{70^{\circ}} = \left[10^{-0,1167 \cdot 130 - 0,09} \times e^{130/2,85} \right] / 365 = 97,0 \text{ года,}$$

Результаты выполненных расчетов долговечности для всех образцов при разной температуре эксплуатации сведены в таблицу 2

Таблица 2 – Долговечность покрытий при различных температурах эксплуатации

Образец покрытия	E _д , кДж/ моль	Долговечность, годы							
		τ_{30}	τ_{40}	τ_{50}	τ_{60}	τ_{70}	τ_{80}	τ_{90}	τ_{100}
ЭД 20 +ПЭПА	105	–	–	121,4	36,3	12,5	4,6	1,6	0,4
ЭД 20 +ПЭПА+ ДЭГ-1	155	–	–	–	3638,2	756,4	171,3	37,3	9,4
Этал 245 +Этал 45	69	15,7	6,6	2,9	–	–	–	–	–
ЭД 20 +Этал 45	76	38,6	14,7	6,0	–	–	–	–	–
ЭД 20 +ТЭТА	143	–	–	–	1201,0	282,2	71,7	17,6	4,9
ЭД 20 +ТЭТА+ ДЭГ-1	145	–	–	–	1445,6	332,6	82,9	19,9	5,5
ЭД 20 +КТМА	119	–	–	–	131,2	39,3	12,6	3,9	1,3
ЭД 20 +КТМА+ ДЭГ-1	130	–	–	–	362,0	97	27,9	7,8	2,4

Из полученных впервые данных о долговечности защитных покрытий следует, что новый отвердитель на основе лесохимического возобновляемого сырья КТМА, экологически безопасной по сравнению с промышленными отвердителями ПЭПА и ТЭТА, но несколько уступает им по эффективности отверждения эпоксидной смолы. Однако создаваемая им пространственная сетчатая структура обеспечивает долговечность защитного покрытия при его постоянном разогреве до 80°C около 30 лет, что достаточно для практического применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Р. Регель, А.И. Слуцкер, Э.Е. Томашевский. Кинетическая природа прочности твердых тел. Наука – 1974 – 560 с.
2. Прокапчук Н.Р. Кинетический принцип прогнозирования зависимости механических свойств полимерных волокон и пленок от их химического строения и состава. Автореферат дис. доктора химических наук, Киев – 1989 – 34 с.
3. Н.М. Эмануэль, А.Л. Бугаченко. Химическая физика старения и стабилизации полимеров. Наука – 1978 – 360 с.

И. В. Войтов, проф., д-р техн. наук;
А. В. Дернович, зам. директора РНПЦ НХТиП
(БГТУ, г. Минск)

НЕОБХОДИМОСТЬ И ВОЗМОЖНОСТЬ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ГИДРОЛИЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ. ПРЕДПОСЫЛКИ И НОВЫЕ ПОДХОДЫ

В стране существует большой потенциал вовлечение в производственную сферу отходов сельхозпредприятий и утилизация отходов потребления, которые не могут быть переведены на стадии сортировки во вторичные ресурсы. Целью данного исследования было определить возможные пути решения проблемы различного вида отходов. Один из вариантов решения проблемы создание производственного биотехнологического кластера с производством по переработке отходов сельхозпредприятий методом гидролиза. Прекращение деятельности гидролизных предприятий в РБ привело к прекращению производства технических спиртов и кормовых дрожжей, фурфуролола-сырца, других продуктов. И это лишь небольшая часть причин, по которым возрождение гидролизных заводов Беларуси является столь острой проблемой, требующей безотлагательного решения, нам нужны биотехнологии потому, что у нас мало нефти, но есть возобновляемый ресурс, который может частично восполнить дефицит УГВ сырья, т. к. имеется развитое сельского хозяйство.

В качестве гидролизного сырья широко используются различные виды отходов лесопиления и деревообработки, отходы переработки сельскохозяйственных культур и некоторые дикорастущие растения. Из этого сырья получают массу ценных и востребованных на рынке готовых продуктов, и которые используются в других отраслях промышленности в качестве исходного сырья. К этим продуктам относятся: фурфурол, этиловый спирт (биоэтанол), угольная кислота, кормовые дрожжи и на их основе белковые витаминные добавки с различными функциональными свойствами за счет обогащения витаминами различных групп, белок пищевой и другие. Гидролизные дрожжи вследствие высокого содержания в них полноценных, хорошо усвояемых белков, биологически активных веществ, витаминов, ферментов, гормонов и микроэлементов применяются в качестве корма для домашних животных и птиц. В дрожжах содержится 46–55% белка. Содержащиеся в дрожжах макро- и микроэлементы ферменты, гормоны и другие продукты микробиологического синтеза играют важную роль в обмене веществ в организме животных и птиц.

Республика Беларусь является страной с развитым аграрным сектором. В стране основной кормовой культурой является кукуруза. Она стала одной из ведущих благодаря высокой урожайности и кормовым достоинствам. Производство кукурузы в Беларуси из года в год увеличивается. В процессе переработки кукурузы, выращенной на зерно, образуется крупнотоннажный отход - стержни початков кукурузы (СПК). В настоящее время в стране работают два кукурузокалибровочных завода в Мозыре и Ивацевичском районе, Брестской области. В результате производственной деятельности этих предприятия появляются в больших объемах отходы в виде СПК. Их годовой объем составляет: от 10,5 до 13,6 тыс. тонн в год. Из 1 т а.с. СПК можно получить фурфурола до 240 кг и 350 кг моносахаридов (глюкоза, галактоза, манноза и др) и олигосахаров. В промышленном производстве (по реализованным (традиционным) технологическим процессам кислотного гидролиза) эти показатели составят по фурфуролу - 110 кг и по сахарам - 180-200 кг соответственно.

Значительным сырьевым ресурсом для гидролизного производства в последнее время в Беларуси становится лужга гречихи. Общий объем лужги гречихи составляет около 13 тыс. тонн в год.

Вовлечение в производственную сферу СПК и лужги гречихи позволит выйти на производство 2,8 - 4,0 тыс. т фурфурола в год и тысячи тонн кормовых дрожжей и биоэтанола. Объем производства может быть увеличен применением новых технологических решений и современного технологического оборудования.

К таким технологиям можно отнести: получение фурфурола с использованием солевых катализаторов; биоэтанола из гексозных гидрализатов с использованием ферментов с усиленной β -глюкозидазной активностью; получение фурфурола из пентозных гидрализатов и биоэтанола из гексозных гидролизатов; отгонки фурфурола и последующей ферментацией целлолигнина ферментативными препаратами до глюкозы; получение фурфурола непрерывным методом в прямоточных и противоточных аппаратах и др.

На экономику гидролизного производства влияет не только реализацией новых технологических решений, но и наличие дешевых ТЭР, которые в гидролизном производстве составляют до 70% в себестоимости продукции. Потенциальными источниками дешевой и доступной тепловой и электроэнергии являются отходы потребления – ТБО (ТКО). ТБО как и сырье, предлагаемое к использованию в гидролизном производстве возобновляемый источник энергии, который неиссякаем, ежегодно в Беларуси образуется около **3,8 млн т** твердых коммунальных отходов.

УДК 677.494.6:678.82

Н. Р. Прокопчук, член.-корр. НАН Беларуси, проф., д-р хим. наук;
Т. А. Вишневская, стажер мл. науч. сотр.
(БГТУ, г. Минск)

О МЕХАНИЗМЕ УПРОЧНЕНИЯ ПЭТФ НИТЕЙ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

В литературе встречаются сведения об улучшении механических свойств ориентированных полимеров при введении в них углеродных нанотрубок. Так в [1, 2] установлен рост прочности и модуля упругости при растяжении, экструдированных нанокомпозитов ПЭТФ с введенными в них на стадии синтеза полимера углеродными нанотрубками с кислотными и аминными группами в 2,2–2,5 раза. Нами также установлено [3] существенное улучшение механических свойств ориентированных ПЭТФ моноплетей, полученных лабораторным методом, наиболее приближенным к промышленному. Не модифицированные многостенные углеродные нанотрубки, введенные в ПЭТФ на стадии его синтеза в количестве 0,015 мас. % повышают прочность на разрыв моноплетей на 43 %, и их модуль упругости на 44 %.

Полученное повышение устойчивости ПЭТФ в температурно-силовых полях за счет введения малых количеств углеродных нанотрубок, имеет важное практическое значение, однако, до последнего времени не находило теоретического обоснования. На наш взгляд, наиболее вероятной гипотезой, объясняющей феномен столь значимого усиления ориентированных ПЭТФ образцов малыми количествами углеродных нанотрубок, введенных на стадии синтеза полимера, является следующее. Наноразмерные частицы имеют на своей поверхности значительный нескомпенсированный заряд. Взаимодействуя друг с другом они легко ассоциируются, образуя агрегаты. Агрегаты затруднительно полностью разрушить и отдельные наночастицы равномерно распределить в готовой полимерной матрице. Равномерное распределение углеродных нанотрубок в ПЭТФ, возможно, только на стадии синтеза полимера. Исходные мономеры: этиленгликоль и терефталевая кислота имеют полярные –ОН и –СООН группы. Отдельные наночастицы взаимодействуя с ними фиксируются на молекулах мономеров. Молекулы мономеров в процессе синтеза ПЭТФ присоединяются друг к другу, образуя растущие линейные цепочки. Соответственно и наночастицы выстраиваются в линейные цепочечные структуры. Соседние макромолекулы ПЭТФ взаимодействуют друг с другом по полярным группам, находящимися в звеньях

цепей, образуя систему значительных межмолекулярных взаимодействий. В тоже время линейные цепочечные структуры наночастиц также взаимодействуют друг с другом в объеме ПЭТФ матрицы создавая дополнительную прочную физическую сетку, пронизывающую физическую сетку, созданную макромолекулами ПЭТФ.

Таким образом, создается система взаимопроникающих сеток. В такой системе сильно заторможены движения звеньев макромолекул ПЭТФ. В результате потенциальный барьер разрыва химических связей внутри макромолекул ПЭТФ –С–С– и –С–О– возрастает и устойчивость их в температурно-силовых полях существенно повышается.

Предложенный нами механизм упрочнения ПЭТФ нитей углеродными нанотрубками подтверждается экспериментальными данными по повышению вязкости расплавов ПЭТФ [1, 2] и температуры холодной кристаллизации наномодифицированных образцов ПЭТФ (см. табл.) при концентрации нанотрубок до 0,015 мас% [3].

Таблица - Температура холодной кристаллизации исследуемых образцов

Содержание нанотрубок, % масс.	Температура холодной кристаллизации, °С
0	117,40
0,01	117,31
0,015	118,84
0,020	116,32

Увеличение температуры холодной кристаллизации ПЭТФ объясняется затруднениями укладки звеньев макромолекул в кристаллическую решетку по причине усиления межмолекулярных взаимодействий в ПЭТФ физической сеткой нанотрубок.

Кроме того, наблюдается (см. рис. 1) увеличение энергии активации термоокислительной деструкции (E_d) расплавов ПЭТФ, содержащих нанотрубки [3].

С увеличением концентрации нанотрубок в ПЭТФ мононитях наблюдается рост параметра E_d до их содержания 0,015 мас. %.

Таким образом, снижение прочности и модуля упругости нитей, энергии активации термоокислительной деструкции расплавов и температуры холодной кристаллизации ПЭТФ при содержании 0,02 мас. % нанотрубок можно объяснить дефектностью сформированной физической сетке из нанотрубок при превышении их оптимальной концентрации.

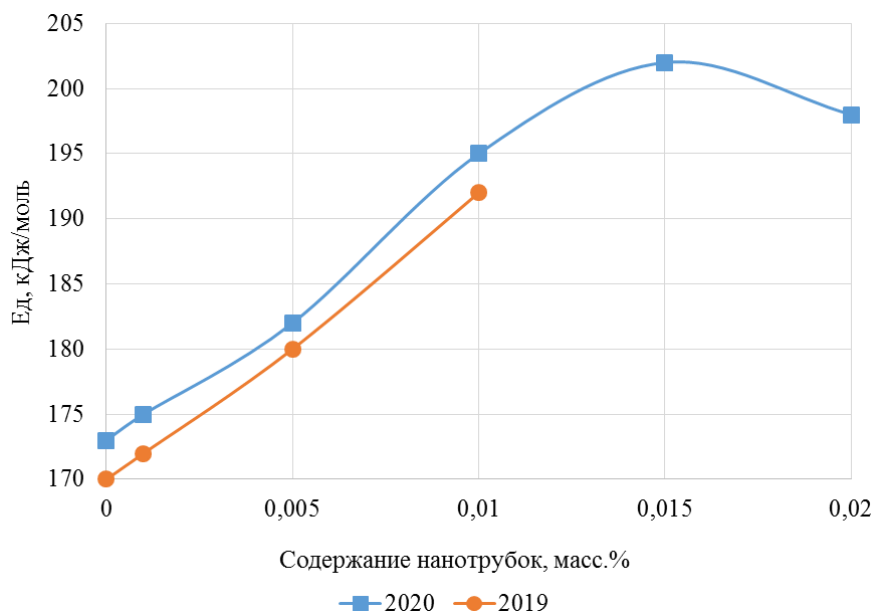


Рисунок 1 – Зависимость энергии активации термоокислительной деструкции (E_d) расплавов ПЭТФ от содержания нанотрубок

ЛИТЕРАТУРА

1. Cruz-Delgado V.J. et al. Carbon nanotube surface-induced crystallization of polyethylene terephthalate (PET). *Polymer*, 2014, vol. 55, no. 2, pp. 642–650. doi:10.1016/j.polymer.2013.12.029
2. McCrossan K. et al. Composites of poly(ethylene terephthalate) and multi-walled carbon nanotubes. *Polymer–Carbon Nanotube Composites*, 2011. pp. 545–586. doi: 10.1533/9780857091390.2.545
3. Упрочнение ПЭТФ нитей многостенными углеродными нанотрубками / Н. Р. Прокопчук, А. Г. Любимов, Т. А. Вишневская, Ю. М. Можейко, А. В. Крауклис // *Полимерные материалы и технологии*. – Т.6 (2020), №4, 33–39.

К. В. Вишнеvский, доц., канд. техн. наук;
Э. Т. Крутько, проф., д-р. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
А. С. Антонов, доц., канд. техн. наук (ГрГУ, г. Гродно)

ОСОБЕННОСТИ СВОЙСТВ СИЛОКСАНОВЫХ КАУЧУКОВ С РАЗЛИЧНЫМИ ВУЛКАНИЗУЮЩИМИ СИСТЕМАМИ

Смеси на основе силоксановых эластомеров состоят из четырех основных компонентов: полимера, наполнителя, антиструктурирующей добавки и вулканизирующего агента, Кроме того, могут содержаться антиоксиданты, красители и некоторые специальные добавки. Варьируя отдельные компоненты и их содержание, можно изменять свойства конечного продукта в очень широких пределах.

Определяющую роль в свойствах композиции имеет полимер, от структуры которого в значительной степени зависит термостойкость, поведение при низких температурах, стойкость к озону и другим атмосферным факторам. Однако, наиболее часто используемый чистый диметилполисилоксановый полимер, без наполнителя, дает после вулканизации предел прочности в пределах 1–2 МПа при относительном удлинении при разрыве 150%. Механические свойства можно улучшить применением целого ряда наполнителей. В данном случае большее значение имеет удельная поверхность наполнителя и размер частиц, конечно, при условии, что полимер смачивает всю поверхность наполнителя. Что затрудняется склонностью частиц наполнителя к агломерации, при которой понижается удельная поверхность наполнителя и ухудшаются механические свойства. Для предотвращения агломерации частиц и повышения гомогенности смеси. Гидрофобизация за счет применения алкил- или арилхлорсиланов дает возможность повысить смачивание поверхности наполнителя полимером.

Сшивку силиконовых эластомеров можно проводить различными способами, которые в значительной степени отличаются друг от друга в химическом отношении. Чисто термическое отверждение в закрытом пространстве не нашло практического применения. В промышленности применяют более простой и воспроизводимый метод вулканизации силиконовых полимеров в присутствии органических перекисей (0,1–6%), образующих при повышенных температурах свободные радикалы.

Применение органических перекисей в качестве вулканизаторов основано на том, что при их распаде при повышенной температуре получают свободные алкильные или карбоксиарильные радикалы, образующие стабильные продукты в результате реакции с метильны-

ми радикалами диметилсилоксановых звеньев. При этом от метильных радикалов гомолитически отщепляется атом водорода.

Однако, в настоящее время, наблюдается тенденция постоянного ужесточения требований, а радикальная сшивка и перекисные системы исчерпали имеющийся потенциал. Перспективным направлением по повышению технических свойств композиций на основе силоксанового каучука является использование конденсационной вулканизации, недостатком которой является высокая стоимость ингредиентов.

Целью данной работы было изучить зависимость технических свойств композиций на основе силоксановых каучуков от дозировки ингредиентов вулканизирующей системы для оптимизации рецептуры и снижения стоимости материала и конечных изделий.

В качестве эластомерной основы использовался наполненный полиметилсилоксан, рецептура которого по рекомендации производителя на 100 мас. ч. каучука должна была содержать 5 мас. ч. суперконцентрата вулканизирующего агента (органического пероксида), 2,5 мас. ч. ингибитора и 0,9 мас. ч. катализатора. Все компоненты поставляются в виде суперконцентратов в полиметилсилоксане. Композиция с рекомендованной рецептурой использовалась в качестве образца сравнения (в исследуемых смесях дозировки указанных ингредиентов варьировались от 0 до 100 % от указанного производителем).

В результате проведенных исследований установлено, что наибольшее влияние на физико-механические свойства оказывает содержание пасты катализатора, что связано с изменением пространственной сетки вулканизата. При снижении содержания только катализатора (на 25%) наблюдалось и ухудшение упруго-прочностных свойств на 15–18%. Однако, при одновременном снижении содержания и катализатора и ингибитора снижение условной прочности при разрыве не превысило 15%, а относительного удлинения при разрыве – 8%. При этом, с учетом, требований к готовым изделиям – работа в условиях небольших знакопеременных нагрузок, такая корректировка рецептуры является приемлемой.

Таким образом, подбор количества ингредиентов и корректировка рецептур эластомерных композиций на основе силоксанового каучука под конкретные применения позволит снизить затраты на наиболее дорогостоящие компоненты.

Е. И. Яблонская, науч. сотр.;
Н. Р. Прокопчук, член-корр. НАН Беларуси, проф., д-р хим. наук
(БГТУ, г. Минск)

СИНТЕЗ АЛКИДНО-СТИРОЛЬНЫХ СМОЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕГИДРАТИРОВАННОГО КАСТОРОВОГО МАСЛА

Цель работы – разработка методики получения алкидного пленкообразователя, модифицированного стиролом, с использованием дегидратированного касторового масла и синтез образца алкидно-стирольной смолы естественной сушки.

В промышленности наиболее распространенным способом получения алкидно-стирольных пленкообразователей является метод сополимеризации предварительно полученного алкида со стиролом. Этот метод применяется наиболее широко, так как обеспечивает сравнительно легкое регулирование процесса и получение продукта с лучшими пленкообразующими свойствами. Поэтому этот способ использован для осуществления синтезов в нашей работе.

Синтез алкидно-стирольных смол осуществляли в 3 этапа. Так как для получения гомогенных продуктов сополимеризации алкидных олигомеров со стиролом необходимо, чтобы в состав рецептуры алкидного пленкообразователя входило достаточное количество жирнокислотных радикалов, обладающих сопряженными двойными связями, поэтому в качестве модификатора алкидных смол выбрали дегидратированное касторовое масло (ДКМ).

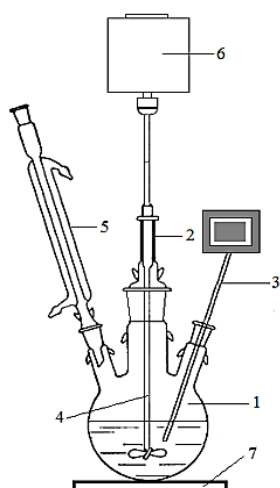
На первом этапе получали ДКМ. Далее на втором этапе синтезировали образцы алкидных олигомеров, модифицированных ДКМ, различного состава, отличающиеся природой сырья. На третьем этапе осуществляли сополимеризацию синтезированных алкидных олигомеров со стиролом.

С целью получения быстросохнущего лака в рецептуре алкидно-стирольной смолы зафиксировали соотношение алкид : стирол = 60:40, так как при таком соотношении наблюдаются оптимальные свойства, а при введении большего количества ухудшается совместимость с другими пленкообразователями и понижается растворимость в растворителях, кроме того, покрытия получают хрупкими.

Реакцию сополимеризации проводили в растворе с использованием о-ксилола в качестве растворителя и в присутствии ди-трет-бутилпероксида в качестве инициатора. Реакция представляет собой цепную радикальную полимеризацию, которая начинается под воз-

действием пероксидов.

Вначале синтез осуществляли на лабораторной установке, которая изображена на рис. 1, а. Затем проведен длительный и трудоемкий путь перенесения лабораторных результатов в условия, приближенные к промышленным (пилотный реактор), через серию синтезов. По разработанной методике получения алкидно-стирольного пленкообразователя осуществлены синтезы в лабораторном стальном реакторе ROOM с электрообогревом, который представляет собой химический реактор с эллиптическим дном, сливным краном и крышкой; емкость имеет рубашку для нагрева (до 300°C) с помощью внешнего циркуляционного термостата (рисунок 1, б). При осуществлении синтеза в лабораторном реакторе необходимо было преодолеть осложнения, связанные с возникновением непредсказуемых нарушений технологии при переходе от синтеза в трехгорлой колбе к лабораторному реактору. Данные синтезы являются важным этапом отработки методики при переходе производства разработанного продукта в лабораторных условиях к промышленному изготовлению.



1 – трехгорлая колба; 2 – гидрозатор;
3 – электронный термометр; 4 – мешалка;
5 – обратный холодильник; 6 – обратный
холодильник; 7 – электрическая плитка

а)



б)

Рисунок 1 – а) Схема лабораторной установки для синтеза алкидно-стирольных смол; б) Стальной реактор ROOM

По результатам исследований получен образец алкидно-стирольной смолы АСП-Р-1, характеристики которого представлены в таблице. Кроме того, в таблице представлено сравнение технических характеристик синтезированной в реакторе алкидно-стирольной смо-

лы АСП-Р-1 и промышленной Смолы алкидно-стирольной, произведенной на ОАО «Оргсинтез», г. Нижний Новгород, Россия.

Таблица – Свойства синтезированной алкидно-стирольной смолы АСП-Р-1 и промышленной «Смола алкидно-стирольной» и покрытий на их основе

Наименование показателя	АСП-Р-1	«Смола алкидно-стирольная» ОАО «Оргсинтез»
Внешний вид	Однородная прозрачная жидкость	
Цвет по йодометрической шкале, мг J ₂ /100 см ³ , не более	50	100
Кислотное число, мг КОН/г, не более	20,0	15,0
Массовая доля нелетучих веществ, %, в пределах	46±2	60±1
Твердость пленки по маятниковому прибору ТМЛ (маятник А), отн. ед., не менее	0,25	0,25
Время высыхания до степени 3 при температуре (20±2)°С, ч, не более	4 (2*)	4
Прочность пленки при ударе, см, не менее	55	30
<i>Примечание: *С комплексом сиккативов октоат кобальта / октоат циркония в соотношении 1:1 (0,0025:0,0025 % мол.)</i>		

Из таблицы видно, что синтезированная алкидно-стирольная смола с использованием дегидратированного касторового масла АСП-Р-1 по качеству не уступает аналогу, а по некоторым показателям показывает лучшие значения: обладает более светлым цветом, а покрытия на ее основе имеют выше значения прочности пленки при ударе (не менее чем в 1,5 раза). Следует отметить, что время высыхания разработанной алкидно-стирольной смолы АСП-Р-1 при естественных условиях составляет не более 4 ч, а при использовании комплекса сиккативов октоат кобальта / октоат циркония в соотношении 1 : 1 (0,0025 : 0,0025 % мол.) время высыхания не превышает 2 ч, что в 2 раза меньше, чем при отверждении без сиккативов.

Таким образом, в результате проведенных синтезов отработана методика получения алкидно-стирольного пленкообразователя с использованием ДКМ в условиях, приближенных к промышленным, и получен образец алкидно-стирольной смолы АСП-Р-1, который по комплексу эксплуатационных свойств востребован современным материаловедением и может использоваться для получения энергосберегающих лакокрасочных материалов.

МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ БИОПОЛИМЕРОВ ПРИ АКТИВНОМ НАГРУЖЕНИИ

Сейчас мало анализируются молекулярно-биохимические изменения организма, не применяется системный подход к исследованию биополимеров в науках о человеке. Это связано со слабой подготовкой медиков, биохимиков, эпидемиологов, биологов в физикохимии полимеров, хотя ими исследуется биополимерный объект – человек, основой которого являются белки (полипептиды) и полинуклеотиды (ДНК/РНК). Их макромолекулы состоят из стереоизомеров, например, в белках (рис.) их два: α -спирали или β -складки, различающиеся по свойствам и функциям в организме. В подкисленной среде больше α -спиралей, в щелочной плотных β -складок. «Обратимые» превращения белков (рисунок) и соотношения α - β -структур происходят и при изменении температуры органов, поскольку рН воды уменьшается при нагреве и растёт при охлаждении.

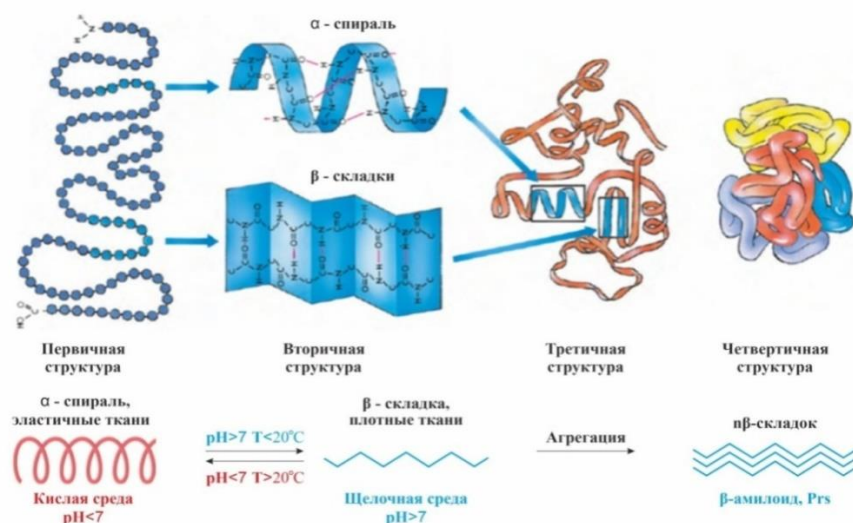


Рисунок – Схемы усложнения структуры и превращений белков

Учёные признают 6 видов ДНК, а основные В- и А-стереоизомеры, которые переходят друг в друга при изменении рН среды. В щелочной А-гены ДНК превращаются в В-формы, синтезируется больше β -белков и вследствие роста доли β -В-биополимеров ухудшается метаболизм, человек (при переохлаждении) недомогает и заболевает. В подкисленной среде и через высокие температуры или с

помощью лекарств (в т.ч. «кислые» аспирин, Витамин С) часть В- переходят в А-гены и люди выздоравливают.

Превращения биополимеров можно описать на примере изменений организма при перегрузках. При сокращении мышцы её белки частично трансформируются из α - в β -формы (в т.ч. в активном головном мозге) защелачиванием ацетилхолином: образуются компактные β -складки (рисунок), уменьшается длина волокон мышцы и она сокращается. Движение останавливается по команде «разгрузка» холинэстеразой, когда β -белки трансформируются в α -спирали в кислой среде, образуемой этим ферментом гидролизом ацетилхолина в уксусную кислоту и холин. При регулярных нагрузках, часть α -гистонов преобразуется в β -структуры, часть А-генов ДНК переходят в В-формы и изменяются α - β -А-В- биополимеры: нарушается метаболизм, появляется «генетическая» усталость (изменяется геном клеток) и боли в тканях. Для их устранения необходимо удалить «излишние» β -белки, В-гены, и как это принято в рассматриваемой концепции, подкислением организма молочной кислотой. Общеизвестно, что она (лактат в медицине) восстанавливает ткани, а по данной гипотезе нормализует структуры α - β -А-В-биополимеров при отдыхе. Происходящие в спокойствии пролонгированные трансформации белков и генов ДНК являются причиной боли (нейроны «сигнализируют» об остаточных нарушениях в биополимерах и мобилизуют защитные системы на их восстановление) в мышцах, связках. Это требуют энергии и повышения температуры (до 38-40°C) у спортсменов (или при заболевании).

Представления об α - β -А-В-превращениях применимы для описания болезней человека. Допустим, при переохлаждении, в щелочной среде, нарушается структура биополимеров, теряется иммунитет и происходит заражение, например, вирусом SARS-CoV-2. (Растёт доля «белков-предателей» АТЕ-2, особенно у 65+). Он, вероятно, способствует трансформации части А- В-гены ДНК, изменяя геном клетки, и в тканях, крови синтезируется больше β -белков, образующих сгустки-тромбы. Их долю можно уменьшить, что рекомендовано для профилактики, лечения и восстановления от COVID-19: пить «кислые» жидкости + аспирин/витамин С. Но, исходя из описанного «лактатного» восстановления организма, в данном случае эффективнее постепенно увеличивающиеся физические нагрузки. Укажем, что начальные затемнения в лёгких это плотные ткани из β -белков (фиброз подтверждают патологоанатомы), но не последствия бактериальной пневмонии и антибиотиками генетическую болезнь COVID-19 профилактировать, лечить до появления бактериальной мокроты бесполезно и вредно.

УДК: 541.18.041.2 : 541.64

Е. В. Чурилина, доц., канд. хим. наук;
С. С. Никулин, проф., д-р. техн. наук;
Г. В. Шаталов, проф., д-р. хим. наук
(ВГУИТ, г. Воронеж)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ КАУЧУКА ИЗ ЛАТЕКСА В ПРИСУТСТВИИ СОПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ N,N-ДИАЛЛИЛ-N,N-ДИМЕТИЛАММОНИЙ ХЛОРИДА

Стадия выделения каучука из латекса является одной из обязательных в технологии получения синтетических каучуков, однако характеризуется проблемами экологического характера. Это связано с тем, что процесс выделения каучука сопровождается большим расходом минеральных солей в качестве коагулирующих агентов, которые не удаляются на очистных сооружениях и, попадая в природные водоемы, загрязняют их.

Применение полимерных флокулянтов позволяет резко снизить расход коагулянтов, улучшить некоторые свойства каучука, утилизировать отходы отдельных производств, тем самым улучшить экологические показатели производства эмульсионных каучуков.

Среди высокомолекулярных солей наибольшее применение находит водорастворимый катионный полиэлектролит поли-N,N-диметил-N,N-диаллиламмонийхлорид, выпуск которого осуществляется в промышленных масштабах под торговой маркой ВПК-402 [1].

Однако высокая стоимость данного продукта отражается на себестоимости каучука, а поэтому сдерживает его широкое применение. Поэтому поиск новых более дешевых коагулирующих агентов, применяемых для выделения каучука из латекса, остается актуальным.

Перспективными коагулянтами в этом плане могут оказаться сополимеры N,N-диаллил-N,N-диметил-аммоний хлорида (ДАДМАХ) с акриламидом (АА).

Введение дополнительного сомономера (дешевого акриламида) может привести к уменьшению стоимости коагулянта и сделать его более конкурентоспособным, чем обусловил интерес к использованию данного сополимера в ранее проведенных исследованиях, где использовался сополимер только одного состава [2].

Однако, проведение радикальной сополимеризации при разном соотношении мономеров позволяет варьировать химический состав коагулянта, изменять его пространственную структуру и заряд, тем самым влиять на флокулирующую способность полученных продуктов.

Сополимеры ДАДМАХ-АА получены в водном растворе с применением персульфата калия в качестве инициатора при температуре 60 °С при различных соотношениях компонентов (3 : 7, 5 : 5, 7 : 3).

В качестве объекта исследования использован латекс бутадиен-стирольного каучука СКС-30 АРК, получаемый методом эмульсионной полимеризации, со следующими характеристиками: сухой остаток - 21,7 % мас., рН – 9.3, средний радиус частиц – 50.8 нм, поверхностное натяжение – 61.3 мН/м.

Эффективность коагулирующего действия полимерных продуктов оценивали гравиметрически – по массе образующегося коагулюма и визуально – по прозрачности серума. Коагуляцию проводили в колбе, снабженной мешалкой, в которую помещали 10 мл раствора латекса и после термостатирования при определенной температуре в течение 10 мин при перемешивании вводили расчетные количества водного раствора полимера. Расход подкисляющего агента (2,0%-ная серная кислота) составлял 15 кг·т⁻¹ каучука. Образующийся коагулюм отделяли от серума, промывали водой и сушили до постоянной массы при 75–80°С.

Кривые выделения каучука для сополимеров ДАДМАХ-АА представлены на рисунке. Так при употреблении в качестве коагулянтов сополимеров на основе ДАДМАХ полнота выделения каучука из латекса достигается при расходах 0,3-0,5 кг/т каучука.

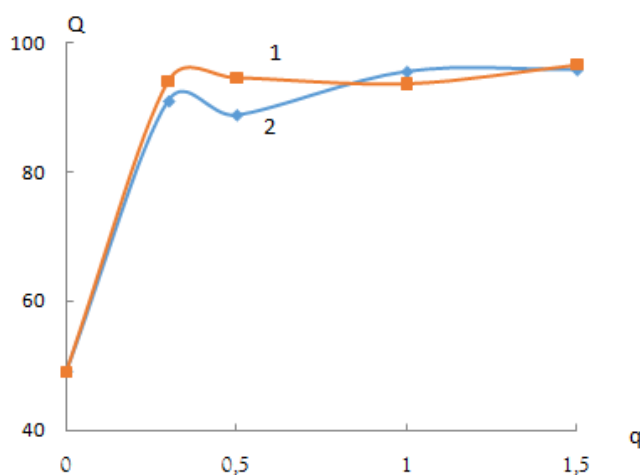


Рисунок – Влияние расхода коагулянта q (кг/т каучука) на выход образующейся крошки каучука Q (%): 1 - сополимер АА – ДАДМАХ (5 : 5); 2 - сополимер АА – ДАДМАХ (7: 3).

(Расход серной кислоты 15 кг/т, температура коагуляции 20 °С)

Определяющим фактором процесса коагуляции латекса СКС-30 АРК при использовании в качестве полиэлектролита сополимеров ДАДМАХ – АА можно считать нейтрализацию заряда его ча-

стиц по мере увеличения концентрации коагулянта, что приводит к падению устойчивости системы.

Нейтрализация поверхностного заряда обусловлена химическим взаимодействием катиона коагулянта и аниона ПАВ – стабилизатора, входящего в состав адсорбционного слоя на поверхности частиц.

В результате такого взаимодействия образуются нерастворимые недиссоциирующие ионно-солевые комплексы, происходит снижение поверхностного заряда и уменьшение потенциального барьера электростатического отталкивания частиц.

Установлено небольшое снижение эффективности флокулирующего действия сополимеров при повышенных температурах. Для процесса выделения каучука из латекса рекомендуется температура 20 °С.

Пониженную коагулирующую способность с повышением температуры можно объяснить, по-видимому, вероятным увеличением растворимости образующихся ионно-солевых комплексов.

Таким образом, применение изучаемых сополимеров позволяет снизить расход коагулянтов и тем самым повысить экологичность технологии получения синтетических каучуков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мисин, В. М. Коагуляция промышленных эмульсионных каучуков в России полимерными четвертичными аммонийными солями. Хронология развития работы / В. М. Мисин, С. С. Никулин, К. М. Дюмаев // Вестник казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, вып. 1. – С. 97–109
2. Никулин, С. С. Перспектива применения сополимера N,N-диметил-N,N-диаллиламмонийхлорида с акриламидом в производстве бутадиенстирольного каучука / С. С. Никулин, Т. Н. Пояркова, В. М. Мисин // Журнал прикладной химии, 2011. – Т. 84. – Вып. 5. – С. 853–859.

И. З. Файзуллин, доц., канд. техн. наук;
С. И. Вольфсон, проф., д-р. техн. наук;
А. В. Канарский, проф., д-р. техн. наук;
И. В. Захаров, канд. техн. наук
А. В. Горбачев, магистрант
(КНИТУ г. Казань)

БИОХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ И РАЗРАБОТКА ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПОЛИПРОПИЛЕНА И МОДИФИЦИРОВАННОГО НАПОЛНИТЕЛЯ

В последнее время получили широкое развитие исследования в области создания термопластичных композитов, наполненных мелкодисперсными частицами из растительного сырья [1]. Такие материалы находят широкое применение в авиа- и автомобилестроении, строительной и мебельной индустрии, что обусловлено их технологичностью при переработке в изделия и превосходным комплексом физико-механических, эксплуатационных и экологических характеристик [2]. Изготовление термопластичных композитов из древесных отходов экономически целесообразно, так как повышается полезный выход продукции, снижаются издержки на утилизацию отходов, что снижает себестоимость продукции [3].

Составление и совершенствование рецептов термопластичных композитов является одним из наиболее актуальных направлений в производстве и применении древесно-полимерных композитов. Модификация наполнителей позволяет улучшить эксплуатационные свойства и технологичность композиционного материала и решить проблемы совместимости компонентов, например, между полимером и наполнителем. Существуют основные способы изменения свойств растительных наполнителей: химическая модификация, термическая и физико-механическая [2-5]. В данной работе исследовалось влияние биохимической модификации наполнителя ферментным препаратом Оллзайм Вегпро (Alltech, США) на их физико-механические, реологические и эксплуатационные свойства. В качестве полимерной матрицы композиций использовался промышленный полипропилен марки 1316М (ПАО «Нижнекамскнефтехим»). В качестве наполнителей были выбраны древесная мука, измельченная шелуха подсолнечника и риса. Композиции получали в смесительной камере «Measuring Mixer 350E» пластикордера «Plasti-Corder®Lab-Station» (Германия). Образ-

цы для испытаний готовились на литьевой машине «Krauss Maffei ClassiX 50-180» (Германия).

В ходе физико-механических испытаний композиций было выявлено, что композиты с наполнителем, модифицированным ферментным препаратом, превосходят по показателям базовые композиции с исходным наполнителем. Установлено, что при модификации наполнителя ферментом увеличивается прочность композиций при растяжении по сравнению с контрольным образцом без фермента: на 18 % – у композиций с древесной мукой, на 8 % – с шелухой подсолнечника, на 3 % – с шелухой риса. Ударная вязкость по Шарпи увеличилась во всех образцах с модифицированным наполнителем, максимальное значение показал образец с древесной мукой (на 31%). Плотность и твердость композитов изменились незначительно после обработки наполнителя.

Таким образом, биохимическая модификация растительного наполнителя ферментным препаратом Оллзайм Вегпро (Alltech, США) позволяет улучшить физико-механические свойства композиций. Дальнейшее исследование необходимо направить на оптимизацию расхода выбранного ферментного препарата и режима биомодификации для каждого вида наполнителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Файзуллин И. З., Мусин И. Н., Вольфсон С. И. Влияние размера частиц наполнителя на свойства древесно-полимерных композитов //Вестник Казанского технологического университета. –2013. – Т.16. – №. 5.

2. Volfson S. I. et al. The physicomechanical and rheological characteristics of wood–polymer composites based on thermally and mechanically modified filler //International Polymer Science and Technology. – 2017. – Т. 44. – №. 2. – С. 49-54.

3. Кузьмин А. М., Водяков В. Н., Котина Е. А. Модификация термопластичных композитов с растительным наполнителем минеральными тонкодисперсными частицами //Вестник Казанского технологического университета. – 2017. – Т. 20. – №. 2.

4. Fayzullin I. Z. et al. Influence of the type of wood flour and nanoadditives on the structure and mechanical properties of polypropylene-based wood-polymer composites //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2016. – Т. 1785. – №. 1. – С. 040098.

5. Zakharova N. L. et al. The effect of biomodification of gluten on properties of a gluten film for lamination of a paperboard //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2020. – Т. 2285. – №. 1. – С. 040017.

А. З. Файзуллин, асп.;
С. И. Вольфсон, проф., д-р. техн. наук;
И. З. Файзуллин, доц., канд. техн. наук
(ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань)

РАЗРАБОТКА ОДНООСНООРИЕНТИРОВАННЫХ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПЛЕНОК ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГИБКОЙ УПАКОВКИ

Проблема вторичной переработки полимерных материалов на сегодняшний день является одной из основных экологических проблем в мире.

Область применения полимеров и композиций на их основе широка благодаря их большому многообразию и высоким физико-механическим свойствам, которые возможно регулировать в процессе производства.

Большую долю рынка полимерных материалов занимает гибкая упаковка. В зависимости от назначения и требований к продукту, полимерная упаковка имеет различную структуру. При производстве упаковки применяются многослойные материалы. Применение различных по строению и совместимости материалов связано со спецификой формирования гибкой упаковки, каждый слой в структуре отвечает за определенные свойства [1]. В большинстве случаев в качестве наружного слоя упаковки и для нанесения изображения применяют прозрачную ПЭТФ пленку [2], она обладает превосходными оптическими свойствами и высокими прочностными характеристиками. В качестве внутреннего, сварного слоя упаковки применяют ПЭ пленку, полиэтилен обладает хорошей стойкостью к агрессивным средам и воздействию водяного пара, так же высокой прочностью сварного соединения, соответственно, упаковка остается герметичной, что позволяет защитить продукт внутри упаковки от воздействия внешней среды и продлить срок хранения. Данная полимерная упаковка обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными видами упаковочной тары из металла, стекла и бумаги. Однако, существенным недостатком является то, что такую упаковку невозможно повторно переработать [3].

В рамках данной работы рассматривается разработка материалов способных заменить многослойные структуры, применяемые в гибкой упаковке на экологичные решения из моноструктурных материалов.

В работе исследовались методы и технологии производства

пленок, позволяющие получить полиэтиленовую пленку близкую по свойствам к ПЭТФ пленкам.

Рассмотрена технология производства пленок на основе полиэтилена методом выдувной экструзии с последующей принудительной одноосной ориентационной вытяжкой, позволяющая повысить прочностные характеристики в направлении ориентации пленки и улучшить барьерные и оптические свойства.

Изучение процессов ориентации пленок началась еще в 1950-х годах. Было замечено улучшение свойств при растяжении пленки в машинном направлении (MD). При одновременной или последовательной двухосной ориентации пленка растягивается как в машинном направлении, так и в поперечном направлении (TD) [3]. Однако потребовалось достаточно много времени для освоения технологии ориентации и запуска производства пленок. Таким образом, было налажено производство ПЭТФ, БОПП, ОПА пленок с применением метода двухосной и одноосной ориентацией, которое нашло широкое применение в пищевой упаковке [4].

Применение технологии ориентационной вытяжки при производстве полиэтиленовых пленок для пищевой упаковки была не востребована и оставалась малоизученной. Однако, в условиях сложившейся экологической ситуации, связанной с интенсивным загрязнением окружающей среды, прочно установилась тенденция к замене непригодной для переработки упаковки на экологически чистую продукцию, что способствовало актуализации вопросов модификации полиэтиленовых пленок с применением методов ориентационной вытяжки со стороны производителей гибкой упаковки.

В этой связи разработка экологичных перерабатываемых композиционных материалов на основе полиэтилена для производства гибкой упаковки с применением технологии одноосной ориентационной вытяжки становится особенно актуальной на сегодняшний день.

В ходе выполнения работы на пилотной линии MDO-Collin (Германия) получены образцы одноосноориентированной полиэтиленовой пленки, проведены лабораторные испытания по определению свойств.

Основной характеристикой полимерных пленок являются физико-механические свойства, такие как прочность при разрыве, модуль упругости и относительное удлинение, определяемые при испытаниях в продольном и поперечном направлении. С целью определения данных показателей были проведены лабораторные испытания на универсальной разрывной машине Zwick Roell (Германия), согласно стандарту ASTM 882. Так же проведен сравнительный анализ физико-

механических характеристик ПЭТФ и БОПП пленок.

Установлено, что прочность при растяжении в продольном направлении полученных образцов МДО ПЭ пленок составляет 155 МПа, что на 15 % меньше, чем прочность ПЭТФ (186 МПа) и на 10 % больше, чем БОПП (140 МПа).

Прочность в поперечном направлении МДО ПЭ пленок составляет 24 МПа, что на 88 % меньше, чем ПЭТФ (196 МПа) и также на 90 % меньше, чем БОПП (250 МПа).

Относительное удлинение в продольном направлении МДО ПЭ пленок составляет 96 %, что на 9 % меньше, чем у ПЭТФ (105 %) и на 52 % меньше, чем у БОПП (200 %).

Относительное удлинение в поперечном направлении МДО ПЭ пленок составляет 1082 %, что на 92 % больше, чем у ПЭТФ (85 %) и на 94 % больше, чем у БОПП (70 %).

Согласно полученным данным, образцы одноосноориентированной полиэтиленовой пленки обладают необходимым комплексом физико-механических свойств, требуемых при производстве гибкой упаковки. Однако остается ряд вопросов по улучшению прочностных свойств в поперечном направлении, а также улучшение оптических и барьерных свойств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зелке, С. Пластиковая упаковка / С. Зелке, Д. Кутлер, Р. Хернандес – СПб.: Профессия, 2011. – 560 стр.
2. А.А Ефремова, Р.М. Гарипов, Григорьев А.Ю. Основы технологии печатных процессов: учебно-методическое пособие/ А.А Ефремова, Р.М. Гарипов, А.Ю. Григорьев.
3. Ханлон, Дж. Упаковка и тара: проектирование, технологии, применение / Дж. Ханлон, Р.
4. Hatfield, E. (2016). Machine Direction–Oriented Film Technology// Multilayer Flexible Packaging, 2016, 147–152.
5. С.И. Вольфсон, Ю.Н. Хакимуллин. Производство полипропилена и биаксиально- ориентированной полипропиленовой пленки в Российской Федерации, Вестник Казанского технологического университета.14, 23, 94–96 (2011).

Д. В. Кузёмкин, доц., канд. техн. наук;
И. А. Хмызов, доц., канд. техн. наук;
Е. П. Шишаков, ст. науч. сотр.
(БГТУ, г. Минск)

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ МОЛЬНОГО СООТНОШЕНИЯ
КАРБАМИД : ФОРМАЛЬДЕГИД ПРИ СИНТЕЗЕ
КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ НА
ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ**

В связи с мировой тенденцией к расширению многоцелевого назначения древесины все более актуальными становятся вопросы совершенствования технологий композиционных материалов на ее основе [1]. При этом преследуются цели, как получения древесных композиционных материалов с заранее заданным комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств, так и утилизации отходов лесо- и деревообработки.

К древесным композиционным материалам относят структуры, наполненные древесиной в различных ее видах. В этом случае связующее выполняет роль матрицы, в которую заключен механический каркас из древесного материала. Такая структура придает древесному композиционному материалу особые механические свойства: высокую прочность при относительно малой плотности, жесткость и упругость, что достигается благодаря армирующим свойствам древесины и адгезионной способности матрицы. Такие материалы широко используют в промышленном и гражданском строительстве, производстве мебели, машиностроении. Область их применения с каждым годом постоянно расширяется [1].

Использование в качестве наполнителя композиционных материалов отходов других производств (опилок, стружки-отходов и др.) создает реальные условия для перевода деревообрабатывающих предприятий на малоотходные и безотходные технологии. Кроме того, относительно низкая стоимость древесных композитов, высокая экономическая эффективность производства при малых трудозатратах и энергоемкости, хорошая механическая прочность, а также непрерывная возобновляемость лесных ресурсов обуславливают все возрастающий интерес к этим материалам.

В тоже время древесностружечные плиты (ДСП), вырабатываемые из стружки-отходов и связующего, относятся к высоколиквидным композиционным материалам.

В качестве связующего для их изготовления в основном исполь-

зуют карбамидоформальдегидные смолы (КФС) благодаря таким их ценным свойствам как: высокая скорость отверждения, хорошая адгезии к древесине, доступность исходного сырья, простота технологии получения, дешевизна, бесцветность и отсутствие запаха. Их производство основано на использовании товарного формалина, и является одним из самых невыгодных вариантов, как с экономической, так и с экологической точек зрения. В тоже время актуальным является использование в качестве сырья карбамидоформальдегидного концентрата (КФК), содержащего 60% формальдегида и 25% карбамида [2].

В связи с этим в лабораторных условиях был осуществлен двухстадийный синтез КФС из КФК и карбамида с варьированием мольного соотношения карбамид : формальдегид от 1 : 1,1 до 1 : 1,4.

В результате синтеза была получена КФС, показатели качества которой приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели качества КФС

Наименование показателя	Мольное соотношение (карбамид : формальдегид)			ГОСТ 14231-2008 (КФ-МТ)
	1: 1,1	1: 1,2	1: 1,4	
1. Массовая доля сухого остатка, %	0,64	0,65	0,67	66 ± 2
2. Содержание свободного формальдегида, %	0,11	0,12	0,14	≤ 0,15
3. Вязкость по ВЗ-4, с	31	36	41	30-80
4. Концентрация водородных ионов, рН	8,5	8,2	7,6	7,5-8,5
5. Время желатинизации при 100°C, с	53	52	45	40-60
6. Смешиваемость с водой, об.ч/об.ч	полная	полная	полная	1 : 2

Как видно из таблицы 1, показатели полученной КФС удовлетворяют требованиям ГОСТ 14231-2008 в отношении КФС марки КФ-МТ, широко используемой в производстве ДСтП. При этом смолу, полученную из КФК и карбамида, можно считать более реакционноспособной по сравнению со стандартной смолой из формалина и карбамида, так как имеются более широкие возможности варьирования такого важного показателя как мольное соотношение – формальдегид : карбамид. Это указывает на целесообразность использования КФК в синтезе КФС, которую в дальнейшем можно применять в изготовлении ДСтП.

Руководствуясь этим, следующим этапом лабораторных исследований было изготовление ДСтП типа Р2 толщиной 16мм на основе полученных образцов КФС. Результаты испытаний, полученных образцов ДСтП, приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Физико-механические показатели ДСтП типа Р2

Наименование показателя	Образцы ДСтП с мольным соотношением (карбамид : формальдегид)			ГОСТ 10632- 2014
	1: 1,1	1: 1,2	1: 1,4	
1. Влажность, %	8,9	9,2	9,0	–
2. Плотность, кг/м ³	625	668	662	550-820
3. Предел прочности при изгибе, МПа	10,7	14,0	12,8	≥11
4. Разбухание за 2 ч, %	13,7	14,3	13,8	–
5. Содержание свободного формальдегида в плите, мг / 100 г плиты	16,5	20,7	18,9	≤ 20

Анализируя приведенные в таблице 2 физико-механические показатели ДСтП, можно отметить, что для получения ДСтП с классом эмиссии формальдегида Е 1 и Е 0,5 необходима химическая модификация связующего на основе КФК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьева, Т.В. Технология древесноволокнистых плит, технология древесностружечных плит, технология композиционных материалов и пластиков. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие для студентов специальности 1-48 01 05 «Химическая технология переработки древесины» специализации 1-48 01 05 02 «Технология древесных плит и пластиков» / Т.В. Соловьева, А.А. Пенкин. – Минск: БГТУ, 2009. – 144 с.

2. Изучение свойств карбамидоформальдегидной смолы: методические указания / Сост. Л.Н. Пименова, Л.А. Аниканова. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та. – 2008. – 20 с.

УДК 678.06

Н. Р. Прокопчук, член-корр. НАН Беларуси, проф., д-р. хим. наук;
А. И. Глоба, доц., канд. хим. наук; И. О. Лаптик, инж.
(БГТУ, г. Минск)

УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ПО МЕТАЛЛУ НАНОАЛМАЗНЫМИ ЧАСТИЦАМИ

Использование наноразмерных частиц в защитных материалах (ЛКМ) весьма актуально, так как правильный выбор наномодификатора, его количества и способа введения может значительно улучшить эксплуатационные свойства лакокрасочных покрытий практически без изменения технологий производства ЛКМ, получения покрытий и с минимальным увеличением стоимости [1, 2].

Наночастицы в ЛКМ находятся в связанной, суспензионной форме и поэтому технологии получения защитных покрытий безопасны [3]. Покрытия на основе наноразмерных композиций интенсивно изучаются в мире. Физической основой наномодифицирования являются потенциальные возможности субатомных частиц с высокой поверхностной энергией образовывать ионные и координационные связи, ограничивающие подвижность звеньев и сегментов макромолекул, проявлять когезионные и адгезионные взаимодействия и др.

В качестве объектов исследования были выбраны промышленно производимые на ЧУП «МАН» грунтовка Belakor 02 и эмаль Belakor 12 (водные дисперсии акриловых сополимеров, пигментов, наполнителей, функциональных добавок, воды). Для модификации грунтовки и эмали использовали углеродные наноматериалы производства НПЗАО «Синта», Минск, – шихта алмазсодержащая марки АШ-А и алмаз синтетический ультрадисперсный УДА. Получали модифицированные ЛКМ, содержащие нанодобавки в концентрациях 0,005, 0,010 и 0,100 мас. % в пересчете на сухой остаток, путем смешения грунтовки, эмали с дисперсией нанодобавки. Из немодифицированных и полученных модифицированных лакокрасочных составов были сформированы однослойные покрытия на металлических подложках. Покрытия определенной толщины отверждали в естественных условиях (грунтовка) и условиях горячей сушки (эмаль, 80 °С). Перед испытаниями образцы покрытий выдерживали 24 ч при комнатной температуре.

После окончательного формирования покрытий, твердость покрытий на основании образцов №2–№7 выше твердости немодифицированных покрытий (на 20%). Наивысшей твердостью характеризуются покрытия на основе грунтовки Belakor 02, модифицированной АШ-А в количестве 0,01 % – 0,50 отн. ед.

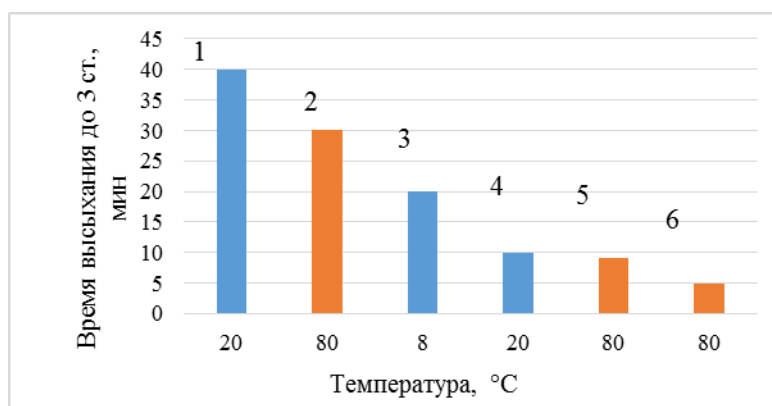
**Таблица - Физико-механические свойства ЛКМ,
модифицированные наноматериалами**

№ п/п образца	Количество наноматериала, %	Тип модификатора	Адгезия, балл	Прочность при ударе, см	Твердость, отн. ед. через 30 сут. после нанесения
<i>Belakor 02</i>					
1	-	-	2	90	0,31
2	0,005	АШ-А	1	100	0,38
3	0,01	АШ-А	1	100	0,42
4	0,1	АШ-А	1	100	0,40
5	0,005	УДА	1	100	0,37
6	0,01	УДА	1	100	0,45
7	0,1	УДА	1	100	0,43
<i>Belakor 12</i>					
8	-	-	2	90	0,36
9	0,005	АШ-А	1	100	0,56
10	0,01	АШ-А	1	100	0,36
11	0,1	АШ-А	1	100	0,55
12	0,005	УДА	1	100	0,55
13	0,01	УДА	1	100	0,60
14	0,1	УДА	1	100	0,60

Из таблицы видно, что адгезия покрытий к стали возрастает с 2-х до 1 балла уже при содержании наноалмазных частиц 0,005 % мас. Дальнейшее увеличение содержания наночастиц как в грунтовке, так и в эмали не влияет на адгезию. Прочность при ударе вначале возрастает с 90 см до 100 см (на 11 %) при введении 0,005 % мас. наночастиц, а затем остается постоянной. Твердость грунтовки с наночастицами АШ-А максимальная при концентрации 0,01 % мас. (возрастает с 0,31 отн. ед. до 0,42 отн. ед., т.е. на 35 %). Наночастицы с УДА увеличивают твердость покрытий несколько больше (с 0,31 отн. ед. до 0,45 отн. ед., на 45 %) при той же концентрации 0,01 % мас. Твердость эмали при модификации наночастицами изменяется следующим образом. Введение АШ-А в количестве 0,005 % мас. повышает твердость с 0,36 отн. ед. до 0,56 отн. ед. (т.е. на 56 %), а введение УДА в количестве 0,01 % мас. с 0,36 отн. ед. до 0,60 отн. ед. (т.е. на 67 % грунтовки и эмали). Более эффективным модификатором эмали по показателю «твердость» являются наночастицы УДА, по сравнению с наночастицами АШ-А. Из всех исследуемых образцов наилучшими свойствами обладают АШ-А (0,01 %), УДА (0,01 %) и УДА (0,1 %). Для этих образцов определяли время высыхания до третьей степени по ГОСТ 19007.

На рисунке видно, что существенно снижается время отверждения грунтовки и эмали, модифицированных наноалмазными частицами. Это можно связать с образованием ими физической сетки, пронизывающей макромолекулы акриловых сополимеров. Сетка способствует вытеснению воды из формирующихся покрытий. Чем выше концентрация нано-

частиц, тем плотнее сетка и быстрее вытесняется вода. Это важно с точки зрения энергосбережения и повышения производительности процесса при производстве защитных покрытий по стали.



1 – АШ-А (грунтовка 0 % при 20 °С), 2 – УДА (эмаль 0 % при 80 °С), 3 – АШ-А (грунтовка 0,01 % при 8 °С), 4 – АШ-А (грунтовка 0,01 % при 20 °С), 5 – УДА (эмаль 0,1 % при 80 °С), 6 – УДА (эмаль 0,01 % при 80 °С)

Рисунок – Зависимость времени высыхания от температуры

Стойкость к статическому воздействию воды и 3 %-го возрастает грунтовки и эмали при введении в них модификаторов АШ-А и УДА. Водостойкость грунтовки возрастает с 20 сут. до 32 сут. при введении 0,1 % мас. АШ-А (на 60 %). При модификации УДА водостойкость возрастает еще выше (с 20 сут. до 42 сут., на 110 %). Стойкость к действию воды эмали возрастает при введении 0,1 % мас. АШ-А с 20 сут. до 37 сут. (на 85 %), а 0,1 % мас. УДА с 20 сут. до 49 сут. (на 145 %).

Наночастицы, распределившись по всему объему покрытий и взаимодействуя друг с другом, образуют физическую сетку, усиливающую межмолекулярные взаимодействия между цепочками акриловых сополимеров. Модифицированная наноалмазными частицами надмолекулярная структура на металле грунтовки и эмали представляет собой систему взаимопроникающих сеток, которая существенно повышает важные показатели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шашок Ж.С., Прокопчук Н.Р. Применение углеродных наноматериалов в полимерных композициях. – Минск: БГТУ, 2014. – 232 с.
2. Долматов В.Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза. Получение, свойства, применение // Монография – СПб.: Изд-во СПб ГПУ, 2003. – 344 с.
3. Зубилевич М., Гнот В. Антикоррозионные лакокрасочные материалы нового поколения // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2005. № 6. С. 7–11.

Н. Г. Валько, доц., канд. физ. мат. наук;
Д. Д. Юшкевич, студ. (ГрГУ им. Я. Купалы, Гродно);
А. И. Глоба, доц., канд. хим. наук (БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ С АКТИВНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Нанесение лакокрасочных покрытий (ЛКП) на металлические изделия и конструкции является одним из самых распространенных методов борьбы с коррозией, что обуславливает необходимость получения ЛКП с улучшенными эксплуатационными свойствами. В последнее время проявляется все больший интерес к способам формирования ЛКП при совместном облучении их ионизирующим излучением, в частности УФ-излучением [1]. Такое воздействие может приводить к формированию более развитых пространственно-сшитых структур вследствие радиационно-химических превращений, протекающих в облучаемой среде, что способствует модификации эксплуатационных характеристик покрытий. Поэтому целью работы являлось изучение влияния УФ-излучения на структуру и свойства ЛКП с активными наполнителями.

Для исследования влияния УФ-излучения на структуру и свойства ЛКП была выбрана промышленно производимый лакокрасочный материал (ЛКМ) марки ЭП-773, рекомендуемый для окрашивания металлических, а также оцинкованных поверхностей. В качестве модификаторов использовались полые микросферы марки Q-Cel 6048 с насыпной плотностью $0,27 \text{ г/см}^3$, со средним размер частиц 50 мкм. Концентрация микросфер в ЛКМ составляла 5 % и 10 %.

При исследовании методами растровой электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа ЛКП ЭП-773 с микросферами Q-Cel 6048 в количестве 5 % и 10 % обнаружено снижение остаточных напряжений и соответствующее уменьшение трещиноватости ЛКП при добавлении модификатора в ЛКМ, а также уменьшение скорости образования продуктов коррозии на ЛКП [2]. Следует также отметить, что увеличение концентрации микросфер в ЛКМ отражается на рентгенограммах ростом интенсивности рефлексов, соответствующих SiO_2 . На дифрактограммах покрытий без модификатора обнаружено присутствие малоинтенсивных линий, соответствующих оксидам железа Fe_2O_3 , а при добавлении микросфер в ЛКМ, интенсивность рефлексов от оксидов железа снижается. Для покрытий с 10 % содержанием микросфер рефлекс, соответствующий оксидам железа,

исчезают, что указывает на их повышенную коррозионную стойкость к внешним воздействиям, в сравнении с не модифицированными микросферами покрытиями.

При исследовании морфологии поверхности ЛКП, сформированного из ЛКМ ЭП-773 с микросферами Q-Cel 6048, модифицированного УФ-излучением было обнаружено, что в местах выхода микросфер на поверхность ЛКП, изначально отличающихся трещиноватостью и рыхлостью из-за повышенных напряжений на фазовых границах, присутствуют образования, заполняющие трещины и пустоты. Появление данных морфологических образований после облучения приводит к формированию гладкой и плотной поверхности, отличающейся повышенными эксплуатационными свойствами [3]. Стоит отметить разупорядочение кристаллической структуры полимера, подтвержденного снижением интенсивности и уширением рефлексов матрицы ЛКП на дифрактограммах от облученных образцов.

Изменение геометрии поверхности под действием УФ-облучения связано с радиационной модификацией пленкообразователя, а именно с разрушением, что приводит к разрыву связей в основных цепях и образованию молекул с более низкой молекулярной массой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние УФ-излучения на твердость лаковых покрытий / Н.Г. Валько, С.Ю. Раюнчюс, А.И. Глоба, А.В. Касперович // Нефтехимия – 2019: материалы II Международного научно-технического и инвестиционного форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 16-18 сентября 2019. – Минск: БГТУ, 2019. – С. 146–149.

2. Валько Н.Г., Глоба А.И., Касперович А.В. Структура и свойства лакокрасочных покрытий модифицированных полыми стеклянными микросферами / Н. Г. Валько [и др.] // Веснік ГрДУ імя Янкі Купалы. Сер. 2, Матэматыка. Фізіка. Інфарматыка, вылічальная тэхніка і кіраванне. – 2020. – Т. 10. – № 2. – С. 95–102.

3. Valko, N. Structure and properties of paint coatings irradiated by ultraviolet rays / N. Valko, A. Hloba, A. Kasperovich // Abstract of 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects, Tomsk, September 14–26, 2020. P. 780.

Н. Г. Валько., доц., канд. физ.-мат. наук;
В. А. Книга, студ. (ГрГУ им. Янки Купалы, Гродно);
А. В. Касперович, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УФ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРУ ЭЛАСТОМЕРОВ

Представлены результаты исследования влияния ультрафиолетового облучения (207 нм) на степень кристалличности эластомерных композиций. Актуальность проводимых исследований связана с необходимостью выявления подверженных разрушению структурных элементов эластомеров при УФ-воздействии с целью их стабилизации и формирования радиационно стойких композиций [1–2]. Поскольку старение эластомеров характеризуется структурно-физической неоднородностью материала, а также существенными изменениями в молекулярной подвижности структурных элементов в кристаллических и аморфных областях резин, то основной задачей исследований было изучить влияние длительности УФ-облучения на степень кристалличности эластомерных композиций. С этой целью эластомерные композиции общего назначения облучали УФ-излучением, которое генерировалось КrVr-эксилампой барьерного разряда. Длина волны данного излучения в максимуме спектра излучения составляет 207 нм. Плотность мощности излучения была 5 мВт/см². Облучение УФ-излучением производилось в диапазоне от 20 до 60 мин.

Для определения степени кристалличности эластомеров были использованы данные рентгеноструктурного анализа, которые проводились на дифрактометре ДРОН 3М в CuK_α излучении. Степень кристалличности определялась по отношению площади под кристаллическими пиками к общей площади кристаллических и рентгеноаморфных пиков.

Анализ участков дифрактограмм позволил установить закономерное изменение дифракционных картин эластомеров, облученных УФ-излучением в течение 20, 40 и 60 мин., которое обнаруживается в увеличении интенсивности дифрактометрических максимумов, характеризующих кристаллическую фазу эластомеров, и смещении их в малоугловую область. Проведенный анализ указывает на увеличение степени кристалличности эластомеров и уменьшение их аморфности с увеличением длительности облучения УФ-излучением.

Результаты расчетов степени кристалличности эластомеров, облученных УФ-излучением, представлены в таблице.

Таблица 1 – Степень кристалличности эластомеров, облученных УФ-излучением, в течение разного по длительности времени

Длительность облучения УФ-излучением, мин	Степень кристалличности, χ_k , %	Степень аморфности, χ_a , %
0	0,235	0,765
20	0,385	0,615
40	0,548	0,452
60	0,562	0,438

Из таблицы видно, что зависимости степени кристалличности от длительности облучения УФ-излучением не является линейной т.е. относительное увеличение степени кристалличности с ростом времени облучения снижается. Так степень кристалличности после облучения эластомеров в течение 20 мин УФ-излучением увеличилась на 64 %, при облучении 40 мин – на 42 %, а облучение при 60 мин – на 3%. Обнаруженные факты указывают на замедление процессов старения резины с увеличением длительности облучения УФ-излучением, что связано с наличием предела в увеличении числа межмолекулярных связей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчаров, В.И. Свойства резиновых смесей и резин: оценка, регулирование, стабилизация / В.И. Овчаров, М.В. Бурмистр, В.А. Тютин и др. – М.: САНТ-ТМ, 2001. – 400 с.
2. Валько, Н.Г. Исследование влияния рентгеновского излучения на прочностные характеристики эластомеров специального назначения / Н.Г. Валько, Д.Д. Ван дер Вел, А.В. Касперович, А.В. Шевчик, В.В. Боброва // Технология органических веществ: материалы докладов 84-й научно-технической конференции посвященной 90-летнему юбилею БГТУ и Дню белорусской науки, Минск / гл. ред.: И.В. Войтов. – Минск: БГТУ, 2020. – С. 119–120.

УДК 577.214: 004.9

Д. В. Галиновский, канд. биол. наук, доц. (ИГиЦ, г. Минск);
Н. Е. Мокшина, канд. биол. наук (КИББ ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань);
Т. А. Подвицкий, асп. (University of Cologne, г. Кельн);
В. З. Богдан, канд. с-х. наук, доц., зав. лаб. (Институт льна, аг. Устье);
Т. А. Горшкова, проф., д-р биол. наук (КИББ ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань);
А. В. Кильчевский, проф., д-р биол. наук, академик (ИГиЦ, г. Минск)

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА ЛЬНОВОЛОКНА

Лен является важной технической культурой, которая выращивается для получения пряжи (лен-долгунец) или масла (масличный лен). Из стеблей льна получают льноволокно, качество которого определяется технологией возделывания и переработки, а также биологическим потенциалом растительного организма.

Для формирования волокон особенно важна стадия быстрого роста растений льна, в процессе которой клетки волокон значительно удлиняются посредством интрузивного роста, а затем утолщается их клеточная стенка [1]. В данной работе предлагается подход, который устанавливает связь между параметрами качества технического волокна, получаемого после созревания растений, и уровнем экспрессии генов, функционирующих на стадии быстрого роста при развитии растений. На основании полученных ранее транскриптомных данных для данной работы были отобраны гены с ткане- и стадияспецифичным характером экспрессии [2].

Исследование выполняли на образцах льна рабочей коллекции, включавшей сорта льна-долгунца (Арамис, Грант, Дракар, Ласка, Могилевский, Эден), льна масличного (Лирина и Орфей) и дикие виды льна (*Linum angustifolium*, *L. bienne*). Общий план эксперимента и схема отбора растительного материала представлены на рис. 1.

В результате получили два набора данных, первый из которых отображал уровень экспрессии генов в клетках флоэмных волокон на стадии интрузивного роста (17 генов) и утолщения клеточной стенки (32 гена) [2], а второй – параметры качества трепанного волокна (техническая длина растений, разрывная нагрузка волокна и его гибкость).

В последующем регрессионном анализе показатели качества были использованы как зависимые переменные, а значения уровня экспрессии генов – как независимые (табл. 1). Регуляризацию регрессионных моделей проводили двумя методами – Stepwise и LASSO [3]. Значения R^2 для полученных моделей указывают, что они описывают большую часть вариативности показателей качества (табл. 1). Как

независимые переменные в моделях присутствуют гены, продукты которых вовлечены в биосинтез целлюлозы (*LusCESA4*, *LusLTP3*, *LusCTL2*, *LusCESA8-A*, *LusFLA11-2*, *LusCESA1*) и нецеллюлозных полисахаридов (*LusGT47-1*), в ауксиновый ответ (*LusDFL*) и другие.

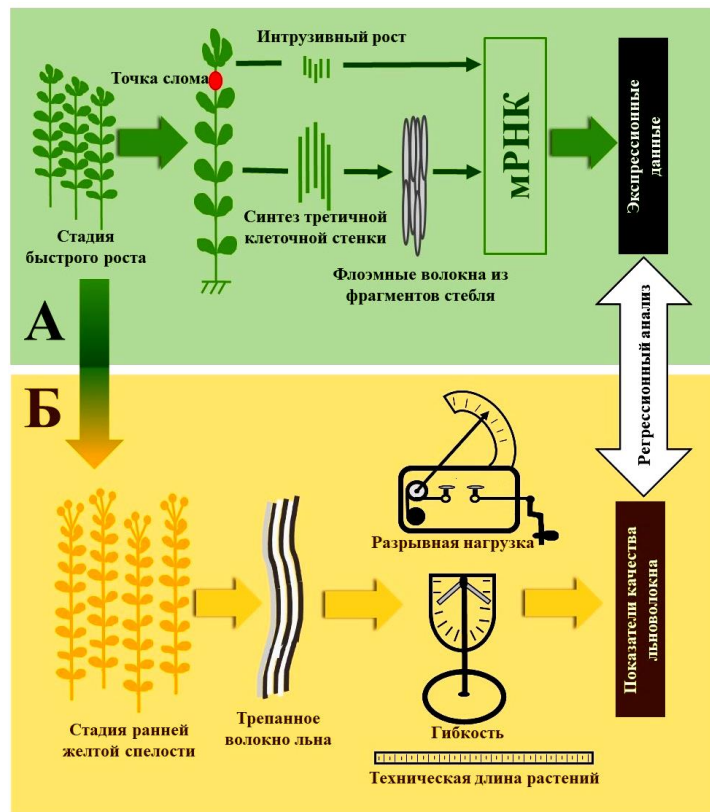


Рисунок 1 – Схема отбора растительного материала и дизайна эксперимента

На рисунке 1 изображена схема отбора растительного материала и дизайна эксперимента. Растительный материал отбирали на стадии быстрого роста (А) и ранней желтой спелости (Б). У отобранных на стадии быстрого роста растений удаляли все листья и корень, а стебли в области точки слома [4] разделяли на две части. Фрагменты стеблей, расположенные выше точки слома, содержали волокна на стадии интрузивного роста. Из данных фрагментов выделяли общую РНК, которую использовали для определения уровня экспрессии целевых генов методом RT-qPCR. Клетки флоэмных волокон, которые располагаются ниже точки слома, находятся на стадии специализации и образуют утолщенную третичную клеточную стенку [1]. Такие волокна изолировали из фрагментов стеблей, расположенных ниже точки слома, а затем из них выделяли общую РНК, которую также использовали для оценки уровня экспрессии целевых генов методом RT-qPCR. Из стеблей растений, собранных на стадии ранней желтой спелости (Б), получали трепанное техническое волокно методом росяной мочки (использовали агрегат СМТ-200М). Определяли параметры качества – разрывная нагрузка волокна и его гибкость, а также учитывали техническую длину растений. На основе полученных экспериментальных данных строили линейные регрессионные модели.

Таблица - Регрессионные модели для параметров качества льноволокна

Показатель	Независимая переменная	Adj. R ²	p-значение	Метод регуляризации модели
Разрывная нагрузка волокна	<i>LusDFL1, LusGT47-1</i>	0.58	2.3E-04	LASSO
	<i>LusDFL1, LusTH8, LusWNK-1, LusSWEET15, LusCESA4, LusLTP3, LusCTL2, LusABH, LusCTL19, LusCESA8-A, LusFLA11-2, LusCESA1</i>	0.97	8.8E-06	Stepwise
Гибкость волокна	<i>LusIPT</i>	0.42	2.1E-03	LASSO
	<i>LusIPT, LusKIN14H, LusAMLT, LusDFL1</i>	0.58	1.6E-03	Stepwise
Техническая длина стебля	<i>LusDFL1, LusGT47-1</i>	0.80	4.2E-07	LASSO
	<i>LusGT47-1, LusWRKY2, LusLTP3, LusWAKL20, LusLTPG5</i>	0.94	5.9E-09	Stepwise

Таким образом, предложенный подход позволяет установить связь между генетическим бэкграундом и хозяйственно-ценными признаками культуры льна, что может быть использовано в программах селекции и редактирования генома льна-долгунца.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РНФ №№ 17-76-20049 (параметры качества) и 20-44-07005 (часть транскриптомного анализа).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Mokshina, N.; Chernova, T.; Galinousky, D.; Gorshkov, O.; Gorshkova, T. (2018) Key Stages of Fiber Development as Determinants of Bast Fiber Yield and Quality *Fibers*. 6(20). doi:10.3390/fib6020020.
- 2 Mokshina, N., Gorshkov, O., Galinousky, D., Gorshkova, T. (2020). Genes with bast fiber-specific expression in flax plants - Molecular keys for targeted fiber crop improvement. *Ind. Crops and Prod.* 152:112549. doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112549.
- 3 Hastie, T., Tibshirani, R., Tibshirani, R.J. (2017). Extended comparisons of best subset selection, forward stepwise selection, and the lasso. arXiv preprint arXiv:1707.08692.
- 4 Gorshkova, T.A., Sal'nikov, V.V., Chemikosova, S.B., Ageeva, M.V., Pavlencheva, N.V., and van Dam, J.E.G. (2003) The snap point: a transition point in *Linum usitatissimum* bast fiber development *Ind. Crops Prod.* 18: 213–221. doi: 10.1016/S0926-6690(03)00043-8.

УДК 579.66:579.254.2

К. А. Губчик, науч. сотр.; Р. Н. Бирюков, науч. сотр.;
И. С. Сурдол, мл. науч. сотр.; И. С. Казловский, науч. сотр.
(Институт микробиологии НАН Беларуси, г. Минск);
А. А. Костеневич, канд. биол. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)

СОЗДАНИЕ РЕКОМБИНАНТНОГО ШТАММА, СОДЕРЖАЩЕГО ГЕН БЕТА-1,3-N-АЦЕТИЛГЛЮКОЗАМИН-ТРАНСФЕРАЗЫ И ОПТИМИЗАЦИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЕГО ЭКСПРЕССИИ

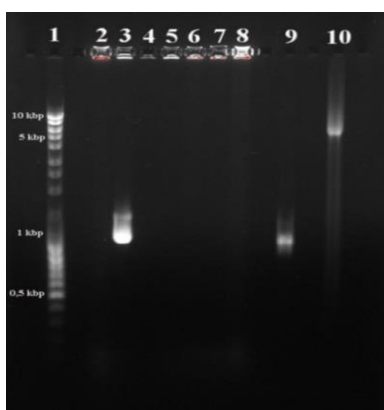
Олигосахариды грудного молока (далее ОГМ) играют важную роль в развитии ребенка в период грудного вскармливания, проявляя пребиотическую, противоинфекционную, противовоспалительную, иммуностимулирующую и др. активности. Олигосахариды – третий основной компонент грудного молока человека после лактозы и липидов [1, 2]. Синтез ОГМ осуществляется в ацинарных клетках молочной железы гликозидазами и гликозилтрансферазами путем удлинения молекулы лактозы мономерами D-глюкозы, D-галактозы (Gal), N-ацетилглюкозамина, L-фукозы и N-ацетилнейраминовой кислоты [2].

В настоящее время для исследования и поиска применения ОГМ в качестве продуктов функционального питания разрабатываются эффективные способы их синтеза (химический, ферментативный, микробный), среди которых наиболее перспективные: биотрансформация целых клеток, создание генно-инженерных микробных штаммов-продуцентов [1, 2, 3]. В человеческом молоке преобладают олигосахариды, получаемые путем удлинения молекулы одного из основных ОГМ – лакто-N-триозы II (LNT2), являющегося структурным предшественником лакто-N-тетраозы и лакто-N-неотетраозы, которые в свою очередь выступают субстратом для синтеза ~ 50-70 % ОГМ, составляющих 0,5-1,5 г/л в молоке. LNT2 синтезируется путем присоединения активированного остатка N-ацетилглюкозамина к остатку Gal β -лактозы под действием β -N-ацетилглюкозамин-трансферазы [2, 3].

Цель работы – создать рекомбинантный штамма-продуцент β -1,3-N-ацетилглюкозамин-трансферазы (β -1,3-N-AGAT), а также исследовать оптимальные условия индукции экспрессии целевого гена.

Для конструирования микробного штамма-продуцента β -1,3-N-AGAT использовали последовательность целевого гена *ybt1518_rs29990* [*Bacillus thuringiensis* YBT-1518] (981 bp) из базы данных NCBI (банка генов). В нашем исследовании донором хромосомной ДНК, содержащей целевой ген, служил штамм *B. thuringiensis* ВІМ В-180 из коллекции непатогенных микроорганизмов Института

микробиологии НАН Беларуси. Праймеры для амплификации целевого гена методом ПЦР конструировали с использованием программного обеспечения SnapGeneViewer 1.4.1., учитывая дополнительные последовательности необходимые для встраивания в векторную плазмиду. Для встраивания методом прямой перекрывающейся ПЦР (ПП-ПЦР), переноса и экспрессии целевого гена применяли мультикопийную плазмиду рЕТ42a(+). После амплификации целевого гена и ПП-ПЦР проводили трансформацию штамма-реципиента *Escherichia coli* BL21 (DE3) (Invitrogene, USA) полученным конкатемером и выполняли скрининг позитивных клонов (*E. coli* BL21.Bt1), наследующих плазмиду со вставной целевого гена, методом ПЦР (рисунок 1).



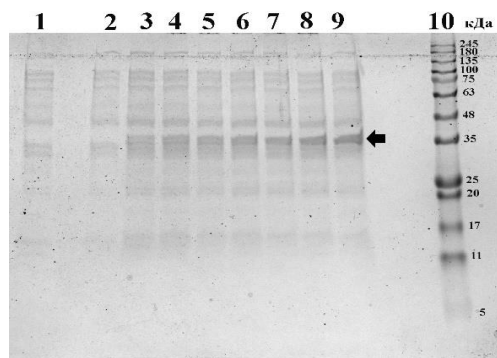
1 – молекулярный маркер MassRuler DNA Ladder Mix;
2-8 – продукты ПЦР-скрининга; 9 – ПЦР продукт амплификации гена;
10 – ПЦР продукт амплификации плазмиды

Рисунок 1 – Электрофореграмма ПЦР продуктов амплификации целевого гена β -1,3-N-AGAT, линейаризованной плазмиды рЕТ42a(+) и продуктов ПЦР-скрининга

Основное преимущество использования *E. coli* в качестве штамма-продуцента рекомбинантных белков – хорошие кинетические показатели роста культуры клеток на относительно простых питательных средах, типа Luria-Bertani (LB). Однако экспрессия рекомбинантного белка может создавать высокую метаболическую нагрузку на микроорганизм, вызывая значительное сокращение времени его генерации [4]. Поэтому на следующем этапе исследований проводили изучение влияния физико-химических параметров на экспрессию целевого гена при культивировании клона *E. coli* BL21.Bt1 в жидкой питательной среде LB: концентрация и компоненты питательной среды, температура инкубирования, рН среды, скорость вращения шейкера инкубатора.

Оптимальный выход β -1,3-N-AGAT (~41 мкг/мл) наблюдался по истечению 4 ч индукции экспрессии целевого гена 1 мМ изопропил- β -

D-1-тиогалактопиранозидом (ИПТГ) при инкубировании *E. coli* BL21.Vt1 в среде LB (пептон – 1%, глюкоза – 1%, дрожжевой экстракт – 0,5%, NaCl – 0,25%, канамицин – 100 мкг/мл, pH 7,2), 20 °С, скорости вращения шейкера инкубатора – 200 об/мин (рисунок 2).



1 – до внесения ИПТГ; 2 – 5 мин после внесения ИПТГ; 3 – 1 ч; 4 – 2 ч; 5 – 3 ч; 6 – 4 ч; 7 – 5 ч; 8 – 6 ч; 9 – 24 ч после внесения ИПТГ; 10 – Маркер молекулярной массы BlueElf (PS-105)

Рисунок 2 – Электрофореграммы белкового состава клеток штамма *E. coli* BL21.Vt1 в результате оптимизации физико-химических условий культивирования во время индукции экспрессии гена β -1,3-N-AGAT

В результате проделанной работы был получен рекомбинантный штамм *E. coli* BL21.Vt1 и подобраны условия для достижения им оптимального выхода β -1,3-N-AGAT, фермента катализирующего синтез LNT2. Работа выполнена в рамках задания Б19М-047 БРФФИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sprenger, G.A. Production of human milk oligosaccharides by enzymatic and whole-cell microbial biotransformations / G.A. Sprenger, F. Baumgärtner, C. Albermann // *Journal of Biotechnology*. – 2017. – Vol. 258 – P. 79-91.
2. Chen, X. Human Milk Oligosaccharides (HMOS) / X. Chen // *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*. – Elsevier, 2015. – Vol. 72. – P. 113-190.
3. Biotechnological production of human milk oligosaccharides / N.S. Han [et al.] // *Biotechnology Advances*. – 2012. – Vol. 30, № 6. – P. 1268-1278.
4. Rosano, G.L. Recombinant protein expression in *Escherichia coli*: advances and challenges / G.L. Rosano, E.A. Ceccarelli // *Front. Microbiol.* – 2014. – T. 5.

АНАЛИЗ АКТИВНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ МОЮЩЕ-ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Использование моющих и дезинфицирующих средств для обработки поверхностей является одним из распространенных способов обеспечения санитарно-гигиенической чистоты производства. Основное назначение этих веществ – удаление и подавление жизнедеятельности технически вредных и опасных микроорганизмов на различных поверхностях.

Совмещение моющих и антимикробных средств в одном препарате и процессе обработки позволяет повысить эффективность их действия и снизить затраты [1].

Вместе с тем, неконтролируемое и неправильное применение дезинфицирующих и моюще-дезинфицирующих препаратов приводит к быстрой адаптации к ним микроорганизмов и потере эффективности их действия.

Одним из перспективных направлений борьбы с адаптацией микроорганизмов к биоцидным веществам является совершенствование системы микробиологического контроля и своевременное обнаружение явления повышения резистентности клеток.

В настоящее время анализ эффективности действия антимикробных веществ основан на использовании диско-диффузионных методов. Основные их недостатки связаны с необходимостью обеспечения стерильности работы и высокой длительностью анализов (1–3 сут.)

Цель работы – разработка экспресс-метода контроля активности и эффективности моюще-дезинфицирующих веществ.

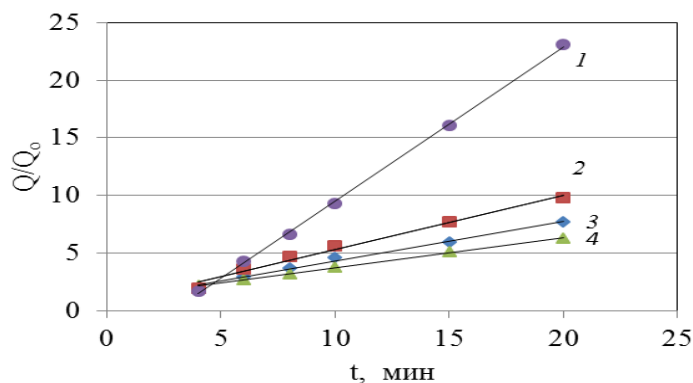
В работе использовали – микрокалориметр МКМ-Ц [2], суточные культуры санитарно-показательных микроорганизмов *E. coli* из коллекции кафедры биотехнологии, выращенные на питательном бульоне.

В качестве моюще-дезинфицирующих веществ служили препараты ИП «Инкраслав»(РБ): «Инкрасепт -10А», «Славин», «Анасепт» [3].

Биокалориметрический метод оценки активности биоцидных веществ основан на анализе изменения тепловыделения клеток в процессе воздействия химических препаратов на микроорганизмы. При этом может регистрироваться как изменение мощности тепловыделения клеток, так и общее количество выделенного ими тепла в присутствии анализируемых веществ. Последний способ более предпочтителен, т.к. отражает средние изменения тепловыделения клеток в ре-

зультате влияния анализируемых веществ.

На рисунке 1 представлены начальные изменения тепловыделения санитарно-показательных микроорганизмов *E. coli* в относительных единицах в присутствии отдельных моюще-дезинфицирующих веществ.



1 – контроль, 2 – «Инкрасепт» (С= 1%), 3 – «Славин» (С = 0,45%),
4 – «Анасепт» (С = 0,55%). Т = 30°С

Рисунок 1 - Кинетика тепловыделения клеток бактерий *E.coli* (10^7 кл/мл) в присутствии моюще-дезинфицирующих веществ

Как видно из рисунка 1, изменение тепловыделения носит линейный характер от времени. Тангенс угла наклона данной зависимости характеризует активность действия препаратов на тест-культуру микроорганизмов *E. coli*.

Наибольшей удельной активностью обладает препарат «Инкрасепт», наименьшей – «Славин».

Эффективность препаратов оценивали по общему снижению уровня тепловыделения микроорганизмов после действия веществ в течение 20 мин.

Полученные результаты (таблица 1) указывают на то, что моюще-дезинфицирующие средства «Анасепт» и «Инкрасепт» обладают более высокой активностью и эффективностью, чем препарат «Славин».

Вместе с тем, следует отметить, что обычно рекомендуемые ИП «Икраслав» для применения на практике дозы данных моюще-дезинфицирующих веществ составляют 0,5–2,0%, а время обработки 1–2 ч.

Использование в эксперименте более низких концентраций препаратов позволяет не только экономить расход реагентов на испытания их эффективности, но и с большей чувствительностью обнаруживать эффекты адаптации микроорганизмов к низким концентрациям биоцидов.

Таблица - Показатели эффективности инактивации клеток *E. coli* моюще-дезинфицирующими веществами. T = 30°C, t = 20 мин

Показатели	Моюще-дезинфицирующие средства		
	«Анасепт»	«Славин»	«Инкрасепт-10А»
Группа	четвертичные аммониевые соединения; ПАВ	альдегид-содержащие; ПАВ	гуанидин-производные; ПАВ
Состав	алкилдиметилбензиламмоний хлорид - 5,5%, ПГМГ - 2,5%, функциональные добавки	ПГМГ - 4,5%, глутаровый альдегид - 2,5%, функциональные добавки	ПГМГ - 10%, неионогенные ПАВ, функциональные добавки (ЭДТА).
C, %	0,55	0,45	1,0
Удельная активность против <i>E. coli</i> , 1/мин·%	0,993	0,869	1,079
Эффективность обеззараживания, %	63,1	52,9	65,5

Таким образом, в результате проведенной работы предложен биокалориметрический экспресс-метод анализа активности и эффективности антимикробных веществ, не требующий высокой стерильности работы, большого расхода реактивов, позволяющий сократить длительность измерений до 10–20 мин, снизить трудоемкость анализов, отбирать наиболее эффективные препараты и их комбинации, следить за адаптацией к ним микроорганизмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тамим, А. СІР-мойка на пищевых производствах / А.Тамим. – Пер. с англ. Боровиковой Е.С. – СПб.: Профессия, 2009. – 288 с.
2. Игнатенко, А.В. Микробиологические, органолептические, визуальные методы контроля качества пищевых товаров. Микрокалориметрия. Лабораторный практикум / А.В. Игнатенко, Н.В. Гриц. – Минск: БГТУ, 2003. – 114 с.
3. Инструкции по применению дезинфицирующе-моющих средств ИП «Инкраслав» для целей дезинфекции и предстерилизационной очистки изделий медицинского назначения и дезинфекции поверхностей. – Минск.: Стандарты, 2000. – 24 с.

А. А. Масехнович, магистрант;
А. В. Игнатенко, доц., канд. биол. наук (БГТУ, г. Минск)

ХИМИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ИЛОВЫХ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД И ИХ ДЕТОКСИКАЦИЯ

В настоящее время на территории Республики Беларусь работает более 150 очистных сооружений, неизбежным продуктом эксплуатации которых являются осадки сточных вод (ОСВ). Количество влажных осадков, образующихся при очистке сточных вод, составляет примерно 0,5-1% от расхода поступающих сточных вод в зависимости от технологической схемы очистки. Т.е. в нашей республике ежегодно образуется около 180-197 тысяч тонн ОСВ по сухому веществу. Количество осадков постоянно растет и на сегодняшний день они являются основным загрязнителем окружающей среды.

Иловые ОСВ – многокомпонентная система, содержащая биогенные элементы и микроэлементы, что делает их агрономически ценным отходом. Однако высокое содержание патогенных микроорганизмов и токсичных веществ, в частности ионов тяжелых металлов, ограничивает их применение в сельском хозяйстве. Основная масса осадков складывается и хранится либо на территории очистных сооружений, либо отвозится на депонирование [1].

В реестре объектов хранения и захоронения отходов, который ведет Минприроды Республики Беларусь, зарегистрировано 159 объектов хранения осадков очистных сооружений канализации, на которых в настоящее время размещено более 9 млн. тонн данных отходов. В республике много иловых площадок, на которых осадки хранятся более 20 или даже 30 лет. Инвентаризация и обследование иловых площадок, ранжирование осадков в зависимости от их состава и свойств, возможности использования не проводилось [2].

Сложившаяся ситуация в будущем может привести к серьезным экологическим проблемам, поэтому поиск эффективного и экологически безопасного способа утилизации ОСВ является одной из первоочередных задач сегодняшнего дня.

Применение СВЧ-волн является одним из перспективных методов обработки иловых ОСВ, т.к. позволяет одновременно проводить обезвоживание, обеззараживание и детоксикацию осадка [3].

СВЧ-излучение генерирует тепло внутри нагреваемого материала и вызывает равномерное распределение тепла по всему объему обрабатываемого тела. Следовательно, СВЧ-обработка снижает неэф-

эффективность использования энергии, при его использовании отсутствуют какие-либо продукты сгорания, которые могут загрязнить окружающую среду, а легкость с которой СВЧ-энергия преобразуется в тепло позволяет получить высокие скорости нагрева.

Несмотря на потенциальные преимущества СВЧ-обработки на сегодняшний день были предприняты лишь ограниченные попытки ее применения на практике. Сложившаяся ситуация объясняется высоким расходом энергии при использовании данной технологии.

В ряде работ [4, 5] рассматривается возможность применения СВЧ-излучения в комбинации с реагентной обработкой иловых ОСВ с целью сокращения времени обработки осадка. Была разработана экспериментальная модель для СВЧ-обработки осадков.

Цель работы – изучение возможности использования комбинированной обработки иловых ОСВ для сокращения времени их детоксикации.

В качестве объектов исследования служили образцы иловых ОСВ, взятые из иловой камеры Минской очистной станции (МОС-1).

СВЧ обработку проводили с помощью СВЧ-печи Samsung SE935GR.

В качестве реагента для комбинированной обработки служил природный эмульгатор – желчь крупного рогатого скота.

Биотестирование проводили с помощью тест-культуры клеток микроводоросли *Euglena gracilis* из коллекции кафедры биотехнологии БГТУ.

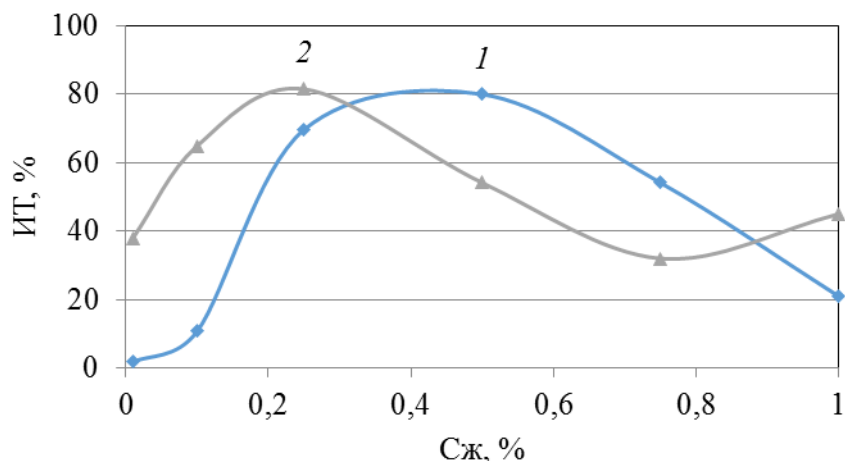
Комбинированный метод детоксикации осуществляли следующим образом: иловые осадки обрабатывали раствором желчи концентрацией 0,1–1,0 %, выдерживали 1 ч. Затем ОСВ подвергали СВЧ-излучению при мощности 300 Вт в течение 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 мин для перевода связанных токсичных веществ в растворенное состояние. После этого фильтрованием отделяли надосадочную жидкость, содержащую выделенные токсиканты, и проводили ее биотестирование.

Индекс токсичности (ИТ) надосадочной жидкости определяли как описано ранее [3] и рассчитывали по формуле:

$$ИТ = \frac{n_0 - n}{n_0} \cdot 100\%$$

где n_0 – среднее количество клеток в водной среде в отсутствии токсикантов; n – среднее количество клеток в водной среде в присутствии токсикантов.

Полученные результаты представлены на рисунке 1.



1 – желчью без СВЧ-обработки; 2 – желчь и СВЧ обработка 60 с;

Рисунок 1 - Изменение индекса токсичности фильтрата иловых осадков при комбинированной СВЧ-желчной обработке в зависимости от концентрации желчи и времени СВЧ обработки

Как видно из рисунка 1, при использовании только реагентной обработки максимальный выход токсикантов в надосадочную жидкость наблюдается при концентрации желчи 0,5%, а при комбинированной обработке – 0,2%.

В работе [3] было показано, что при использовании только СВЧ-обработки максимальный индекс токсичности достигается при режиме 150 сек, 300 Вт.

Комбинированная обработка позволила снизить затраты энергии и расход желчи в 2-2,5 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1 Вострова Р. Н. Вторая жизнь осадка сточных вод городских очистных сооружений. ГГУ им. Ф. Скорины. – 2009. – № 3, ч.1. – С. 298.

2 Войтов И. В., Марцуль В. Н. Совершенствование обращения с осадками очистных сооружений канализации в Республике Беларусь. Минск : БГТУ. – 2019. – С. 56-60.

3 Масехнович А. А. Детоксикация иловых осадков сточных вод. Минск : БГТУ. – 2020. - С. 37.

4 S. Li [et al.] Microwave-induced heavy metal removal from dewatered biosolids for cost-effective composting. Journal of Cleaner Production. – 2019. – V. 241. – P. 118342–118385.

5 Boguniewicz-Zablocka J., Klosok-Bazan I. & Capodaglio A.G. Sustainable management of biological solids in small treatment plants: overview of strategies and reuse options for a solar drying facility in Poland. Environ Sci Pollut Res. – 2020.

А. Н. Никитенко, канд. техн. наук, доц.;
Д. В. Савенок, студ. (БГТУ, г. Минск)

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ К ОКИСЛЕНИЮ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ

Протекание окисления растительных масел связано с составом исходного сырья, осуществляемыми технологическими операциями, присутствием ряда соединений и др. Для прогнозирования процесса окисления растительных масел широко используются ускоренные методы, основанные на воздействии на объекты исследования температурных факторов (100, 180 °С) и окружающей среды (присутствие кислорода воздуха или без него). Для характеристики протекающих процессов окисления выбирают показатели перекисное число, кислотное число. Также одной из характеристик окисления является величина анизидинового числа, которая характеризует количество α - и β -ненасыщенных альдегидов, присутствующих в масле, и содержание вторичных продуктов окисления.

В ряде исследований хорошие результаты показали испытания окислительной устойчивости на реальных образцах, поэтому целью работы было исследовать устойчивость к окислению растительных масел при жарке чипсов.

Объектами исследования были растительные масла кукурузы, подсолнечника, рыжика и льна. Для повышения устойчивости к окислению в масла вносили антиокислители, в число которых входила смесь токоферолов и экстракт розмарина. Окисление купажей растительных масел оценивали, исследуя перекисное, кислотное анизидиновое числа. Физико-химические показатели измеряли титриметрическим методом: перекисное число – согласно СТБ ГОСТ Р 51487–2001, кислотное число – по ГОСТ 31933–2012, анизидиновое – по ISO 6885.

В ходе проведенных испытаний было установлено, что внесение антиокислителей положительно влияет на повышение окислительной устойчивости растительных масел. Присутствие токоферолов увеличивает устойчивость к окислению масел с высоким содержанием с линоленовой кислоты (более 20 %), в то время как экстракт розмарина стабилизирует масла, содержащие линоленовую кислоту менее 20 %.

УДК 547.914.4

О. В. Стасевич, канд. хим. наук, доц. (БГТУ, г. Минск);

Д. И. Сальникова, студ. (Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва);

А. М. Щербаков, канд. биол. наук, зав. лабораторией (Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина, г. Москва)

SYNTHESIS AND ANTIESTROGENIC EFFECT OF SECOISOLARICIREBINOL DIGLUCOSIDE DERIVATIVES

Secoisolariciresinol diglucoside (SDG) is an important dietary lignan that is found at very high levels in flaxseed (*Linum usitatissimum*). Lignans are the polyphenolic compounds derived from the combination of two phenylpropanoid units. Flaxseed lignans have received much research interest in recent years because of reported phytoestrogenic and anticarcinogenic effects. The mechanism of action of these compounds is not well understood but may involve influence of different activities.

The evaluation of antiestrogenic effect of structural analogs of natural lignan SDG against MCF-7 breast cancer cells can be useful for understanding the biochemical basis of anticarcinogenic effect of lignans.

Synthesis of SDG derivatives and evaluation of their antiestrogenic effect against MCF-7 breast cancer cell line was the goal of the research work.

Firstly, the natural lignan SDG was isolated from flaxseed. The process of isolation of SDG from flaxseed was in detail described in our earlier work [1]. In generally, it includes the extraction SDG from defatted flaxseed with 50% aqueous ethanol and purification by column chromatography using Diaion HP-20 ion-exchange sorbent and C18 reversed-phase silica gel.

The transformation of SDG **1** (fig.1) into secoisolariciresinol (**2**) was carried out by means of acid hydrolysis. Aqueous solution of SDG (8 ml, 0,15 mmol) was hydrolyzed with hydrochloric acid (4 ml, 6M) at 98°C in water bath for 4 h. The received mixture was allowed to stay during 24 h at room temperature. The secoisolariciresinol was crystallized and washed with ice water to give 0,027 g ((51%) yield) of off-white powder with melting point 109,7–110,2 °C.

The synthesis of diacylated secoisolariciresinol by phenolic hydroxyls (**3**) was effected by the reaction with excess of acetyl chloride. The secoisolariciresinol (0,1005 g, 0,15 mmol) was added to a solution of acetyl chloride (0,9 ml, 12,7 mmol).

The reaction mixture was stirred at room temperature for 12 h. The suspension was concentrated under reduced pressure and was purified by preparative TLC Silica Gel G (Analtech UniplatTM, USA) with ethyl ace-

tate/petroleum ether (2:3 v/v). The fraction corresponding to secoisolariciresinol-4',4''-diacetate was cut and extracted with chloroform after filtered and concentrated to give 0,042 g (63 % yield) of glassy solid.

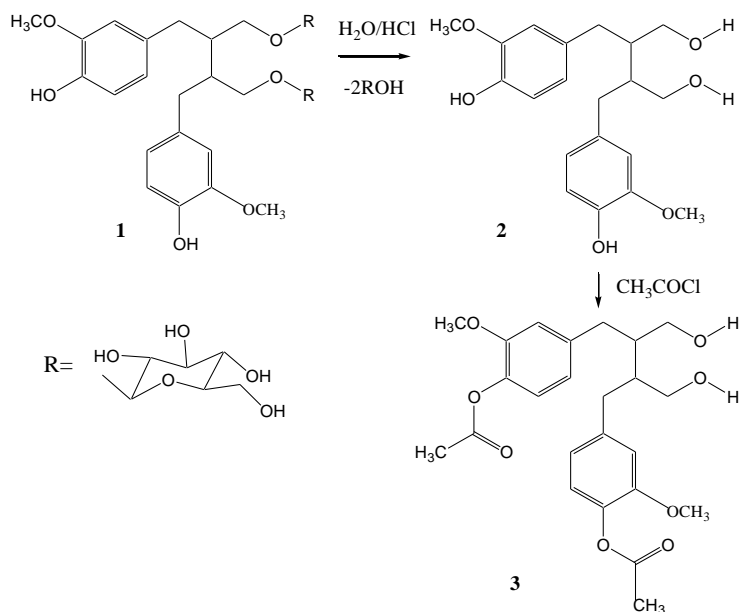


Fig. 1 Synthesis of SDG (**1**) derivatives **2** and **3**

The physicochemical properties and purity of the compounds were assessed by TLC, analytical HPLC and ¹H, ¹³C NMR, mass, IR spectral data.

The IR spectra of **1–3** showed the presence of hydroxyl groups (3350–3437cm⁻¹), aromatic ring (801–903 cm⁻¹) connected with methoxy group (2846–2851 cm⁻¹). The IR spectra of secoisolariciresinol-4',4''-diacetate indicated the presence of carbonyl group of ester (1764 cm⁻¹). The ¹H NMR spectra of **1–3** compounds indicated the presence of three substituted aromatic ring at δ 6,49–6,92 with methoxy group at δ 3,65–3,80. In addition, signals of the aliphatic aglycone moiety were observed for two sets of methylene protons at δ 2,40–2,58 and 2,57–2,81; 3,53–3,55 and 3,92–4,08 suggesting the presence of benzylic and –CH₂-O-R groups, respectively. From value of the coupling constant of anomeric proton signal at δ 4,35 (2H, d, J=7,8 Hz), compound **1** was deduced to be composed of β-glucopyranoside. There was a signal at δ 5,73 (2H, s) corresponding to phenolic hydroxyls in compound **2**. The acetyl group signal of the compound **3** at 2,30 (6H, s) was correlated with diacylated derivative only by phenolic hydroxyls.

Estrogen receptor alpha (ERα) is expressed in about 70% of breast cancers. This makes hormone therapy possible in most breast cancer patients. Considering that ERα is expressed at a high level in MCF-7 cells and is a key proliferation driver, we have analyzed the effects of **2** and **3** on the

activity of this factor. For ERE-Luc assay, cells are transfected with the plasmids containing the luciferase reporter gene controlled by the promoter with estrogen responsive elements (ERE-Luc). Cells were treated with a physiological receptor ligand, 17 β -estradiol, and lignan derivatives. Figure 2 shows that **2** and **3** inhibit the 17 β -estradiol-induced activity of ERE-Luc.

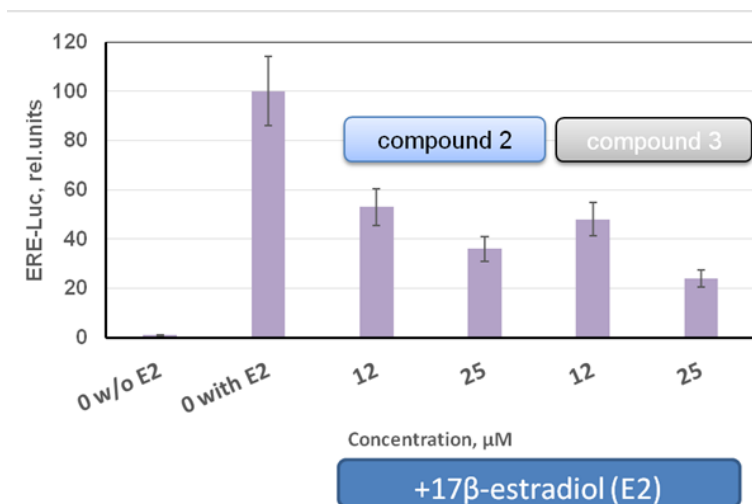


Fig. 2 Evaluation of ER α (ERE-Luc) activity in MCF-7 cells after treatment with compounds 2 and 3 (ERE-Luc – the luciferase controlled by the promoter with estrogen responsive elements, the luciferase was activated by 10 nM 17 β -estradiol (E2))

Thus, the SDG derivatives **2** and **3** showed antiestrogenic potency. Natural lignan **1** did not affect the activity of ER α and it could be explained by the presence of glucose moiety that makes the molecule SDG more hydrophilic, so, this factor influenced greatly on the penetration of this molecule through the lipophilic membrane of the cells. The explanation of thy effect of secoisolariciresinol and secoisolariciresinol-4',4''-diacetate arises from their structural similarity with estrogen. The derivatives of SDG can be considered for further development, including for new approaches in anticancer therapy.

LITERATURE

1. Stasevich O.V. Isolation of secoisolariciresinol diglucoside from lignan-containing extract of *Linum usitatissimum* seeds / Mikhalenok S.G., Kurchenko V.P. // Chem. Nat. Compd. – 2009. – Vol. 45. – P. 21–23.

УДК 615.012/.014: 615.281.9:547.856.1

О. Г. Сечко, ассист., м. ф. н., асп.;
В. М. Царенков, проф., д-р фарм. наук;
Н. С. Голяк, зав. кафедрой, доц., канд. фарм. наук;
Н. С. Гурина, декан фарм. факультета, проф., д-р биол. наук
(БГМУ, г. Минск)

ПРОТИВОТУБЕРКУЛЕЗНАЯ И ПРОТИВОМИКОБАКТЕРИАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДНЫХ ПРОПИЛТИАДИАЗОЛОХИНАЗОЛИНА

Изучаемые нами соединения – производные пропилтиадиазолохиназолина являются аналогами триптантрина. Установлено, что триптантрин и его производные обладают различной антимикобактериальной активностью *in vitro* и *in vivo* [1]. Туберкулёз — инфекционное заболевание, вызываемое 10 патогенными видами микобактерий из семейства *Mycobacteriaceae*. Микобактериоз вызывают около 60 видов нетуберкулезных микобактерий (НТМБ). Микобактериозы – это инфекционные заболевания, возбудителями которых являются условно-патогенные НТМБ, которые в условиях сниженной иммунологической реактивности человеческой популяции приобретают эпидемическое распространение [2].

Цель – исследование противотуберкулезной и противомикобактериальной активности производных пропилтиадиазолохиназолина.

Объекты исследования – три производные пропилтиадиазолохиназолина, полученные в лаборатории органического синтеза и биофармацевтики Института химии академии наук Молдовы. Соединение № 1 - 2-меркапто-5Н-[1,3,4]-тиадиазоло-[2,3-*b*]-хиназолин-5-она, соединение № 2 – сульфат 2-меркапто-5Н-[1,3,4]-тиадиазоло-[2,3-*b*]-хиназолин-5-она, соединение № 3 – комплекс 2-меркапто-5Н-[1,3,4]-тиадиазоло-[2,3-*b*]-хиназолин-5-она с β-циклодекстрином.

Исследование противотуберкулезной активности проводили на штамме *Mycobacterium terrae* 15755. Данный штамм является непатогенным и рекомендован для использования в качестве модельного для определения противотуберкулезной активности [3]. Исследование противомикобактериальной активности проводили на нетуберкулезном штамме микобактерий - *Mycobacterium intracellulare*, который входит в состав *Mycobacterium avium complex* (МАС). Представители МАС являются одними из основных видов возбудителя, вызывающих микобактериоз [2].

В ходе эксперимента был использован метод разведений в плотной питательной среде в чашках Петри. Для оценки противотуберку-

лезной и противомикобактериальной активности использовали визуальную оценку роста микобактерий в плотной питательной среде. Исходный раствор соединения в диметилсульфоксиде (ДМСО) (концентрация 2000 мкг/мл) добавляли в питательную среду Middlebrook 7H9 Broth with Glycerol для получения требуемых концентраций (200; 100; 50; 25; 12,5 и 6,25 мкг/мл). Далее во все анализируемые растворы высеивали культуру микобактерий. Для холостых контрольных опытов использовали два образца. С целью контроля влияния растворителя в первый образец добавляли ДМСО в таком же количестве, как и в образцах с максимальной концентрацией анализируемого вещества. Второй образец - контроль роста культуры. Все образцы выдерживали в термостате при 37°C в течение трех недель. Для оценки противотуберкулезной активности определяли минимальную ингибирующую концентрацию (МИК) (мкг/мл), которая соответствует концентрации анализируемого вещества, при которой роста микобактерий в чашке Петри не наблюдалось. В параллельных экспериментах в качестве эталонов использовали рифампицин, изониазид и этамбутол, которые обладают микобактерицидным действием и используются для лечения туберкулеза.

Результаты определения противотуберкулезной активности: Соединение № 1 в 4 экспериментах из 5 при концентрации 200 мкг/мл полностью подавляло рост микобактерий. Соединение № 2 в 3 экспериментах из 5 при концентрации 200 мкг/мл полностью подавляло рост микобактерий. Соединение № 3 в 4 экспериментах из 5 при концентрации 200 мкг/мл полностью подавляло рост микобактерий. Рифампицин при концентрации 200 мкг/мл полностью подавлял рост микобактерий. Изониазид при концентрациях 50 мкг/мл и 100 мкг/мл полностью подавлял рост микобактерий. Этамбутол при концентрациях 25 мкг/мл и 50 мкг/мл полностью подавлял рост микобактерий. Растворитель ДМСО в концентрации 200 мкг/мл не подавлял рост микобактерий. Таким образом противотуберкулезная активность изучаемых соединений оказалась такая же как у рифампицина.

Результаты определения противомикобактериальной активности: Соединение № 1 во всех 3 экспериментах при концентрации 50,0 мкг/мл подавляло рост микобактерий с обильного роста до слабого роста. При более высоких концентрациях - 100,0 мкг/мл и 200 мкг/мл раствор изучаемого соединения кристаллизовался, поэтому изучаемое соединение не высвободилось в полной мере в питательную среду и рост микобактерий снизился с обильного до сильного. Соединение № 2 во всех 3 экспериментах при концентрации 50 мкг/мл не подавляло рост микобактерий. При более высоких кон-

центрациях - 100,0 мкг/мл и 200 мкг/мл раствор изучаемого соединения кристаллизовался, поэтому изучаемое соединение не высвободилось в полной мере в питательную среду, но даже с учетом кристаллизации при концентрации 200 мкг/мл в одном эксперименте рост микобактерий снизился с обильного до слабого. В остальных экспериментах при концентрациях 100,0 мкг/мл и 200 мкг/мл рост микобактерий снизился с обильного до сильного. Соединение №3 во всех 3 экспериментах при концентрации 50 мкг/мл не подавляло рост микобактерий. При концентрации 100 мкг/мл рост микобактерий снизился с обильного до слабого (в 2 экспериментах из 3) и с обильного до сильного (в 1 эксперименте из 3). При концентрации 200 мкг/мл рост микобактерий снизился с обильного до слабого роста (в 2 экспериментах из 3) и с обильного до незначительного роста (в 1 эксперименте из 3). Растворитель ДМСО в концентрации 200 мкг/мл не подавлял рост микобактерий.

Таким образом три производные пропилтиадиазолохиназолина обладают противомикобактериальной активностью в отношении нетуберкулезного штамма *M. intracellulare*, но установить значение МИК не удалось. Наиболее активным в исследованиях оказалось соединение № 1.

Заключение. Три производные пропилтиадиазолохиназолина обладают противотуберкулезной активностью. МИК каждого соединения 200 мкг/мл, как и у рифампицина. Три производные пропилтиадиазолохиназолина обладают противомикобактериальной активностью, но для установления МИК требуются дальнейшие исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Duca G. et al. Trypantanthrin analogues as inhibitors of enoyl-acyl carrier protein reductase: Activity against *Mycobacterium tuberculosis*, toxicity, modeling of enzyme binding //Current topics in medicinal chemistry. – 2019. – Т. 19. – №. 8. – С. 609-619.
2. Зими́на В. Н. и др. Микобактериозы: современное состояние проблемы //Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. – 2017. – Т. 19. – №. 4.
3. Griffiths P. A., Babb J. R., Fraise A. P. *Mycobacterium terrae*: a potential surrogate for *Mycobacterium tuberculosis* in a standard disinfectant test //Journal of Hospital Infection. – 1998. – Т. 38. – №. 3. – С. 183-192.

РАЗРАБОТКА ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМ НА ОСНОВЕ ИЗВЛЕЧЕНИЙ ИЗ ЛИСТЬЕВ ОЛЬХИ ЧЕРНОЙ

Для белорусского фармацевтического рынка, как и для мирового рынка в целом, характерна тенденция роста потребления лекарственных средств и биологически активных добавок растительного происхождения, используемых в целях профилактики и лечения заболеваний различной этиологии.

Ольха черная – широко распространенное растение на территории Республики Беларусь, с богатым опытом применения в народной медицине и перспективным для разработки на его основе новых отечественных лекарственных средств. Химический состав соплодий, листьев и коры ольхи представлен дубильными веществами, флавоноидами, фенолкарбоновыми кислотами и кумаринами, которые обуславливают их фармакологическую активность [1]. Отвары из коры ольхи применяются для полосканий горла и полости рта при воспалительных процессах [2]. Отвар из свежих листьев, коры или соплодий ольхи используют в качестве полоскания при стоматитах и кровоточивости десен [3]. Соплодия ольхи серой и клейкой применяются для лечения хронических энтероколитов и дискинезии кишечника [4].

Эллаговая кислота, содержащаяся в ольхе, является высокоактивным кровоостанавливающим, ранозаживляющим, противоопухолевым, антимутагенным и антивирусным агентом [2].

Цель работы: разработка мягких лекарственных форм на основе различных извлечений из листьев ольхи черной.

Первоначально из листьев ольхи черной были получены извлечения с использованием воды и 60 % спирта этилового. Приготовление водного извлечения осуществляли в соотношении 1 : 10 нагревая на кипящей водяной бане с обратным холодильником в течение 30 минут. Настойку из листьев ольхи получали в соотношении 1 : 5 с учетом коэффициента поглощения экстрагента, который для листьев ольхи черной составляет 3, это значит 1 г листьев ольхи черной удерживают 3 мл 60 % спирта этилового. Для приготовления геля настойку упарили в 2 раза.

К 50 мл водного извлечения прибавили 0,05 г метилпарабена (консервант) и 1,5 г гелеобразователя Tylocor путем просеивания через двойной слой марли и при постоянном перемешивании. К 50 мл

упаренной настойки добавили аналогичным образом 1,5 г Тулориг. Оба геля оставляли на сутки до полного растворения гелеобразователя.

Полученные гели обладали необходимыми реологическими свойствами, имели мягкую пластичную консистенцию, позволяющую наносить ЛС на кожу и слизистые оболочки ровным тонким слоем. Видимых включений не наблюдалось.

В качестве консерванта при разработке геля на основе водного извлечения использовали также бензалкония хлорида. Однако при его добавлении к водному извлечению из листьев ольхи черной наблюдалось выпадение осадка.

При применении поливинилпирролидона в качестве гелеобразователя был получен гель, который имел неоднородную структуру и не соответствовал требованиям по физико-химическим свойствам для мягких лекарственных средств.

В ходе исследований было установлено, что Тулориг подходит в качестве гелеобразователя как для водных, так и для спиртовых извлечений из листьев ольхи черной. В качестве консерванта может быть использован метилпарабен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пустырский, И. Н. Универсальная энциклопедия лекарственных растений / И. Н. Пустырский, В. Н. Прохоров. – Мн.: Книжный дом; М.: Махаон, 2000. – 656 с.
2. Вільха сіра, вільха біла *Alnus incan* (L.), Moench. Аналітичний огляд / Б. М. Зузук [и др.] // Провизор. – 2007. - № 9. – С. 37–41
3. Ильина, Т. А. Лекарственные растения России / Т. А. Ильина. – М.: Экс-мо, 2006. – 189 с.
4. Ладынина, Е. А. Лечение травами / Е. А. Ладынина, Р. С. Морозова. – М.: Научная книга, 2012. – 92 с.

М. С. Чирикова, научн. сотр.;
Е. М. Глушень, зав. лабораторией, канд. биол. наук;
О. О. Целеш, мл. научн. сотр.; А. Г. Кучуро, мл. научн. сотр.;
М. В. Дубойский, мл. научн. сотр. (Институт микробиологии, г. Минск)

ПОТЕНЦИАЛ КОНСОРЦИУМА МИКРООРГАНИЗМОВ- ДЕСТРУКТОРОВ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОКОВ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Лакокрасочные покрытия являются основным средством электроизоляции, герметизации, защиты от излучения, декоративной отделки радио-, электротехнической и электронной промышленности, а также производства космических кораблей и летательных аппаратов. Рост популярности лакокрасочных материалов дает возможность прогнозировать дальнейшее интенсивное развитие этой области промышленности. Однако производство лакокрасочных материалов и их применение является одновременно и одним из крупных источников загрязнения окружающей среды. Снижение загрязнения достигается путем разработки и внедрения различных методов.

Сточные воды лакокрасочного производства относятся к высококонцентрированным и, по природе химических соединений, к трудно очищаемым физико-химическими методами. В настоящее время для решения проблем в области очистки сточных вод таких предприятий и защиты окружающей среды активно развивается направление биоинтенсификации, связанное с созданием микробных смесей для дополнения биологической популяции активного ила, что позволяет достичь стабильности в работе систем биологической очистки, в том числе при шоковых нагрузках, повысить эффективность очистки сточных вод, снизить негативное воздействие на окружающую среду [1-3].

Целью данного исследования являлось изучение возможности применения консорциума микроорганизмов-деструкторов органических соединений для очистки стоков лакокрасочных производств.

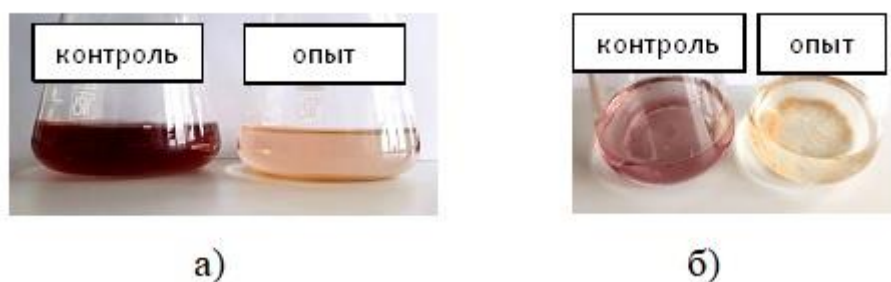
Исследование проводили в лабораторном проточном аэробном биореакторе с закрытой системой циркулирования воздуха. Первоначально были использованы открытые системы, однако при температурах выше 25°C наблюдалось резкое снижение ХПК не только в опытных образцах, но и в контроле, что связано с испарением легколетучих растворителей, содержащихся в стоках. Для изучения процесса очистки использовали сточные воды лакокрасочного завода и культуральную жидкость консорциума микроорганизмов-деструкторов органических растворителей (*Rhodococcus ruber* H2004, *Rhodococcus*

wratislaviensis Г13, *Rhodococcus* sp. VOC-5, *Rhodococcus* sp. VOC-8/7, *Rhodococcus* sp. VOC-14) с титром клеток $3,1 \times 10^9$ КОЕ/мл. Данные культуры обладают широкой субстратной специфичностью по отношению к основным загрязнителям сточных вод лакокрасочных производств, в том числе спиртам, кетонам, эфирам и растворителям на основе смесей углеводов, а также характеризуются высокой скоростью роста на высококонцентрированных средах, содержащих бензол, пропанол, бутанол и ацетон в качестве единственного источника углерода. Норма внесения микроорганизмов в очищаемые стоки составляла 5 об.%. Процесс очистки контролировали в течение 21 суток.

Исходные химическое потребление кислорода (ХПК) и водородный показатель сточных вод составляли в среднем $21500 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ и рН 2,6, соответственно, что являлось неприемлемым для микробной очистки. В связи с этим, для исследования были использованы сточные воды с разбавлением в 5 и 10 раз. Установлено, что для стоков лакокрасочного производства температура 10°C является непригодной для их очистки с помощью исследуемых микроорганизмов-деструкторов, что подтверждалось отсутствием снижения значений ХПК. В разведенных в 5 раз стоках начальное ХПК составляло в среднем $4300 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$, а рН 5,8. Эффективность очистки на 21 сутки с помощью консорциума микроорганизмов-деструкторов составила 8,5%, 27,4%, 18,1% при температурах 20, 30 и 40°C , соответственно. Разведение стоков в 10 раз (ХПК~ $2100 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$, рН 6,5) позволило повысить степень очистки до 32,3 и 49% при температурах 30 и 40°C , соответственно.

Следует отметить, что при изучении процесса микробной очистки сточных вод лакокрасочных производств, была установлена способность консорциума микроорганизмов-деструкторов органических соединений к обесцвечиванию стоков (рисунок 1).

Данный эффект обусловлен возможной микробной деструкцией азокрасителей, широко использующихся в лакокрасочных производствах. Согласно литературным данным, физико-химические методы очистки промышленных стоков не позволяют эффективно удалять азокрасители, поэтому в последнее время все большее внимание уделяется микробной деградации и обесцвечиванию азокрасителей. Микроорганизмы могут обесцвечивать красители как за счет аэробного, так и анаэробного метаболизма. В анаэробных условиях азосвязь подвергается расщеплению с образованием ароматических аминов, которые затем минерализуются с помощью ферментов в аэробных условиях. Следовательно, комбинированная анаэробная обработка с последующей аэробной может быть эффективным методом разложения азокрасителей [4, 5].



а – концентрированные стоки; б – стоки с разведением в 10 раз
Рисунок 1 - Обесцвечивание сточных вод после обработки консорциумом микроорганизмов-деструкторов

Полученные результаты свидетельствуют о перспективности использования микробного консорциума микроорганизмов-деструкторов органических растворителей для создания новых комплексных технологий очистки сточных вод лакокрасочных производств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Study on community structure of microbial consortium for the degradation of viscose fiber wastewater / C.-Q. Ding [at el.] // *Bioresour. Bioprocess.* – 2017. – Vol. 4. – P. 31–39.
2. Sarkar, P. Degradation of aromatic petroleum hydrocarbons (BTEX) by a solvent tolerant bacterial consortium / P. Sarkar, A. Roysten Rai, Sh. Ghosh / *Journal of Urban and Environmental Engineering (JUEE)*. – 2013. – Vol. 7 (2). – P. 274–279.
3. Batch biodegradation of toluene by mixed microbial consortia and its kinetics / R. Rajamanickam [et al.] // *Int. Biodeterior. Biodegrad.* – 2017. – Vol. 119. – P. 282–288.
4. Microbial degradation of Azo Dyes: A review / M. Sudha [at el.] // *J. Curr. Microbiol. App.Sci.* – 2014. – Vol. 3(2). – P. 670–690.
5. Isik, M. Decolorisation of azo dyes under batch anaerobic/aerobic conditions / M. Isik, D.T. Sponza // *Journal of Environmental Science and Health.* – 2004. – Vol. 39. – P. 1107-1127.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ТИТАНА

В настоящее время антимикробные покрытия применяются для обеспечения дополнительных защитных свойств, поддержки соблюдения гигиенических стандартов и охраны здоровья, уменьшения риска заражения поверхности и попадания микроорганизмов в пищу и организм человека, сокращения частоты мытья и дезинфекции (уменьшение расходов) и сокращения использования обычных биоцидов.

Антимикробные (гигиенические) покрытия отвечают концепции самозащиты поверхности от микробного заражения, где благодаря нанесенному покрытию или свойствам субстрата обеспечивается контроль над микроорганизмами. Их разрабатывают для получения самоочищающихся и самодезинфицирующихся поверхностей. Такие поверхности становятся все более востребованными и широко подвергаются исследованиям на предмет возможного их использования в различных местах и условиях, включая клиники, промышленность и дом.

Целью данной работы являлась оценка антибактериальных свойств композиционных покрытий на основе оксида титана.

В качестве объектов исследования выступили:

1) металлические пластинки с нанесенным на них фотокаталитическим покрытием, содержащим 65% олова и 35% никеля. Для придания поверхности антибактериальных свойств в сплав олово-никель введены наночастицы золя TiO_2 в концентрации 2, 4, 6 г/л.

2) металлические пластинки с нанесенным на них фотокаталитическим покрытием. Для придания поверхности антибактериальных свойств на поверхность нанесены наночастицы со структурой «ядро-оболочка» полученные из предварительно синтезированного золя TiO_2 и суспензии сферических частиц SiO_2 размером $\sim 300\text{—}350$ нм. TiO_2 в концентрации 2, 4, 6 г/л.

Для оценки антимикробных свойств защитных композиционных покрытий в качестве тест-культур использовали санитарно-показательные бактерии *E. coli* ATCC 8739 и *S. aureus* ATCC 6538. На первом этапе проводили сравнительную оценку индуцированных и не

индуцированных UV светом пластинок SiO₂-TiO₂ методом, изложенным в ISO 27447:2009. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Антибактериальная активность образцов

Образец	Концентрация бактериальных клеток С, КОЕ/мл			
	<i>E. coli</i> ATCC 8739		<i>S. aureus</i> ATCC 6538	
	под UV облучением	без UV облучения	под UV облучением	без UV облучения
SiO ₂	4,6·10 ²	5,3·10 ⁴	8,0·10 ¹	5,3·10 ⁵
SiO ₂ -TiO ₂ 2	3,5·10 ²	4,1·10 ⁴	5,0·10 ¹	4,1·10 ⁵
SiO ₂ -TiO ₂ 4	7,6·10 ¹	8,2·10 ⁴	1,0·10 ³	8,2·10 ⁵
SiO ₂ -TiO ₂ 6	3,0·10 ¹	3,9·10 ⁴	4,0·10 ¹	5,9·10 ⁵

На основании проведенного эксперимента установили, что образцы SiO₂-TiO₂ 4, SiO₂-TiO₂ 6 оказывают сильное воздействие на тест-бактерии и проявляют бактерицидные свойства; их применение совместно с обработкой УФ-светом позволяет снизить на три-четыре порядка концентрацию микроорганизмов на поверхности.

На следующем этапе сравнили антибактериальные активности разных композиционных покрытий на основе оксида титана с целью определения зависимости их эффективности от способа нанесения TiO₂. Оценку проводили по фактору редукции. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Факторы редукции образцов по отношению к тест-бактериям *E. coli* ATCC 8739

Концентрация TiO ₂ , г/л	Фактор редукции FR	
	Для SiO ₂ -TiO ₂	Для Sn-Ni-TiO ₂
0	1,81	1,25
2	2,27	1,65
6	2,53	1,84

Как видно из таблицы 2, антимикробные свойства фотокаталитических покрытий зависят от способа нанесения оксида титана. Образцы со структурой «ядро-оболочка» полученные из предварительно синтезированного золя TiO₂ и суспензии сферических частиц SiO₂ (фактор редукции > 2) проявляют антимикробные свойства лучше, чем фотокаталитические покрытия Sn-Ni-TiO₂ (фактор редукции < 2).

М. А. Кушнер, канд. хим. наук, доц.;
Т. С. Селиверстова, канд. хим. наук, доц. (БГТУ, г. Минск);
Н. С. Савельев, канд. с.-х. наук, зам. дир. по инновац. раб.;
Е. В. Черехуина, зав. лаб. качества льнопродукции
(РУП «Институт льна», а/г Устье);
Д. С. Петрова, лаб.; Ярмолюк Ю. А. лаб. (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЛИГНИНА В ОБРАЗЦАХ ВОЛОКНА ЛЬНЯНОГО ТРЕПАНОГО ДЛИННОГО

Оценка прядильной способности льноволокна осуществляется в соответствии с [1, 2, 3]. Используемые стандарты распространяются на льняные волокна, в том числе волокно трепаное длинное, используемое для производства пряжи, получаемое в результате обработки стланцевой льняной тресты. Технические требования к качеству льняного трепаного длинного волокна предусматривают определение массовой доли костры и сорных примесей, массовой доли недоработки, горстевой длины, группы цвета, гибкости, разрывной нагрузки, общего коэффициента вариации по разрывной нагрузке и гибкости.

Определение группы цвета волокна льняного трепаного длинного осуществляется с использованием наборов эталонов групп цвета натурального льняного волокна [1]. Для оценки применяются стандартные методы колориметрии льняных волокон, предусматривающие органолептическую оценку их цвета или отдельных цветовых характеристик на основе сравнения с эталонными образцами. Ключевым критерием при соотнесении образцов к тем или иным группам цвета является цветовой фон, при оценке которого учитывают неоднородность цветовых оттенков каждого образца. Результаты сравнения усредняются и округляются до целого числа. Такое определение влечет за собой наличие ошибок в определении групп цвета, обусловленных субъективными причинами. Поэтому проблема объективной оценки качества является достаточно актуальной и требуемая достоверность такой оценки может быть получена только с применением лабораторных методов определения качественных характеристик льноволокна, что представляет собой достаточно трудоемкий процесс, требующий больших временных затрат [4].

Лубяные волокна характеризуются определенными цветовыми характеристиками в зависимости от содержания в них инкрустирующих веществ, к которым относятся неуглеводные компоненты льноволокна и, в первую очередь, лигнин, который в совокупности с целлюлозой и другими полисахаридами обеспечивает прочность стеблей

лужбных культур [5].

Выделяют 6 групп цвета натурального льняного волокна. К одной группе цвета относятся несколько эталонов, отличающихся оттенками цвета. Каждой группе цвета соответствует определенное процентное содержание лигнина.

Целью данной работы явилось определение содержания лигнина в образцах льноволокна для формирования наборов эталонов групп цвета натурального льняного волокна для оценки группы цвета льняного трепаного длинного волокна.

В качестве исследуемых объектов использовалось 26 образцов волокна льняного трепаного длинного, предоставленных РУП «Институт льна».

Содержание лигнина в отдельных образцах волокна льняного трепаного длинного осуществлено в соответствии с методом определения содержания лигнина по Комарову, все образцы исследованы на содержание лигнина в соответствии с измененной методикой ГОСТ 11960-79 «Полуфабрикаты волокнистые и сырье из однолетних растений для целлюлозно-бумажного производства. Метод определения лигнина (с Изменением № 1)».

Результаты исследования представлены на рисунках 1, 2.

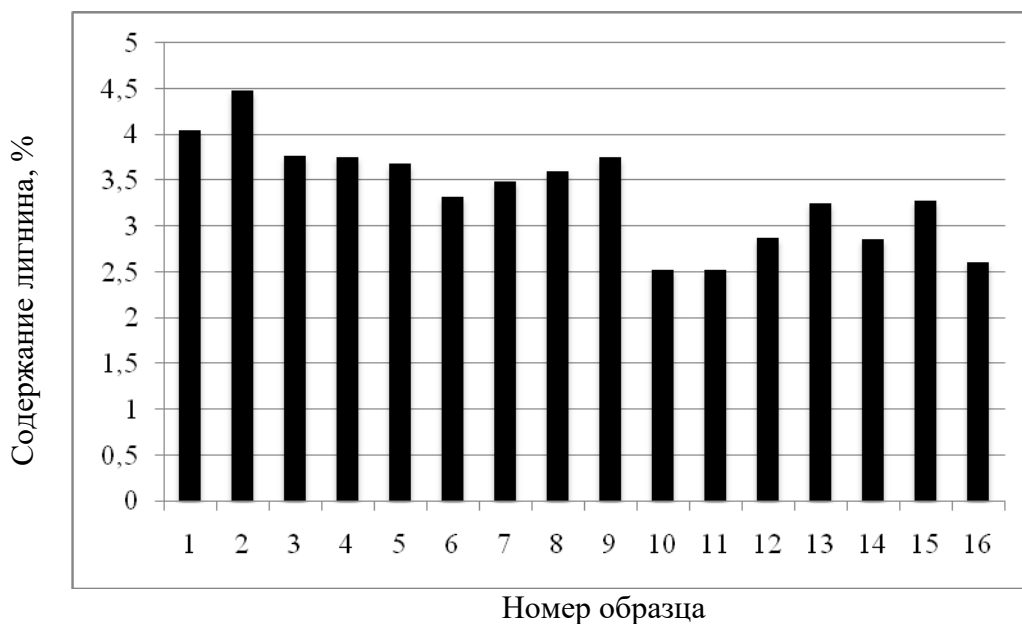
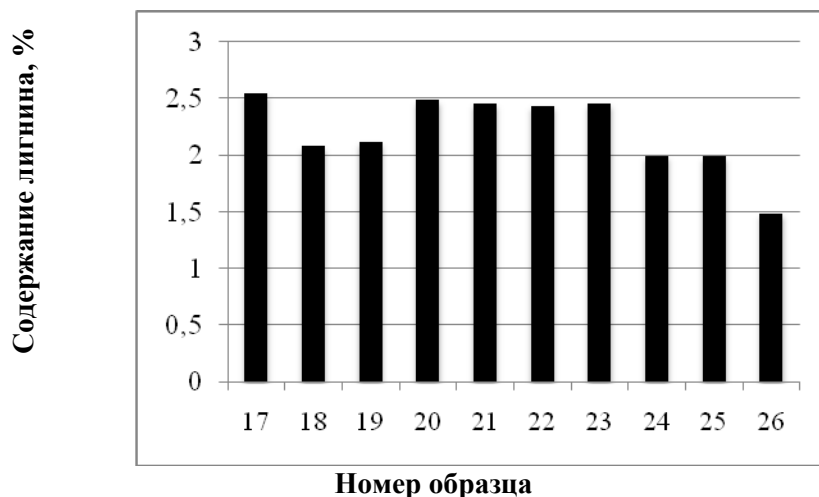


Рисунок 1 - Содержание лигнина в образцах 1-16 волокна льняного трепаного длинного



**Рисунок 2 - Содержание лигнина в образцах 17-26
волокна льняного трепаного длинного**

Таким образом, в соответствии с [1] все исследованные образцы льноволокна длинного трепаного следует отнести к группам цвета следующим образом: I группа – образцы 1-4 (содержание лигнина свыше 3,75 % до 4,50 %); II группа – образцы 5-9 (содержание лигнина свыше 3,25 % до 3,75 %); III группа – образцы 10-16 (содержание лигнина свыше 2,50 % до 3,25 %) IV группа – образцы 17-23 (содержание лигнина свыше 2,00 % до 2,50 %); V группа – образцы 24-25 (содержание лигнина свыше 1,50 % до 2,00 %); VI группа – образец 26 (содержание лигнина менее 1,50 %).

ЛИТЕРАТУРА

1. СТБ 1195–2008. Волокно льняное трепаное длинное. Технические условия, Введ. 2008-11-01, Минск, Госстандарт Республики Беларусь, 2008, 18 с.
2. СТБ 2064–2010. Лен чесаный. Технические условия, Введ. 2011-01-01, Минск, Госстандарт Республики Беларусь, 2010, 15 с.
3. ТУ РБ 300051814.067–2007. Очес льняной, Введ. 2013-02-22, Минск, Госстандарт Республики Беларусь 2012, 29 с.
4. Дягилев А.С., Бизюк А.Н., Коган А.Г. Исследование цветовых характеристик льноволокна в процессе чесания / Вестник Витебского государственного технологического университета. Технология и оборудование лёгкой промышленности и машиностроения, 2015. – Вып. 29. – С.31-41.
5. Орлов А.В., Пашин Е.Л., Сергеев А.С. Обоснование критерия и условий оценки цвета льняного волокна по степени сходства с эталонными образцами. Технология текстильной промышленности, 2019. – № 4 (382). – С. 34-38.

Е. С. Пашинская, доц., канд. биол. наук;
В. М. Семенов, проф., д-р. мед. наук;
Л. А. Любаковская, доц., канд. биол. наук
(ВГМУ, г. Витебск)

ПРИМЕНЕНИЕ КРИОКОНСЕРВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ ИНВАЗИОННОЙ КУЛЬТУРЫ *TOXOPLASMA GONDII*

В современном мире использование живых систем, организмов для создания и совершенствования различных технологий, продуктов очень актуально. С помощью биотехнологических методов можно проводить различные процедуры модификации живых организмов с использованием генной инженерии, культуры клеток и тканей, криоконсервации.

Изучением эффектов воздействия низких температур на живые организмы занимается криобиология. Основными задачами криобиологии является исследование биологических систем, объектов при температурах ниже нормальных. Для этого используется криоконсервация.

Основной проблемой такого процесса, как криоконсервация, является грамотное выяснение процессов, характерных для охлаждения материала, которые могут привести к необратимым повреждениям. Известно, что большое значение имеет скорость охлаждения и температура хранения материала, подбор криопротекторов, их соотношения [1, 2].

Toxoplasma gondii - облигатный паразит, который может паразитировать не только у человека, но и у животных. Известно, что токсоплазмоз имеет различную степень тяжести. В большинстве случаев, у людей с ослабленным иммунитетом, это инвазионное заболевание протекает тяжело с высоким уровнем заболеваемости и смертности [3]. Важной проблемой также является приобретенный паразитоз беременных и врожденный токсоплазмоз детей.

Самопроизвольный аборт на любом сроке, мертворождение или рождение детей с аномалиями развития органов, системными поражениями, ведущими к гибели новорожденного – результат паразитирования токсоплазмы [4].

Для разработки новых способов диагностики, изучения токсоплазм на всех уровнях организации, а также более глубокого понимания паразито-хозяйинных отношений, необходимо совершенствовать уже существующие подходы к выявлению токсоплазм. Для этого в условиях лаборатории необходимо иметь постоянный доступ к культуре паразита.

Целью настоящего исследования являлась разработка способа сохранения инвазионной культуры *Toxoplasma gondii* с применением криоконсервационных технологий.

В эксперименте использовали культуру *Toxoplasma gondii*, полученную по разработанному нами методу [5].

Для проведения криоконсервации паразита мы готовили криоконсервант, используя раствор ДМСО (массовая доля основного вещества не менее 99,5 %), сыворотку бычью, питательную среду DMEM/F-12, учитывая объем полученного гомогената, содержащего *Toxoplasma gondii*. В стерильный стакан наливали 50 % сыворотки бычьей, предварительно прогретой до температуры 37 °С; 30 % питательной среды DMEM/F-12 (37 °С); 20 % ДМСО (37 °С), исходя из объема замораживаемого паразитарного материала.

После приготовления криоконсерванта, в стерильную криопробирку дозатором вносили *Toxoplasma gondii*, из расчета 5×10^6 *Toxoplasma gondii* на криопробирку, добавляли криоконсервант в том же объеме, что и гомогенат, содержащий *Toxoplasma gondii*. Криопробирку закрывали, слегка встряхивали и помещали в холодильник на 4 часа (4 °С). Затем выбирали температуру хранения исходя из целей и задач.

В результате выявлено, что выживаемость *Toxoplasma gondii* при трехмесячном хранении при -20 °С составляет 80 %. При увеличении срока хранения до полугода выживаемость составляет 50 %. Годовой срок хранения при температуре -20 °С снижает показатели выживаемости до 30 %.

Хранение криопробирок, содержащих *Toxoplasma gondii*, в течение трех месяцев при температуре -60 °С дает выживаемость *Toxoplasma gondii* в пределах 99 %, а увеличение срока хранения до полугода снижает показатель до 70 %. Годовой срок хранения при температуре -60 °С сохраняет показатели выживаемости в пределах 70 %.

Криоконсервация *Toxoplasma gondii* в течение трех месяцев в жидком азоте сохраняет выживаемость *Toxoplasma gondii* на 99 %, а увеличение срока хранения до полугода снижает показатель до 40 %. Годовой срок хранения в жидком азоте снижает показатели выживаемости до 30 %.

Таким образом, предложенный способ позволяет криоконсервировать *Toxoplasma gondii* с последующим использованием культуры для исследований биологического, медицинского, фармацевтического профилей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шубин, Н.А. Прикладная криобиология. Криотехника и организация криобанков // Методы культивирования клеток: сб. ст. – СПб. – 2008. – С.50-261.
2. Попов, А.С. Криоконсервация культивируемых клеток // Методы культивирования клеток: сб. ст. – СПб. – 2008. – С. 236-250.
3. Сарсекеева, Н.Е. ВИЧ-инфекция и токсоплазмоз / Н.Е. Сарсекеева // Fundamental Research. – 2014. – № 10. – P. 1976-1978.
4. Токсоплазмоз во время беременности профилактика, диагностика и лечение. Клиническое практическое руководство общества акушеров-гинекологов Канады. Репродуктивная эндокринология. – 2013. – №1 (9). – С. 86-91.
5. Пашинская, Е.С. Способ культивации *Toxoplasma gondii* на мышинной модели *in vivo*/ Е.С. Пашинская // Медико-биологические проблемы жизнедеятельности. – 2020. – № 2 (20). – С. 6-15.

К. К. Назаров, доц., канд. биол. наук;
М. М. Рахимов, стажёр-исследователь;
Ж. М. Тоштемирова, ассист.
(ТГТУ, г. Ташкент)

ИЗУЧЕНИЕ ГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ХЛОПКОВОМ ВОЛОКНЕ

Для промышленного ферментативного гидролиза целлюлозо-содержащего сырья обычно используются целлюлазные комплексы ферментов из ряда бактерий и грибов [1]. К ферментам целлюлазного комплекса относятся эндо- β -1,4 глюканызы (КФ 3.2.1.4), экзоцеллобиогидролазы (КФ 3.2.1.91), а также β - глюказаидазы (КФ 3.2.1.21), [2; 3]. В последнее время целлюлазные комплексы ферментов находят все более широкое применение в текстильной, целлюлозно-бумажной, пищевой и других отраслях промышленности.

Мы в нашей работе изучили возможность использования для ферментативного гидролиза хлопковой целлюлозы три коммерческих ферментативных комплекса: целловиридина ГЗх, пектофоедина ГЗх и пектиназы 500.

Целлюлазный препарат из *Trichoderma viride* - целловиридин ГЗх производства Привожского биохимического завода с активностью 83 ед./гр. по С активности, 65 ед./г. по эндоглюканызе и 3000 ед./г. по целлобиазе.

Пектиназный препарат *Aspergillus foetidus* - пектофоедин ГЗх производства Привожского биохимического завода с пектолитической активностью 90 ед./г. и 37 ед./гр. по целлобиазе .

Пектиназный препарат из *Aspergillus foetidus* «Пектиназа» 500 производства Московского опытно-промышленного завода ферментных препаратов, с пектолитической активностью 800 ед./г и целлобиазной активностью 3200 ед./г (фактические данные).

При массовом тестировании ферментных препаратов или разновидностей целлюлозосодержащего сырья обычно активность определяется по «одной точке», т.е. при определенных концентрациях субстрата и ферментного препарата, температуре, составе и рН среды, времени проведения гидролиза. Чтобы установить эти оптимальные характеристики проводится предварительное исследование гидролиза данным ферментным комплексом на данном субстрате. Кроме того, при определении активности ферментного препарата с использованием нерастворимой целлюлозы, каким является хлопковое волокно,

необходимо учитывать возможную нелинейную зависимость начальной скорости гидролиза целлюлозы от концентрации субстрата.

Мы провели сравнительное определение активности трех полиферментных препаратов по отношению к хлопковому волокну хлопчатника сорта Ф-108, которую определяли по образованию глюкозы и восстанавливающих сахаров методом Шомоди – Нельсона [3]. За единицу активности принимали количество фермента, которое приводит к образованию 1 мкМ ВС за 1 мин из соответствующего субстрата. На рисунках 1 и 2 представлены результаты этих экспериментов, из которых видно, что наиболее активной оказалась смесь целловеридина ГЗх и пектофоетидина ГЗх в соотношении 3:1. Эту смесь мы использовали во всех дальнейших наших экспериментах.

Для подбора оптимальных параметров гидролиза были проведены эксперименты по гидролизу при различных рН среды и температуры. Как видно из рисунка 1, наиболее быстро гидролиз проходил при рН среды = 5,0 и при температуре 55–60 °С.

Начальная скорость ферментативного гидролиза существенно зависит от степени адсорбции ферментов на субстрате. В ряде случаев начальную скорость реакции можно увеличить добавляя поверхностно активные вещества (ПАВ), которые увеличивают смачиваемость целлюлозы, а соответственно и биодоступность её для ферментов.

Таким образом, в данном разделе были определены: оптимальное соотношение 3:1 композиции ферментных препаратов целловеридина ГЗх и пектофоетидина ГЗх, оптимальные рН=5,0 и температура 55°С, 0,5% концентрация тритона Х-100.

Эти результаты были использованы при изучении особенностей ферментативного гидролиза волокна из различных линий хлопчатника.

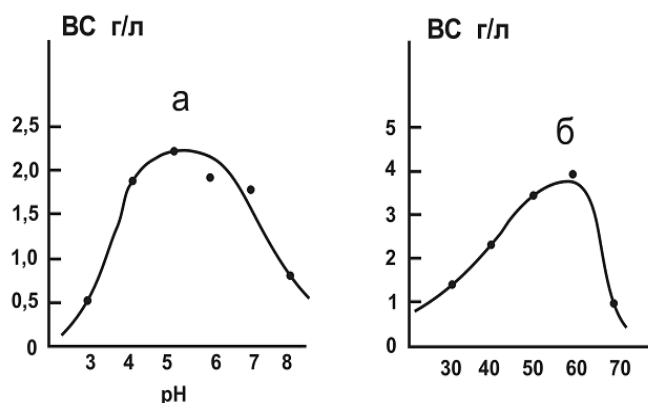
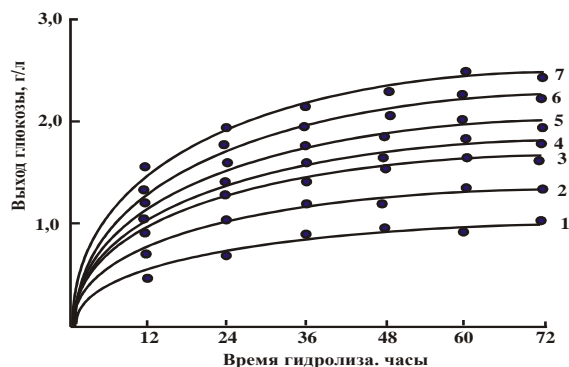
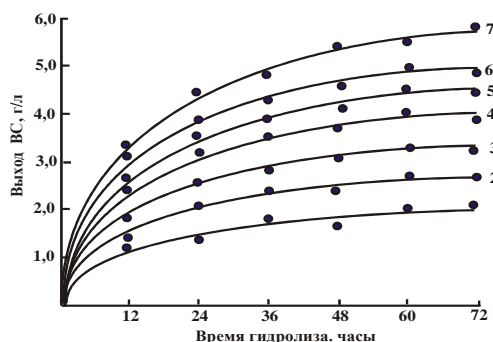


Рисунок 1 - Зависимость активности целлюлаз от рН среды (а) и температуры (б). Смесь ферментов целловеридина ГЗх и пектофоетидина ГЗх в соотношении 3:1. Субстрат хлопковое волокно сорта Ф-108. Время гидролиза 12 часов



1 – пектиназа 500; 2 – пектофоетидинГЗх; 3 – целловеридинГЗх; 4 – целловеридинГЗх и пектофоетидинГЗх в соотношении 1 : 1; 5 – целловеридинГЗх и пектофоетидинГЗх в соотношении 2 : 1.; 6 – целловеридинГЗх и пектофоетидинГЗх в соотношении 4 : 1; 7 – целловеридинГЗх и пектофоетидинГЗх в соотношении 3 : 1
Рисунок 2 – Выход глюкозы (г/л) при ферментативном гидролизе волокон хлопчатника сорта Ф-108 с помощью различных ферментных препаратов: целловиридинаГЗх, пектофоединаГЗх и пектиназы 500 в различном соотношении



1 – пектиназа 500; 2 – пектофоетидинГЗх; 3 – целловеридин ГЗх; 4 – целловеридин ГЗх и пектофоетидинГЗх в соотношении 1 : 1; 5 – целловеридин ГЗх и пектофоетидин ГЗх в соотношении 2 : 1; 6 – целловеридинГЗх и пектофоетидин ГЗх в соотношении 4 : 1; 7 – целловеридин ГЗх и пектофоетидин ГЗх в соотношении 3 : 1
Рисунок 3 – Выход восстанавливающих сахаров (ВС) (г/л) при ферментативном гидролизе волокон хлопчатника сорта Ф-108 с помощью различных ферментных препаратов: целловиридина ГЗх, пектофоедина ГЗх и пектиназы 500 в различном соотношении

ЛИТЕРАТУРА

1. Клесов А.А., Сыницин А.П. Ферментативный гидролиз целлюлозы. Влияние физико- химических и структурных факторов субстрата на эффективности ферментативного гидролиза. // Биоорганическая химия. – 1981. – № 12. – С. 1801–1812.
2. Henriksson G. et al. Mechanism of enzymatic hydrolysis of crystal cellulose. // Eur. J. Biochem. – 1999. – № 259. – P. 88–95.
3. Nelson M.I., Kelsey R.G., Shafizaden F. Anhancement enzymatic hydrolyses by Simultaneous attrition of cellulosed Substrates. // Biotechnol and Bioeng. – 1982. – vol 24. – P. 293–294

УДК 577.154.321

К.К. Назаров, доц., канд. биол. наук; Х.Т. Сагдиев, докторант
(ТГТУ, г.Ташкент)

ОСОБЕННОСТИ ФЕРМЕНТАТИВНОГО ОГОЛЕНИЯ СЕМЯН ХЛОПЧАТНИКА

Существующие методы механического и аэродинамического оголения хлопковых семян создают возможности получать ежегодно до 200 тыс тонн подпушка. Однако пока он не находит применения. Возникла идея разработать новый метод ферментативного гидролизного оголения семян хлопчатника, при котором в качестве продукта являлась глюкоза.

Исследования, проведенные по ферментативному гидролизу волокнистого остатка после механического оголения семян показали, что делинт имеет более высокую реакционную способность по сравнению с линтом и хлопковым волокном [1]. В связи с этим была опробована возможность проведения ферментативного гидролиза волокнистой части семян без предварительного съема волокна.

Важными факторами, влияющими на эффективность ферментативного гидролиза целлюлозы являются качественный и количественный состав целлюлазного комплекса, а также кинетические параметры действующих компонентов.

Согласно современным представлениям в состав целлюлазного комплекса могут входить эндоглюконаза, целлобиогидролаза, экзоглюкозидаза и целлобиаза, причем компонентный состав и активность отдельных компонентов значительно варьируют в зависимости от вида и условий культивирования микроорганизмов-продуцентов целлюлазного комплекса [2,3]. В связи с этим первой задачей, которую обычно решают при разработке метода ферментативного гидролиза данного целлюлозного сырья – это выбор наиболее активной композиции ферментных препаратов. Поэтому мы в первую оподбирали композицию ферментов для гидролиза подпушка семян хлопчатника. Наиболее эффективной оказались два ферментных препарата целоверидин ГЗх и пектофоетидин ГЗх в соотношении 3:2. Эта композиция за 3 часа полностью оголяла семена при выходе глюкозы 2,8 г/л. Увеличение продолжительности оголения является неблагоприятным фактором для посевных качеств семян, так как происходит их набухание и потеря ими биологических свойств. В связи с этим необходимо было подобрать условия, при котором оголение происходило бы за минимальное время. Этого можно добиться повышая концентрацию ферментного препарата.

Как видно из таблицы концентрацию ферментного препарата можно увеличивать до 3% снизив время ферментативного гидролиза до 3 часов. Дальнейшее увеличение концентрации фермента не имеет смысла, так как оно уже не уменьшает времени полного оголения семян.

Как известно, основными спутниками целлюлозы являются лигнин, пентозаны, жирно-восковые вещества и ряд других, которые определяют доступность молекул фермента и воды для молекул целлюлозы. Для увеличения доступности целлюлозы обычно используют поверхностно активные вещества (ПАВ). Мы также использовали этот прием и для увеличения доступности предварительно в течение часа обрабатывали опушенные семена ПАВ. В качестве ПАВ использовали Тритон Х-100.

Таблица – Время обработки семян хлопчатника в зависимости от концентрации ферментного препарата

№	Концентрация ферментов	Время обработки 0,5%ПАВ	Время оголения семян, часы	Выход глюкозы г/л	Оголенные семена	Неоголенные семена
1	0,1	1 час	8	0,11	48	2
2	0,25	1 час	6	0,352	42	8
3	0,5	1 час	7	0,638	50	-
4	0,75	1 час	5	0,506	42	8
5	1,0	1 час	5	0,704	41	9
6	1,25	1 час	5	1,034	44	6
7	1,5	1 час	5	1,54	45	5
8	2,0	1 час	3	0,902	33	17
9	2,5	1 час	3	2,2	49	1
10	3,0	1 час	3	3,04	50	-
11	3,5	1 час	3	2,89	50	-

Примечание: E = 50 ед/г, E = 3%, S = 50 шт, t = 45°

Необходимо отметить, что несмотря на то, что 100% семян оголяются в течение 1 часа ферментативного гидролиза при выходе глюкозы 1,58 г/л, в растворе остается часть негидролизованной целлюлозы. Оголенные семена можно отделить от реакционной смеси и продолжить гидролиз без семян до полного расщепления целлюлозы, до уровня выхода глюкозы 1,90 г/л.

Исследование семян после ферментативного оголения на всхожесть показало, что они не теряют своей биологической активности, т.е. всхожесть семян была такая же как и в контроле, после оголения концентрированной серной кислотой $93,4 \pm 2,4$.

Существующие в настоящее время методы оголения семян яв-

ляются энергоемкими (механический, аэродинамический) или экологически вредными (химический) [2]. Предлагаемый нами метод не энергоемкий и экологически чистый. Затраты на ферментные препараты могут окупиться, в результате продажи глюкозного сиропа, который является ценным продуктом для химической, микробиологической и пищевой промышленности. Попутно решается проблема утилизации подпушка, который остается при механическом и аэродинамическом оголении семян.

Таким образом, в результате наших исследований разработан метод ферментативного гидролиза подпушка семян хлопчатника, который может быть использован в семеноводстве для получения оголенных семян.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арифов У.А., Кулагин А.И., Парилис Э.С., Хармац Д.Е. Оголение семян хлопчатника. Ташкент. – Из-во АН УзССР. – 1962. – С. 285-287.

2. Мамедов, Н.Н., Индустриальный метод подготовка и точный посев в условиях Азербайджана Н.Н. Мамедов, С.Х. Багиров// Сб. статей БГУ. – 2012.

3. Kumar R., Singh S., O.V. // Biofuels. – 2013. – Vol. 4. (№ 6). – P. 567

4. А.С. Доценко, А.В. Гусаков, А.М. Рожкова, П.В. Волков, О.Г. Короткова, А.П. Синицын. Ферментативный гидролиз целлюлозы смесями мутантных форм целлюла. – Вестн. Моск. ун-та. – Сер. 2, Химия. – 2018. – Т. 59.

Э. К. Пулатова, зав. лабораторией; М. Г. Шукурхонова, ассист.
Ш. О. Комолова, ассист.;
Д. Т. Мирзарахметова, проф., д-р техн. наук
(ТГТУ, г. Ташкент)

АЗОТФИКСИРУЮЩИЕ МИКРООРГАНИЗМЫ В ВОЗДЕЛЫВАНИИ МАСЛИЧНОЙ СОИ СОРТА СЕЛЕКТА-201

Урожайность сои сильно варьирует в зависимости от почвенных и климатических условий, в которых возделывается культура. Оптимальная азотфиксация осуществляется при обеспечении следующих 5 условий: реакции почвенного раствора, условия питания фосфором и калием, доступ воздуха и влаги, наличие доступных микроэлементов, активного штамма клубеньковых бактерий [1]. Эффективность симбиотических систем «растение-микроорганизм» определяется вирулентностью и активностью микросимбионта, заключающаяся в способности формировать полноценные клубеньки [2]. Поэтому необходимо создать в почве условия для активного бобово-ризобияльного симбиоза, в этом случае соя будет обеспечивать себя азотом.

Целью исследований было изучение симбиотических свойств местных штаммов клубеньковых бактерий сои в полевых условиях. Для этого был использован местный штамм *Bradyrhizobium japonicum* (объект исследования), выделенные из корневых клубеньков сои сорта Селекта-201, культивированной в лабораторных условиях.

Культуру *Bradyrhizobium japonicum* выращивали в жидкой питательной среде [3] при периодическом перемешивании на качалке 120 об/мин, 30°C, рН-7,0 в течение 5 суток до титра клеток 22 млн/мл. Семена инокулировали *B. japonicum* (титр 22 млн/мл) за один час перед посевом.

Агрохимический состав исходных почвы: степень засоленности по Есе- 2,28 dS/m, рН7,3; содержание гумуса-1,2 %, содержание общего азота 0,06%; общего фосфора 0,17%; общего калия 2,16%; подвижного калия 187 мг/кг, рН почвы 7,1 - 7,4.

Отмечено, что применение инокуляции стимулирует рост растений, в фазе бутонизации эти растения значительно опережали в росте контрольный вариант растения. Прибавка надземной части растений в высоте составила 23 см, количества стручков – 89,7, количество клубеньков на одном растении – 67, Масса клубеньков – 5,3 г, урожайности – 11,9,9 (61,9%)

Таблица – Влияние инокулята бактерий на урожайность сои

Инокуляция семян сои	Рост растения, см	Коли- чество струч- ков в одном расте- нии, штук	Коли- чество клубень- ков в одном расте- нии, штук	Масса клу- бень- ков в одном расте- нии, г	Уро- жай- ность, ц/га	Допол- нительный урожай	
						ц/га	%
Контроль (фон Р ₉₀ К ₆₀)	117.3	64	-	-	19.2	-	-
Опыт (фон Р ₉₀ К ₆₀)	140.7	90	67	5.3	31.1	11.9	61.9

Отмечено, что применение инокуляции стимулирует рост растений, в фазе бутонизации эти растения значительно опережали в росте контрольный вариант растения.

Количество стручков в одном растении составило 90 штук (64 в контроле) и количество клубеньков в одном растении составило 67 штук (в контроле клубеньки не образовались) и общая их масса составила 5,3 г. Урожайность сои в опытном варианте 31,1 ц/га, в контрольном варианте - 19,2 ц/га.

Полученные данные дают основание разработать соевый инокулят на основе испытанного штамма *Bradyrhizobium japonicum* и провести его испытание при возделывании сои в различных почвенно-климатических условиях Узбекистана.

ЛИТЕРАТУРА

1. George C. diCenzo, Maryam Zamani, Alice Checcucci, Marco Fondi, Joel S. Griffiths, Turlough M. Finan, and Alessio Mengoni. Multi-disciplinary approaches for studying rhizobium–legume symbioses. – Can. J. Microbiol. – 2019. – V.65. – P.1–33.
2. Емцев В.Т., Мишустин Е.Н. Микробиология, М.:ДРОФА. – 2006.
3. John Loh and Gary Stace. Nodulation Gene Regulation in *Bradyrhizobium japonicum*: a Unique Integration of Global Regulatory Circuits. Applied and environmental microbiology. – 2003 – Vol. 69 (No.1). – P. 10–17.

А.И. Кулонов, базовый докторант

(Институт микробиологии АН РУз, г. Ташкент)

Ж. Гуломкодиров, студ.; И. Рихсибоев, студ.; А. Нуритдинов, студ.;

А. Комилов, студ.; Д. Т. Мирзарахметова, проф., д-р техн. наук
(ТГТУ, г. Ташкент);

М. У. Мирзаулукова, преп. высшей категории
(Академический лицей Ташкентского фармацевтического института, г. Ташкент)

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ БАКТЕРИАЛЬНЫХ ЭКЗОПОЛИСАХАРИДОВ

Галофильные почвенные микроорганизмы представляют собой группу микроорганизмов, которые могут расти в средах с высокой концентрацией соли [1]. Большинство галофилов встречаются в гиперсоленых водах, почвах, солевых и соленых отложениях [2]. Аэробные, анаэробные и факультативные микроорганизмы архей и бактерий соленых вод Мертвого моря, Средиземного моря, Большого Соленого озера (Юта, США), Антарктических озер, Магади и других регионов были изучены и разделены на группы в соответствии с их ростом и развитием в солевой среде [3]. Концентрация солей для слабых галофилов составляет 2-5%, 5-20% для средних галофилов и 20-30% для сильных галофилов [4-5]. Эти бактерии продолжают свою деятельность с помощью систем переноса протонов в цитоплазматической мембране (АТФ и замена натрия протонным насосом) [6-7].

Целью данной работы являлась разработка технологии получения полисахаридов *Halovibrio variabilis*. Поставленная задача решается применением в качестве продуцента полисахарида штамма бактерий *Halovibrio variabilis* UzAS3. Указанный штамм депонирован во Коллекции микроорганизмов Института микробиологии АН РУз.

Объектом исследования служили бактерии *Halovibrio variabilis* UzAS3, выделенные в 2019 году из гиперсоленых водоемов Республики Каракалпакстан: озёро около Кунграда [8]. Пробы воды отбирали из дна высыхающего озера (глубина 10–20 см) в месяце май 2019 г. и собирали в стерильные пластиковые контейнеры. Соленость образцов определяли на рефрактометре MASTER-S28a (АТОГО, Япония). Для культивирования галофильных бактерий использовали жидкую среду следующего состава (г/л): NaCl – 156,0; MgCl₂·6H₂O – 13,0; MgSO₄·7H₂O – 20,0; CaCl₂·6H₂O – 1,0; KCl – 4,0; NaHCO₃ – 0,2; NaBr – 0,5; KH₂PO₄ – 0,5; NH₄Cl – 2,0; FeCl₃·6H₂O – 0,005; глюкоза – 10,0; дрожжевой экстракт – 10,0 (рН 7,2).

Культивирование бактерий в периодическом процессе проводили в термостате (Memmert, Германия) в колбах Эрленмейера объемом 1 л, содержащих 500 мл питательной среды с барботированием воздуха (аэрация, 100%) и подсветкой белым светом периодичностью 14 часов подсветки и 10 часов темной фазы при 35-37°C при соотношении питательной среды и инокулята (титр 10^8 клеток в 1 мл) 100 : 1 [9]. Для подсчета титра клеток использовали камеру Тома-Горяева (МиниМед, Россия) [10].

Для изолированной культуры бактерии описывали морфологию колоний, осуществляли окрашивание по Граму согласно процедуре [11], тесты с гидроксидом калия [12], окрашивание спор в соответствии с [13]. Исследование проводилось на лабораторном микроскопе DM1000 (Leica, Германия) для определения подвижности, формы и размера клеток на разных стадиях роста в жидкой и твердой питательной среде [10, 14].

Для отнесения галофильных микроорганизмов к одной из четырех групп изоляты тестировали на способность к росту на плотной среде с различным содержанием NaCl (0.5, 10, 15 и 25%) [14].

Из жидкой культуры на стационарной фазе роста клетки осаждали центрифугированием (РС-6, Россия) при 4400 об/мин в течение 20 мин, супернатант диализовали в течение 24 ч против дистиллированной воды через мембрану с пределом исключения 12-14 кДа (Scienova GmbH, Германия). Из диализата культуральной жидкости полисахариды осаждали 1,5 объемами охлажденного 96% этанола (4°C, 12 ч), отделяли осадок (полисахариды), промывали дважды по 200 мл этанолом (96 %) и сушили при 25 °С.

Количество углеводов определяли методом [15]. Получили 5 г (1 %) сухих бактериальных полисахаридов [8].

Образцы гиперсолёных вод и кристаллов солей высевали в питательную среду с концентрацией NaCl от 5 до 30 %).

Различные образцы были отобраны на основе формы, розово-красного цвета бактерий, образованию отдельных колоний в питательных средах.

Рост изолированных бактериальных колоний в питательной среде с высокой концентрацией соли (20–25 %) указывает на то, что выделенные бактерии являются галофильными (рисунок 1).

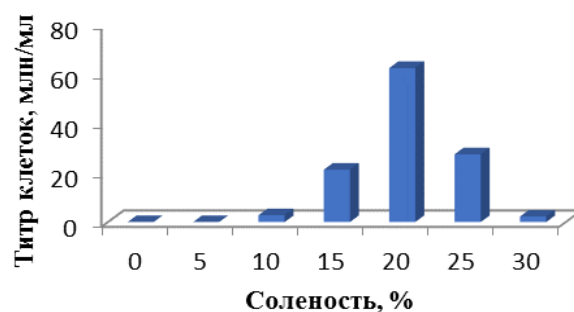


Рисунок 1 - Зависимость титра клеток от солености питательной среды

Оптимальную температуру для культивирования бактерий определяли, выращивая бактерии в средах при температурах от 15 до 50°C (рисунок 2). Оптимальной температурой для культивирования бактерий является 37°C.

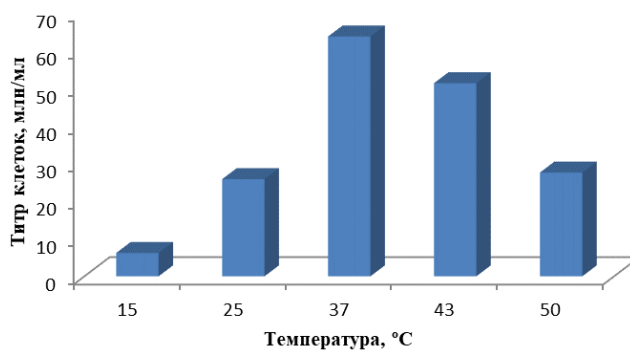


Рисунок 2 – Зависимость титра клеток от температуры среды

pH среды также является важным показателем, т. к. он показывает уровень закисленности среды метаболитами и является критерием, влияющим на выход полисахаридов в культуральную среду (рис. 3) [16-17]. Оптимальный pH для культивирования бактерии определяли на pH-метре (Mettler-Toledo, Китай), выращивая бактерии в твердых питательных средах в исходными pH от 5,1 до 9,0. Оптимальным pH для бактерий было 7,5.

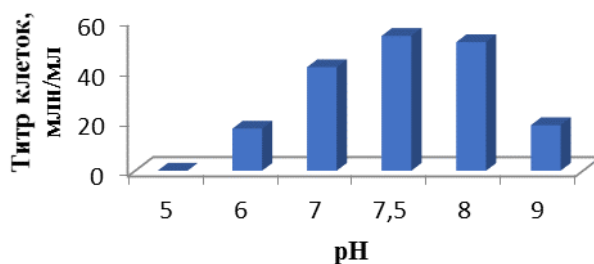


Рисунок 3 – Зависимость титра клеток от pH среды

Далее изучали титр клеток бактерий во времени при вышеуказанных оптимальных условиях в течение 13 суток (рис. 4). На 10 сутки бактерии переходят на стационарную фазу и в этот период наблюдается выход полисахаридов.

Для выделения экзополисахаридов, образованных в культивируемой среде использовали 96% этанол. Для этого 100 мл культивируемой жидкости центрифугировали (РС-6, Россия) при 8000 об/мин в течение 20 минут. Полученный супернатант помещали в целлюлозный диализный мешок Zellu Trans Dialysis Tube T4 (Scienova GmbH, Германия) и диализовали при 4°C в течение 24 часов против 2,5 литров дистиллированной воды (воду меняли дважды). Далее диализат смешивали с охлажденным этанолом в соотношении 1,0:1,5 и выдерживали в течение 6 часов при температуре 4°C для образования плотного осадка. Осадок экзополисахаридов отделяли от надосадочной жидкости фильтрованием и промывали дважды этанолом в соотношении 1:2 в течение 30 мин. Полученные полисахариды сушили при 25°C в течение 24 часов в сушильном шкафу (Memmert, Германия).

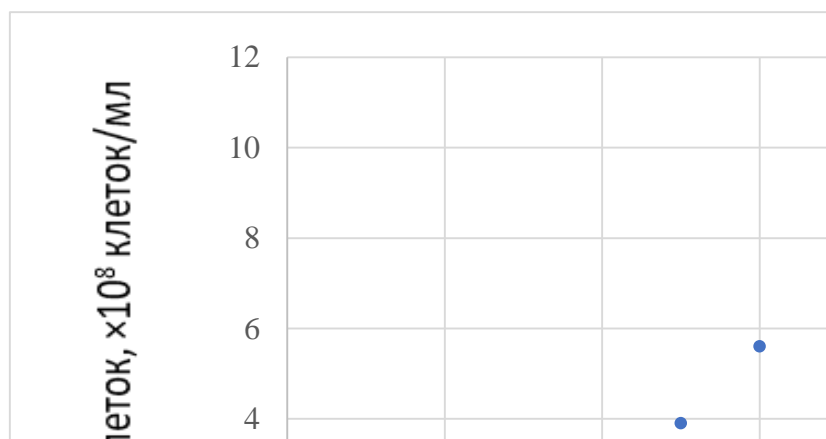


Рисунок 4 – Зависимость титра клеток от длительности культивирования бактерий

Полученные результаты показывают, что бактерии обладают высоким потенциалом по выходу бактериальных экзополисахаридов (7,1-9,5 мг/мл) по сравнению с результатами, представленными в литературе (3 мг/мл) [17]. В нашей работе, лимитирующими факторами являются количество глюкозы и pH среды. Полученные результаты показывают, что бактерии обладают высоким потенциалом по выходу бактериальных полисахаридов (10 мг/мл). Поддержание в среде культивирования концентрации питательных веществ и солей, температуры 37°C, а также 100% насыщение воздухом питательной среды в процессе культивирования создает оптимальные условия для роста бактерий, а управление таких параметров, как количество глюкозы

(1%) и pH 7,5 дает возможность повысить титр бактерий и увеличить выход полисахаридов.

ЛИТЕРАТУРА

1. DasSarma S., Arora P. *Halophiles*. In: Encyclopaedia of lifescience. Nature Publishing Group, London, 2001, pp. 1-9.
2. Oren A. *Halophilic microorganisms and their environments*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, USA, 2002, pp. 1-19.
3. Oren A., Rodriguez-Valera F. The contribution of halophilic bacteria to the red coloration of saltern crystallizer ponds. *FEMS Microbiol Ecol.*, 2001, vol. 36, no. 2-3, pp. 123-130.
4. Zanjirband M, Kermanshahi K R, and Golbang N. Isolation of the Moderately Halophilic Bacteria and Effects of pH and Incubation on Their Growth. *Journal of Taxonomy and Biosystematics*, 2009, vol. 1, pp. 21-32.
5. Horikoshi K. *Alkaliphiles*. Kodansha, Hardwood Academy Publisher. Germany: Springer, 1999.
6. Hamdy A. H., Asmaa A. A., and Mohamed E. E. Cloning and expression of gene encoding meta-cleavage enzyme of BTEX degradation pathway from haloalkaliphilic *Pseudomonas* sp. HA10. *Life Science Journal*, 2014, vol. 11, pp. 403-11.
7. Feng J. P., Zhou Y., Zhou S., et al. *Halorubrum alkaliphilum* sp. nov., a novel haloalkaliphile isolated from a soda lake in Xinjiang, China. *Int J Syst Evol Microbiol.*, 2005, vol. 55, pp. 149-52. doi: 10.1099/ijms.0.63320-0
8. Kulonov A. I. e. a. Shtamm bakterii *Halovibrio variabilis* UzAS3 - produtsent polisaxharidov [*Halovibrio variabilis* UzAS3 bacterial strain - producer of polysaccharides]. Patent RUz, no. FAP 20200269, 2020.
9. Kulonov A. I., Mirzarakhmetova D. T. O'zbekistondagi sho'rlangan xududlarida tarqalgan galofil bakteriyalar ekologiyasi va ularning ekzopolisaxaridlari hosil kilish potentsiali. *Scientific Acta of Namangan State University*, 2019, no. 10, pp. 143-149.
10. Netrusov A.I., Kotova I.B. *Mikrobiologiya* [Microbiology]. Moscow, Academia, 2006, pp. 252.
11. Dussault H. P. An improved technique for staining halophilic bacteria. *J. Bacteriol.*, 1955, vol. 70, pp. 484-485. doi: 10.1128/JB.70.4.484-485.1955
12. Gerhardt P., Murray R. G. E., Wood W. A., Krieg N. R. Methods for general and molecular bacteriology. *American Society for Microbiology*, Washington, D.C., 1994, pp. 607-654. doi:10.1002/food.19960400226

13. Oktari A., Supriatin Y., Kamal M., Syafrullah H. The Bacterial Endospore Stain on Schaeffer Fulton using methylene Blue Solution. *Journal of Physics*, 2017, Conf. Ser. 812. pp. 1-5. doi:10.1088/1742-6596/812/1/012066

14. Schneegurt, M. A. Media and conditions for the growth of halophilic and halotolerant bacteria and archaea. *Advances in Understanding the Biology of Halophilic Microorganisms* (Dordrecht: Springer), 2012, pp. 35–58. doi:10.1007/978-94-007-5539-0_2

15. DuBois M., Gilles K. A., Hamilton J. K., Rebers P. A., Smith F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 1956, vol. 28, pp. 350–356. doi:10.1021/ac60111a017

16. Rodriguez-Valera, F., Lillo, J. G. Halobacteria as producers of polyhydroxyalkanoates. *FEMS Microbiol Lett.*, 1992, vol. 103, pp. 181-186. doi:10.1016/0378-1097(92)90308-B

17. Rodriguez-Valera F., Lillo J. G. *Halobacteria* as Producers of Poly- β -Hydroxyalkanoates. eds. Dawes E.A. Novel Biodegradable Microbial Polymers. *Kluwer Dordrecht*, 1990, vol. 186, pp. 425–426.

УДК 663.126

С. Ш. Қосимходжаев, инспектор
(Агентство по регулированию алкогольного и табачного рынка и развитию виноделия Республики Узбекистан, г. Ташкент)

Д. Т. Мирзарахметова, проф., д-р техн. наук (ТГТУ, г. Ташкент)

ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ВОЛН НА РОСТ ПИВНЫХ ДРОЖЖЕЙ И ВЫХОД ЭТАНОЛА

Дегустационные показатели темного пива получаются недостаточно высокими: интенсивность цвета зачастую напрямую связана с повышенной горечью. Поэтому, в настоящее время совершенствование биотехнологии получения темного сортового пива с невысокой горечью очень актуальна.

Было исследовано влияние электромагнитного поля на метаболизм дрожжей и показано положительное его влияние на рост клеточной массы [1] и выход этанола [2]. Однако, полученные данные не решили одну из основных проблем спиртовой промышленности, решением которой является поиск путей интенсификации технологического процесса. Поэтому, процесс брожения был оптимизирован обработкой бродящей среды импульсным электромагнитным полем. В работе были использованы дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. Брожение проводили при обработке бродящей среды низкочастотными электромагнитными волнами (НЧВ) частотой 4 Гц и мощностью

1 мкТл [3]. Контролем служила та же питательная среда, в тех же условиях, только без обработки НЧВ.

Целью данной работы была оптимизация процесса сбраживания темного пивного сусла путем использования импульсного электромагнитного поля. Для достижения цели было изучено влияние низкочастотного импульсного электромагнитного поля при сбраживании темного пивного сусла и разработана технология получения сортового темного пива.

Засып включал несоложенный материал: овсяные хлопья (15%). Для получения зернового сусла партию светлого солода (20%), темный солод и несоложенный материал загружали в заторный аппарат и заливали водой с температурой 64 - 68 °С из расчета (4 кг на 1 кг солода) для приготовления сырья в течение 60 мин, затем добавляли остальную часть светлого солода и проводили осахаривание крахмала по следующей схеме: 50 °С (60 мин), 62 °С (30 мин), 72 °С (30 мин), 75 °С (15 мин). В работе были использованы дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. Брожение проводили при обработке импульсным электромагнитным полем (частота 4 Гц, мощность 1 мкТл), используя в качестве питательной среды темное пивное сусло (16%). Результаты показали, что дрожжи показали лучшие результаты при проведении процесса брожения под действием импульсного электромагнитного поля. Приготовленное пиво имело цветность, соответствующую стандарту для темного пива, крепость пива 5,8 об.% алкоголя, питкое с мягким и полным вкусом и кофейными нотками. Пена была мягкая, мелкозернистая, плотная, стойкая.

Полученные результаты могут найти своё применение в пищевой промышленности для совершенствования технологии темного пива, регулирования профиля летучих компонентов и расширения ассортимента пива и других продуктов бродительных производств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Perez V.H., Reyes A.F., Justo O.R., Alvarez D.C. Bioreactor coupled with electromagnetic field generator: Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on ethanol production by *Saccharomyces cerevisiae* // *Biotechnol. Prog.* – 2007. – V.23. – P.1091–1094.

2. Motta M.A., Muniz J.B.F., Schuler A., Da Motta M. Static magnetic fields enhancement of *Saccharomyces cerevisiae* ethanolic fermentation // *Biotechnol. Prog.* – 2004. – V.20. – P.393–396.

3. Мирзарахметова Д.Т., Джалалова Г.А., Норматов Ф.Т. Способ производства высоко-экстрактивного темного сортового пива. Патент РУз. IAP 06041. – 2019.

М. Р. Бекташева, зам. начальника отдела
(Агентство по регулированию алкогольного и табачного рынка
и развитию виноделия Республики Узбекистан, г. Ташкент);
Д. Т. Мирзарахметова, проф., д-р техн. наук (ТГТУ, г. Ташкент)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИММОБИЛИЗОВАННЫХ ДРОЖЖЕЙ

В настоящее время совершенствование технологии бродильных производств очень актуально. Целью данной работы была оптимизация процесса брожения путем двуступенчатого сбраживания сусла с использованием иммобилизованных дрожжей на второй ступени брожения.

Ранее была разработана технология получения высококачественных виноматериалов на основе управляемого культивирования дрожжей [1-3] и исследовано влияние углеводного и температурного ограничения на второй ступени брожения на сверхсинтез гидролитических ферментов и выявлена технологическая значимость таких ферментов, как липаза, эстераза, инвертаза, протеаза. Технология была использована для выделения дрожжевой эстеразы [4] и решения прикладных задач эфиروобразования при брожении. Однако, полученные данные не решили одну из основных проблем спиртовой промышленности, решением которой является совершенствование технологического процесса спиртового брожения в целях полного сбраживания сусла и увеличения тем самым количества этанола в бродящей среде.

Поэтому, процесс брожения был оптимизирован обработкой бродящей среды на второй иммобилизованными дрожжами. В работе были использованы дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. Первую ступень брожения проводили классическим способом путем сбраживания пивного сусла (12%) при 20 °С до остаточных сахаров 5 %, далее бродящую среду направляли на вторую ступень брожения, представляющую собой биореактор с носителем и иммобилизованными дрожжами, и проводили дображивание в лимитированных условиях.

Результаты показали, что дрожжи показали лучшие результаты при проведении процесса брожения в вышеуказанных условиях. Из полученного сброженного сусла был получен дистиллят и проанализирован на газовом хроматографе на содержание микропримесей, таких как высшие спирты: н-бутиловый, изобутиловый и изоамиловый. В опытном образце сусла увеличива-

ется выход этанола. Качество полученного дистиллята по физико-химическим показателям и дегустационным свойствам превосходит контрольный образец, который был получен из исходного пивного сусле двухступенчатым способом сбраживания без применения иммобилизованных дрожжей.

Предлагаемая технология открывает возможность оптимизировать процессы брожения, интенсифицировать процессы брожения, решить проблемы «недобродов» и улучшить дегустационные показатели сброженных материалов в производства пива и вин. Полученные результаты могут также найти своё применение в пищевой промышленности для совершенствования технология получения сброженных материалов для производства дистиллятов для приготовления бренди, виски, ликёро-водочных изделий и т. д.).

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаев У.К., Абдуразакова С.Х. Совершенствование технологии производства красных вин на биокаталитической основе. Индустрия напитков. – 2006. – № 6. – С. 30-32.
2. Мирзарахметова Д.Т., Джалалова Г.А., Норматов Ф.Т. Способ производства высоко-экстрактивного темного сортового пива. Патент РУз. IAP 06041. – 2019.
3. Мамарасулов Б.Д., Насирова О., Мирзарахметова Д.Т. Интенсификация процесса сбраживания пивного сусле. Пиво и напитки. – Москва. – 2017. – № 5. – С. 24-27.
4. Щербак Е.Ю., Мирзарахметова Д.Т. Влияние условий культивирования дрожжей на биосинтез эстеразы. Вестник НУУз. – 2008. – № 4. – С. 154-155.

ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ АЗОТФИКСИРУЮЩИХ МИКРООРГАНИЗМОВ В ВИДЕ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ РОССИЙСКОГО СОРТА МАСЛИЧНОЙ СОИ В ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ УЗБЕКИСТАНА

Соя – важная мировая культура с точки зрения использования в продуктах питания для людей и в корме для скота. Урожайность сои сильно варьирует в зависимости от почвенных и климатических условий, в которых возделывается культура.

Оптимальная азотфиксация осуществляется при обеспечении следующих 5 условий [1]:

- 1) реакции почвенного раствора,
- 2) условия питания фосфором и калием,
- 3) доступ воздуха и влаги,
- 4) наличие доступных микроэлементов
- 5) активного штамма клубеньковых бактерий

Растения сои могут формировать высокий урожай зерна за счет усвоения азота из воздуха. Если же не созданы оптимальные условия азотфиксации (хотя бы один из 5 факторов ограничивает симбиоз), растение может усвоить азот лишь из почвы и удобрений.

Эффективность симбиотических систем «растение-микроорганизм» определяется вирулентностью и активностью микросимбионта. Истинно вирулентным штаммам свойственно модулирующая активность (клубенькообразование), заключающаяся в способности формировать полноценные клубеньки [2]. Поэтому необходимо создать в почве условия для активного бобово-ризобиального симбиоза, в этом случае соя будет обеспечивать себя азотом.

Объектами исследований служили местные штаммы клубеньковых бактерий *Bradyrhizobium japonicum* Селекта-201, выделенные из корневых клубеньков растений масличной сои выросших в полевых условиях на почве Ташкентской области Узбекистана.

Культуру *Bradyrhizobium japonicum* выращивали в жидкой питательной среде [3] при периодическом перемешивании на качалке 120 об/мин, 30°C, рН-7,0 в течение 5 суток до титра клеток 22 млн/мл. Семена инокулировали *B.japonicum* (титр 22 млн/мл) за 1 час перед посевом.

Агрохимический состав исходных почвы: степень засоленности по Есе - 2,28 dS/m, pH7,3; содержание гумуса-1,45 %, углерод гумуса-0,84 % (С_г, %); содержание азота: валовые формы азота - 0,046 %; подвижные, усвояемые растениями формы азота - 42,6 мг/кг; содержание фосфора: валовые формы фосфора - 0,193 %; подвижные, усвояемые растениями формы Р₂О₅ - 18,6 мг/кг; содержание калия: валовые формы калия-0,280%; подвижные, усвояемые растениями формы К₂О - 113 мг/кг.

Целью исследований было изучение симбиотических свойств местных штаммов клубеньковых бактерий сои в полевых условиях. Для этого был использован местный штамм *Bradyrhizobium japonicum*, выделенные из корневых клубеньков сои сорта Селекта-201, культивированной в лабораторных условиях.

Отмечено, что применение инокуляции стимулирует рост растений, в фазе бутонизации эти растения значительно опережали в росте контрольный вариант растения.

Прибавка зеленой массы надземной части растений от инокуляции варьировала от 1,10 г до 2,60 г, а прибавка массы корней варьировала от 0,12 г до 0,32 г. Масса растений в контрольном варианте составила 1,46-2,10 г.

Отмечено, что применение инокуляции стимулирует рост растений, в фазе бутонизации эти растения значительно опережали в росте контрольный вариант растения.

Таблица – Изменения массы клубеньков при инокуляции сои штаммом *Bradyrhizobium japonicum*

Варианты опыта	Общее количество клубеньков, шт.	Общая масса клубеньков, г		Масса 1 клубенька, г	
		влажная	сухая	влажная	сухая
Контроль	9,0	0,037	0,018	0,004	0,002
Опыт	26,0	0,62	0,30	0,024	0,011

Количество клубеньков в одном растении составило 26 штук (9 шт в контроле) и общая их влажная масса составила 0,62 г (контроль 0,037 г). Урожайность сои в опытном варианте 30 ц/га, в контрольном варианте – 27 ц/га.

На основании изучения агрохимического и микробиологического состава исходных почв можно сделать заключение о том, что почва – слабозасоленная. По содержанию гумуса почва – богатая гумусом (1,45%). По содержанию валовых форм азота почва бедная, по содержанию фосфора – средне обеспечена, по содержанию калия - очень

бедная. По оценке обеспеченности подвижными (усвояемыми растениями) формами азота почва – нормально обеспечена. По оценке обеспеченности подвижными (усвояемыми растениями) формами фосфора почва – низко обеспечена. По оценке обеспеченности подвижными (усвояемыми растениями) формами калия все почвы низко обеспечены.

Инокуляция семян сои клубеньковыми бактериями *Br. japonicum* дает прирост, как по высоте растений, так и по весу надземной части и корня. на всех трех типах почв. Причем, лучший эффект замечен без использования удобрений. Прибавка зеленой массы надземной части растений от инокуляции варьировала от 1,10 г до 2,60 г, а прибавка массы корней варьировала от 0,12г до 0,32 г. Масса растений в контрольном варианте составила 1,46-2,10 г. В контрольном варианте урожайность составила 27 ц/га и опытный варианте составила 30 ц/га. Прибавка урожайность на 3 ц/га.

Полученные данные дают основание разработать соевый инокулят на основе испытанного штамма *Bradyrhizobium japonicum* и провести его испытание при возделывании сои в различных почвенно-климатических условиях Узбекистана.

ЛИТЕРАТУРА

1. George C. diCenzo, Maryam Zamani, Alice Checcucci, Marco Fondi, Joel S. Griffiths, Turlough M. Finan, and Alessio Mengoni. Multidisciplinary approaches for studying rhizobium–legume symbioses. – Can. J. Microbiol. – 2019. – V.65. – P.1–33.
2. Емцев В.Т., Мишустин Е.Н. Микробиология. М.:ДРОФА. – 2006.
3. John Loh and Gary Stace. Nodulation Gene Regulation in *Bradyrhizobium japonicum*: a Unique Integration of Global Regulatory Circuits. Applied and environmental microbiology. – 2003. – Vol. 69 (No.1). – P. 10–17.

Yu. Yu. Baltaeva, research assistant;
D. T. Mirzarakhmetova, prof., Doctor of technical sciences
(TSTU, Tashkent)

THE ROLE OF SIGNAL TRANSDUCER AND ACTIVATOR OF TRANSCRIPTION FACTOR 1 IN THE ARTERIOGENESIS PROCESS

Atherosclerosis, the morphological correlates of vascular disease, is characterized by early endothelial dysfunction, vascular inflammation together with build-up of lipids, cholesterol, calcium and cellular debris within the intima of the vessel wall. This build-up leads to the formation of advanced atherosclerotic plaque (*Hans A.R. Bluysen, et al., 2012*). Despite the fact that better treatments have relieved the number of deaths from atherosclerosis-related diseases, and have improved the quality of life for people who have these diseases, atherosclerosis remains the underlying cause of about 50% of all death in westernized society [1], [2]. According to the data given by WHO (the World Health Organization), an estimated 17.9 million people died from Cardiovascular Diseases (CVDs) in 2016, representing 31% of all global deaths. Of these deaths, 85% are due to heart attack and stroke. Over three quarters of CVD deaths take place in low- and middle-income countries, including Uzbekistan. Out of the 17 million premature deaths (under the age of 70) due to noncommunicable diseases in 2015, 82% are in low- and middle-income countries, and 37% are caused by CVDs. Despite the many novel insights from a hematologic, genetic, and pharmacological research, currently available treatments are still not very effective and atherosclerosis remains a common health problem and is still a major burden on humanity. This means that the search for new therapeutical agents is necessary.

The pro-inflammatory cytokine interferon (IFN)- γ , derived from T-cells, is vital for both innate and adaptive immunity and is also expressed at high levels in atherosclerotic lesions. Evidence that IFN γ is necessary and sufficient to cause vascular remodeling is supported by mouse models of atheroma formation, as the serological neutralization or genetic absence of IFN γ markedly reduces the extent of atherosclerosis [3], [4], [5], [6]. The signal transduction pathway initiated by binding of IFN γ to its receptor leads to intracellular phosphorylation of signal transducer and activator of transcription (STAT)1. Subsequently, STAT1 homodimerizes and translocates into the nucleus where it binds to IFN γ -activated sequences (GAS elements) in the promoters of IFN γ -inducible genes or at other sites by further interaction with other transcription factors [7], including mem-

bers of the Interferon Regulatory Factor (IRF) family [8], [9]. Thus, STAT1 plays a major role in mediating immune and pro-inflammatory responses. As such, IFN γ is considered to participate in promoting atherogenic responses through STAT1-mediated “damaging” signals, regulating the functions and properties of all cell types present in the vessel wall. Indeed, Agrawal et al. revealed that STAT1 positively influences lesion formation in experimental atherosclerosis in vivo and is required for optimal progression of foam cell formation in macrophages in vitro and in vivo [10]. However, the specific role for STAT1 in human atherosclerosis has not been previously reported.

This study provides evidence that in HMEC STAT1 coordinates a platform for cross-talk between IFN γ and TLR4, and identifies a STAT1-dependent gene signature that reflects a pro-atherogenic state in coronary artery disease (CAD) and carotid atherosclerosis.

Real-time Polymerase Chain Reaction (PCR) was used in order to analyze and compare the expression of selected target genes. The expression levels were compared with present RNA-sequencing data per each gene and each treatment condition. Human Microvascular Endothelial Cells (HMEC) were provided by the Center for Disease Control and Prevention (Atlanta, GA) and cultured in MCDB-131 medium(IITD PAN, Wroclaw, Poland) containing 10% of fetal bovine serum (FBS) (Gibco, Thermo Fisher), 100 U/ml penicillin, 100 μ g/ml streptomycin, 0.01 μ g/ml EGF, 0.05 μ M hydrocortisone and 2 mM L-glutamine. At least 12h before the experiment, full medium was exchanged for serum starved-medium (containing 1% FBS instead of 10%). HMECs were treated with 25 U/ml of murine interferon- γ (IFN γ) alone for 8 hours and IFN γ (purchased from Merck) treatment was followed separately by treatment with 50 U/ml of Lipopolysaccharides (LPS)(provided by Sigma-Aldrich) for additional 4 hours and at the end LPS alone for 4 hours to induce signal integration pathway between IFNs and toll-like receptors (TLRs). Total DNA was isolated using GeneMATRIX Universal DNA Purification Kit (EURx, Gdansk, Poland). The expression levels were compared to reference genes Actin (Actb) for both Vascular smooth muscle cells (VSMCs) and human microvascular epithelial cells (HMEC).

Real-time PCR analyses were compared for both HMECs and SMCs and certain treatment conditions were considered as an important factor. All of the conducted PCR results were evaluated and discussed in order to choose the most significant expression levels and genes. Among the genes have selected, Cxcl10 showed significant up-regulation for the patient material samples from ischemic heart disease in comparison to control subjects. This gene is expressed in both human and mouse atherosclerotic

plaques. Cxcl10 plays a fundamental role as an anti-inflammatory factor and induces foam cell formation. To evaluate this gene in further studies, bigger group of samples are needed with the different population profiles.

REFERENCES

1. Orr AW, Hastings NE, Blackman BR, Wamhoff BR (2010) Complex regulation and function of the inflammatory smooth muscle cell phenotype in atherosclerosis. *J Vasc Res* 47:168–180. [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]
2. Hansson GK, Libby P (2006) The immune response in atherosclerosis: a double-edged sword. *Nat Rev Immunol* 6:508–519. [PubMed] [Google Scholar]
3. Russell PS, Chase CM, Winn HJ, Colvin RB (1994) Coronary atherosclerosis in transplanted mouse hearts. III. Effects of recipient treatment with a monoclonal antibody to interferon-gamma. *Transplantation* 57:1367–1371. [PubMed] [Google Scholar]
4. Gupta S, Pablo AM, Jiang X, Wang N, Tall AR, et al. (1997) IFN-gamma potentiates atherosclerosis in ApoE knock-out mice. *J Clin Invest* 99:2752–2761. [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]
5. Nagano H, Mitchell RN, Taylor MK, Hasegawa S, Tilney NL, et al. (1997) Interferon-gamma deficiency prevents coronary arteriosclerosis but not myocardial rejection in transplanted mouse hearts. *J Clin Invest* 100:550–557. [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]
6. Tellides G, Tereb DA, Kirkiles-Smith NC, Kim RW, Wilson JH, et al. (2000) Interferon-gamma elicits arteriosclerosis in the absence of leukocytes. *Nature* 403:207–211. [PubMed] [Google Scholar]
7. Sikorski K, Chmielewski S, Olejnik A, Wesoly JZ, Heemann U, et al. (2012) STAT1 as a central mediator of IFN γ and TLR4 signal integration in vascular dysfunction. *JAKSTAT* 1:241–249. [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]
8. Tamura T, Yanai H, Savitsky D, Taniguchi T (2008) The IRF family transcription factors in immunity and oncogenesis. *Annu Rev Immunol* 26:535–584. [PubMed] [Google Scholar]
9. Gough DJ, Levy DE, Johnstone RW, Clarke CJ (2008) IFN γ signaling—does it mean JAK-STAT? *Cytokine Growth Factor Rev* 19:383–394. [PubMed] [Google Scholar]
10. Agrawal S, Febbraio M, Podrez E, Cathcart MK, Stark GR, et al. (2007) Signal transducer and activator of transcription 1 is required for optimal foam cell formation and atherosclerotic lesion development. *Circulation* 115:2939–2947. [PubMed] [Google Scholar]

УДК 573.6.086.83.001.26

А.Э. Исмаилов, магистрант; Н. Кенжабаева, студ.;
А. Мухаммаджонов, студ.; О. Абдукаримова, студ.;
Д. Отакулов, студ.; Н. Эшмурадова, доц., канд. биол. наук;
Д.Т. Мирзарахметова, проф., д-р техн. наук (ТГТУ, г. Ташкент)

КУЛЬТИВИРОВАНИЕ *DUNALIELLA SALINA*

Интерес к промышленному культивированию микроводорослей постоянно возрастает. Их культивируют для получения многих биологически активных веществ (аминокислот, витаминов, пищевых красителей, комплексов с микроэлементами и т.д.) и добавок к корму животных и птиц, а в последнее время повысился к ним интерес, как сырью для производства биотоплив (биодизеля, биогаза).

Для интенсивного накопления биомассы микроводорослей, современные предприятия широко используют биореакторы пленочного типа [1-2]. Устройство этих аппаратов позволяет создать максимально возможные благоприятные условия для культивируемого микроорганизма, насытить его в необходимом количестве питательными веществами, углекислым газом, а также, энергией света.

Однако существующие конструкции пленочных биореакторов не предусматривают наличие пластин для увеличения поверхности, на которой развиваются и размножаются микроводоросли. Это сказывается на замедлении процесса их культивирования и получении недостаточного количества их биомассы. Вместе с этим в подобных аппаратах в процессе их работы нерационально распределяется поток газовой смеси, что приводит к излишне высоким удельным энергетическим затратам.

Поэтому целью данной работы являлось совершенствование технологии культивирования микроводорослей для увеличения выхода биомассы, улучшения качества, обеспечения пищевой безопасности и ресурсосбережение энергетических и водных затрат.

В работе использовали *Dunaliella salina*, выделеную из озера Арал Республики Каракалпакстан [3]. Культивирование микроводорослей в лаборатории проводили в биореакторе объемом 1 л с барботированием воздуха и освещением (700-1000 Лк ($\mu\text{Mol (photons) s}^{-1}\text{m}^{-2}$) с встроенными прозрачными пластинками диаметром 9 см и расстоянием между пластинками 1 см, содержащей 750 мл модернизированной питательной среды Артари с концентрацией NaCl 200 г/л [4-5].

Количество микроводорослей определяли подсчетом клеток в камере Горяева (Модель 851, Россия) и взвешиванием фильтров после фильтрования через них 10 мл суспензии микроводорослей и измерением оптической плотности суспензии на спектрофотометре СФ [6].

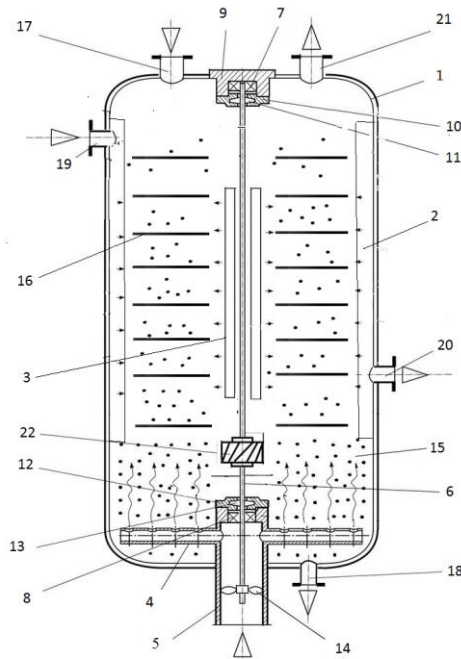
В результате устранения вышеизложенных недостатков, был

разработан фотобиореактор (Рис.1), позволяющий получать высокий выход биомассы микроводорослей высокого качества, а также, сократить удельные энергетические затраты, связанные с рециркуляцией культуральной жидкости.

Фотобиореактор состоит из корпуса *1* и дополнительную секции *2* с внутренней зеркальной поверхностью, предназначенную для освещения суспензии микроводорослей, в которой коаксиально установлена лампа накаливания *3*. Внизу размещен барботер *4*, выполненное в виде кольцевого коллектора по всему сечению аппарата, с патрубком *5* подачи смеси углекислого газа и воздуха. В центре биореактора по всей высоте аппарата установлен вал *6* в подшипниках *7* и *8*. Корпус *9* подшипника *7* с крышкой *10* и сальником *11* закреплен в верхней части аппарата. Корпус подшипника *8* с крышкой *12* и сальником *13* расположен в патрубке барботера *4*.

Нижняя часть вала *6* снабжена крыльчаткой *14*, которая расположена в патрубке *5* барботажного устройства *4* с возможностью вращения вокруг своей оси за счет кинетической энергии потока смеси углекислого газа с воздухом, подаваемой в секцию вывода культуральной жидкости *15*.

Во внутренней части фотобиореактора *1* размещены пластинки *16*, на которых микроводоросли растут и развиваются. На корпусе фотобиореактора *1* размещены штуцера для ввода культуральной жидкости (суспензии микроводорослей) *17* и вывода культуральной жидкости (готовой биомассы) *18*, штуцера для ввода и вывода охлаждающего воздуха *19* и *20*, штуцера для вывода отработанной смеси углекислого газа с воздухом *21*. Фотобиореактор для культивирования микроводорослей работает следующим образом: суспензия микроводорослей поступает через штуцер *17* в камеру для культивирования микроводорослей *15*, обтекая пластинки *16*, выполненных в виде плоских прозрачных кругов, культуральная жидкость в противотоке со смесью углекислого газа и воздуха, интенсивно перемешивается. Пластинки позволяют микроводорослям удержаться и создают поверхность для их развития. При этом подача смеси углекислого газа с воздухом в аппарат осуществляется через патрубок *5* барботера устройства *4*, которое обеспечивает дополнительное насыщение жидкости углекислым газом в секции *15* и равномерное распределение потока газовой смеси в смеси. За счет кинетической энергии потока смеси углекислого газа с воздухом, подаваемого в секцию вывода культуральной жидкости *15* через патрубок барботажного устройства *5*, крыльчатка *14* приводится во вращательное движение и заставляет вращаться вал *6*, установленный в подшипниках *7* и *8*, а вместе с ним и роторный нагнетатель *22*, направляющий культуральную жидкость с нижней части фотобиореактора в ее верхнюю часть.



1 – корпус фотобиореактора; 2 – зеркальные поверхности, 3 – лампа накаливания, 4 – барботажное устройство, 5 – патрубок; 6 – вал; 7-8 – подшипники, 9 – корпус подшипника; 10-12 – крышка подшипника; 12-13 – сальники; 14 – крыльчатка, 15 – внутренняя поверхность (культуральная жидкость); 16 – пластинки; 17 – штуцер для ввода культуральной жидкости (суспензии микроводорослей); 18 – штуцер для вывода культуральной жидкости (готовой биомассы), 19 – штуцер для ввода охлаждающего воздуха, 20 – штуцер для вывода охлаждающего воздуха; 21 – штуцер для вывода отработанной смеси углекислого газа с воздухом; 22 – роторный нагнетатель

Рисунок 1 - Разработанная конструкция фотобиореактора

Рециркуляция культуральной жидкости позволяет обеспечить необходимое время культивирования микроводорослей для достижения необходимого титра (количества биомассы) при заданном расходе смеси углекислого газа с воздухом (газового субстрата) с минимальными энергозатратами на процесс массообмена. В дополнительной секции 2 суспензия микроводоросли подвергается воздействию световой энергии посредством коаксиально установленной лампы накаливания дневного света 3, при освещении которой выделяется теплота, которая компенсируется подачей охлаждающего воздуха в секцию 2 через штуцер 19. Отвод охлаждающего воздуха из секции 2 осуществляется через штуцер 20. Из секции культивирования микроорганизмов 15 суспензия микроводорослей выводится в качестве готовой биомассы через штуцер 21.

Таким образом, предложенный фотобиореактор пленочного типа для культивирования микроводорослей позволяет:

- увеличить выход готовой биомассы, поскольку предусмотрено использование пластинок, обеспечивающей условия для развития и размножения микроводорослей;

- повысить качество получаемой биомассы в связи с тем, что созданы условия для более равномерного освещения культуральной жидкости при ее рециркуляции посредством коаксиального размещения лампы;
- уменьшить габаритные размеры аппарата и упростить его конструкцию за счет перехода от многоступенчатого аппарата к одноступенчатому;
- снизить удельные энергозатраты на получение биомассы, поскольку используется кинетическая энергия газового субстрата на входе в биореактор;
- обеспечить рациональное распределение потока газа в конструкции за счет использования кольцевого коллектора по всему сечению аппарата;
- повысить коэффициент массообмена благодаря равномерному освещению культуральной жидкости при ее рециркуляции посредством коаксиального размещения лампы и рационального распределения потока газа с помощью кольцевого коллектора, установленного по всему сечению аппарата.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.А. Шевцов, А.В. Дранников, А.В. Пономарев, Е.А. Шабунина, Д.В. Коптев. Способ управления процессом культивирования фотоавтотрофных микроорганизмов//Патент РФ №2622081. –2017.
2. Е.А. Шабунина. Научное обоснование режимов массообмена при автотрофном биосинтезе Дуналиеллы и ее применение в технологии мучных кондитерских изделий. Автореферат диссертация на соискание ученой степени канд.технич.наук. г.Воронеж. – 2018 г.
3. Мирзарахметова Д., Тонких А.К., Федорова О.А., Магай Е.Б., Мавжудова А.М., Верушкина О.А., Нурмухамедова Х. Штамм одноклеточных водорослей *Dunaliella salina* КР 1– продуцент биологически активных веществ. Патент РУз FAP 20200270. – 2020.
4. Магай Е.Б., Мавжудова А.М., Тонких А.К., Кадирова Г.Х., Разаков Р.М., Мамарасулов Б.Д., Нурмухамедова Х., Мирзарахметова Д.Т. Выделение монокультур Дуналиеллы из озер Приаралья. Доклады Академии наук РУз. – 2019. – №4, – С. 82-85.
5. Верушкина О.А., Тонких А.К., Мавжудова А.М., Кадирова Г.Х., Мирзарахметова Д. Культивирование аральского штамма *Dunaliella salina* AP 1 с целью получения β-каротинов. Вестник Аграрной науки Узбекистана. – 2020. – №3. – С.176-182.
6. Нетрусов А.И., Котова И.Б. Микробиология. Москва : Академия, 2006. – 252 с.

Ю.П. Буренкова, млад. науч. сотр.;
В.В. Щур, млад. науч. сотр.;
А.В. Янцевич, зав. лаб., канд. хим. наук
(ИБОХ НАН Беларуси, г. Минск)

ЭКСПРЕССИЯ ТЕРМИНАЛЬНОЙ ДЕЗОКСИНУКЛЕОТИДИЛ ТРАНСФЕРАЗЫ В КЛЕТКАХ *E. COLI*

Основное свойство терминальной дезоксирибонуклеотидил трансферазы (ТдТ) – способность создавать геномный материал *de novo*, включая случайные нуклеотиды в цепь [1]. Фермент открыт в 60-х годах прошлого века и остается одной из наименее изученных ДНК-полимераз. Это фермент, экспрессируемый в незрелых, пре-В, пре-Т лимфоцитах, а также при остром лимфобластном лейкозе (ОЛЛ) [2].

ТдТ применяется при достраивании гомополимерных хвостов на 3'-концах ДНК; мечении 3'-конца ДНК модифицированными нуклеотидами (ddNTP, DIG-dUTP); в методе TUNEL (детекция апоптоза *in situ*); в ТдТ-зависимой ПЦР; при создании энзиматических методов *de novo* синтеза ДНК и библиотек синтетических генов [1, 3, 4].

В последние 2 года несколько биотехнологических компаний, анонсировали разработку энзиматического метода синтеза ДНК с использованием ТдТ. Это Ansa Biotechnologies (США), Molecular Assemblies (США), DNA Script (Франция), Nuclera Nucleics (Великобритания).

Цель данной работы – создание систем экспрессии ТдТ в клетках *E. coli*. Осуществлен синтез гена, пригодного для получения транскрибированных ТдТ и мутагенеза. Проведена оптимизация условий экспрессии белка.

Последовательность гена ТдТ *Bos taurus* (NP_803461, 1560 п.о.) оптимизирована для экспрессии в *E. coli*. Проектирование сборки велось в программе DNABWorks. Для сборки последовательность была разбита на олигонуклеотиды длиной 65 нуклеотидов, с температурой плавления перекрытий 72°C. Фосфорамидитным методом синтезировано 42 олигонуклеотида. Проведена ПЦР-сборка гена (термоциклер Терцик, ДНК-технологии) с клонированием в вектор pJET1.2 (ThermoScientific). Добавлены сайты рестрикции к 5'(NdeI) и 3'(HindIII) концам, 6His-метка на N-конец.

Проведено рестрикционное картирование векторов экспрессии pCW, pTrc99a, pET23a, pET20b. Оптимальными выбраны pCW и pET20b. Ген клонирован из промежуточного вектора в вектора экспрессии pCW и pET20b по сайтам Nde I и HindIII. Штамм *E. coli* DH5α

трансформировали полученными плазмидами, также штамм *E. coli* BL21 (DE2) трансформировали плазмидов рЕТ20b-TdT.

Секвенировали плазмиды на секвенаторе 3500xL Genetic Analyzer, AB.

Активность фермента проверяли после экспрессии рCW-TdT в клетках *E. coli* DH5 α и рЕТ20b-TdT в *E. coli* BL21 (DE3). Индивидуальные колонии культивировали в LB среде, индуцировали синтез добавлением IPTG (1 мМ). Экспрессию проводили 13 часов при 20°C в LB-среде (для рCW) и 20 часов при 20°C в TB-среде (рCW и рЕТ20b). В обоих случаях фермент был очищен металло-хелатной хроматографией. Получен функционально активный фермент. Подтверждена структура фермента методами масс-спектрометрии MALDI-TOF (соответствие ожидаемой молекулярной массе и пептидное картирование триптического гидролизата). Пептиды были характеристичны для данного белка, удалось добиться покрытия 52% последовательности белка.

Затем проводили оптимизацию условий экспрессии в TB среде. Проводили сравнение для рCW-TdT в *E. coli* DH5 α , рCW-TdT в *E. coli* BL21 (DE2) и рЕТ20b-TdT в *E. coli* BL21 (DE3). Индивидуальные колонии с рекомбинантной плазмидой культивировали в среде LB (содержащей 100 мкг/мл ампициллина) при 37°C и 220 об/мин, до оптической плотности D₆₀₀=0,6. Индуцировали синтез добавлением IPTG (1 мМ). Экспрессию белка проводили 36 часов (с отбором части через 9, 16 и 24 часа) при 16 °C, 21°C и 26 °C и 180 об/мин. Лизис клеток проводили путем обработки ультразвуком (15 минут на ультразвуковой бане при 4-8°C). Белковый профиль детектировали с помощью ПААГ электрофореза.

При 16 °C за 36 часов не удалось добиться экспрессии белка в *E. coli* DH5 α с рCW-TdT. Также установлено, что при 21°C и 26 °C *E. coli* DH5 α с рCW-TdT экспрессирует меньшее количество белка, чем рCW-TdT и рЕТ20b-TdT в *E. coli* BL21 (DE3). При экспрессии при 36 °C достаточно 9-16 часов, при 20 °C – 16-24, при 16 °C – не менее 24 часов. Необходимо дальнейшее изучение для определения преимущественной системы экспрессии между рCW-TdT и рЕТ20b-TdT в *E. coli* BL21 (DE3).

В ходе работы получен ген ТдТ, оптимизированный для направленной инженерии фермента. Созданы вектора для гетерологической экспрессии ТдТ в клетках *E. coli*: рCW-TdT (tac-промотор, штаммы штаммов DH5 α и BL21(DE3)) и рЕТ20b-TdT (T7-промотор, штамм BL21(DE3)). Определено, что экспрессия рCW-TdT в клетках *E. coli* штамма DH5 α хоть и позволяет получить функционально активный

белок, не позволяет получить его в количестве, сравнимом с экспрессией в клетках *E. coli* штамма BL21(DE3).

Направленная инженерия ТдТ позволит получать транскрибированные формы ТдТ, получать белки слияния с ДНК связывающими белками, изменять субстратную специфичность по отношению к модификациям 3'ОН группы. Получение стабильных форм ТдТ с измененной субстратной специфичностью – шаг к разработке метода направленного энзиматического *de novo* синтеза одноцепочечной ДНК в водных средах [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Loc'h, J. Terminal deoxynucleotidyltransferase: the story of an untemplated DNA polymerase capable of DNA bridging and templated synthesis across strands / J. Loc'h, M. Delarue // *Curr. Opin. Struct. Biol.* – 2018. – Vol. 53 – P. 22–31.

2. Motea, E.A. Terminal deoxynucleotidyl transferase: the story of a misguided DNA polymerase / E.A. Motea, A.J. Berdis // *Biochim. Biophys. Acta BBA-Proteins Proteomics.* – 2010. – Vol. 1804, № 5. – P. 1151–1166.

3. Terminal deoxynucleotidyl transferase dUTP nick end labeling (TUNEL) assay using bench top flow cytometer for evaluation of sperm DNA fragmentation in fertility laboratories: protocol, reference values, and quality control / R. Sharma [et al.] // *J. Assist. Reprod. Genet.* – 2016. – Vol. 33, № 2. – P. 291–300.

4. Terminator-free template-independent enzymatic DNA synthesis for digital information storage / H.H. Lee [et al.] // *Nat. Commun.* – 2019. – Vol. 10, № 1. – P. 2383.

5. De novo DNA synthesis using polymerase-nucleotide conjugates / S. Palluk [et al.] // *Nat. Biotechnol.* – 2018. – Vol. 36, № 7. – P. 645-650.

УДК 663.05; 664.162

О. А. Гмырак, соискатель, помощник генерального директора
(ОАО «Минский мясокомбинат», г. Минск);
З. Е. Егорова, доц., канд. техн. наук
(БГТУ г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПИЩЕВОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Современная пищевая промышленность и ее развитие на сегодняшний день очень сильно зависят от потребностей и спросов населения, его благосостояния.

Ежегодно расширяется спрос населения на продукцию новых видов, усиливается конкурентная борьба между производителями продуктов питания. Это, в свою очередь, способствует появлению новых видов продукции и как следствие увеличивается и расширяется ассортимент выпускаемых продуктов питания, а вместе с ними производство и потребление пищевых добавок.

Использование пищевых добавок имеет двоякий фактор - экономический и социальный. Экономический фактор – за 2021 год импорт пищевых добавок в Республику Беларусь составил порядка 300 млн. долларов США. Это позволяет производителям пищевой продукции широко использовать их в своих производствах для улучшения качества выпускаемой продукции, расширения ассортимента, увеличения сроков годности. Социальный - применение пищевых добавок это сложно контролируемый процесс, который влечет за собой бесконтрольное применение пищевых добавок и как следствие нанесение вреда для здоровья нации.

В 2010 году были пересмотрены требования к разрабатываемым предприятиями ТУ. Была отменена обязательная проверка установленных технических требований, согласование с госорганами, исключено требование о запрете на установление в ТУ показателей качества и безопасности выпускаемой по ним продукции ниже установленных в государственных стандартах вида «общие технические требования» и «технические требования». Эта реформа дала возможность формально отнестись к написанию ТУ, учитывать только обязательные требования безопасности, игнорировать или существенно снижать показатели качества и безопасности продукции. В СССР ТУ были документами на новые (инновационные) не стандартизованные виды продукции, разработкой которых занимались отраслевые научно-исследовательские институты и технические специалисты высокой квали-

фикации. В настоящее время сформирован устойчивый рынок небольших коммерческих компаний без инженерного персонала, «штампующий» сотнями ТУ в пищевой промышленности [1].

Для государственного сектора экономики, нацеленного руководством страны на повышение качества, безопасности и конкурентоспособности пищевой продукции, такая ситуация не приемлема.

Республика Беларусь как субъект мировой продовольственной системы, обеспечивая достижение национальных приоритетов в сфере социальной и экономической доступности для населения достаточного количества безопасной и питательной пищи, должна учитывать глобальные тенденции продовольственной безопасности и питания [2].

Поэтому эффективная система государственного регулирования импорта, производства и потребления пищевых добавок на рынке Республики Беларусь является актуальной для обеспечения продовольственной безопасности страны.

В Республике Беларусь должным образом организована система контроля качества и безопасности пищевых добавок. Данными вопросами занимаются различные министерства и ведомства в рамках их компетентности (ГОССТАНДАРТ, Минздрав, Минсельхозпрод и др.).

В настоящее время использование пищевых добавок на территории Республики Беларусь регламентируется Санитарными нормами и правилами «Требования к пищевым добавкам, ароматизаторам и технологическим вспомогательным средствам», Гигиеническими нормативами «Показатели безопасности и безвредности для человека применения пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 12 декабря 2012 г. № 195, с дополнением и изменениями, утвержденными постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 14 июля 2014 г. № 56 и требованиями ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств», с изменением, утвержденным Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 18.09.2014 № 69.

В соответствии с международной практикой процесс внесения изменений в нормативную документацию является непрерывным. Так, решением Комиссии в Кодекс Алиментариус ежегодно вносятся изменения, касающиеся использования пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств в основной стандарт на пищевые добавки «Общий стандарт по пищевым добавкам» (Codex Stan 192- 1995) и стандарты на различные виды пищевых продуктов, а также другие стандарты, в соответствии с которыми осуществляется

использование пищевой продукции. По состоянию на 1 января 2021 года в Постановление (ЕС) № 1333/2008 от 16 декабря 2008 г. относительно пищевых добавок внесено 98 изменений [3].

Основываясь на вышесказанном можно сделать вывод, что для регулирования применения пищевых добавок на территории Республики Беларусь нужно решить ряд таких вопросов как:

- оперативное внесение изменений в технические нормативные правовые акты, касающиеся использования пищевых добавок;

- регулирование рынка пищевых добавок с целью исключения поставок в Республику Беларусь пищевых добавок сомнительного качества и безопасности, а так же пищевых добавок, запрещенных для использования в пищевой промышленности;

- контроль за внесением (дозированием) пищевых добавок при производстве продукции;

- проведение маркетинговых исследований рынка потребления пищевых добавок на территории Республики Беларусь;

- создание единого органа, регулирующего контроль обращения пищевых добавок на рынке Республики Беларусь.

Реализация вышеописанных мероприятий позволит создать эффективную систему государственного регулирования использования пищевых добавок для обеспечения продовольственной безопасности страны [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Программа "Качество 2021-2025 (проект)"//Сов. мин. Респ. Беларусь.- Минск, 2020. – С. 1-11.

2. Доктрина национальной продовольственной безопасности Республики Беларусь до 2030 года. [Электронный ресурс] // М-во сельского хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь. - Режим доступа: <https://mshp.gov.by/documents/plant/dccea377014340f4.html> – Дата доступа: 20.01.2021.

3. Багрянцева О.В., Шатров Г.Н., Коткова Т.В. Совершенствование законодательства Евразийского экономического союза в области использования пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств // Журнал «Пищевая промышленность» Москва, 4. – 2015. – С.16-22

4. Мелещеня А.В. Совершенствование системы государственного регулирования рынка пищевых добавок в Республике Беларусь /А.В. Мелещеня, Т.П. Шакель // Актуальные вопросы переработки мясного и молочного сырья: сб. науч. тр. / РУП «Институт мясо-молочной промышленности»; редкол.: А.В. Мелещеня (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2017. – Вып. 11. – С. 8-13.

В. И. Жданюк, студ.; Д. В. Пятецкая, асп.;
Т. П. Пирог, проф., д-р биол. наук (НУПТ, г. Киев);
Н. О. Леонова, канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник
(ИМВ им. Д.К. Заболотного, г. Киев)

**ОБРАЗОВАНИЕ АУКСИНОВ ШТАММАМИ *NOCARDIA*
VACCINII ИМВ В-7405 И *RHODOCOCCLUS ERYTHROPOLIS*
ИМВ АС-5017 НА СРЕДЕ С ПИЩЕВЫМИ ОТХОДАМИ**

В научной литературе появляется все больше информации о синтезе рост-стимулирующих фитогормонов бактериями, которые ранее считались лишь продуцентами поверхностно-активных веществ (ПАВ). Так, ранее [1] нами была установлена способность штаммов нефтеокисляющих бактерий *Nocardia vaccinii* ИМВ В-7405 ИМВ В-7241 и *Rhodococcus erythropolis* ИМВ Ас-5017 синтезировать, кроме ПАВ, фитогормоны трех классов: ауксины, цитокинины, гибберелины, однако концентрация фитогормонов была низкой и не превышала 10-100 мкг/л.

Отметим, что на сегодняшний день себестоимость ПАВ микробного происхождения все еще остается достаточно высокой. Одним из способов повышения эффективности микробных технологий является использование в качестве субстратов промышленных отходов. Так, в Украине утилизация отработанного (пережаренного) подсолнечного масла является серьезной экологической проблемой, поскольку выбросы этого токсичного отхода в окружающую среду не регламентируются. Таким образом, использование отработанного масла в технологиях микробного синтеза позволит решить сразу две проблемы: снизить себестоимость целевого продукта и утилизировать токсичные отходы [2].

Одним из подходов к интенсификации синтеза микробных метаболитов является внесение в среду культивирования предшественников биосинтеза, например, триптофана - предшественника ауксинов [3].

В связи с изложенным выше, целью данной работы было исследовать влияние триптофана на синтез ауксинов при культивировании *Nocardia vaccinii* ИМВ В-7405 ИМВ В-7241 и *Rhodococcus erythropolis* ИМВ Ас-5017 на отработанном подсолнечном масле.

Штаммы *Rhodococcus erythropolis* ИМВ Ас-5017 и *Nocardia vaccinii* ИМВ В-7405 культивировали в жидкой минеральной среде с 2% (по объему) отработанного после жарки мяса масла. Триптофан добавляли в среду в концентрации 100-300 мг/л в начале процесса культивирования или в конце экспоненциальной фазы роста. Экстракцию

ауксинов из супернатанта культуральной жидкости осуществляли этилацетатом при рН 3,0. Предварительную очистку и концентрирование фитогормональных экстрактов проводили методом тонкослойной хроматографии. Качественный и количественный состав ауксинов анализировали методом высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Установлено, что внесение триптофана в среду культивирования обоих штаммов сопровождалось существенным увеличением концентрации синтезируемых ауксинов по сравнению с показателями на среде без предшественника. Это свидетельствует о вовлечении триптофана в процесс биосинтеза ауксинов продуцентами ПАР.

Данные, представленные в таблице 1, свидетельствуют о том, что максимальная концентрация ауксинов (5805,98 мкг/л) для *N. vaccinii* ИМВ В-7405 достигалась при внесении 300 мг/л триптофана в начале процесса культивирования. Отметим, что при культивировании этого штамма в среде без триптофана количество фитогормонов составляло всего 13,23 мкг/л.

Таблица 1 – Синтез ауксинов *N. vaccinii* ИМВ В-7405 в зависимости от концентрации триптофана

Момент внесения предшественника (фаза роста)	Количество триптофана, мг/л	Суммарная концентрация ауксинов, мкг/л
-	0 (контроль)	13,23
Лаг-фаза	200	2801,77
Конец экспоненциальной		2910,84
Лаг-фаза	300	5805,98
Конец экспоненциальной		2258,57

Похожие закономерности были установлены и при культивировании *R. erythropolis* ИМВ Ас-5017 в присутствии триптофана (таблица 2). Внесение 300 мг/л предшественника в конце экспоненциальной фазы роста штамма ИМВ Ас-5017 сопровождалось повышением синтеза ауксинов в 250 раз (до 2398,14 мкг/л).

Мы предполагаем, что дальнейшее увеличение количества триптофана в среде культивирования будет сопровождаться интенсификацией синтеза ауксинов. Однако на данном этапе для создания эффективного микробного препарата с рост-стимулирующими свойствами в этом нет необходимости, поскольку при достигнутой концентрации ауксинов (2000-5800 мкг / л, см. таблицы 1 и 2) культуральную жидкость продуцентов ПАР с целью обработки семян или корневой системы рассады растений необходимо разбавлять как минимум в 400-500 раз.

Таблица 2 – Влияние триптофана на образование ауксинов *R. erythropolis* ИМВ Ас-5017

Момент внесения предшественника (фаза роста)	Количество триптофана, мг/л	Суммарная концентрация ауксинов, мкг/л
-	0 (контроль)	9,85
Лаг-фаза	200	1189,58
Конец экспоненциальной		647,88
Лаг-фаза	300	766,12
Конец экспоненциальной		2398,14

Различная зависимость синтеза ауксинов от момента внесения триптофана в среду культивирования *R. erythropolis* ИМВ Ас-5017 и *N. vaccinii* ИМВ В-7405 может быть обусловлена физиологическими особенностями штаммов. Выяснению этого вопроса будут посвящены наши дальнейшие исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wu T., Xu J., Xie W., Yao Z., Yang H., Sun C., Li X. *Pseudomonas aeruginosa* L10: A Hydrocarbon-Degrading, Biosurfactant-Producing, and Plant-Growth-Promoting Endophytic Bacterium Isolated From a Reed (*Phragmites australis*). *Front Microbiol.* – 2018. – 9. – P. 1087.
2. Пирог Т.П., Леонова Н.О., Шевчук Т.А. и др. Синтез фитогормонов бактериями *Acinetobacter calcoaceticus* ИМВ В-7241, *Rhodococcus erythropolis* ИМВ Ас-5017 и *Nocardia vaccinii* ИМВ В-7405 – продуцентами поверхностно-активных веществ // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия биологических наук. – 2016. – № 1. – С. 111–116.
3. Mon Myo E., Ge B., Ma J., Cui H., Liu B. et al. Indole-3-acetic acid production by *Streptomyces fradiae* NKZ-259 and its formulation to enhance plant growth. *BMC Microbiol.* – 2019. – 19(1). – P. 1–14.

Л. А. Жуковская, ст. науч. сотр., канд. биол. наук,
Т. В. Семашко, вед. науч. сотр., канд. биол. наук;
О. Д. Демешко, науч. сотр.
(Институт микробиологии НАН Беларуси, г. Минск)

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРЕПАРАТОВ ГЛЮКОЗООКСИДАЗ *PENICILLIUM ADAMETZII*, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ

Микробиологическое производство биологически активных веществ и микробных препаратов является важным направлением промышленной биотехнологии. Особое место среди метаболитов микроорганизмов занимают ферменты – специфические катализаторы белковой природы, незаменимые в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства, медицине, а также в экологии [1].

Глюкозооксидаза (ГО) (β -D-глюкозо: O₂-1-оксидоредуктаза, КФ 1.1.3.4.) – фермент класса оксидоредуктаз, катализирующий окисление β -D-глюкозы до β -D-глюконолактона и пероксида водорода. Фермент широко используется в пищевой промышленности [2], медицине, а также химической промышленности [3].

Цель работы – получить препараты ГО *Penicillium adametzi* различной степени очистки, определить свойства ферментов.

Для получения препаратов ГО в качестве продуцента использовали *Penicillium adametzii*. Гриб выращивали на жидкой питательной среде оптимизированного состава. По окончании культивирования биомассу гриба отделяли фильтрованием, а полученный фильтрат культуральной жидкости концентрировали и очищали методами ультрафильтрации, высаливания, ионнообменной хроматографии.

При ультрафильтрации применяли комплекты ультрафильтрационного оборудования (ультрафильтрационная лабораторная установка на базе полуволоконного мембранного элемента МПВЭ ПС-10М-0,2 (Минск, РБ) и ячейку ФМ02-400 (мембранный фильтр с радиальным перемешиванием) (Кириши, РФ). Высаливание проводили в объеме с использованием серноокислого аммония. Осадок отделяли центрифугированием, растворяли в воде. Отмывку от соли проводили методом ультрафильтрации. Очистку методом ионообменной хроматографии осуществляли на колонках (1×11,0 см) с использованием в качестве сорбента карбоксиметилцеллюлозу (Германия).

Полученные препараты ГО незначительно различались по удельной активности (85,3, 92,7 и 97,2 ед/мг белка, соответственно) (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика препаратов ГО *P. adametzii*

Препарат	Активность фермента, ед/мл	Удельная активность фермента, ед/мг белка	Степень очистки
Фильтрат культуральной жидкости	6,3	69,4	–
Препарат ГО, полученный методом ультрафильтрации	1232,9	85,3	1,23
Препарат ГО, полученный методом высаливания	1198,5	92,7	1,34
Препарат ГО, полученный методом ионнообменной хроматографии	1162,8	97,2	1,40

Установлено, что данные ферменты сходны по спектральным характеристикам, но различались по эффективности окисления глюкозы – $13577-15217 \text{ M}^{-1}\text{c}^{-1}$ (таблица 2).

Таблица 2 – Спектральные и каталитические характеристики ферментных препаратов

Препарат	Спектр поглощения		Сродство фермента к субстрату, Km (mM)	Эффективность окисления глюкозы, kkat/Km ($\text{M}^{-1}\text{c}^{-1}$)
	375 нм	455 нм		
Препарат ГО, полученный методом ультрафильтрации	0,3619	0,2205	15,2	14 578
Препарат ГО, полученный методом высаливания	0,3891	0,2848	15,8	13 557
Препарат ГО, полученный методом ионнообменной хроматографии	0,3699	0,3387	16,3	15 217

Анализ физико-химических свойств (термо-, рН-оптимумы, термо-, рН-стабильность) ГО, полученных различными методами очистки показал, что максимальная активность ферментов проявляется в области значений рН 4,0-7,0 (пики 5,0 и 7,0) и диапазоне температур 50-70 °С. Показано, что ферменты более стабильны в течение 24 ч при значениях рН 4,0-7,0, остаточная активность составляет 82-100,0 %.

Значительные отличия отмечены по показаниям термостабильности ферментов. Так, при 40 °С ферменты, полученные методами высаливания и ультрафильтрации, сохраняли 95-97 % активности, а фермент, полученный методом ионообменной хроматографии – 91 %. Максимальные отличия между ферментами наблюдались при 60 °С (активность сохранялась на 59 %, 53 %, 40 % соответственно).

Таким образом, с использованием различных методов (ультрафильтрации, ионнообменной хроматографии, высаливания) получены

опытные образцы ферментных препаратов ГО с удельной активностью 85,3-92,7 ед/мг белка. Основные отличия свойств отмечены по показаниям термостабильности ферментов.

Работа выполнена в рамках проекта Б19АРМ-018, финансируемого БРФФИ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Glucose oxidase – an overview / S.B. Bankar [et al.] // *Biotechnol. Adv.* – 2009. – Vol. 27. – P. 489-501.
2. Uppor, R., Niebergall, P., James, E. The antioxidant system β -D(+)-glucose-glucose oxidase-catalase: tests for pyrogenicity and antigenicity / R. Uppor, P. Niebergall, E. James // *Pharm. Dev. Technol.* – 2001. – Vol. 6. – P. 31-38.
3. Wong, Ch.M., Wong, K.H., Chen, X.D. Glucose oxidase: natural occurrence, function, properties and industrial applications / Ch.M. Wong, K.H. Wong, X.D. Chen // *Appl. Microb. Biotechnol.* – 2008. – Vol. 78. – P. 927-938.

УДК 655.22

А. В. Криховец, доц., канд. хим. наук;

В. Г. Слободяник, ст. преп., канд. техн. наук (УАП, г. Львов, Украина)

УПАКОВОЧНЫЕ ПЛЕНКИ С АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

Одно из важных мест в современной упаковочной индустрии занимают пленочные материалы, объёмы производства которых возрастают ежегодно. Это в свою очередь приводит к увеличению количества бытовых отходов. Загрязнение почвы и вод мирового океана отходами пластика приобрели угрожающих масштабов. Поэтому усилия ученых направлены на поиски новых материалов для изготовления упаковки, способной разлагаться в естественной среде в короткий промежуток времени.

В качестве биодegradабельных упаковочных материалов находят широкое применение пленки на основе поливинилового спирта. Эти пленочные материалы владеют высокими барьерными свойствами и могут использоваться в пищевой отрасли, медицине, химической промышленности. С целью улучшения функциональных характеристик и расширения областей применения разрабатываются разнообразные композитные материалы на основе ПВС. Перспективными среди них являются поиски экологических пленочных материалов с бактерицидными свойствами.

Поливиниловый спирт разрешен к использованию в пищевой отрасли как добавка E 1203 на территории Украины и ЕС, поскольку не установлено неблагоприятного влияния его на организм человека. В пищевой промышленности ПВС применяют для связывания воды, как глазирующий агент, как основа съедобных упаковочных пленок [1]. Для улучшения защиты и устойчивости к влаге пищевых продуктов предлагаются пленки на основе ПВС с добавлением полисахарида пулулана, крахмала, целлюлозы с протеинами. С целью предоставления определенных вкусовых и эстетических качеств вводят натуральные красители, лимонную кислоту, глицерин, целлюлозосодержащие наполнители с дрожжами, из которых удалены нуклеиновые кислоты. Такие пленки предлагаются для покрытия замороженных продуктов, фруктов и овощей. В качестве пластификатора также рассматривают добавку естественного происхождения пектин. Пектин содержится в растительном сырье, плодах, овощах и принадлежит к растворимым пищевым волокнам.

Авторы [2] создали антибактериальный композит на основе ПВС, содержащий пектин, глицерин и TiO_2 и предложили использовать его для получения пленки, предотвращающей микробиологическую порчу пищевых продуктов, в частности хлебобулочных изделий. Такая упаковка кроме антибактериальных имеет хорошие механические свойства и способна к биодegradации [2].

На основе ПВС получены полимерные композиционные материалы с антибактериальными свойствами, содержащие дисперсные биосовместимые неорганические наполнители с наночастицами серебра [3]. Высокая антибактериальная эффективность наблюдалась при содержании наночастиц серебра около 0.018%. Кроме того, наночастицы серебра уменьшают температуру начала процесса термодеструкции и существенно замедляют скорость образования летучих продуктов разложения полимера.

Композиционные материалы, содержащие наночастицы сульфида цинка ZnS , были синтезированы с помощью метода совместного осаждения с использованием поливинилпирролидона, поливинилового спирта и полиэтиленгликоля. Авторы работы [4] показывают, что антибактериальный эффект наночастиц ZnS имеет прямую связь с концентрацией, а концентрация 150 мкг/мл показывает самый высокий антибактериальный эффект по сравнению с другими.

Среди пленок на основе натуральных полимеров авторы [5] рассматривают композит на основе поливинилового спирта и модифицированного крахмала в соотношении 1:1 с добавлением как пластификаторов глицерина или молочной кислоты. Этот композит мо-

жет быть использован для получения трансдермальных терапевтических систем с последующим добавлением биологически активных веществ и лекарственных средств, что позволит увеличить эффективность лечения инфицированных ран [5]. Биосовместимые композиционные нановолокнистые нетканые материалы с антисептическими свойствами также получили методом электроформирования композиций хитозана с поливиниловым спиртом и поливинилацетатом. Биологическая активность хитозана и нетоксичность ПВС делают такие композиты перспективными для применения в медицине и фармакологии. В качестве пропитывающих смесей для повышения бактерицидных свойств частей производственной одежды, подвергающихся микробным загрязнениям, разработаны композиты, содержащие поливиниловый спирт, ортоборатную кислоту и глицерин. Создание плёночных антибактериальных композитов становится особенно актуальным в связи с непростой ситуацией мировой пандемии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черная А.И., Шульга О.С., Арсеньева Л.Ю., Кобилинский С.М. Упаковочные биodeградебельные пленки на основе поливинилового спирта / А.И. Черная. Упаковка. – № 6. – 2016. – С. 32-35.
2. Композиція антибактеріальної біodeградованої плівки: пат 110866 Україна. № 2016 03669; заявл. 06.04.2016; опубл. 25.10.2016, Бюл. № 20. – 4 с.
3. Толстов А.Л., Маланчук О.Н., Бей И.Н., Климчук Д.А. Получение и свойства антибактериальных полимерных композитов на основе поливинилового спирта и наночастиц серебра. / А.Л Толстов. Полімер. журн. – 2013. –Т. 35 (№ 4). – С. 343-349.
4. Ehsan Nabi Abdolyousefi, Ghasem Rahimi, Azita Mohammadbeygi, Hamideh Dehghani, Masoud Negahdary. Antibacterial Assessment of Zinc Sulphide Nanoparticles Against Streptococcus pyogenes and Acinetobacter baumannii / Наносистеми, наноматеріали, нанотехнології. Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii. – 2020. – Т. 18 (№ 1). – С. 171–188.
5. Іщенко О.В., Ресницький І.В., Коляда М.К., Ляшок І.О., Шинкарьова К.В., Швидка К.М. Плівки медичного призначення на основі природних полімерів. /О.В. Іщенко. Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки. – 2017. – № 1 (106). – С. 76-86.

И.В. Подорожня, мл. науч. сотр., маг. техн. наук
(Приборостроительный завод Оптрон, г. Минск);

С.С. Ветохин, зав. кафедрой, канд. физ.-мат. наук
(БГТУ, г. Минск)

ИЗУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПИТЬЕВОГО МОЛОКА ДРУГИХ ВИДОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

Козье молоко в отличие от коровьего содержит больше витаминов А и С, фосфора, железа, кальция, жира, который легче усваивается. В кобыльем молоке по сравнению с коровьим больше лактоферина, иммуноглобулина, полиненасыщенных жирных кислот, витаминов А, В, С, D и Е, а молочный жир отличается самой высокой биологической ценностью [1]. Информация о показателях питьевого молока других видов сельскохозяйственных животных слабо либо совсем не представлена в литературных источниках.

С этой целью в нашей работе проведено исследование отдельных физико-химических показателей предлагаемого белорусскими изготовителями пастеризованного питьевого молока кобыльего и козьего цельного. Образцы разных партий были закуплены нами в торговой сети Минска в 2017–2020 гг. Пищевая и энергетическая ценности и сроки годности указанные производителем на маркировке потребительской тары готовых пищевых продуктов, образцы которых использовались в исследовании, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Некоторые сведения о продуктах, указанные в маркировке

Показатель	Наименование готового продукта	
	молоко козье питьевого пастеризованное цельное	молоко кобылье питьевого пастеризованное
Пищевая ценность 100 г продукта:		
белок, г	от 2,8 до 3,4	2,2
жир, г	от 2,5 до 4,0	0,6
углеводы, г	от 4,7 до 4,8	5,8
Энергетическая ценность, ккал / кДж	от 55,3 до 66,0 / от 231,9 до 275,5	36 / 150,6
Срок годности	10 суток	10 суток

Для сравнения показателей было выбрано питьевого молоко двух производителей – по одному на каждый вид продукта. На упаковках образцов питьевого козьего молока указанные значения массовой доли жира составили от 3,2% до 4,0%.

Полученные результаты исследований некоторых физико-химических показателей отобранных образцов пищевой продукции приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Средние значения физико-химических показателей питьевого пастеризованного молока других видов сельскохозяйственных животных

Показатель	Полученные результаты по виду животного	
	молоко козы	молоко кобылицы
Температура замерзания, °С	-0,534±0,009	-0,509±0,010
Титруемая кислотность, °Т	19,0±2,5	4,8±0,7
Удельная электропроводность, мСм/см	6,06±0,12	1,94±0,05
рН	6,65±0,15	7,26±0,10
a_w	0,986±0,021	0,981±0,026
Плотность, кг/м ³	1027,6±0,6	1029,85±1,08
Содержание влаги, %	88,23±0,25	90,61±0,36
Содержание СОМО, %	8,30±0,17	8,79±0,36

По большинству физико-химических показателей питьевого молока козы и кобылицы получены резкие отличия, обусловленные химическим составом исходного молока-сырья: в кобыльем молоке пониженное содержание жира, белка, минеральных веществ, однако содержание лактозы, наоборот, повышенное [1].

Зависимостей между измеренными показателями не выявлено.

Мониторинг данных физико-химических показателей экспресс-методами будет способствовать выпуску высококачественной конкурентоспособной молочной продукции с высокими питательными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Твердохлеб, Г. В. Химия и физика молока и молочных продуктов / Г. В. Твердохлеб, Р. И. Раманаускас. – М. : ДеЛи принт, 2006. – С. 162–178.

М. Э. Саттаров, доц., канд. биол. наук;
С. А. Имомкузиева, студ.; Д. Э. Туракулова, студ.;
Ш. А. Умарова, студ. (ТГТУ, г. Ташкент)

ФУНГИЦИДНЫЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ПРЕПАРАТОВ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ГРИБКОВЫХ БОЛЕЗНЕЙ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ ФРУКТОВ

Одной из болезней семенных фруктовых деревьев является монилиоз, родиной которого является Северная Америка. Изменения погодных климатических условий, высокий уровень влажности в период роста вынесли монилиоз в ряды болезней, имеющих экономическое значение среди болезней, встречающихся в садах [1].

Широкому распространению болезни монилиоза способствовало не только изменение погодных климатических условия, но и возможно заброшенность в последние годы существующих садов и отсутствие каких-либо агротехнических мероприятий.

Болезнь монилиоза у семенных фруктовых деревьев провоцируют следующие виды грибов: *Monilinia fructigena* Pers. (сумчатый период *Monilinia fructigena* (Aderh. Et Ruhl.) Honey.- отмечено у яблоневых, грушевых и косточковых фруктов;

Monilia cinerea Bahord.f. *mali* (Wormald.) Harrion – определено в листьях, цветах и молодых завязях плода яблоневых;

Monilia cydoniae Schell. (сумчатый период *Monilinia cydoniae* (Schell.) Whet. – зарегистрировано в побегах, листве и завязях плодов айвы [2, 3].

Н.А. Наумов [4] объявил, что родиной грибов, возбудителей у семенных фруктов болезнь гнили период создания конидии, называемых *Monilia fructigena* и период создания сумки, называемых *Sclerotinia (Stromatinia) fructigena* является Северная Америка.

Сообщается, что этой болезнью наносится большой вред не только в период роста фруктов, но и в период хранения на складе. Подчёркивается, что заболевание происходит при хранении на складе в результате соприкосновения здоровых плодов с заражёнными.

В последние годы наблюдается снижение урожайности семенных фруктовых деревьев вследствие ряда болезней. Одной из таких болезней считается монилиоз, который способствует уменьшению большей части урожая семенных фруктов и потере до 100% урожая семенных фруктов.

В борьбе против болезней монилиоза применялся ряд препаратов – 1%-ная бордоская жидкость, 1%-ный медный купорос, 1%-ный железный купорос, хлорооксид меди, 0,15%-ный Топсин-М, 0,4%-ный Байлетон, 1%-ный ХЗ: Cu-1, 0,5%-ный ХЗ: Cu-2 и другие препараты. Мы в своих опытах изучили состояние хранения семенных фруктов и овощей при комнатной температуре в течение определённого времени в специальных холодильниках. Были изучены плоды груш, яблок, гранатов, айвы, обработанные 0,1%-ным хитозаном, приготовленным в 0,1%-ной уксусной кислоте и 0,2%-ным хитозаном, приготовленным в 0,2%-ной уксусной кислоте, в качестве контрольного варианта служили образцы тех же фруктов и овощей, без обработки хитозаном.

Согласно полученным результатам оказалось, что возбудителем монилиоза в яблоках, грушах и айве явились 3 грибка, принадлежащие к видам *Monilia fructigena* Pers, *Monilia cinerea* Bonard. f. *mali* (Wormald.) Harrison *Monilia cydoniae* Schell.

Выяснилось, что развивавшимся в плодах и вызвавшим болезнь гнили в плодах граната и груш оказался плесневый грибок *Aspergillus niger*, принадлежащий роду грибков *Aspergillus*.

По итогам проводящихся опытов наблюдалось долговременное хранение при различных комнатных температурах без потерь своих свойств фруктов и некоторых видов овощей, обработанных фунгицидными препаратами – 0,1%-ный хитозан, приготовленный в 0,1%-ной уксусной кислоте и 0,2%-ный хитозан, приготовленный в 0,2%-ной уксусной кислоте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исина Ж.М. Плодовые гнили дикой яблони и распространение монилиоза по регионам Казахстана // В кн.: Сборник материалов Международной научно-практической конференции «Достижения и проблемы защиты и карантин растений» посвященной 50- летию образования Казахского НИИ защиты и карантин растений. Часть вторая. – Алматы: Рахат. – 2008. – С. 46-49.
2. Пересыпкин В.Ф. Сельскохозяйственная фитопатология.- М.: Агропромиздат. – 1989. – С. 480.
3. Пидопличко Н.М. Грибы- паразиты культурных растений. Определитель I том. – Киев.: Наукова думка. – 1977. – С. 296.
4. Наумов Н.А. Болезни сельскохозяйственных растений (фитопатология).- М.: – Л.: Гос Изд-во колхозной и совхозной литературы. – 1940. – С. 566.

М. Э. Саттаров, доц., канд. биол. наук;
Д. Э. Туракулова, студ.; Г. С. Курбонова, студ.
(ТГТУ, г. Ташкент)

ИЗУЧЕНИЕ ФУНГИЦИДНОЙ АКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ НАНОСТРУКТУРОВАННЫХ СИСТЕМ ХИТОЗАНА *BOMBUX MORI* С ИОНАМИ МЕДИ

Однако биотехнологические способы обработки хитинсодержащего сырья обладают общим недостатком – неполное удаление белка панциря, что может отрицательно сказаться на качестве хитина и, в дальнейшем, хитозана. Кроме того, при выборе ферментного препарата необходим строгий контроль на содержание хитина, поскольку слишком большая активность ферментов этой группы может привести к разрушению хитина [1].

Хитозан представляет собой простейшую модификацию хитина, это аминополисахарид 2-амино-2-дезоксид-β-D-глюкан. Образование его происходит при дезацетилировании хитина – удалении ацетильной группы из положения С 2 в хитине в результате обработки его в жестких условиях раствором щелочи. Появление в каждом элементарном звене макромолекулы свободной аминогруппы придает хитозану свойства полиэлектролита, одним из которых является характерный для растворов полиэлектролитов эффект набухания – аномального повышения вязкости разбавленных растворов при уменьшении концентрации полимера [2].

Аксиально-экваториальное положение ацетамидной и гидроксильной групп в элементарном звене макромолекулы хитина (С₂ и С₃) обуславливает значительную гидролитическую устойчивость ацетамидных групп, в том числе в условиях щелочного гидролиза. Поэтому отщепление ацетамидных групп удастся осуществить лишь в сравнительно жестких условиях – при обработке 40-49%-ым водным раствором NaOH при температуре 110-140°C в течение 4-6 ч. Однако и в этих условиях степень дезацетилирования только 80-90% [3].

Физико-химические и биологические свойства данного полимера и публикуемые результаты клинического применения позволяют рассматривать хитозан и его производные в качестве перспективного сырья для получения лекарственных препаратов с различным фармакотерапевтическим действием.

Хитозан обладает большим количеством водородных связей, которые определяют его способность связывать большое количество органических водорастворимых веществ, в том числе бактериальные токсины, образующиеся в процессе пищеварения в толстом кишечнике.

Известно, что хитозан и его различные модификации обладают биологически активными свойствами по отношению к вирусным

инфекциям, бактериям и фитопатогенными грибам.

Получение металлосодержащих препаратов на основе полимеров, в частности, хитозана является наиболее развивающимся направлением нанохимии. Также хитозановые волокна после обработки водным раствором CuSO_4 проявляют повышенные антимикробные свойства по сравнению со свойствами исходных, необработанных волокон [5].

Фунгицидные свойства растворов ХЗ и его наноструктурированных систем – ХЗ:Cu были определены путем тестирования на рост и развитие фитопатогенных грибов – *Fusarium solani* 169 и *Verticillium dahlie* 57.

Изучение биологически активных свойств растворов ХЗ и его наноструктурированных систем – ХЗ:Cu в отношении широко распространенных фитопатогенов *Fusarium solani* 169 и *Verticillium dahlie* 57 показали, что растворы исследуемых образцов эффективно ингибируют рост и развитие фитопатогенных грибов. Зона ингибирования роста патогенных грибов достигает значительных величин – от 22 до 60 мм, в зависимости от количества испытуемых образцов ХЗ:Cu.

Таким образом, изучена фунгицидная активность некоторых образцов хитозана и его наносистем с ионами меди в отношении фитопатогенных грибов как *Fusarium solani* 169 и *Verticillium dahlie* 57. Установлено, что образцы хитозана *Bombyx mori* и его наноструктурированных систем с медью эффективно ингибируют рост и развитие фитопатогенных грибов. Установлено, что полученные образцы могут быть использованы в профилактике и лечении некоторых грибковых заболеваний растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гришин А.А., Зорина Н.В., Луцкий В.И. Хитин и хитозан: химия, биологическая активность, применение // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2014. – № 1 (6). – С. 29–34.
2. А. с. 1424157. Способ получения хитина и хитозана из панцирьсодержащих отходов крыля Л.Г. Иванова, Ю.П. Машкович, В.В. Фомин (СССР). –1986.
3. Гальбрайт Л.С. Хитин и хитозан: строение, свойства, применение // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7 (№. 1). – С. 51–56.
4. Абдуллин В.Ф., Артёменко С.Е., Овчинникова Г.П. Технология и свойства хитозана из панциря речного рака // Вестник СГТУ. – 2006. – № 4 (16). Вып. 1. – С. 18–24.
5. Саид-Галиев Э.Е., Гамзаде А.И., Григорьев Т.Е., Хохлов А.Р., Бакулева Н.П., и др. Рос. Нанотехнол. – 2011. – №5-6. – С. 94–194.

УДК 579.64.631

М. Э. Саттаров, доц., канд. биол. наук; Д. Э. Туракулова, студ.;
Ш. Ш. Шомахаматов, студ.; Ш. Ж. Фазлиддинов, студ.
(ТГТУ, г. Ташкент)

ПРИГОТОВЛЕНИЕ КОРМОВЫХ ДОБАВОК ДЛЯ ЖИВОТНОВОДСТВА НА ОСНОВЕ СТЕБЛЕЙ ТОПИНАМБУРА

На сегодняшний день в Узбекистане стране осуществляются крупные работы по развитию животноводства. В этом отношении, наряду созданием производительных потомственных скотов, становится актуальным их качественное подкармливание рациональными кормовыми добавками. В решении этой проблемы широко используются экологически чистые продукции, и в том числе, отходы сельского хозяйства; солома, стебли хлопчатника, кукуруза, жмых, шрот и др. Однако, использование этих продуктов не всегда дают желанный результаты. Потому что, при уходе скотов важными являются не только питательность корма, а также их пищевая ценность. Растение топинамбур (*Helianthus tuberosus L.*) тоже входит в категорию растений, которое используют в приготовлении кормов.

Топинамбур в отличие от других культурных растений, очень хорошо культивировать на различных почвах (кроме солончака и солончаковую почву).

Топинамбур является многолетним травянистым растением из семейства сложноцветных (*Asteraceae*). По внешнему виду он похож на подсолнух. Корневой стебель растет из нижних членков и образуют толстый корень и мелкие коренки, они располагаются в основном пахотной части земли.

Клубни топинамбура так же, как и картофельные образуются за счет укрупнения конечной части белой жили, т. к. тем от очень сложно. Глазки клубней не как у картошки, поэтому ягодки-клубни неровные (шероховатые), имеет формы округлые, грушеобразные и удлиненные, кожура желтая, розовая, красная, фиолетовая, белая. Морозоустойчив, являясь кратковременным растением его можно выращивать в северных районах. Топинамбур может выдержать до -6°C на дневной поверхности. Может оживать после замораживания.

Топинамбур требователен к питанию почвы, из 1 тонны почвы использует 3 кг азота, 1,2-1,4 кг фосфора и 4,5 кг калия. Вегетативный период составляет 120-200 дней.

Если топинамбура поливать в вегетативный период 8-10 раз, повышается урожайность. Есть сведения о том, что топинамбур в не-

которых местах выравшивали 10 лет, даже 40 лет. В общих почвах в диком виде даёт высокий урожай.

Широко распространены сорта топинамбура «Фюзо», «Патат», «Киевская», «Белая», «Северо-Кавказская красная», «Дур-дурская», «МОС-650Ю», «Белый-уражайный», «Вадим», «Краснеклубневый», «Интерес», «Файз-барака», «Муъжиза» [1].

В Узбекистане оклиматизированы сорт топинамбура «Файз-барака», и «Муъжиза».

На сегодняшний день подготовка смешанной рациональной кормовой добавки из сухого стебля однолетнего топинамбура становится актуальной темой.

Для скотов кормовая добавка изготавливается из верхней (стебель) и подземной части (тугунаки) растения топинамбура [2].

Стебель топинамбура является сытной пищей для скотов и содержит в составе: протеин (21%), жир и вещества без азота, в этом отношении он превосходит кукурузу. В связи с этим, он является заменяющим сырьём этих продуктов. Кроме вышеперечисленных компонентов, в составе топинамбура присутствует целлюлоза, гемицеллюлоза, частично лигнин, белок, безазотные экстрактивные вещества и другие полезные элементы.

В природе базидиальные грибы развиваются в богатых продуктах целлюлозы и разлагают её на моно-, ди- и олигосахариды, в итоге концентрируют белки до 50-60%.

В наших исследованиях мы посадили на пищевую среду подготовленные из стебля топинамбура – обычные грибы базидиальной вишенки и в результате получили добавки к рациональным кормовым продуктам. По результатам этих опытных работ установлено, что стебли топинамбура освоены грибом, и достигнуто повышение количества белка (38 мг/г) и моносахаридов (12 мг/г).

Этот подготовленный продукт можно добавлять в жмых, шрот, комбикорма и подкармливать скот в животноводстве. В результате можно достигнута экономия пищевой продукции, не снижая их энергетических мощностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орипов Р.О., Халилов Н.Х. Ўсимликшунослик, Ўзбекистон файласуфлари Миллий жамияти нашриёти. Ташк. – 2007. – 273-276 б.

2. Умурзакова З.И., Шарипова Г. Возможности использования топинамбура на техногенно-нарушенных зонах // Тез. докл. Международной научно-практической конференции “Агр. наука: достижения и перспективы”. Ташкент, 1-2 май, 2002. – С. 266-277.

Т. В. Семашко, вед. науч. сотр., канд. биол. наук
(Институт микробиологии НАН Беларуси, г. Минск);
О. С. Горулева, студ. 5 к. биол. факультета
(Белорусский государственный университет, Минск);
Л. А. Жуковская, ст. науч. сотр., канд. биол. наук
(Институт микробиологии НАН Беларуси, г. Минск)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИЦЕЛИАЛЬНЫХ ГРИБОВ ДЛЯ СИНТЕЗА НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА

Нанотехнология – это комплекс методов, позволяющий создавать наноразмерные объекты. Такие объекты имеют размер от 10 до 100 нм. Они обладают особыми свойствами, благодаря которым использование их во многих сферах очень перспективно в настоящее время. Разработки на основе наночастиц (НЧ) уже внедряются в производство лекарств, тканей, электронных приборов, наноматериалов, биосенсоров и т.д. [1, 2].

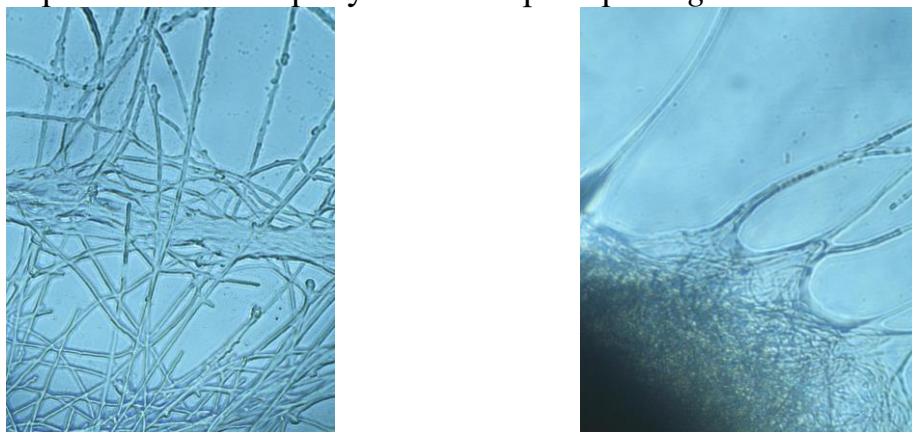
Для получения НЧ серебра используются физические, химические, биологические методы. Преимущество биологических методов заключается в экологичности биовосстановителей, снижении токсичности полученных НЧ и относительно легкой биоразлагаемости использованных материалов [3-5]. Полученные биологическими методами частицы стабильны в течение нескольких месяцев. При их биосинтезе используются природные реагенты, что делает производство безопасным для окружающей среды и человека. НЧ, синтезируемые таким методом, имеют ряд преимуществ: контролируемый размер, высокую стабильность, нетоксичность, безопасность, биологическую совместимость.

Цель работы – провести скрининг мицелиальных грибов по способности синтезировать НЧ серебра.

В ходе эксперимента использовались грибы видов *Fusarium oxysporum*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Penicillium glabrum*, *P. decumbens*, *P. variens*, *P. lilacinum*, *P. canescens*, *P. lanosum*, *P. chrysogenum*, *P. jensenii*.

Грибы выращивали в пробирках в жидкой среде Билай. Для получения НЧ серебра использовали мицелий грибов, к которому добавляли AgNO_3 (0,1 моль/л). За образованием НЧ серебра наблюдали с помощью микроскопа «Nikon ECLIPSE TS100/ TS100-F» (Япония). Оптические свойства полученных НЧ серебра были исследованы спектрофотометрически с помощью спектрофлуориметра «СМ 2203» (Беларусь).

Установлено характерное тёмно-коричневое окрашивание реакционной смеси, которое свидетельствует об образовании НЧ. Показано, что НЧ образовались внутри- или внеклеточно. Внеклеточное формирование НЧ характерно в основном для грибов рода *Fusarium* и у *Penicillium glabrum* БИМ F-155. У грибов рода *Penicillium* и *Phanerochaete* НЧ образовывались внутри мицелия, либо клеточносвязано (*P. lanosum*). Различия между исходным мицелием гриба и мицелием с НЧ серебра показаны на рисунке 1 на примере *P. glabrum* БИМ F-155.



А **Б**
Рисунок 1 - Мицелий *P. glabrum* БИМ F-155 до (А)
и после добавления AgNO_3 (Б)

Спектрофотометрический анализ отделенных от мицелия суспензий показал наличие характерных пиков на 410-440 нм, что указывает на присутствие НЧ серебра. Максимальные показания отмечены в растворах НЧ, синтезируемых *P. glabrum* БИМ F-155 и *F. oxysporum* БИМ F-565 (D поглощения $>0,13$).

Таким образом, выяснено, что к образованию НЧ серебра способны все исследуемые штаммы мицелиальных грибов рода *Fusarium*, *Penicillium* и *Phanerochaete*. УФ-видимые спектры фильтратов грибных культур показали характерное для НЧ серебра поглощение при 410-450 нм. Максимальное количество НЧ по показаниям оптической плотности отмечены в растворах НЧ, синтезируемых *P. glabrum* БИМ F-155 и *F. oxysporum* БИМ F-565.

Работа выполнена в рамках проекта Б19УЗБГ-006, финансируемого ГКНТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. "Зеленые" нанотехнологии: синтез металлических наночастиц с использованием растений / В. В. Макаров [и др.] // Acta Naturae. – 2014. – Т. 6, № 1(20). – С. 37-47.
2. Figovsky, O., Beilin, D. Green nanotechnology / O. Figovsky, D. Beilin – Pan Stanford Publ., 2016. – 559 p.

3. Тюпа, Д. В. Биосорбция тяжелых металлов и биоформирование наночастиц серебра устойчивыми к металлам микроорганизмами : автореф. дис. ... канд. биолог. наук : 03.01.06 / Д. В. Тюпа. – М., 2014. – 20 с.

4. Green Synthesis of Metallic Nanoparticles via Biological Entities / M. Shah [et al.] // Materials. – 2015. – 8. – P. 7278-7308.

5. Synthesis of nanoparticles by microorganisms and their application in enhancing microbiological reaction rates / X. Zhang [et al.] // Chemosphere. – 2011. – 82. – P. 489-494.

УДК 579.22:577.152.1

Т. В. Семашко, вед. науч. сотр., канд. биол. наук;
Л. А. Жуковская, ст. науч. сотр., канд. биол. наук
(Институт микробиологии НАН Беларуси, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЛЮКОЗООКСИДАЗЫ *PENICILLIUM ADAMETZII* С МЕДИАТОРАМИ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

Среди биологически активных веществ микроорганизмов особое место занимают ферменты – регуляторы активности метаболических процессов в клетке. Исследование ферментов, их синтеза, активности и функциональной значимости необходимо для установления контрольных механизмов клеточного метаболизма с целью наиболее эффективного использования биосинтетического аппарата микроорганизмов-продуцентов и создания современных биотехнологий получения и применения продуктов микробиологического синтеза. Ферменты необходимы для заместительной и противовоспалительной терапии, перспективно их использование в качестве промежуточных и вспомогательных средств при получении ряда фармацевтических препаратов. Благодаря высокой чувствительности и специфичности действия, ферменты являются уникальными аналитическими реагентами, применяемыми в клинической диагностике – в ферментных, иммуноферментных анализах, а также в биосенсорах.

Особый интерес для практического использования представляют ферменты класса оксидоредуктаз, такие как глюкозооксидаза.

Глюкозооксидаза (КФ 1.1.3.4) широко используется в пищевой, химической промышленности. Она синтезируется мицелиальными грибами, преимущественно родов *Aspergillus* и *Penicillium*. Это незаменимый фермент в клинической диагностике, позволяющий определить содержание глюкозы в биологических жидкостях. Детекция глю-

kozy в крови – один из самых распространенных методов анализа, назначаемых пациентам [1].

Использование новейших наноматериалов позволяет улучшить каталитические характеристики ферментов, а также технические параметры (чувствительность и селективность) устройств, изготовленных на их основе. Многими научными группами во всем мире разрабатываются подходы к созданию сенсорных элементов с использованием нанотехнологий. На настоящий момент это одно из самых перспективных направлений исследований [2-4].

Цель работы – анализ влияния наночастиц серебра на взаимодействие глюкозооксидазы *Penicillium adametzii* ЛФ F-2044.1 с медиаторами различной природы (далее *P. adametzii*).

Объектом исследования был ферментный препарат глюкозооксидазы гриба *P. adametzii*. Для его получения гриб выращивали на жидкой питательной среде оптимизированного состава. Очистку фермента осуществляли методом ионообменной хроматографии на колонке при использовании в качестве сорбента DEAE-ceramic (Германия). В результате очистки получен препарат глюкозооксидазы с удельной активностью 96 ед/мг. В качестве медиаторов глюкозооксидазы использовали $C_{10}H_{10}Fe$, $C_{16}H_{18}N_2SO_4$, $C_{15}H_{17}ClN_4$, $C_{16}H_{18}ClN_3S$. Размер используемых в опытах наночастиц серебра составлял 6-12 нм.

Результаты зависимости кинетических параметров взаимодействия фермента с избранными медиаторами приведены в таблице.

Таблица - Влияние медиаторов и наночастиц серебра на активность глюкозооксидазы

Медиатор	Кинетические параметры	Кинетические параметры	
		без наночастиц	с добавлением наночастиц серебра
1	2	3	4
$C_{10}H_{10}Fe$	$V_{max}, 10^{-6} M/c$	17,2	16,2
	K_m, mM	21,7	19,1
	k_{kat}, c^{-1}	1433,3	1349,9
	$k_{kat}/K_m, M^{-1}c^{-1}$	66052,2	70677,8
$C_{16}H_{18}N_2SO_4$	$V_{max}, 10^{-6} M/c$	14,5	12,3
	K_m, mM	10,5	7,5
	k_{kat}, c^{-1}	1115,4	1025,0
	$k_{kat}/K_m, M^{-1}c^{-1}$	106227,1	136661,2
$C_{15}H_{17}ClN_4$	$V_{max}, 10^{-6} M/c$	11,6	9,4
	K_m, mM	12,8	8,1
	k_{kat}, c^{-1}	1160,0	783,3
	$k_{kat}/K_m, M^{-1}c^{-1}$	90625,0	96704,0

Продолжение таблицы

1	2	3	4
C ₁₆ H ₁₈ ClN ₃ S	V _{max} , 10 ⁻⁶ М/с	13,6	10,1
	K _m , мМ	12,7	8,1
	k kat, с ⁻¹	1133,3	841,6
	k kat/K _m , М ⁻¹ с ⁻¹	89238,8	103905,3
Контроль	V _{max} , 10 ⁻⁶ М/с	15,6	11,0
	K _m , мМ	14,6	9,1
	k kat, с ⁻¹	1300,0	916,6
	k kat/K _m , М ⁻¹ с ⁻¹	89041,1	100728,6

Установлено, что при использовании наночастиц серебра максимальная скорость окисления (V_{max}) глюкозы уменьшалась на 6-29 %. Показатели сродства фермента к субстрату (K_m) и эффективности окисления глюкозы (k kat/K_m) возрастали на 12-38 и 7-29 % соответственно. Лучшие результаты по эффективности окисления глюкозы (106227,1 М⁻¹с⁻¹ и 136661,2 М⁻¹с⁻¹) получены при использовании в качестве медиатора C₁₆H₁₈N₂SO₄.

Таким образом, проведен анализ влияния наночастиц серебра на глюкозооксидазу *P. adametzii* и ее взаимодействие с медиаторами. Наиболее эффективным по степени окисления глюкозы является C₁₆H₁₈N₂SO₄. Показано, что наночастицы серебра снижают V_{max}, но увеличивают K_m и k kat/K_m.

Работа выполнена в рамках проекта Б19УЗБГ-006, финансируемого ГКНТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Glucose oxidase – an overview / S.B. Bankar [et al.] // Biotechnol. Adv. – 2009. – Vol. 27. – P. 489–501.
2. A review on functionalized gold nanoparticles for biosensing applications / S. Zeng [et al] // Plasmonics. – 2011. – Vol. 6. – P. 491–506.
3. Weiss, P.S. Nanoscience and nanotechnology: present and future / P.S.Weiss // ACS Nano. – 2010. – Vol. 4, N. 4. – P. 1771–1772.
4. Preparation of silver nanoparticles by pulse sonoelectrochemical method and studying their characteristics / L.V. Vu [et al.] // J. Phys. Conf. Ser. – 2009. – Vol. 187. – P. 1–9.

В. В. Щур, мл. науч.сотр.; Ю. П. Буренкова, мл. науч. сотр.;
А. В. Янцевич, канд. хим. наук, зав. лаб.
(ИБОХ НАН Беларуси, г. Минск)

ТЕМПЕРАТУРНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ 5'-ДИМЕТОКСИТРИТИЛИРОВАННЫХ ОЛИГОНУКЛЕОТИДОВ

Модификация 5'-ОН группы нуклеиновых кислот заместителями с различными физико-химическими свойствами имеет важное значение для молекулярной биологии. Интересным представляется исследование симметричного и ассиметричного замещения 5'-гидроксила синтетической двуцепочечной ДНК (дцДНК) 4,4'-диметокситритильной (ДМТ) группой [1]. Синтетическую дцДНК получают из множества частично перекрывающихся олигонуклеотидов путем их объединения и достраивания промежутков методом полимеразной цепной реакции (ПЦР).

ДМТ-группа – объемный, гидрофобный заместитель, который гипотетически может препятствовать ферментативным реакциям с участием 5'-конца дцДНК (например, лигированию) [1]. ДМТ-группа может быть введена в 5'-положение олигонуклеотида на этапе его автоматизированного фосфорамидитного синтеза и сохранена в процессе его очистки методом твердофазной экстракции на обращенно-фазовом сорбенте [1].

Симметричное замещение 5'-ОН конца дцДНК может значительно снизить временные и материальные затраты на таком этапе процесса получения синтетического гена, встроенного в плазмидный вектор, как скрининг трансформантов [1]. Это достижимо путем селективного лигирования дцДНК без 5'-ДМТ-заместителей в вектор по сравнению с побочными укороченными продуктами сборки, имеющими на своих 5'-концах ДМТ-группы [1].

Чтобы исследовать данную область применения 5'-ДМТ дцДНК необходимо выяснить, стабилен ли синтетический 5'-ДМТ олигонуклеотид в условиях ПЦР [1].

В данной работе в качестве модельного использован 5'-ДМТ дТ₁₅ олигонуклеотид [1]. В эксперименте (Рис. 1) в простейшем случае ПЦР-цикл моделировали, как нагревание при 98°C, а в более сложном случае использовали ПЦР-цикл, рекомендованный для DreamTaq ДНК полимеразы [1].

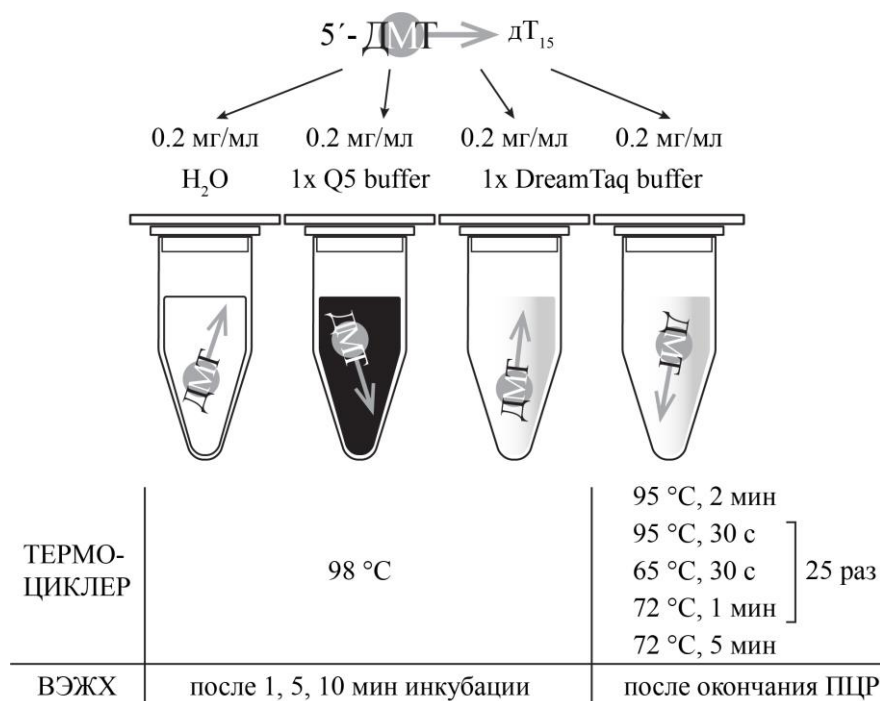
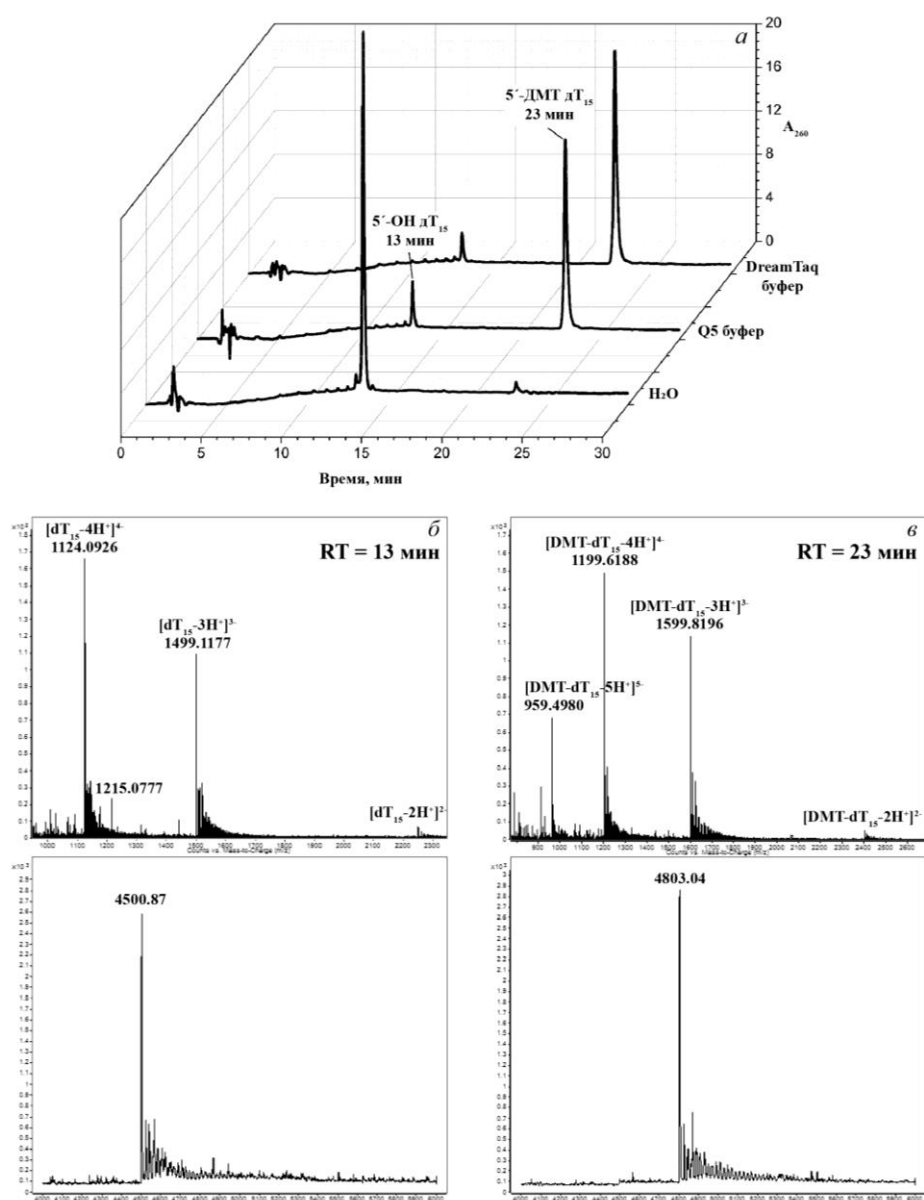


Рисунок 1 – Схема эксперимента [1]

На рисунке 2 (а) приведены хроматограммы растворов дТ₁₅ после нагревания в течение 5 мин при 98 °C [1]. Элюция 5'-ДМТ дТ₁₅ происходит на 23 минуте, а менее гидрофобного детритилированного 5'-ОН дТ₁₅ – на 13 минуте [1]. На рисунке 2 (б) отображены масс-спектры хроматографических пиков с указанными временами удерживания [1]. Данные для остальных времен инкубации при 98 °C, а также для ПЦР-цикла свидетельствуют о том, что в деионизированной воде более 90% олигонуклеотида теряет защитную группу уже в течение 5 мин нагревания при 98 °C [1]. Буферы для ДНК полимераз стабилизируют ДМТ-группу олигонуклеотида [1]. Так около 84% ДМТ-олигонуклеотида сохраняется в 1-кратном буфере DreamTaq ДНК полимеразы даже при нагревании до 98 °C в течение 15 минут, в буфере для Q5 ДНК полимеразы в том же температурно-временном режиме сохраняется около 72% ДМТ-олигонуклеотида, что можно объяснить присутствием в буфере β-меркаптоэтанола [1]. Сильный нуклеофил (атом серы в составе тиола) может быть эффективным акцептором ДМТ-катиона, что будет приводить к смещению равновесия в сторону реакции детритилирования [1].

Таким образом, методом ВЭЖХ с УФ (260 нм) и МС детекцией мы показали, что 5'-ДМТ-группа стабильна в составе синтетического олигонуклеотида дТ₁₅ в условиях ПЦР, однако присутствие тиольных соединений в буфере может снижать выход 5'-ДМТ-дцДНК [1].



а – Хроматограммы (ВЭЖХ-УФ). б – Масс-спектры хроматографических пиков (времена удерживания 13 и 23 мин) до (выше) и после (ниже) деконволюции [1]

Рисунок 2 – Детритилирование 5'-ДМТ-дТ₁₅ олигонуклеотида в воде и буферных растворах

Мы планируем дальнейшее изучение влияния 5'-ДМТ-группы в составе синтетической дцДНК на функционирование различных ферментов, взаимодействующих с 5'-концом одноцепочечных и двуцепочечных ДНК.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стабильность 5'-диметокситритильной защитной группы синтетического олигонуклеотида в условиях полимеразной цепной реакции / В.В. Щур [и др.] // Весці НАН Беларусі. Сер. хім. нав. 2020. Т. 56, № 4. С. 457–464.

UDK 581.582.232/275

N.Sh. Eshmurodova, assistant professor, candidate of biological sciences;
G.I. Amanova, PhD; M.Zh. Toshtemirova, assistant
(TSTU, s. Tashkent)

THE INFLUENCE OF LONG-TERM CHANGES IN THE SALINITY OF THE ARAL SEA ON THE DYNAMICS OF MICRO-AND MACROALGAE

The article provides a brief bibliographic review of literature on studies of Aral macrophytes and data on changes in the distribution and productivity of species of higher aquatic vegetation and macroalgae found in aquatic phytocenoses of the Aral Sea during different periods of salinization from the end of the 19th to the beginning of the 21st century.

From the beginning of research to the middle of the last century, the Aral Sea was a relatively shallow, well-heated, oligotrophic, weakly brackish water body with a very high transparency of water, with numerous shallow-water and saline bays. Salinity in the central regions was 10–12 ‰, in open shallow water ranged from 5 to 10 ‰, in the bays adjacent to the deltas of the Syr Darya and Amudarya rivers, it did not exceed 5 ‰, but in some bays of the southeastern coast it was higher than 30 ‰ [1-3]. At the beginning of studies in the main water area, extreme uniformity of vegetation and the poverty of the flora of aquatic and coastal aquatic plants were noted [1]. Only 2 species and 2 plant communities dominated everywhere.

Changes in salinity led to changes in the composition of aquatic vegetation communities, which were traced from literature data, herbarium materials, and the author's observations.

The first herbarium specimens from the Aral were collected by A.N. Butakov in 1849 (herbarium of the BIN RAS, LE), and then I.G. Borshchov during the first Aral-Caspian expeditions of St. Petersburg Academy of Sciences and the Society of Naturalists in 1858 and 1874. [1-5]. All known historical, physical-geographical, as well as zoological and botanical data on the Aral Sea were summarized at the beginning of the last century by Acad. L.S. Berg (1908). The following information on the distribution and productivity of macrophyte communities was obtained during hydrobiological and ichthyological studies carried out in different years on the Aral Sea.

When compiling the list, herbarium materials stored in the herbarium and in the laboratory of algology of the Botanical Institute of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, the author's own collections and data from publications by geobotanists, zoologists, and hydrobiologists were used.

Data are analyzed only for aquatic phytocenoses, i.e. most closely related to and dependent on the aquatic environment, therefore, the list below includes only species found in communities of formation classes of submerged hydrophytic vegetation - *Aquiphytosa immersa* (higher plants and macroalgae) and air-aquatic helophytic vegetation - *Aquiherbosa helophyta*, found in the very Aral. Communities of coastal-aquatic vegetation and vegetation of the deltas of the Amu-Darya and Syr-Darya rivers are not considered in this paper, since they are less dependent on changes in water salinity in the Aral Sea.

In the period from 1849 to 2005, various authors identified 30 species of macrophytes in the water communities of the Aral Sea, including 24 species of flowering plants (17 hydrophytes, 7 helophytes) and 6 species of char algae [1-5].

Of the macroscopic filamentous algae widespread in the Aral Sea, they are most noticeable in the communities *Cladophora glomerata* (L.) Kütz., *Cl.fracta* (OF Müller ex Vahl) Kütz., *Chaetomorpha linum* (OF Müller) Kütz., *Enteromorpha prolifera* Ag., *Vaucheria d. L.*) Martius.

From the beginning of the 60s to the end of the 90s of the XX century. sea level fell by almost 23 m, the area of the mirror decreased by 2 times, the average depth decreased by 2.5 times, salinity increased by more than 8 times, the transparency of water and its saturation with oxygen decreased significantly. Such catastrophic changes caused the death of most biocenoses. Based on the literature, the following is a reconstruction of the changes. Freshwater and freshwater-brackish complexes of submerged higher aquatic plants were not the first to withstand.

New rapidly saline, shallow-water biotopes were quickly overgrown with halophilous annuals *Zanichellia spp.*, *Ruppia spp.* And haricot alga *Lamprothamnium papulosum*. With an increase in salinity above 25–26 ‰, the thickets of these species also disappeared [3;4].

By the end of the 80s, only the species of *Ruppia* and the *Cladophore* remained, since they are able to tolerate high salinity. The generalized ranges of salinity tolerance of some species of higher plants and macroalgae dominant in the Aral Sea.

As in BM, the role of microphytobenthos increased here, and macroalgae *Chaetomorpha linum*, *Cladophora glomerata*, *Cl.fracta* took precedence in the production of macrophytobenthos. Macrophyte communities were formed by 4 species of flowering plants (*Phragmites australis*, *Ruppia cirrhosa*, *R. maritima*, *Zostera noltii*) and 2 species of char algae - *Lamprothamnium papulosum* and *Chara aculeolata*.

Until the middle of the last century, the Aral Sea was a macrophytic type oligotrophic reservoir. The share of macrophytes in primary

production exceeded 50%. Unfortunately, few studies of the productivity of phytoplankton and microphytobenthos communities have been performed, but the proportion of phytoplankton was estimated to be about 10%, and microphytobenthos accounted for about 4 times more.

In shallow water, the initial period of salinization was characterized by the fragmentation of several existing biocenoses that were homogeneous in composition and occupy vast areas into a larger number of new ones, small in area and more diverse in species composition. The leading role in submerged macrophytobenthos was occupied by char and green macroalgae.

In the period from the 60s to the 80s, the death of most plant communities occurred, which entailed the eutrophication of the reservoir and a strong decrease in water transparency.

Currently, the Eastern Aral Sea has split into several hyperhaline reservoirs, and the Northern Aral Sea has turned into a brackish-water β -mesosaprobic water body with a predominance of microphytobenthos and phytoplankton production over macrophytobenthos production.

REFERENCES

1. Alenitsyn V.D. 1874. Preliminary report on studies in the Aral Sea in the summer. Proceedings of St. Petersburg Society of Naturalists. – №5 (2). – P. 122–131.
2. Bening A.L. 1935. Materials for the compilation of a fishing map of the Aral Sea (hydrology, plankton and benthos of the Small Sea). Proceedings of the Aral branch of VNIRO. – № 4. – P. 137–220.
3. Berwald E.A. 1964. Ways of organizing rational fisheries in inland waters (Aral Sea and Manych Reservoirs) - Rostov-on-Don: Publishing House of the Rostov University. – 148 p.
4. Berg L.S. 1908. Aral Sea. The experience of a physical and geographical monograph. News of the Turkestan branch of the Russian Geographical Society. 5. St. Petersburg, 580 p.
5. Gollerbach M.M. 1950. A systematic list of char algae discovered within the USSR until 1935 inclusive. Proceedings of the Botanical Institute of the Academy of Sciences of the USSR. – №2 (5). – P. 20–94.

УДК 543.862:535.372

В. Н. Леонтьев, зав. каф. биотехнологии, канд. хим. наук;

Н. А. Коваленко, доц., канд. хим. наук;

О. И. Лазовская, вед. инж.;

Г. Н. Супиченко, ст. преп., канд. хим. наук

(БГТУ, г. Минск)

СПЕКТРОФЛУОРИМЕТРИЧЕСКАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИПЕРИЦИНА В ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВАХ

По литературным данным для количественного определения гиперицина в растительном сырье, биологически активных добавках и лекарственных препаратах наиболее часто используют хроматографические (высокоэффективная жидкостная хроматография) и спектрофотометрические методы анализа. Однако использование методов высокоэффективной жидкостной хроматографии требует дорогостоящего оборудования, особо чистых реагентов и квалифицированного персонала для проведения сложной пробоподготовки и анализа, что ограничивает массовое применение хроматографических методик для анализа гиперицина и его производных. Спектрофотометрические методики количественного определения гиперицина являются наиболее простыми и недорогими, однако они обладают недостаточной чувствительностью и селективностью, что обусловлено вкладом других компонентов растительного сырья в аналитический сигнал в исследуемом диапазоне длин волн. Вместе с тем гиперицин и его производные обладают достаточно интенсивной собственной флуоресценцией, поэтому использование в качестве аналитического сигнала интенсивности испускания гиперицинсодержащих растворов представляет научный и практический интерес.

Цель настоящего исследования – разработка сравнительно дешевой, простой в исполнении спектрофлуориметрической методики определения гиперицина, обладающей более высокой чувствительностью по сравнению с традиционно используемыми спектрофотометрическими методами.

В рамках поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

– оптимизировать условия спектрофлуориметрического определения гиперицина (длину волны возбуждения и длину волны испускания);

– установить область линейной зависимости интенсивности флуоресценции от концентрации;

– провести апробацию разработанной методики на настойке для внутреннего применения «Диагиперон» (НПУП «Диалек»).

Исследования проведены на модельных растворах, полученных путем последовательного разбавления раствора стандартного образца гиперидина с концентрацией $1,8 \cdot 10^{-6}$ моль/л. Спектральные измерения выполнены в кварцевой кювете толщиной 1 см на спектрофлуориметре Solar CM 2203 (Solar, Беларусь) при температуре кюветного отсека 25°C . Щели монохроматоров возбуждения и испускания составляли 2 нм, шаг сканирования – 0,5 нм.

На основании анализа электронных спектров поглощения, спектров возбуждения и испускания метанольных растворов стандартного образца гиперидина выбраны следующие условия спектрофлуориметрического анализа: длина волны возбуждения – 470 нм, длина волны испускания – 593 нм. Выбор длины волны возбуждения 470 нм обусловлен тем, что по литературным данным облучение гиперидина в диапазоне 530–550 нм может приводить к образованию синглетного кислорода, способного разрушать молекулы гиперидина.

Для построения калибровочного графика (рис.) использовали серию стандартных растворов гиперидина с концентрациями $(0,2-9,0) \cdot 10^{-7}$ моль/л, полученных путем последовательного разбавления метанольного раствора стандартного образца с концентрацией $1,8 \cdot 10^{-6}$ моль/л.

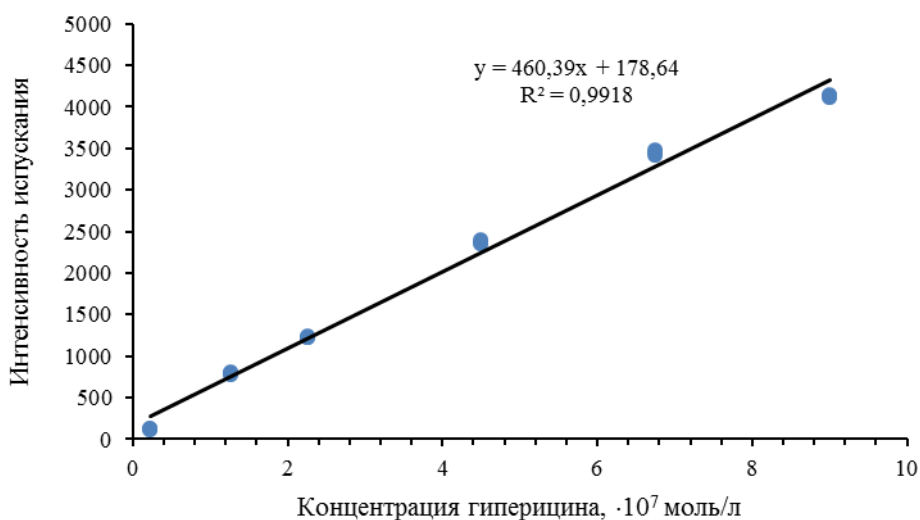


Рисунок – Зависимость интенсивности флуоресценции метанольных растворов гиперидина от его концентрации ($\lambda_{\text{возб}} = 470$ нм, $\lambda_{\text{исп}} = 593$ нм)

Как видно из рисунка, коэффициент корреляции составляет 0,9918, т.е. совокупность анализируемых данных описывается прямой линией.

Апробацию методики спектрофлуориметрического определения гиперидина проводили на настойке «Диагиперон». По инструкции к препарату регламентируемое содержание гиперидина в настойке должно составлять не менее 0,075 мг/мл.

Испытуемый раствор настойки «Диагиперон» готовили следующим образом. Из 10,0 мл настойки удаляли растворитель на роторном испарителе при 39°C. Сухой остаток растворяли в 10 мл метанола, помещали в мерную колбу вместимостью 25,0 мл и доводили объем метанолом до метки. 5,0 мл полученной смеси фильтровали через мембранный фильтр, отбросив первые 2 мл. Аликвоту фильтрата объемом 1,0 мл помещали в мерную колбу вместимостью 25,0 мл, доводили объем метанолом до метки и перемешивали. Полученный метанольный раствор разбавляли в 125 раз и измеряли интенсивность флуоресценции при $\lambda_{исп} = 593$ нм. Значение интенсивности флуоресценции равно 791,93 отн. ед., что с учетом разбавлений соответствует содержанию гиперидина в настойке 0,16 мг/мл (т.е. $2,89 \cdot 10^{-4}$ моль/л).

Для подтверждения полученных данных количественное определение гиперидина в настойке «Диагиперон» провели методом двух добавок. В таблице приведены значения интенсивности флуоресценции метанольных растворов в зависимости от концентрации добавленного стандартного раствора.

Таблица – Интенсивность флуоресценции растворов настойки «Диагиперон» в зависимости от концентрации стандартной добавки

Образец	$C_{доб} \cdot 10^6$, моль/л	$I_{фл}$
1	0	58,2738
2	0,28854	87,4811
3	0,4122	101,5424

Зависимость носит прямолинейный характер и имеет вид: $I_{фл} = 104,31C_{доб} + 58,069$. Коэффициент корреляции $R^2 = 0,9992$.

Содержание гиперидина в анализируемом растворе по методу двух добавок равно $0,56 \cdot 10^{-6}$ моль/л, что в пересчете на настойку «Диагиперон» с учетом всех разбавлений составляет 0,15 мг/мл.

Таким образом, результаты спектрофлуориметрического определения гиперидина в настойке «Диагиперон» методом калибровочного графика и методом двух добавок практически совпадают и соответствуют регламентируемым значениям содержания гиперидина.

ОЦЕНКА АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТИ ЭКСТРАКТОВ МОРОШКИ ПРИЗЕМИСТОЙ (*RUBUS CHAMAEMORUS L.*)

Поиск новых средств, обладающих антимикробной активностью является актуальной задачей фармацевтической и пищевой промышленности.

Одним из направлений применения растительного сырья, обладающей высокой антимикробной активностью, является его использование в медицинских целях, в качестве альтернативы синтетическим антибиотикам и бактериостатическим препаратам.

В пищевой и фармацевтической промышленности активно используются антимикробные консерванты, для предотвращения размножения микроорганизмов или ограничения микробной загрязненности лекарственного препарата в процессе хранения и применения, особенно в случае использования многодозовых упаковок.

В растительном сырье источниками веществ, обладающих антимикробной активностью, являются плоды и листья. Антимикробная активность обеспечивается в основном за счёт наличия фенольных соединений. Так же ягоды многих растений содержат органические кислоты, которые стимулируют клеточное дыхание и рост кишечной микробиоты, ответственной за иммунитет [1].

Морошка (*Rubus chamaemorus L.*) – многолетнее травянистое растение, относится к семейству розоцветных. Согласно литературным данным растительное сырье морошки обладает антимикробной активностью против золотистого стафилококка *Staphylococcus Aureus*, дрожжеподобных грибков рода *Candida albicans*, а также ингибируют рост патогенных грамотрицательных бактерий кишечной палочки *Escherichia coli*. Антимикробную активность проявляют такие соединения, как касуариктин (потентиллин), сангуинин, бензойная кислота, эллаговая кислота [2].

Антимикробную активность морошки приземистой исследовали на пяти видах микроорганизмов: *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, а также *Candida albicans*. Антибактериальную активность определяли с использованием метода диффузии в агар [3]. Для сравнения, диффузию в агар осуществляли двумя способами: методом «лунок» и диско-диффузионным методом.

В качестве объектов исследования использовали экстракт ягод и экстракт листьев, контроль – спирт этиловый 70 %. Экстракцию проводили при температуре 60 °С в течение 40 минут, соотношение сырье : экстрагент 1 : 50, концентрация этанола 70%. Учет результатов проводили по наличию или отсутствию роста бактерий вокруг лунок, путем измерения диаметра зоны вокруг лунки в миллиметрах.

Оценку антибактериальных свойств, осуществляли по величине зоны задержки и ингибирования роста микроорганизмов. Отсутствие зоны задержки роста микроорганизмов вокруг лунки, а также диаметры зон задержки роста до 10 мм указывают на то, что микроорганизмы не чувствительны к внесенному в лунку образцу или его концентрации. Зоны задержки диаметром 10–15 мм указывают на малую чувствительность культуры. Зоны задержки роста диаметром 15–25 мм расцениваются, как показатель чувствительности микроорганизма к концентрации испытываемого средства. Зоны задержки роста, диаметром больше 25 мм, свидетельствует о высокой чувствительности микроорганизмов к изучаемым образцам [4].

Результаты эксперименты показаны в таблице.

Таблица – Антимикробная активность морошки приземистой

Название культуры	Образец	Зона задержки роста методом «лунок», мм	Зона задержки роста в диско-диффузионном методе, мм
<i>Escherichia coli</i>	1	8	10
	2	8	10
	3	12	12
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1	8	11
	2	8	11
	3	8	11
<i>Bacillus subtilis</i>	1	8	10
	2	8	11
	3	16	15
<i>Staphylococcus aureus</i>	1	8	10
	2	9	10
	3	17	16
<i>Candida albicans</i>	1	8	12
	2	8	10
	3	21	17

Примечание: 1 – спирт этиловый 70% (контроль); 2 – экстракт ягод; 3 – экстракт листьев.

Результаты эксперимента показали, что *Escherichia coli* и *Pseudomonas aeruginosa* обладают малой чувствительностью к экстрактам листьев и плодов морошки приземистой, а *Bacillus subtilis*,

Staphylococcus aureus и *Candida albicans* чувствительны к экстрактам листьев морошки приземистой. Следовательно, можно сделать вывод, что листья морошки приземистой обладают антимикробной активностью по отношению к аэробным грамположительным спорообразующим палочкам *Bacillus subtilis* и факультативно-анаэробным грамположительным коккам *Staphylococcus aureus*, а также дрожжевым грибам *Candida albicans*.

Полученные данные коррелируют с ранее полученными результатами по количественному определению фенольных соединений в листьях и ягодах морошки [5]. Установлено, что в листьях большее содержание фенольных соединений на грамм сухого сырья, что и является определяющим для антимикробной активности. Таким образом, листья морошки приземистой, при комплексной переработке можно использовать для получения экстрактов с антимикробной активностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жилкина В. Ю., Сачивкина Н. П. Изучение антимикробной и антимикотической активности витаминных сборов и препаратов на их основе // Современные проблемы науки и образования. Москва: Академия Естествознания, 2017. № 5.
2. Thiem H. V., Goslin O. Antimicrobial activity of *Rubus chamaemorus* leaves. *Fitoterapia*, 2004, no. 75, pp. 93–95. DOI: 10.1111/j.1749-6632.2002.tb02905.x
3. Государственная фармакопея Республики Беларусь. В 2 т. Т. 1. Общие методы контроля качества лекарственных средств / Центр экспертиз и испытания в здравоохранении; под общ. ред. А. А. Шерякова. Молодечно: Победа, 2012. 1220 с.
4. Валиева Л. А. Количественная оценка противомикробной активности новых лекарственных настоев и экстрактов. Уфа: БГМУ, 2016.
5. Страх Я. Л., Игнатовец О. С. Изучение содержания фенольных соединений и флавоноидов различных популяций морошки приземистой *Rubus chamaemorus* L. // Вестник фонда фундаментальных исследований. Минск, 2020. № 4. С. 69–78.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОАНТОЦИАНИДИНОВ В НАДЗЕМНЫХ ЧАСТЯХ МОРОШКИ ПРИЗЕМИСТОЙ (*RUBUS CHAMAEMORUS L.*) РАЗЛИЧНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ

Полифенольные соединения – широкая группа природных веществ, которые имеют обширный и разнообразный спектр биологической активности [1]. Олигомерные проантоцианидины – представители растительных полифенольных соединений. Они представляют собой полимерные флаван-3-олы, которые имеют C₆-C₃-C₆-флавоноидный скелет. Проантоцианидины существуют в виде растворимых в воде олигомеров, содержащих от 2 до 6 катехиновых единиц, а также в виде нерастворимых в воде полимеров со степенью полимеризации от 7 и выше, которые представляют собой основную (80 %) часть проантоцианидиновых комплексов [2].

Растительное сырье, богатое проантоцианидинами, представляет большой интерес для современной фармацевтической промышленности, так как данная группа биологически активных веществ обладает широким спектром фармакологической активности: антиоксидантной, противовоспалительной, цитопротекторной, антиаритмической и гипотензивной и т. д. [3]. Причем, если ягодное сырье морошки давно нашло себе применение в пищевой промышленности, то остальная растительная масса требует изучения, как возможного источника БАВ.

В качестве объекта исследования использовали листовые пластинки и черешки морошки заказника «Лонно», нацпарка «Нарочанский», заказника «Болото Великий Мох».

Морошка приземистая (*Rubus chamaemorus L.*) – двудомное цветковое растение семейства розовых (*Rosaceae*). Является хозяйственно-полезным реликтовым поликарпическим растением. На территории Республики Беларусь проходит южная граница ареала обитания *Rubus chamaemorus L.*, где данный вид является редким.

Экстракт получали методом трехкратной дробной экстракции, который отмечается наиболее полным выходом веществ фенольной природы. Методика описана нами ранее в [4]. Сухой экстракт растворяли в 20 мл 70 % этилового спирта.

Для количественного определения проантоцианидинов [5] к 5 мл исходных экстрактов добавляли 15 мл концентрированной кислоты хлористоводородной и 10 мл воды, колбу и кипятили на водяной

бане в течение 80 минут. Содержимое колбы охлаждали, фильтровали в мерную колбу вместимостью 100 мл и доводили объем колбы до метки 70 % этиловым спиртом. 50 мл полученного гидролизата упаривали до объема около 5 мл и помещали в делительную воронку, добавляли 15 мл воды и экстрагировали н-бутанолом (3 раза × 15 мл). Бутанольные извлечения объединяли в мерной колбе вместимостью 100 мл и доводили объем колбы до метки н-бутанолом. Оптическую плотность раствора измеряли при длине волны 545 нм в кювете с толщиной слоя 10 мм. Эксперимент проводили в трехкратной повторности. Содержание проантоцианидинов (X, мг/мл) определяли в соответствии с методикой [5], результаты приведены в таблице.

Таблица - Содержание проантоцианидинов в экстрактах морошки

№ образца	Место сбора	Объект исследования	Содержание проантоцианидинов, мг/мл
1	РБ, заказник «Лонно», Полоцкий р-н, Витебская обл.	Листовые пластинки	30,34±0,58
2	РБ, нацпарк «Нарочанский», Мядельский р-н, Минская обл.	Листовые пластинки	108,32±2,63
3	РБ, заказник «Болото Великий Мох», Миорский р-н, Витебская обл.	Листовые пластинки	94,40±1,88
4	РБ, заказник «Лонно», Полоцкий р-н, Витебская обл.	Черешки	6,53±0,15
5	РБ, нацпарк «Нарочанский», Мядельский р-н, Минская обл.	Черешки	48,11±1,02
6	РБ, заказник «Болото Великий Мох», Миорский р-н, Витебская обл.	Черешки	52,37±1,01

Проантоцианидины обладают сильными окислительно-восстановительными свойствами и в клетках являются ингибиторами целого ряда ключевых ферментов метаболических каскадов капиллярного эндотелия и внесосудистого матрикса [2]. Поэтому, как видно из таблицы, в листьях морошки их содержание выше чем в черешках. Отмечено высокое содержание проантоцианидинов у растений морошки парка «Нарочанский» (южная граница ареала), что связано с геоклиматическими условиями, не оптимальными для данного вида.

По результатам исследований можно сделать вывод, что при комплексной переработке листьев морошки произрастающие на терри-

тории нацпарка «Нарочанский» можно использовать для выделения комплексов проантоцианидинов с различным спектром биологической активности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bagchi D., Bagchi M., Stohs S. J., Das D. K., Ray S. D., Kuszynski C. A., Joshi S. S., Pruess H. G. Free radicals and grape seed proanthocyanidin extract: importance in human health and disease prevention. *Toxicology* 2000. Vol. 148(2–3), P. 187–197.

2. Haslam E. Natural polyphenols (vegetable tannins) as drugs: possible modes of action. *J. Nat. Prod* 1996. Vol. 59(2), P. 205–215.

3. Спрыгин В. Г., Кушнерова Н. Ф. Метод оценки и стандартизации олигомерных проантоцианидиновых комплексов, полученных из различных видов растительного сырья. *Хим.-фарм. журнал* 2002. Т. 36(3), С. 31–35.

4. Страх Я. Л., Игнатовец О. С. Изучение содержания фенольных соединений и флавоноидов различных популяций морошки приземистой *Rubus chamaemorus* L. // Вестник фонда фундаментальных исследований. Минск, 2020. № 4. С. 69–78.

5. Мальцева Е. М., Егорова Н. О., Егорова И. Н., Мухамадияров Р. А. Антиоксидантная и антирадикальная активность *in vitro* экстрактов травы *Sanguisorba officinalis* L., собранной в различные фазы развития // Медицина в Кузбассе. 2017. Т. 16, № 2. С. 32–38.

УДК 628.355

С. О. Лукашевич, маг.; О. В. Нестер, инж.;
Р. М. Маркевич, канд. хим. наук, доц.
(БГТУ, г. Минск)

УДАЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ПИВОВАРЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ГРАНУЛИРОВАННЫМ АКТИВНЫМ ИЛОМ

Сточные воды процесса пивоварения содержат главным образом органические загрязнения в высоких концентрациях. Для очистки таких сточных вод, как правило, успешно применяется анаэробная очистка. Несмотря на то, что использование анаэробных процессов позволяет промышленности обеспечивать эффективную и экономичную очистку сточных вод, все же существуют проблемы, связанные с неполным удалением соединений азота и фосфора, а очищенные сточные воды содержат остаточные загрязнения, которые требуют дополнительного удаления перед сбросом в окружающую среду. В таких

случаях целесообразно использовать комбинацию анаэробных и аэробных процессов [1].

Среди различных методов аэробной очистки использование аэробного гранулированного ила считается многообещающей и конкурентоспособной технологией. В течение последнего десятилетия доказана осуществимость данной технологии по отношению к очистке разнообразных промышленных сточных вод из-за малой занимаемой площади применяемого оборудования и высокой эффективности удаления питательных веществ [2]. Различные исследования показали, что аэробный гранулированный ил может успешно культивироваться на подпитке из сточных вод пивного производства и активно удалять соединения углерода и азота [2,3,4].

Гранулированный активный ил имеет хорошие седиментационные характеристики; наличие аэробной и анаэробной зон в грануле обеспечивает одновременное протекание в объеме одного биореактора различных биологических процессов; в гранулированном иле сконцентрировано большое количество микроорганизмов, и он способен выдерживать ударную нагрузку по загрязнениям и токсикантам; образование избыточной биомассы минимальное [5].

Целью работы являлось изучение процессов удаления соединений азота при использовании гранулированного активного ила. В качестве объекта исследования применялись модельные сточные воды пивного производства (на основе солодовой вытяжки), приближенные по составу к реальным. Гранулы активного ила получены в лабораторных условиях путем инкубирования флокулированного активного ила при чередовании высокой нагрузки и периода голодания.

В образцы сточных вод объемом 100 см³ добавляли по 1,4 г гранул активного ила и инкубировали в шейкере-инкубаторе в условиях аэрации при рабочей частоте 140 мин⁻¹. Установленная нагрузка на ил по органическим веществам составила 0,79 г ХПК на 1 г влажного активного ила. Параллельно инкубировалось два образца.

Через каждый час инкубирования отбирали пробы, в которых после фильтрования определяли ХПК и содержание азота аммонийного с реактивом Несслера (отслеживался процесс аммонификации). После замедления процесса снижения ХПК, начали фиксировать нитрификацию по изменению содержания азота нитратного. Показатель определялся в фильтрованных пробах каждый час колориметрическим методом с салициловой кислотой.

После накопления нитратов проводился процесс денитрификации. Для обеспечения аноксидных условий иловая смесь помещалась в колбу меньшего объема так, чтобы воздушное пространство над

жидкостью было минимальным. Перемешивание осуществлялось в шейкере-инкубаторе при рабочей частоте 90 мин^{-1} , а также путем периодического встряхивания. Для создания условий протекания процесса денитрификации предварительно в иловую смесь вносился дополнительный органический субстрат (уксусная кислота в количестве $2,9\text{--}3,5 \text{ г НАс/г N}$ по рекомендациям [6]). Количественно процесс денитрификации оценивался по изменению содержанию азота нитратного в отбираемых через каждый час пробах.

Изменение содержания азота нитратного в пробах в процессах нитрификации и денитрификации представлено на рисунке.

Процессы нитри- и денитрификации характеризовали таким показателем, как скорость нитрификации (денитрификации), которую определяли по формуле:

$$R_{N-NO_3} = \frac{C_{\text{кон(исх)}} - C_{\text{исх(кон)}}}{t},$$

где $C_{\text{кон}}$ – конечное содержание азота нитратного в пробе, мг/дм^3 ; $C_{\text{исх}}$ – начальное содержание азота нитратного в пробе, мг/дм^3 ; t – время нитрифицирования (денитрифицирования), ч.

Таким образом скорость нитрификации для обоих процессов при заданной нагрузке на активный ил составила:

$$R_{N-NO_3}^{\text{нитр.}} = \frac{15,79 - 3,63}{6} = 2,03 \text{ мг N}/(\text{дм}^3 \cdot \text{ч})$$

$$R_{N-NO_3}^{\text{денитр.}} = \frac{15,79 - 4,36}{4} = 2,86 \text{ мг N}/(\text{дм}^3 \cdot \text{ч})$$

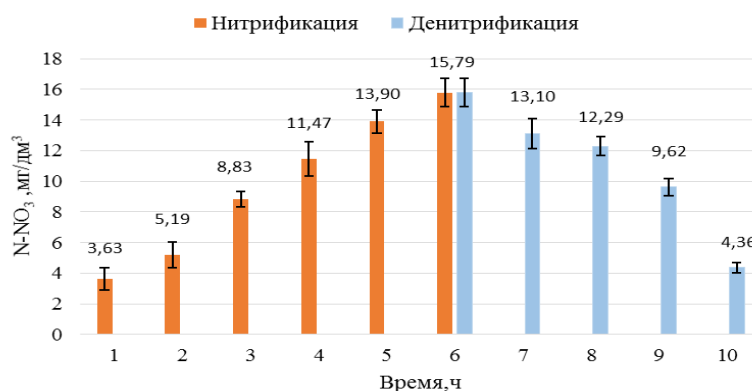


Рисунок – Изменение содержания азота нитратного

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что использование гранулированного активного ила в аэробных условиях является эффективным методом очистки сточных вод пивного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. The treatment of brewery wastewater for reuse: State of the art / G. S. Simate [et. al.] // *Desalination*. – 2011. – Vol. 273. – P. 235–247;
2. Aerobic granulation with brewery wastewater in a sequencing batch reactor / S. Wang [et al.] // *Bioresource Technology*. – 2007. – Vol. 98, No 11. – P. 2142–2147;
3. Aerobic granular sludge treating anaerobically pretreated brewery wastewater at different loading rates / B. Alessandro [et al.] // *Water Science and Technology*. – IWA Publishing, 2020. – Vol.13. – 12 pp.;
4. Formation of aerobic granular sludge and the influence of the pH on sludge characteristics in a SBR fed with brewery/bottling plant wastewater / H. Stes [et al.] // *Water Science and Technology*. – IWA Publishing, 2018. Vol. 77, No 9. – 18 pp.;
5. Aerobic granular sludge: characterization, mechanism of granulation and application to wastewater treatment / D. Gao [et al.] // *Critical Reviews in Biotechnology*. – 2011. – Vol. 31. – P. 137–152.
6. Очистка сточных вод / М. Хенце [и др.]; пер. Т.П. Мосоловой, под ред. С.В. Калюжного. – М.: Издательство «Мир», 2006. – 468 с.

УДК 631.826:631.46

Д. С. Сергиевич, ассист.; О. С. Игнатовец, канд. биол. наук, доц.;
А. Ф. Минаковский, канд. техн. наук, зав. кафедрой ТНВиОХТ;
О. Б. Дормешкин, д-р техн. наук, проф.;
В. И. Шатило, канд. техн. наук, доц. (БГТУ, г.Минск)

ОЦЕНКА АГРОХИМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРИТЕЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Несмотря на то, что в почвах различные формы фосфора содержатся в достаточном количестве (содержание валового фосфора в дерново-подзолистых почвах составляет от 0,06 до 0,16 %), его содержание является лимитирующим фактором роста растений, поскольку преимущественно находится в труднодоступных для растений соединениях. Повышение доступности труднорастворимых фосфатов для растений может обеспечить биологическая фосфатмобилизация за счет почвенной микрофлоры, а также использование бактериальных удобрений на основе фосфатмобилизирующих бактерий [1].

Для культивирования микроорганизмов необходим источник углерода, в качестве которого наряду с другими органическими источниками может использоваться сапрпель – донные отложения пресноводных водоемов, ресурсы которого в Республике Беларусь достаточно высоки.

Исследования по изучению применения сапропеля в качестве источника углерода для активации деятельности фосфатмобилизующих микроорганизмов и эффективности органо-минеральных удобрений (влияние на фосфатный и микробиологический режим дерново-подзолистых почв при возделывании основных видов сельскохозяйственных культур) проводили в совместных исследованиях УО «Белорусский государственный технологический университет» на базе кафедр биотехнологии и ТНВ и ОХТ на протяжении 2019–2020 гг.

Исследования по изучению агрономической эффективности применения органо-минеральных удобрений проводили в вегетационных опытах с яровым ячменем (*Hordeum vulgare* L.) сорта Бацька и горчицей белой (*Sinapis alba* L.) сорта Елена в условиях дерново-подзолистой суглинистой почвы.

В качестве источников минеральных компонентов использовали стандартные удобрения – карбамид, хлористый калий, аммофос. Источником труднодоступных соединений фосфора являлся фосфорит Каратау (карбонатный тип), так как он более эффективно подвергается микробной активации почвенной микробиотой по сравнению с кремнисто-глинистым (Алжир) и глинисто-глауконитовым (Вятско-Камский) [2].

Выделение фосфатмобилизующих бактерий проводили из ризосферы растений, растущих на бедных дерново-подзолистых почвах. Выбор места отбора проб вызван присутствием в таких почвах большого количества нерастворимых фосфатов в минеральной и органической форме, что обуславливает наличие разнообразных фосфатмобилизующих микроорганизмов в отобранных пробах почвы.

Лучшей фосфатмобилизующей способностью обладали штаммы относящиеся к широко распространенным почвенным бактериям родов *Bacillus sp.* и *Pseudomonas sp.* Для их культивирования в качестве источника углерода был использован сапропель карбонатного типа (месторождение Дитва, Лидский район) в количестве 3%, являющемся оптимальным для поддержания высокой активности бактерий [3].

Проведенные исследования предусматривали контрольные варианты без внесения удобрений; варианты с применением тукосмесей на основе стандартных форм минеральных удобрений, варианты с применением тукосмесей на основе стандартных азотных и калийных удобрений и фосфорита Каратау, а также варианты, в которых в состав тукосмесей вводился сапропель.

Для оценки эффективности органо-минеральных удобрительных композиций были приняты следующие критерии: содержание доступного фосфора в почве, общая концентрация жизнеспособных клеток в

почвенном образце, концентрация жизнеспособных клеток бактерий-фосфатмобилизаторов в почвенном образце, концентрация жизнеспособных клеток мицелиальных грибов в почвенном образце.

Внесение минеральных удобрений привело к снижению содержания в почве общей концентрации жизнеспособных клеток микроорганизмов, концентрации жизнеспособных частиц мицелиальных грибов и концентрации фосфатов в почвенном образце как по отношению к их содержанию до посева, так и в сравнении с вариантом без применения удобрений. Это можно объяснить тем, что высокая начальная концентрация минеральных солей достаточно серьезно может ингибировать рост аборигенной микробиоты. Однако, с течением времени, по мере расходования данных химических соединений растениями, ситуация по микробиологическому режиму нормализуется. Применение сапропеля совместно с минеральными удобрениями способствовало повышению данных показателей.

Максимальное содержание жизнеспособных клеток микроорганизмов при совместном применении сапропеля и минеральных удобрений составило $5,8 \times 10^6$ КОЕ/г (при выращивании горчицы белой), и $3,2 \times 10^6$ КОЕ/г (при выращивании ярового ячменя). Концентрация жизнеспособных клеток бактерий-фосфатмобилизаторов – $2,5 \times 10^5$ и $4,2 \times 10^4$ КОЕ/г, соответственно. Жизнеспособных частиц мицелиальных грибов в почвенном растворе – $4,2 \times 10^4$ и $9,0 \times 10^4$ КОЕ/г. Концентрация фосфатов в почвенном растворе увеличивалась во всех опытных вариантах в сравнении с их содержанием до посева. Применение сапропеля увеличило содержание фосфатов (в пересчете на PO_4^{3-}) с 0,58 до 0,78–0,79 моль/л.

Следует отметить, что применение природных фосфоритов даже непосредственно перед посевом (началом вегетации) позволяет достичь содержания доступного фосфора в почве не ниже, чем при внесении его с водорастворимыми формами промышленных фосфорсодержащих удобрений.

Таким образом, при выращивании различных сельскохозяйственных культур для получения стабильно высокой урожайности на почвах, бедных гумусом, целесообразно внесение сапропелей совместно с комплексными минеральными удобрениями (минеральными тукосями), что стимулирует рост и активность фосфатмобилизующих микроорганизмов и, в свою очередь, приводит к повышению концентрации свободного фосфора в почве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биологическая активность дерново-подзолистой супесчаной почвы в зависимости от обеспеченности подвижным фосфором / Н.А.

Михайловская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 1. – С. 243–252.

2. Минаковский А. Ф., Шатило В. И., Босак В. Н., Сачивко Т. В., Сергиевич Д. С., Смусь Е. Ю. Влияние различных форм фосфорных удобрений на фосфатный и микробиологический режимы почвы // Технологические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур: сборник статей по материалам XIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию кафедры растениеводства. – Горки: БГСХА, 2019. – С. 184-188.

3. Минаковский А.Ф., Игнатовец О.С., Шатило В.И., Сергиевич Д.С., Босак В.Н. Применение сапропеля для активации почвенных фосфатмобилизующих микроорганизмов // Вестник БГСХА. – 2020. – № 2. – С. 101–106.

УДК 663.424

В. Н. Прикота, студ. 5 курса; Д. С. Сергиевич, ассист.
(БГТУ, г. Минск)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ В ЭКСТРАКТАХ РАСТЕНИЙ-ЗАМЕНИТЕЛЕЙ ХМЕЛЯ В ПИВОВАРЕНИИ

В Беларуси, как и в остальном мире, отмечается устойчивая тенденция к росту производства и потребления пива, что во многом связано с расширением разнообразия и повышением качества продукции. Увеличение доли малых пивоварен, специализирующихся на производстве пива специальных сортов – «крафтового» пива, способствует развитию пивоваренной промышленности в целом, а также обеспечивает возможность гибкой и быстрой подстройки под вкусы любителей хмельного напитка.

Закономерно, что для поддержания активного развития пивоваренной индустрии необходима разработка технологий новых сортов пива, основанных, в том числе, на применении нетрадиционного натурального сырья.

Многие производители в серьез задумываются над созданием сортов пива, которые будут выделяться среди других не только качеством продукта и вкусовыми особенностями, но также, возможно, оказывать благотворное влияние на организм человека.

Известно что, еще до начала использования в производстве хмеля, применялось растительное сырье, способное придавать пивному напитку горечь и защищать его от посторонних микроорганизмов, увеличивая срок хранения [1, 2]. На сегодняшний день пивовары, в осо-

бенности выпускающие «крафтовые» сорта, используют травы и приправы не только с целью придания специфичности вкусу пива, но также для обогащения напитка биологически активными веществами. Таким образом, особый интерес представляет использование в пивоварении лекарственных растений, обладающих антиоксидантной активностью и являющихся доступными в нашей местности независимо от сезона.

Подбор растительного сырья, призванного заменить хмель, начали с подбора времени экстракции при оценке содержания фенольных веществ в хмеле. Для этого, в качестве основы использовали спектрофотометрическим методом, описанным в фармакопее XI РБ [3].

Содержание фенольных веществ определяли в экстрактах растительного сырья, которые получали, используя в качестве экстрагента 70 %-ную водно-спиртовую смесь.

Установлено, что наиболее оптимальным временем экстракции является один час, так как при более длительной экстракции, по видимому, происходит частичное разрушение определяемых веществ, чему свидетельствует снижение оптической плотности, полученных экстрактов. Результаты эксперимента представлены на рисунке.

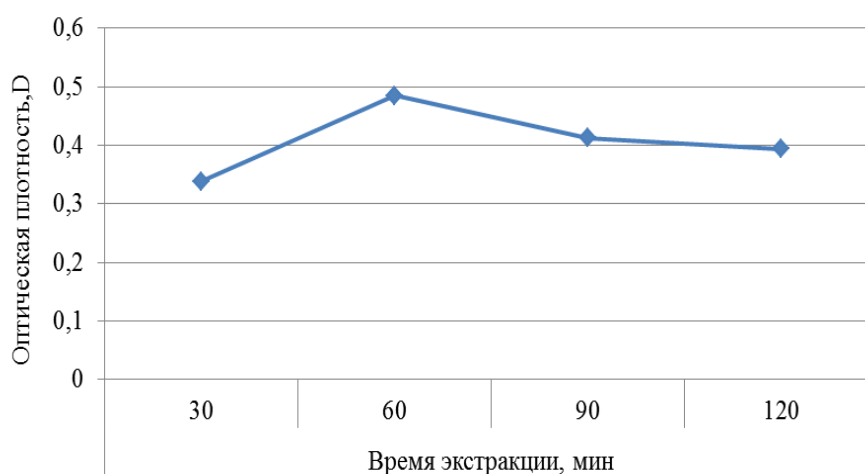


Рисунок – Зависимость экстинкции экстрактов хмеля от времени экстракции фенольных веществ

В дальнейшем экстракцию флавоноидов проводили при температуре 70-80°C, поддерживаемой на водяной бане, в течении 60 минут. Результаты оценки содержания суммы фенольных веществ в растительном сырье приведены в таблице.

Из данных, представленных в таблице, видно, что значительно большее, чем в шишках хмеля, количество флавоноидов, содержится в тысячелистнике, зверобое, кровохлебке, а также багульнике. Макси-

мальное содержание фенольных веществ содержится в траве зверобой и составляет чуть более 0,16 г/г_{сух. сырья}. Остальные растения (шалфей, полынь и можжевельник), обладают меньшей оптической плотностью, а значит и меньше содержат флавоноидов.

Таблица – Содержание суммы фенольных веществ в растительном сырье

№	Наименование сырья	Оптическая плотность, D	Содержание фенольных веществ в пересчете на рутин, г/г _{сух. сырья}
1	Рутин	0,5188	эталон
2	Хмель	0,4850	0,1168
3	Багульник	0,7118	0,1715
4	Кровохлебка	0,5597	0,1348
5	Тысячелистник	0,5206	0,1254
6	Зверобой	0,6729	0,1621
7	Шалфей	0,4483	0,1080
8	Полынь	0,2637	0,6353
9	Можжевельник	0,2728	0,6573

Таким образом, в ходе исследования нами установлено, что наиболее целесообразно использование в производстве пива в качестве замены хмеля либо обогащающей флавоноидами добавки таких трав, как кровохлебка, тысячелистник, зверобой и багульник.

ЛИТЕРАТУРА

1. Даниловцева А. Б. Обоснование разработки новых направлений в технологии пивных напитков / Даниловцева А. Б., Фролова О. В. // Технология. – 2012. – № 6. – С. 35-39.
2. Токаев Э. С. Композиция для функционального напитка / Э. С. Токаев, Е. Н. Баженова // Ru 2428062 С2. – Дата: 09.10.2009. – Дата публикации: 20.04.2011.
3. Государственная фармакопея Республики Беларусь XI. В 2 т. Т. 2. Контроль качества субстанций для фармацевтического использования и лекарственного растительного сырья/ М-во здравоохранения Респ. Беларусь, РУП «Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении» – Минск, 2009. – с. 1367.

УДК 621.892

В. Н. Леонтьев, канд. хим. наук, зав. кафедрой биотехнологии;
Р. М. Маркевич, канд. хим. наук, доц.;
Е. В. Феськова, канд. техн. наук, ст. научн. сотр.
Т. С. Хильченко, инж. (БГТУ, г. Минск);
В. И. Жорник, д-р техн. наук, зав. лаб.;
А. В. Ивахник, канд. техн. наук, вед. научн. сотр.;
А. В. Запольский, соискатель
(Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск)

ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА БИОРАЗЛАГАЕМОСТЬ

Разнообразные смазочные материалы на основе углеводородных масел минерального происхождения нашли повсеместное применение в работе машин и механизмов, обеспечивая функционирование промышленных предприятий и транспорта. Однако широта распространения этих смазочных материалов оборачивается проблемами их не-санкционированного попадания в почву и водоемы, рационального сбора и утилизации отработавшего смазочного материала, неполное решение этих проблем наносит серьезный ущерб окружающей среде. Данная ситуация требует постоянного расширения работ по созданию быстро биоразлагаемых смазочных материалов, синтезированных, как правило, на базе возобновляемых источников сырья, в том числе, на растительных маслах. Подобные материалы применяются в экологически чувствительных сферах и отличаются высокими техническими свойствами в сочетании с быстрым биологическим разложением. В таких областях применения, как лесное и сельское хозяйство, рельсовые транспортные системы, гидротехнические установки постоянно повышаются требования к биологически разлагаемым смазочным материалам.

В Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси проводятся работы по созданию биоразлагаемых смазочных материалов для замены широко распространенных пластичных смазок и масел на минеральной основе, которые оказывают большое негативное воздействие на окружающую среду. К таким материалам относятся, в частности, общетехнические смазки (например, Солидол, Литол-24) и масло для пильных цепей лесозаготовительной техники.

Общетехническая биоразлагаемая пластичная смазка OIMOL CL BIO (ТУ ВУ 190410065.021-2020) получена загущением окистеаратами кальция и лития смеси технического рапсового масла и высокоочищенного гидрогенизацией синтетического минерального

масла VHVI-4 и содержит биоразлагаемые адгезионные присадки. Биоразлагаемое масло для цепей бензопил FAVORIT ЭКО CS BIO (ТУ ВУ 190410065.018-2019) получено на основе смеси технического рапсового масла и высокоочищенного гидрогенизацией синтетического минерального масла VHVI-4, а также содержит биоразлагаемые адгезионные и депрессорные присадки.

Целью настоящей работы являлось испытание на биоразлагаемость образцов масла для пильных цепей и антифрикционной пластичной смазки. Использованный метод оценки биоразлагаемости данных смазочных материалов основан на изучении динамики превращений жирных кислот и определении степени их деструкции в течение 28 суток. В качестве положительного контроля использовано рапсовое масло, испытательная система представляла собой иловую смесь очистных сооружений молочного производства.

Иловую смесь концентрировали отстаиванием в течение 40 мин, трижды промыли водопроводной водой, добавляя к иловой смеси воду в соотношении 1:1, каждый раз отделяя промывную воду после отстаивания в течение 40 мин декантацией. В конические колбы объемом 250 дм³ вносили по 30 дм³ промытой иловой смеси, по 120 дм³ минеральной смеси и испытуемый образец. Выделено 4 экспериментальные группы по 3 конические колбы в каждой (таблица 1). Инкубирование образцов проводилось в шейкер-инкубаторах при следующих параметрах: температура 25°C; рабочая частота шейкер-инкубатора 160 об⁻¹; исходное значение рН – 7,0; продолжительность 28 сут.

Таблица – Количество тестируемого вещества и положительного контроля в образцах для инкубирования

Группа	Количество источника углерода
I (рапсовое масло)	100 мкл рапсового масла
II (масло для пильных цепей)	100 мкл масла для пильных цепей
III (смазка)	110 мг антифрикционной пластичной смазки
IV (контроль)	–

Из каждой группы образцов через 7, 21 и 28 сут инкубирования отбирали по одной колбе с образцами для анализа. В отобранных образцах устанавливали значение рН иловой смеси, дозу ила, отбирали пробы для подготовки и проведения ГЖХ анализа. Иловую суспензию из каждой колбы центрифугировали при 5000 об/мин в течение 30 мин, декантацией разделяли надыловую жидкость и осадок. Осадок использовали для определения дозы ила, из надыловой жидкости гексаном трижды экстрагировали жировую фракцию. Полученный экс-

тракт упаривали, жирные кислоты переводили в их метиловые эфиры для ГЖХ-анализа.

Пробы анализируемых образцов помещали в стеклянные ампулы, приливали 1,0 см³ раствора 2%-ной серной кислоты в метаноле с внутренним стандартом – маргариновой кислотой (C17:0; 1,35 мг/см³), запаивали на газовой горелке. Гидролиз триацилглицеридов с одновременным метилированием образующихся жирных кислот проводили при температуре (80 ± 1)°С в течение 4 ч. Затем ампулы охлаждали до комнатной температуры, вскрывали и экстрагировали метиловые эфиры жирных кислот (МЭЖК) гексаном (0,5 см³).

МЭЖК разделяли методом газожидкостной хроматографии с использованием газового хроматографа Agilent 7820A GC (Agilent Technologies, США), оснащенного пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой HP-Innowax 0,25 мм×30 м×0,25 мкм (полиэтиленгликоль). Анализ проводили при скорости потока гелия через колонку 1,36 мл/мин; температуре инжектора – 250°С, детектора – 275°С, температуре колонки – 150°С (1 мин), затем температура колонки повышалась со скоростью 2,9 С/мин до 250°С и выдерживалась 3 мин. Объем анализируемой пробы – 1 мкл.

Идентификацию метиловых эфиров жирных кислот проводили по времени удерживания при разделении стандартных смесей этих веществ (AccuStandart, США) и оценивали содержание жирных кислот.

Степень биоразлагаемости рапсового масла и испытуемых образцов (масла для пильных цепей и антифрикционной пластичной смазки) оценивали по средней степени деструкции кислот с длиной углеродной цепи 16 (пальмитиновая, пальмитолеиновая) и 18 (стеариновая, олеиновая, линоленовая), преобладающих в образцах.

Начиная с 7 сут инкубирования для всех опытных образцов отмечено изменение соотношения жирных кислот: уменьшение доли кислот с числом углеродных атомов 16, 18 и возрастание количества кислот с меньшей длиной углеродной цепи. К 21 сут инкубирования наблюдалось снижение рН с 7,0 до 6,0–6,5 вследствие накопления продуктов окисления и уменьшение дозы активного ила вследствие недостатка субстрата, наиболее существенное в контрольном образце. В пробах, анализ которых проводился на 28 сут, степень деструкции кислот с длиной цепи 16 и 18 атомов углерода составляла от 84 до 100%.

На основании средней степени деструкции в опытных образцах кислот с длиной цепи 16 и 18 атомов углерода сделано заключение: при степени деструкции рапсового масла 100% биоразлагаемость масла для пильных цепей составляет 93%, антифрикционной пластичной смазки – 89%.

В. П. Курченко, зав. НИЛ, доц., канд. биол. наук;

Н. В. Сушинская¹, науч. сотр

(Белорусский государственный университет, Минск);

И. С. Киселева, зав. кафедрой, доц., канд. биол. наук

(Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург)

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА ПЛОДОВЫХ ТЕЛ РЯДА ДЕРЕВОРАЗРУШАЮЩИХ ГРИБОВ

Среди 16 тысяч известных науке видов высших базидиальных грибов около 200 можно отнести к числу лекарственных. Среди них важное место занимают трутовые грибы, которые широко распространены в лесах Европы и Азии. Их плодовые тела являются доступной, легко восстанавливаемой сырьевой базой получения биологически активных веществ [1-5]. Они содержат большое количество хитина, меланинов, глюканов, и других биологически активных веществ [6-11]. Актуальным является проведение сравнительных исследований состава и содержания биологически активных вторичных метаболитов различных таксономических групп афиллофороидных грибов.

Целью работы являлось исследование состава биологически активных веществ экстрактов из плодовых тел ряда дереворазрушающих грибов.

Объектом исследования являлись экстракты из плодовых тел грибов, вызывающих бурую гниль – трутовика окаймленного (*Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst.), и белую гниль – трутовиков настоящего (*Fomes fomentarius* (L.) Fr.), горбатого (*Trametes gibbosa* (Pers.) Fr.), чаги (*Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pilát), березовой губки (*Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst.), двоякого (*Trichaptum biforme* (Fr.) Ryvarden), гапалопилуса гнездового (*Hapalopilus nidulans* (Fr.) P. Karst.) Исследование состава биологически активных веществ этанольных (70 %) экстрактов из плодовых тел ряда дереворазрушающих грибов проводили с использованием хромато-масс-спектрометрической системы: газовый хроматограф Agilent 6850 с масс-селективным детектором Agilent 5975B. Идентификация компонентов по масс-спектрам (с использованием библиотеки масс-спектров NIST).

Анализ полученных результатов показывает, что сирингол (Phenol, 2,6-dimethoxy-) обнаружен в экстракте из чаги. Он является характерным продуктом гидролиза лигнина. Среди всех исследованных грибов только в экстракте из березовой губки обнаружено значи-

тельное количество арабитола и сорбитола. Их относительное содержание в экстракте составляет 78,3 %. Арабитол, редкий сахарный спирт, который используется в качестве пищевой добавки для уменьшения жировых отложений в кишечнике. Сорбитол оказывает диуретическое, дезинтоксикационное, желчегонное, спазмолитическое и слабительное действие. Необходимо отметить, что в экстракте из плодовых тел березовой губки не обнаружены тритерпеновые и стероидные соединения. В экстрактах всех исследованных видов грибов обнаружены насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты. Их суммарное содержание в зависимости от вида меняется с 8,8 % до 67,89 % у трутовика двоякого. При этом, у этого вида, метиловый эфир линолевой кислоты составляет 49,7 %. Важными компонентами биологически активных веществ всех исследованных видов грибов являются эргостерол и его производные. Этот стерин играет важную роль в питании человека, являясь провитаминовой формой витамина D₂ [5, 7, 8]. Наибольшее количество этого провитамина и его производных обнаружено в трутовике настоящем и трутовике окаймленном, суммарное содержание которых составляло 51,6 % и 41,15 % соответственно. Ланостерол обнаружен только в экстракте из чаги. Этот тетрациклический тритерпеноид является противораковым препаратом и может предотвращать развитие катаракты [6].

Некоторые виды грибов содержат значительные количества различных фармакологически активных тритерпеноидных соединений: люпиол и бетулин [7, 9-12]. Наибольшее количество бетулина было обнаружено в экстракте из чаги. Лупеол обладает комплексной фармакологией, проявляющей, антимикробные, противовоспалительные, противоопухолевые свойства [11]. Бетулин содержался в плодовых телах трутовых грибов, произрастающих только на березе. Его относительное содержание 30,5 % было максимальное в экстракте чаги. Ранее проведенными исследованиями показано, что бетулин обладает противовоспалительными, гепатопротекторными, противовирусными и антибактериальными свойствами [10]. Он проявляет антиоксидантную и антимуtagenную активность, а также другие свойства. Бетулин не токсичен, не вызывает побочных реакций в организме [10].

Таким образом, плодовые тела трутовых грибов являются ценным сырьем для получения биологически активных веществ. Экстракт трутовика настоящего (*Fomes fomentarius* (L.) Fr.) содержит более 50 % эргостерола и его производных, которые являются провитаминовой формой витамина D₂. В трутовике горбатым (*Trametes gibbosa* (Pers.) Fr.) содержится более 26 % тетрациклических тритерпеноидов, которые проявляют противораковую активность. Для спиртового экстрак-

та чаги (*Inonotus obliquus* (Ach. ex Pers.) Pilát) характерно наличие 30 % бетулина, при минимальном содержании эргостерола. В экстракте из березовой губки (*Piptoporus betulinus* (Bull.) P. Karst.) содержится 67,9 % арабитола, при отсутствии стероидных и тритерпеновых соединений. Трутовик окаймленный (*Fomitopsis pinicola* (Sw.) P. Karst.), содержит 30,2 % эргостерола. В экстракте трутовика двоякого (*Trichaptum biforme* (Fr.) Ryvardeen) содержится 67,8 % жирных кислот, из которых 50,0 % составляют ненасыщенных жирные кислоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sushinskaya N.V., Kurchenko V.P. Theoretical and applied ecology. 4, 83-87 (2019). DOI: 10.25750/1995-4301-2019-4-083-087
2. Feklistova I., Maslak D., Rizevsky S., Lomonosova V., Grineva T. International Academy Journal Web Of Scholar. 4 (22), 3-9 (2018).
3. Toledo A.V., Franco M.E.E., Lopez S.M.Y., Troncozo M.I., Saparrat M.C.N., Balatti P.A. Physiological and molecular plant pathology. 99, 2-6 (2017). DOI: 10.1016/j.pmpp.04.004
4. Jamzivar Fatemehsadat, Shams-Ghahfarokhi Masoomeh, Khoramizadeh Mansoor. Iranian Journal Of Microbiology. 6, 448-459 (2019).
5. Kadakal Cetin, Tepe Tolga. Food Reviews International. 2, 155-165 (2019).
6. Rios Jose-Luis, Andujar Isabel. Journal of natural products. 11, 2016-2044 (2012).
7. Siddique H.R., Saleem M. Life Sci. 7, 285–293 (2011).
8. Barreira Joao C.M., Oliveira M., Beatriz P.P., Ferreira Isabel C. F. R. Food Analytical Methods, 1, 217-223 (2014).
9. Xu F, Huang X, Wu H, Wang X. Biomed Pharmacother. 103, 198–203 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.04.019>
10. Hordyjewska Anna, Ostapiuk Aleksandra, Horecka Anna. Phytochemistry Reviews. 3, 929-951 (2019).
11. Saleem M. Cancer Lett. 2, 109–115 (2009).
12. Laghari A.H., Memon S., Nelofar A., Khan K.M. Industrial Crops and Products. 11, 1141-1145 (2012).

Н. Ю. Адамцевич, асп.;
В. С. Болтовский, проф., д-р. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
В. В. Титок, директор, д-р биол. наук
(ГНУ «ЦБС НАН Беларуси», г. Минск)

ДИНАМИКА НАКОПЛЕНИЯ ФЛАВОНОИДОВ В ЦВЕТКАХ БЕССМЕРТНИКА ПЕСЧАНОГО В РАЗЛИЧНЫЕ ФЕНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАЗЫ

Биосинтез и накопление в лекарственных растениях биологически активных веществ (БАВ) является динамическим процессом, изменяющимся в онтогенезе растения, а также зависящим от многочисленных факторов окружающей среды [1].

Флавоноиды – вторичные метаболиты растений, которые обладают широким спектром фармакологического действия. Одним из перспективных источников флавоноидов являются цветки бессмертника песчаного (*Helichrysum arenarium* L.).

Бессмертника песчаного цветки (*Helichrysi arenari flores*) являются фармакопейным растительным сырьем в Республике Беларусь, Российской Федерации, Украине, Казахстане, Польше, Германии и др. странах, а также включены в монографии Всемирной организации здравоохранения [2].

Цель работы – изучение динамики накопления флавоноидов в цветках бессмертника в различные фенологические фазы.

Изучение динамики накопления БАВ в растениях в течение периода их развития и роста является актуальным для определения времени сбора растительного сырья с максимальным содержанием БАВ.

Объектом исследования являлись цветки бессмертника песчаного из коллекции лекарственных растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси, собранные в различные фенологические фазы (урожай 2020 года).

Растительное сырье собирали вручную, раскладывали тонким слоем и сушили естественным путем без доступа прямых солнечных лучей. Влажность сырья определяли согласно методике, приведенной в Государственной Фармакопее Республики Беларусь (ГФ РБ) [3].

Сухие цветки бессмертника песчаного экстрагировали методом трехкратной экстракции, которая заключалась в получении отдельных водно-спиртовых вытяжек 40%-ным, 70%-ным и 96%-ным этаноловым спиртом с последующим их объединением. Продолжительность экстрагирования каждой порции составляла 30 мин при 70–75°C, соотношение массы сырья к объему экстрагента – 1 : 50 – для первой порции,

1 : 25 – для последующих.

Определение общего содержания флавоноидов в экстрактах выполняли относительно рутина по методике, приведенной в ГФ РБ. Оптическую плотность растворов измеряли на спектрофотометре SPECORD 200 (Analytik Jena, Германия) при длине волны 411 нм в кювете с толщиной слоя 10 мм. Результаты исследований представлены в таблице.

Таблица – Динамика накопления флавоноидов в цветках бессмертника песчаного в различные фенологические фазы

Фенологическая фаза	Содержание флавоноидов, % от массы абсолютно сухого сырья
Бутонизация	6,52±0,24
Начало цветения	6,28±0,31
Массовое цветение	6,16±0,27

Исследования показали, что цветки бессмертника песчаного характеризуются достаточно высоким содержанием флавоноидов (более 6%). Анализируя полученные результаты, приведенные в таблице, следует отметить, что максимальное накопление флавоноидов в цветках бессмертника песчаного происходит в фазу бутонизации (начало июня). Во время начала цветения (июнь) содержание данного класса БАВ в цветках снижается незначительно. Следовательно, цветки бессмертника песчаного, собранные в период бутонизации до начала цветения, могут быть использовано в качестве лекарственного растительного сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минаева, В.Г. Флавоноиды в онтогенезе растений и их практическое использование / В.Г. Минаева. – Новосибирск: Наука. – 1978. – 252 с.
2. Литвиненко, В.И. К вопросу об изосалипурпозиде-стандарте в контроле сырья и фито препаратов из бессмертника песчаного / В.И. Литвиненко, Т.П. Попова, Н.В. Попова, В.П. Георгиевский // Фармаком. – 2016. – №3. – С. 23–27.
3. Государственная Фармакопея Республики Беларусь II. В 2 Т. Т.2. Контроль качества субстанций для фармацевтического использования и лекарственного растительного сырья / М-во здравоохранения Республики Беларусь, РУП «Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении», 2016. – 1367 с.

В. И. Хиневич, проф., д-р с/х наук;
М. В. Рымовская, доц., канд. техн. наук;
А. Н. Наврость, магистрант (БГТУ, г. Минск);
И. Н. Кузнецов, директор, канд. техн. наук (ООО «БиоИдея», г. Минск)

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДА БИОГАЗА
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ АНАЭРОБНОГО БИОРЕАКТОРА
С ГРАНУЛИРОВАННЫМ ИЛОМ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ
ЦЕХЕ № 6 ОАО «МИНСК КРИСТАЛЛ» УПРАВЛЯЮЩЕЙ
КОМПАНИИ ХОЛДИНГА «МИНСК КРИСТАЛЛ ГРУПП»**

Производство пищевого этанола из зернового сырья при традиционно используемой технологии неизбежно приводит к образованию крупнотоннажного отхода – послеспиртовой барды, представляющей собой кубовый остаток из бражной ректификационной колонны. Этот отход используется в основном на кормовые цели, однако высокая влажность усложняет его хранение и транспортирование к потребителю. Обычной практикой является снижение влажности барды путем упаривания, центробежного разделения или отцеживания на вибросите на дробину и жидкую фазу, сушки упаренной барды либо дробины. Разделение послеспиртовой барды на фазы менее энергозатратно по сравнению с упариванием, однако приводит к образованию фугата либо фильтрата, требующего дополнительной обработки.

На одном из предприятий спиртовой отрасли Республики Беларусь – в производственном цеху № 6 ОАО «Минск Кристалл», расположенном в г. Березино (Минская обл.), с 2013 года для обработки фугата послеспиртовой барды эксплуатируется анаэробный биореактор с гранулированным активным илом. В результате образуется биогаз, который можно использовать как энергоноситель, избыточный анаэробный гранулированный активный ил, который может быть реализован как инокулят для ускоренного запуска подобных установок, а также анаэробно обработанная вода, состав которой позволяет доочищать ее на городских очистных сооружениях.

Биогаз является конечным продуктом длинной цепи биохимических превращений, последнее звено которой представлено самой требовательной к условиям среды группой микроорганизмов – облигатно анаэробными метаногенными бактериями. Создание и поддержание их деятельности обеспечивается в основном расположением внутри гранул ила, важны стабильность температуры и рН, достаточное обеспечение низкомолекулярными органическими веществами – продуктами метаболизма других микроорганизмов сообщества. Работу анаэробного

биореактора характеризуют концентрация растворенных и взвешенных сухих веществ, ХПК в жидкости на входе и на выходе из биореактора, объемный расход очищаемой жидкости (по ним определяются нагрузка на биореактор по удаляемым загрязнениям), рН и буферность, а также концентрации ионов аммония (характеризуют кислотно-щелочное равновесие в биореакторе). В совокупности с температурой поступающей на очистку жидкости и содержимого биореактора, а также количеством и составом биогаза эта система показателей дает достаточную оценку условий работы метаногенных бактерий.

Для анаэробной обработки фугата послеспиртовой барды в производственном цеху № 6 ОАО «Минск Кристалл» разработана и реализована процедура пуска с накоплением гранулированного активного ила [1], проработаны основные рекомендации по эксплуатации, включая требования к составу поступающей в биореактор жидкости и потому – порядок подготовки фугата, обоснована необходимость поддержания определенных условий в биореакторе, рекомендован проточный режим, при необходимости предусмотрена коррекция рН.

Для выявления путей повышения выхода биогаза проведен анализ технологии анаэробной обработки фугата и данных теххимического контроля, выполняемых по месту, а также определены некоторые дополнительные показатели.

Подготовка фугата послеспиртовой барды включает обработку флокулянтами и коагулянтами, содержание взвешенных веществ не должно превышать 2000 мг/дм³. Среднее значение содержания взвешенных веществ составило 2050 мг/дм³ и чаще всего не превышало 3000 мг/дм³. Микроскопирование осадка подготовленного фугата при содержании взвешенных веществ 1400 мг/дм³ показало, что он состоит в основном из клеток бактерий палочковидной формы с редкими вкраплениями клетчатки сопоставимых размеров (не более 10 мкм). Клетки этой формы есть в верхней части биореактора и на выходе из него, а растительные остатки уже отсутствуют.

Нейтрализация послеспиртовой барды известью перед центрифугированием была необходимой операцией в период пуска – до формирования внутренней среды в анаэробном биореакторе с устойчивым и саморегулирующимся рН. Сейчас значение буферности в жидком содержимом биореактора составляет 3900 мг/дм³ (обычно достаточно 1500 мг/дм³), а содержание зольных веществ в иле достигло 60%.

Для устойчивого анаэробного сбраживания фугата важны стабильность нагрузки по органическим веществам, температура и рН. Нагрузка на биореактор по органическим веществам составляет 1,5-6,0 кг/(м³·сут). Питание биореактора нестабильное и определяется ре-

жимом работы предприятия, самое негативно влияние оказывают снижение и даже прекращение подачи фугата с последующим подъемом объемного расхода. Несмотря на внешне удовлетворительный результат очистки (значение ХПК на выходе составляет в среднем 1600 мг/дм³ при значении его на входе 32000 мг/дм³), это нарушает постоянство среды в реакторе не только по органическому питанию, но и по рН и температуре, специальное регулирование которых в поступающем на очистку фугате не предусмотрено. Средние значения температуры и рН фугата составляют 31°С и 4,0 соответственно и в целом приемлема, однако они имеют слишком широкие пределы варьирования (от 4 до 38°С для температуры и от 3,5 до 8,1 для рН). рН жидкости в биореакторе в целом стабилизируется в пределах 5,0-7,5 в нижней части и 6,9-8,1 в верхней части и заметного влияния на количество и состав биогаза не оказывает, в отличие от температуры фугата, особенно при большом его расходе.

В настоящий момент образующийся биогаз направляется на сжигание на свече без использования получаемой тепловой энергии, учет количества образующегося биогаза также практически не налажен. Расчетное количество биогаза при средних показателях в условиях текущей эксплуатации этой установки и норме образования биогаза 0,55 н. м³/кг утилизированных органических веществ [2, стр. 84] составляет 47 м³/ч, при концентрации загрязнений по ХПК в фугате на уровне 45 г/дм³ и объемном расходе 5 м³/ч расчетное количество биогаза составляет 80 м³. Рассчитанные значения хорошо коррелируют со значениями, полученными в результате измерений по месту.

Для повышения выхода биогаза в результате работы данной установки надо обеспечить достаточно стабильную подачу органического субстрата без резких скачков температуры фугата. Использование биогаза снизит энергозатраты на процесс очистки фугата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ручай, Н. С. Обработка фугата послеспиртовой барды в анаэробном биореакторе с гранулированным илом / Н. С. Ручай, М. В. Рымовская, Суй Я. Ф. // Новейшие достижения в области инновационного развития в химической промышленности и производстве строительных материалов: материалы международной научно-технической конференции, Минск, БГТУ, 18-20 ноября 2015 г.; под. общ. ред. И. М. Жарского. – Минск: БГТУ, 2015. – С. 102-105.

2. Abbasi, T. Biogas Energy / T. Abbasi, S.M. Tauseef, S.A. Abbasi. – SpringerBriefs in Environmental Science, 2012. – 184 p.

УДК 691.175

М. В. Рымовская, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
М. В. Раткевич, техник-технолог (ООО «Логополимер», г. Логойск);
А. Ф. Петрушеня, ст. преп., канд. техн. наук;
И. А. Гребенчикова доц., канд. техн. наук;
Д. С. Сергиевич, ассист. (БГТУ, г. Минск);
Д. А. Рагатка, инж.-химик (ЗАО «Гринэйр», г. Минск)

СОСТАВ, СВОЙСТВА И БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ УПАКОВОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ КУКУРУЗЫ

Тенденция использования биологически разрушаемых материалов для производства упаковки сложилась уже давно и в последние двадцать лет приобрела глобальный масштаб. С середины января 2020 года в Республике Беларусь принято Постановление о поэтапном снижении использования полимерной упаковки [1], поэтому сейчас потребность в разлагаемых упаковках растет и в нашей стране.

Развитию рынка биоразрушаемой упаковки в Европе способствует проработанное и апробированное законодательство по отдельному сбору компостируемых отходов и специальные директивы, предусматривающие штрафы за совместное захоронение отходов различного вида. На территории РБ в области признания упаковки биоразлагаемой действует ГОСТ EN 13432—2015 [2], по содержанию он идентичен европейскому стандарту EN 13432:2000. Этот стандарт устанавливает требования и процедуры для определения способности упаковки и упаковочных материалов к биологическому разложению при компостировании и анаэробной переработке, условиям и длительности процессов разрушения при биологической переработке, предъявляются требования к составу упаковочного материала. Организаций, аккредитованных на выполнение таких исследований, в РБ пока нет [3]. Некоторые производители уже начали выпуск продукции с маркировкой о соответствии упаковочных пакетов этому стандарту. Изучение состава и свойств таких пакетов представляет интерес с точки зрения наработки опыта анализа и разработки технологий производства материалов с подобными свойствами из отечественного сырья.

Образец биоразлагаемого материала был представлен в виде пакетов (ООО «ЛогоПолимер», г. Логойск), приобретенных в открытой розничной сети, зеленого и желтоватого цвета (упаковочный пакет с ручками и мешки для органических отходов соответственно), не растворимых в воде, без запаха, приятных на ощупь, с небольшим хрустом при растирании между пальцами и легким запахом подогретой кукурузы. Прочность при растяжении и относительное удлинение при разры-

ве удовлетворяют требованиям, предъявляемым к упаковочным материалам, и составляют не менее 21,4 МПа и 120-480 % соответственно.

Установлено присутствие в образце крахмала методом йодометрии. Образец материала хорошо растворим в трихлорметане и хлористом метиле, что характерно для полимолочной кислоты. Окрашивание смеси гранул с н-гексаном в желтый цвет происходит из-за присутствия в составе гранул липидов. Общее содержание минеральных наполнителей в составе пакета из биоразлагаемого полимерного материала составляет 1,42 масс. %. В составе минеральных компонентов образца материала в детектируемых количествах присутствуют как минеральные соединения естественного происхождения (соединения калия, натрия, фосфора, кальция и кремния и другие), так и внесенные технологически значимые добавки – катализаторы (оксиды и соли алюминия, цинка и титана), красители (оксиды цинка и титана), агенты для защиты от УФ-излучения в составе, например, солнечного света (оксид титана).

На основании результатов инфракрасной спектроскопии, термогравиметрического и химического анализа можно полагать, что в состав образца материала входят полисахариды растительного происхождения (около 50 %), полимолочная кислота (около 30 %) и полиэфир терефталевой кислоты (около 25 %). Последний, вероятно, модифицирован адипиновой, янтарной (сукциновой) или другой подобной двухосновой карбоновой кислотой, потому что на текущий момент такие синтетические полимеры относят к биоразлагаемым.

Согласно результатам выполненного исследования, образец биоразлагаемого упаковочного материала по составу соответствует требованиям ГОСТ EN 13432-2015.

Биологическое разрушение упаковочного материала проводилось в условиях, приближенных к таковым в окружающей среде, а не при компостировании в условиях, приближенных к промышленному компостированию. Изучалось биоразрушение образцов в почве и воде при температуре 22°C, а также в полноценной жидкой питательной среде, адаптированной для изучения процессов разложения полимолочной кислоты, при температуре 30°C.

Образцы пленочных изделий в почве в течение первых 2-х месяцев практически не теряют свою массу: максимальное изменение массы образцов не превышает 1%, а состояние поверхности пленки существенно не изменяется. При дальнейшем выдерживании на 3-й месяц наблюдается падение массы на 2-4%, зафиксированы незначительные очаги поражения пленок мицелиальными грибами. В водной среде с образцами материала в течение первых 4-х недель видимых

изменений материалов не происходило. К концу эксперимента (через 2 месяца) пленка стала белесой, убыль массы образцов составила для дополнительно измельченных пленок 12,5%, для неизмельченной пленки 9,5%. В составе микробиоты жидкости из колб были выявлены только бактерии. В жидкой полноценной питательной среде полное разрушение целостности образца происходило за 2 недели, в составе микробиоты также были обнаружены только бактерии.

Таким образом, при биоразрушении в условиях, приближенных к условиям окружающей среды, материал довольно долго (до 1 месяца) сохраняет свои потребительские свойства, по истечении 2 месяцев наблюдаются признаки его разрушения. Чем мельче и тоньше фрагменты, тем больше потери массы. Выдерживание образцов материала в полноценной жидкой питательной среде привело к резкому ускорению его разрушения.

Полученные результаты позволяют предположить успешное биоразрушения образца упаковочного материала в условиях компостирования – при высокой концентрации микроорганизмов-деструкторов и присутствии других источников питательных компонентов для них, хорошей аэрации и более высокой температуре.

ЛИТЕРАТУРА

1. О поэтапном снижении использования полимерной упаковки: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 13 янв. 2020 г., № 7 [Электронный ресурс] / Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22000007&p1=1>. – Дата доступа: 07.09.2020.

2. Упаковка. Требования к использованию упаковки посредством компостирования и биологического разложения. Проверочная схема и критерии оценки для распределения упаковок по категориям: ГОСТ EN 13432—2015. – Введ. 12.06.17. - Минск: НП РУП «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации» (БелГИСС), 2017. – 25 с.

3. Перечень аккредитованных лабораторий, проводящих испытания биоразлагаемой упаковки на соответствие требованиям EN 13432:2000 или ГОСТ EN 13432-2015 [Электронный ресурс] / Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь. – Режим доступа: https://gosstandart.gov.by/assets/files/Organic_product/2020%20Письмо%20Госстандарта.pdf. – Дата доступа: 09.06.2020 г.

Т. М. Тананайко, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
А. А. Пушкарь, канд. техн. наук; В. И. Соловей
(НПЦ НАН Беларуси по продовольствию, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ КИСЛОРОДА НА ОСОБЕННОСТИ СОЗРЕВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ ДИСТИЛЛЯТОВ

Проведены экспериментальные исследования по изучению влияния применения кислорода на особенности созревания зерновых дистиллятов, находящихся в контакте с древесиной дуба при производстве различных групп спиртных напитков на основе выдержанных зерновых дистиллятов.

Для изучения влияния кислорода (продувок кислородом) на изменение органолептических и физико-химических показателей зерновых дистиллятов, при их выдержке в контакте с древесиной дуба, был смоделирован процесс созревания зерновых дистиллятов в контакте с древесиной дуба в емкостях (стеклянных банках вместимостью 3,0 дм³), в ходе которого дозировано вводили в них кислород. При этом, руководствуясь литературными и патентными источниками, в качестве базовой, была использована дозировка кислорода в количестве 20,0±1,0 мг/дм³.

В качестве сырья при закладке на выдержку в емкости использовали невыдержанный солодовый дистиллят, изготовленный филиалом «Ивацевичский спиртзавод» ОАО «Брестский ЛВЗ «Белалко», по ТУ ВУ 200020127.001-2015 «Дистилляты зерновые» (далее – дистиллят).

Перед закладкой дистиллята на выдержку были определены его органолептические и физико-химические показатели, которые соответствуют требованиям ТУ ВУ 200020127.001-2015 «Дистилляты зерновые».

Для интенсификации экстрактивных и окислительно-восстановительных процессов в экспериментальных образцах дистиллятов на начальном этапе выдержки применена предварительная тепловая обработка при температуре 40,0±0,5 °С в течении 21 суток, после чего образцы были сняты с обработки и их выдержка продолжилась при температуре 20,0±0,5 °С.

В ходе проведения исследовательской работы использовали подтвердившую свою эффективность древесину дуба на щепе «Toasted Hungarian Oak Chips M+» # 15 -7,0 г/дм³ и «Toasted American Oak Chips H» # 15 -3,0 г/дм³ (Венгрия) с технологическими параметрами

(дозировка, степень измельчения, страна происхождения дуба).

Для исследования влияния кислорода на физико-химические и органолептические показатели зерновых дистиллятов, выдержанных в контакте со щепой дуба, были заложены 4 экспериментальных образца.

После двух месяцев созревания дистиллятов в контакте с древесиной дуба было произведено их насыщение кислородом непосредственно из кислородных баллончиков. Перед началом эксперимента во всех образцах зерновых дистиллятов была измерена начальная концентрация растворенного кислорода. В образцах № 2 - 4 продувки проводились до достижения концентрации растворенного кислорода в них $20,00 \pm 0,50$ мг/дм³, согласно графику.

Проведенный контроль концентрации растворенного кислорода показал, что в образцах № 1 - 4 содержание растворенного кислорода находилось на одном уровне в пределах 7,36-7,64 мг/дм³.

Проведенная органолептическая оценка позволяет констатировать, что наиболее яркое развитие цвета, вкуса и аромата наблюдается в образце № 4, который подвергался продувке один раз в 2 месяца. В образце № 4 солодового дистиллята, отмечено развитие интенсивной янтарной окраски и округленного аромата с приятными тонами ванили, дубовой бочки и легкой цветочно-фруктовой ноткой; в образце во вкусе чувствуется мягкость, с приятной дубовой терпкостью, плотностью и маслянистостью в послевкусии. Образец слаженный, гармоничный.

Следует отметить, что продувка кислородом образца № 2 каждые две недели, способствовала формированию в нем более агрессивного вкусоароматического профиля, характеризующегося резкой и долго не проходящей жгучестью, а также присутствием тонов исходного дистиллята во вкусе, которые привели к снижению его органолептической оценки.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1 Анализ результатов, полученных в ходе экспериментальных работ, показал, что в образцах № 2, 3, 4 солодовых дистиллятов, выдержанных в течение 6 месяцев в контакте со щепой степенью обжига «средняя плюс» «Toasted Hungarian Oak Chips M+» в количестве 7,0 г/л и американской щепой со степенью обжига «интенсивная» «Toasted American Oak Chips H» в количестве 3,0 г/л, общей дозировкой 10,0 г/л, с применением тепловой обработки на начальном этапе выдержки и продутых кислородом:

- увеличилось содержание массовой концентрации сложных эфиров и уксусного альдегида, что объясняется ускорением реакций окисления и процессов этерификации в солодовых дистиллятах, находящихся в контакте с древесиной дуба, под воздействием кислорода;

- накопление фенольных и фурановых компонентов (ароматических веществ), содержание экстрактивных и дубильных веществ в образцах к 6 месяцам выдержки находилось на одном уровне, что указывает на незначительное влияние продувок кислородом;

- применение продувок кислородом в дозировке $20,0 \pm 0,50$ мг/дм³ обеспечило более яркое развитие цвета, вкуса и аромата дистиллятов к 6 месяцам. Применение продувки кислородом один раз в 2 месяца позволило добиться в образце № 4 формирования вискового профиля;

- применение частых продувок кислородом (один раз в 2 недели) способствует снижению уровня суммарного содержания фенольных и фурановых компонентов, а также приводит к ухудшению органолептических характеристик зерновых дистиллятов, находящихся на выдержке.

2. Установлено, что применение венгерской щепы со степенью обжига «средняя плюс» «Toasted Hungarian Oak Chips M+» в количестве 7,0 г/л и американской щепы со степенью обжига «интенсивная» «Toasted American Oak Chips H» в количестве 3,0 г/л, способствовало снижению содержания массовой концентрации сивушного масла во всех образцах солодовых дистиллятов вне зависимости от частоты продувок.

3. В результате комплекса проведенных исследований по изучению влияния применения кислорода на особенности созревания зерновых дистиллятов, находящихся в контакте с древесиной дуба при производстве различных групп спиртных напитков на основе выдержанных зерновых дистиллятов, оптимально проводить продувки кислородом в дозировке не менее 20,0 мг/дм³ с частотой не более одного раза в месяц. Для снижения потерь этилового спирта зерновых дистиллятов продувки кислородом рекомендуется проводить: в холодное время года – один раз в месяц, в теплое время года - один раз в два месяца.

УДК 628.355

И. А. Гребенчикова, канд. техн. наук, доц. (БГТУ, г. Минск);
Е. И. Каленская, технолог (ООО «Юкихлеб», г. Мозырь);
О. С. Дубовик, зам. начальника производства
(УП «Минскводоканал», г. Минск)

СВОЙСТВА НИТЧАТЫХ БАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ БИОЦЕНОЗА АКТИВНОГО ИЛА ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Нитчатые бактерии – постоянные обитатели активного ила (АИ). В нормально функционирующем иле их численность невелика, однако в определенных условиях может достигать максимальных значений, вызывая нитчатое вспухание АИ [1]. Это явление ухудшает седиментационные свойства активного ила, что может значительно усложнять эксплуатацию вторичных отстойников.

Целью настоящей работы являлось изучение характеристик нитчатых бактерий, постоянно присутствующих в иловой смеси биореакторов городской очистной станции, для выявления факторов, способствующих снижению их численности в биоценозе.

Объектом исследований служила чистая культура бактерий, выделенных из иловой суспензии очистных сооружений. На данном этапе видовую принадлежность микроорганизмов не определяли. Выделенной культуре было присвоено условное название «бактерии штамма 71».

Морфологические свойства бактерий изучали с использованием микроскопа «Биологический». Приготовление и окрашивание препаратов, определение размеров нитчатых микроорганизмов производили по стандартным методикам [2].

Установлено, что исследуемые бактерии представляют собой палочковидные клетки размером $3,0 \times (1,5-2,0)$ мкм с перитрихальным типом жгутикования, грамположительные, спор, капсул, чехлов не образуют. Бактерии способны формировать нитчатые структуры длиной до 250 мкм как на плотной, так и в жидкой средах.

Источником углерода для данных микроорганизмов может служить широкий спектр моно- и дисахаридов (глюкоза, фруктоза, галактоза, мальтоза, сахароза и др.), что может приводить к их чрезмерному развитию при поступлении на очистные сооружения сточных вод предприятий пищевой промышленности. В то же время не выявлена способность данных бактерий утилизировать такие соединения, как, например, арабиноза, ксилоза, лактоза, цитрат и ацетат натрия. В качестве источника азота могут выступать аминокислоты, однако азот в

составе неорганических соединений бактерии не утилизировали.

Для выявления отношения исследуемых микроорганизмов к факторам среды проводили глубинное культивирование с применением шейкера-инкубатора ES-20 (BIOSAN, Латвия). Использовали питательную среду MM9 [2] с добавлением дрожжевого экстракта. Базовые параметры культивирования: температура – 30°C; pH среды – 7,2; частота встряхиваний – 160 мин⁻¹. В различных экспериментах варьировали значения температуры, pH среды и частоту встряхиваний. Оптическую плотность клеточных суспензий измеряли с помощью спектрофотометра ScanDrop² (Analytik Jena, Германия) при длине волны 600 нм с использованием кювет с толщиной оптического слоя 1 см.

Установлено (рис. 1, а), что бактерии способны к росту в интервале температур 15–40°C с оптимумом при 25–30°C, что может способствовать их массовому развитию в биореакторах в летний период. При температуре 40°C накопление биомассы данными микроорганизмами значительно уменьшается, более 40°C – прекращается. В холодное время года при температуре иловой смеси около 15°C вероятность нитчатого вспухания, вызванного данным видом бактерий, снижается из-за замедления скорости их роста. Показано, что изменение температуры культивирования не влияет на морфологию нитей.

Наиболее интенсивный рост культуры наблюдался в диапазоне pH 7,0–7,5 (рис. 1, б). При нейтральных значениях pH бактерии образовывали длинные недеформированные нити, при pH 8,0–9,5 отмечен распад нитей на более короткие участки либо отдельные клетки.

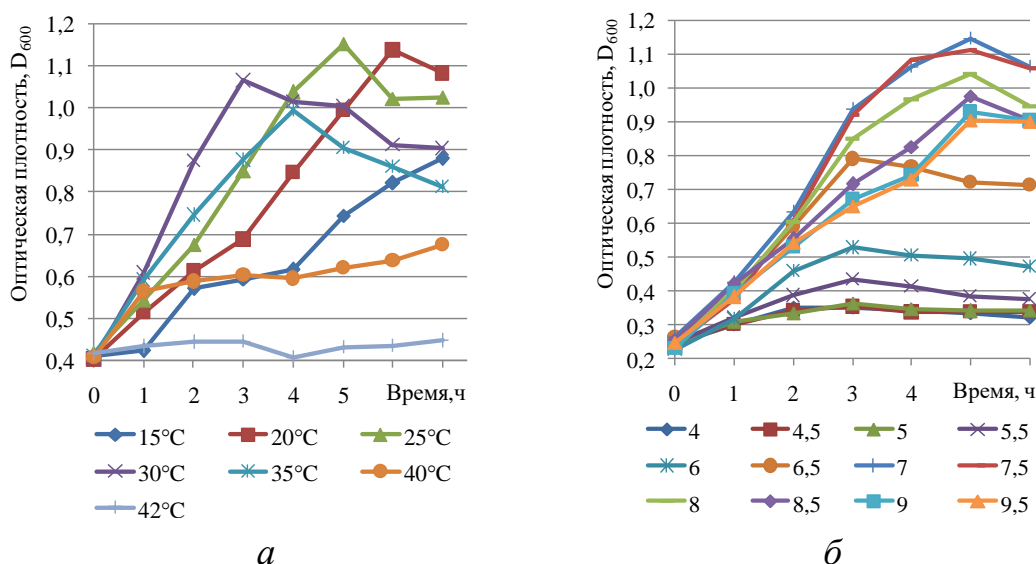


Рисунок 1 - Динамика роста нитчатых бактерий штамма 71 при культивировании: а – при различной температуре; б – при различных значениях pH среды

Низкие значения рН угнетали рост микроорганизмов и вызывали деформацию нитей. Кроме того, выявлена способность исследуемых бактерий подкислять среду в процессе культивирования.

Значительное увеличение скорости роста культуры наблюдалось при отсутствии перемешивания (рис. 2). Это свойство может способствовать массовому развитию этого вида бактерий при нарушениях режима аэрирования в биореакторах.

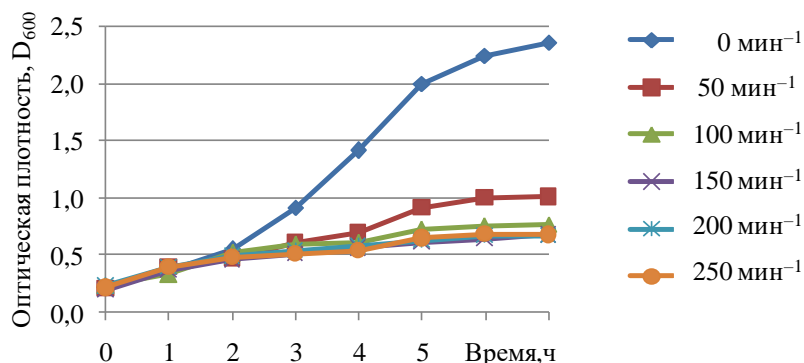


Рисунок 2 – Динамика роста нитчатых бактерий штамма 71 при различной интенсивности перемешивания

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлен ряд факторов, подавляющих развитие нитчатых бактерий штамма 71. Снижению их численности в биоценозах АИ биореакторов очистных станций будет способствовать ограничение поступления легкоутилизируемых углеводов со сточными водами промышленных предприятий; повышение аэробности очистной системы (например, путем введения мелкопузырчатой аэрации в аэрируемых зонах биореакторов); обеспечение интенсивного перемешивания в сооружениях во избежание образования застойных зон. Предлагаемые мероприятия позволят предотвратить массовое развитие данных нитчатых бактерий, обеспечить удовлетворительную седиментационную способность АИ и улучшить эксплуатацию вторичных отстойников.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жмур, Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н.С. Жмур. – М. : АКВАРОС, 2003. – 512 с.
2. Белясова, Н.А. Микробиология. Лабораторный практикум: учеб. пособие для студентов специальностей «Биотехнология», «Биоэкология», «Биология» / Н.А. Белясова. – Минск: БГТУ, 2007. – 160 с.

ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОПАСНОСТИ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ С ПОНИЖЕННОЙ КАЛОРИЙНОСТЬЮ

Безопасность пищевой продукции - состояние пищевой продукции, свидетельствующее об отсутствии недопустимого риска, связанного с вредным воздействием на человека и будущие поколения [1].

По оценкам экспертов Всемирной организации здравоохранения от последствий употребления пищевой продукции, загрязненной микроорганизмами и химическими веществами, ежегодно заболевают 600 миллионов человек, то есть почти каждый 10-й житель планеты, и умирают 420 000 человек, что приводит к потере 33 миллионов лет здоровой жизни. Как правило, заболевания пищевого происхождения - это инфекционные заболевания или интоксикации, вызванные бактериями, вирусами или химическими веществами, попадающими в организм через зараженную воду или пищу. Патогены пищевого происхождения могут вызывать тяжелые диарейные или инвалидизирующие инфекционные заболевания, включая менингит. Загрязнение пищевой продукции химическими веществами может приводить к острому отравлению или развитию онкологических заболеваний [2].

Нарушения в питании, в том числе употребление высококалорийной пищевой продукции, приводит к увеличению числа неинфекционных заболеваний: ожирение, диабет 2 типа, остеохондроз, атеросклероз, варикозное расширение вен и другие.

Количество потребляемых населением Республики Беларусь калорий больше физиологической нормы на 33,4 %, причем большая часть калорий приходится на простые сахара и крахмал (картофель). Потребление сахара превышает на 27,3 % физиологическую потребность в нем [3].

Актуальным является разработка качественных и безопасных кондитерских изделий с пониженной калорийностью.

Разработаны рецептуры тортов бисквитных с заварным кремом, содержащих стевиозид и эритрит – подсластители природного происхождения, разрешенные для применения при производстве пищевой продукции согласно Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 029/2012 "Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств". Указанные кондитерские изделия относятся к пищевой продукции с пониженной калорийностью, так как их энергетическая ценность снижена более

чем на 30 % относительно аналогичной продукции, при производстве которой в качестве компонентов добавлялись моно- и дисахариды.

Оценку безопасности продукции проводили в соответствии с требованиями, установленными Гигиеническим нормативом "Показатели безопасности и безвредности для человека продовольственного сырья и пищевых продуктов", утвержденным Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 21 июня 2013 № 52, Техническим регламентом Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», Гигиеническим нормативом ГН 10-117-99 «Республиканские допустимые уровни содержания радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в пищевых продуктах и питьевой воде (РДУ-99)», утвержденным Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 26 апреля 1999 № 16.

Определение токсичных элементов проводили с использованием метода атомно-абсорбционной спектроскопии (свинец, кадмий, ртуть) и колориметрически (мышьяк), хлорорганических пестицидов (4,4'-дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) и его метаболиты, гексахлорциклопексан (α, β, γ -изомеры) – методом газовой хроматографии, микотоксинов (афлатоксин В₁, дезоксиниваленол) – методом тонкослойной хроматографии, радиологические показатели – с использованием гамма-спектрометрических исследований.

В таблице представлены результаты определения показателей безопасности образцов кондитерских изделий с пониженной калорийностью.

Таблица – Показатели безопасности образцов кондитерских изделий с пониженной калорийностью (торты бисквитные с заварным кремом)

Наименование показателя	Допустимые уровни	Результаты исследований
1	2	3
<i>Микробиологические показатели:</i>		
патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы,	не допускается в 25 г	не обнаружены
количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов	1×10^4 КОЕ/г	менее 1×10^1 КОЕ/г
бактерии группы кишечных палочек (колиформы)	в 0,01 г не допускается	не обнаружены
<i>S. aureus</i>	в 1,0 г не допускается	не обнаружены
Плесени	100 КОЕ/г	менее 100 КОЕ/г
Дрожжи	50 КОЕ/г	менее 50 КОЕ/г

Продолжение таблицы

1	2	3
<i>Токсичные элементы:</i>		
свинец	0,5 мг/кг	не обнаружен
кадмий	0,1 мг/кг	не обнаружен
мышьяк	0,3 мг/кг	не обнаружен
ртуть	0,02 мг/кг	не обнаружена
<i>Пестициды:</i>		
Гексахлорциклогексан (α, β, γ -изомеры)	0,2 мг/кг	не обнаружен
ДДТ и его метаболиты	0,02 мг/кг	не обнаружены
<i>Микотоксины:</i>		
афлатоксин В ₁	0,005 мг/кг	не обнаружены
дезоксиниваленол	0,7 мг/кг	не обнаружены
<i>Радиологические показатели:</i>		
Удельная активность по Cs-137	370 Бк/кг	1,22

В результате проведенных исследований установлено, что образцы тортов бисквитных с заварным кремом, при изготовлении которых использовались подсластители стевиозид и эритрит, по микробиологическим, радиологическим показателям, содержанию токсичных элементов, пестицидов и микотоксинов соответствуют требованиям безопасности и безвредности для человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия повышения качества и безопасности пищевой продукции в Республике Беларусь до 2030 года: коллектив авторов: З.В. Ловкис, Е.М. Моргунова, Е.З. Ловкис // Пищевая промышленность: наука и технологии – 2017 – № 1(35) – С.8–17.
2. Всемирная организация здравоохранения [Электронный ресурс] / Безопасность продуктов питания. – Режим доступа <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/food-safety>. – Дата доступа: 28.01.2021.
3. Ловкис, З.В. Наука, питание и здоровье /З.В. Ловкис, В.В. Шилов, В.Г. Цыганков // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2017 – № 2(36) – С. 4–12.

УДК 615.322:582.886

А. В. Пушко, студ. 5 к. фармацевтического факультета;
О. А. Ёршик, доц., канд. фарм. наук
(ВГМУ, г. Витебск)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЦВЕТКОВ КАЛЕНДУЛЫ ЛЕКАРСТВЕННОЙ

Лекарственное растительное сырье является уникальным источником биологически активных веществ, которые обладают богатым спектром фармакологической активности. Растительное сырье нашло свое применение в медицине и фармации, парфюмерии и пищевой промышленности. Актуальной задачей современности является активное вовлечение, а также рациональное использование растительных ресурсов в практической медицине [1].

Одной из таких групп биологически активных веществ, которые нашли свое применение в медицине и фармации, являются каротиноиды. Данные вещества синтезируются бактериями, водорослями, лишайниками, практически всеми высшими растениями и грибами. Факты синтеза каротиноидов млекопитающими не известны.

Исследование данной группы веществ началось еще в 1831 году, когда Варкенродером был выделен из моркови в кристаллическом виде желтый пигмент β -каротин, а в 1837 году Берцелиусом из осенних листьев – желтые пигменты, названные ксантофиллами. В 1933 году было известно уже около 15 различных каротиноидов, а в 1947 году – около 80.

В настоящее время в группу каротиноидов входит около 700 различных жирорастворимых пигментных веществ.

В природе эти вещества определяют цвет опадающих листьев, окраску цветов (нарциссы, ноготки) и плодов (цитрусовые, перец, томаты, морковь, тыква), насекомых (божья коровка), перьев птиц (фламинго, ибис, канарейка) и морских организмов (креветки, лосось).

Данные вещества обеспечивают разнообразную окраску объектов живой природы. Это различные цвета от желтого до оранжевого и темно-красного, а в комплексе с некоторыми белками могут давать зеленое, фиолетовое или синее окрашивание. Также каротиноиды обладают широким спектром биологических свойств, среди которых общепризнанны провитаминная, антиоксидантная, радиопротекторная и антиканцерогенная функции. В совокупности, они положительно влияют на иммунную систему человека. Также каротиноиды проявляют противовоспалительное действие [2, 3, 4, 5].

В растениях каротиноиды являются вторичными метаболитами, которые синтезируются и локализуются в клеточных пластидах. В данных структурах клетки они образуют светочувствительные комплексы, принимают участие в процессах фотосинтеза и защите растения от оксидантного стресса, который может быть вызван избыточным освещением [6].

Одним из представителей данной группы веществ является β -каротин, биологическая роль которого хорошо изучена. Также научный интерес уделяется и лютеину, недостаточное количество которого отвечает за возрастную потерю зрения.

Цветки календулы являются лекарственным растительным сырьем, содержащим β -каротин и лютеин. Как и у любого лекарственного растительного сырья, у цветков календулы лекарственной в процессе хранения изменяется содержание действующих веществ.

Одним из источников получения каротиноидов является лекарственное растительное сырье. Чаще всего оно применяется в высушенном виде при получении водных извлечений (настои и отвары), настоек и экстрактов. Свежее лекарственное растительное сырье содержит комплекс действующих веществ, входящих в состав растений в естественном состоянии, которые не подвержены гидролитическому разложению, а также действию ферментов. Вследствие того, что лекарственное растительное сырье невозможно длительно хранить в свежем виде, на практике его применяют крайне ограниченно.

Данная работа посвящена исследованию динамики и глубины изменения содержания каротиноидов в процессе ускоренного старения в лекарственном растительном сырье.

В качестве объекта исследования использовали *Calendulae officinalis flos*, выращенные в условиях д. Бочейково и собранные в фазу цветения в июле-августе 2020 года. Цветки были подвергнуты воздушно-теновой сушке, основанной на свободном доступе воздуха к сырью. До проведения анализа образцы хранились в картонных коробках при комнатной температуре. Лепестки перед проведением опыта отделяли и измельчали.

Количественное определение каротиноидов производили спектрофотометрическим методом. Навески образцов (0,4 г высушенных лепестков *Calendulae officinalis flos*) заливали 10 мл 96% этанола и встряхивали в течение 30 минут. Процеживали через вату. Измеряли оптическую плотность полученного раствора при 450 нм, используя 96% спирт Р в качестве компенсационного раствора. Оптическую плотность определяли с помощью колориметра фотоэлектрического концентрационного КФК-3 в кювете с длиной оптического пути 1 см [7].

Содержание суммы каротиноидов в пересчете на β -каротин и абсолютно сухое сырье в процентах рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{A \cdot 10 \cdot 100}{250 \cdot l \cdot m \cdot (100 - W)}$$

где: A – оптическая плотность испытуемого раствора; 250 – удельный показатель поглощения β -каротина; l – длина оптического пути, см; m – масса навески испытуемого сырья (сухое сырье); W – потеря в массе при высушивании сырья, %.

Для индуцирования изменений цвета и химического состава лепестки *Calendulae officinalis flos* подвергали ускоренному хранению путем выдерживания в термостате при 60 °С в течение 14 суток. При этом было сформировано две серии исследований: закрытая серия – герметично закупоренные под обкатку стеклянные флаконы, закрытая серия – бумажные пакеты. Спустя 14 суток определяли содержание каротиноидов вышеописанным методом. В ходе исследования получены данные, представленные на рисунке 1.

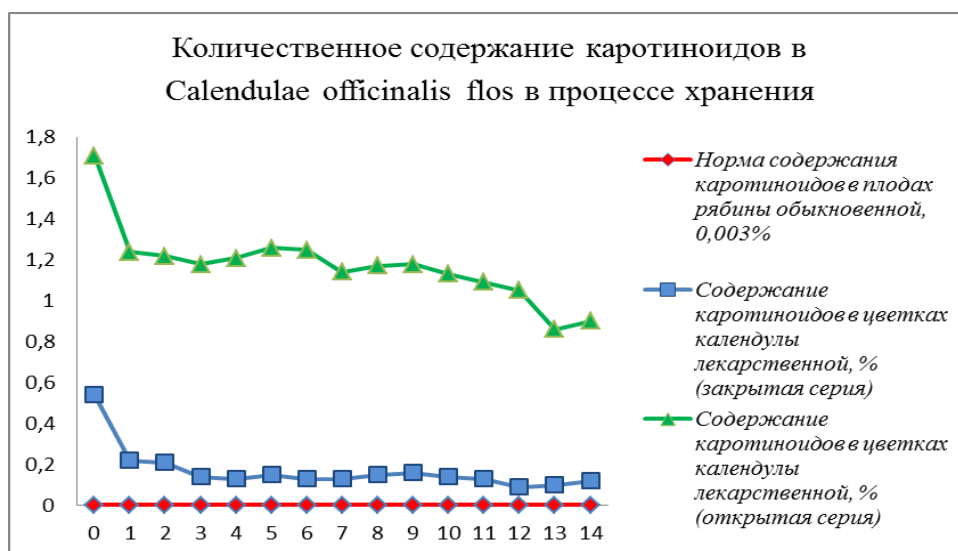


Рисунок 1 – Количественное содержание каротиноидов в *Calendulae officinalis flos* в процессе хранения

Установлено, что в процессе старения цветков календулы лекарственной содержание каротиноидов уменьшается: при условии доступа воздуха на 27% в первый день ускоренного хранения. Без доступа воздуха содержание каротиноидов уменьшается на 59% в первый день ускоренного хранения и на 74% на третий день. Глубина уменьшения содержания каротиноидов при условии доступа воздуха составляет 47% к 14 дню ускоренного хранения и 78% без доступа воздуха. К 14 дню ускоренного хранения содержание каротиноидов остается в пределах нормы (более 0,003%).

ЛИТЕРАТУРА

1. Тринеева, О.В. Разработка методики количественного определения антоцианов в плодах облепихи крушиновидной / О.В. Тринеева, А.И. Сливкин, И.А. Самылина, М.А. Казьмина // Фармация. – 2015. – № 7. – С. 9-13.
2. Тринеева, О.В. Разработка методики количественного определения антоцианов в плодах облепихи крушиновидной / О.В. Тринеева, А.И. Сливкин, И.А. Самылина, М.А. Казьмина // Фармация. – 2015. – № 7. – С. 9-13
3. Дейнека, В.Н. Каротиноиды: строение, биологические функции и перспективы применения / Дейнека В.И., А.А. Шапошников, Л.А. Дейнека, Т.С. Гусева, С.М. Вострикова, Е.А. Шенцева, Л.Р. Закирова // Научные ведомости. – 2008. – № 6(46) – С. 20-25
4. Бриттон Г. Биохимия природных пигментов, 1986. – М.: Мир. – 422 с.
5. Печинский С.В., Курегян А.Г. Структура и биологические функции каротиноидов // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2013. – № 9. – С. 4–15.
6. Britton G., Liaaen-Jensen S., Pfander H. Carotenoids Handbook. Basel AG.: Springer, 2004. – 646 p.
7. Голубкина, Н.А. Биологическое значение каротиноидов/ Н.А. Голубкина, О.Н. Пышная, Н.В. Бондарева // Овощи России, Научно-практический журнал. – 2010. – №2(8). – С. 26-40.
8. Государственная Фармакопея Республики Беларусь. В 2 т. Т. 2. Контроль качества вспомогательных веществ и лекарственного растительного сырья / Министерство здравоохранения Республики Беларусь, УП «Центр экспертиз и испытаний в здравоохранении» // Под общ. ред. С.И. Марченко – Молодечно: Типография «Победа». – 2016. – 1368 с.

**ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ЭТАПОЛАНА
НА СМЕСИ ЭТАНОЛА И ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА
ПРИ ДРОБНОМ ВНЕСЕНИИ СУБСТРАТОВ**

На сегодняшний день при разработке микробных технологий большое внимание уделяется определению и поддержанию оптимальных условий культивирования, обеспечивающих максимальный синтез целевого продукта.

Так, в предыдущей работе [1] с целью стабилизации рН культуральной жидкости на оптимальном для синтеза экзополисахарида (ЭПС) этаполана уровне (7,0-8,0) заменяли источник минерального азота (NH_4NO_3 на KNO_3) и снижали начальные концентрации субстратов в смеси (этанол и рафинированное подсолнечное масло) с последующим их дробным внесением в процессе выращивания штамма *Acinetobacter* sp. ИМВ В-7005 до конечной концентрации 2 % этанола и 0,6 % масла. Отметим, что в таких условиях культивирования наблюдали повышение показателей синтеза полисахарида (концентрация ЭПС составляла 10 г/л, ЭПС-синтезирующая способность – 2 г ЭПС/ г биомассы). В тоже время данная концентрация целевого продукта была ниже, чем при использовании других смешанных субстратов [2].

Очевидно, что для дальнейшей интенсификации синтеза этаполана необходимо повышать конечную концентрацию субстратов, что и являлось целью данной работы.

Штамм ИМВ В-7005 культивировали в минеральной среде следующего состава (г/л): KH_2PO_4 – 6,8; KNO_3 – 1,5; $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ – 0,4 (концентрация Mg^{2+} 1,6 мМ); $\text{CaCl}_2 \times 2 \text{H}_2\text{O}$ – 0,1; $\text{FeSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ – 0,001. В одном из вариантов концентрацию $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ повышали до 1,25 г/л (концентрация Mg^{2+} 5,0 мМ). В среду дополнительно вносили дрожжевой автолизат (0,5 % по объему) и мультивитаминный комплекс «Комплевит» (0,00085 % в пересчете на пантотенат).

В качестве источника углерода и энергии использовали смесь этанола (2,0-4,0 %, по объему) и рафинированного подсолнечного масла (0,6-1,2 %, по объему). В одном из вариантов начальная концентрация этанола в среде составляла 0,65-1,0 %, а масла 0,2-0,3 %, а в процессе культивирования осуществляли дробное внесение субстратов порциями по 0,65-1,3 % (этанол) и 0,2-0,4 % (масло) до конечной концентрации субстратов 2,0-4,0 % и 0,6-1,2 % соответственно.

В качестве посевного материала использовали культуру из экспоненциальной фазы роста, выращенную в среде с этанолом (0,5 %).

Статистическую обработку данных проводили по Лакину [3]. Результаты исследований в соответствии с *t*-критерием Стьюдента были статистически достоверными при 5 %-ном уровне значимости.

Культивирование осуществляли в колбах объемом 750 мл со 100 мл среды на качалке (320 об/мин) при 30 °С в течение 120 ч.

Концентрацию биомассы определяли по оптической плотности клеточной суспензии с последующим пересчетом на сухую биомассу по калибровочному графику. Концентрацию ЭПС определяли весовым методом после осаждения изопропиловым спиртом. ЭПС-синтезирующую способность определяли как отношение концентрации ЭПС к концентрации биомассы и выражали в г ЭПС / г биомассы.

Эксперименты показали (таблица), что снижение начальной концентрации этанола и масла в смеси до 1/3 от их общего содержания с последующим дробным внесением порциями по 1,3 % и 0,4 % соответственно до конечной концентрации 4,0 % и 1,2 %, хоть и сопровождалось повышением количества синтезированного этаполана до 11,4 г/л, но приводила к снижению рН культуральной жидкости до 5,9 и ЭПС-синтезирующей способности в 1,3 раза.

Таблица – Показатели синтеза этаполана при дробном внесении субстратов

Концентрация Mg ²⁺ , мМ	Режим внесения этанола и масла*	рН	ЭПС, г/л	г ЭПС / г биомассы
1,6	Три порции по 1,3 % и 0,4 %	5,9	11,38±0,57	1,59±0,08
	Четыре порции по 1,0 % и 0,3 %	5,9	11,88±0,59	3,08±0,15
	Пять порций по 0,8 % и 0,24 %	6,1	13,51±0,68	3,65±0,18
5,0	Четыре порции по 1,0 % и 0,3 %	6,1	10,37±0,52	2,58±0,13
	Пять порций по 0,8 % и 0,24 %	6,2	9,86±0,49	2,19±0,11

Примечание – Конечная концентрация этанола и масла в смеси составляет 4,0 % и 1,2 % соответственно.

В предыдущих работах [4] было неоднократно продемонстрировано, что снижение рН при росте штамма ИМВ В-7005 на этаноле обусловлено низкой активностью ацетил-КоА-синтетазы. Мы предположили, что возможным путем решения данной проблемы может быть повышение концентрации катионов Mg²⁺ в среде культивирования, которые являются одним из активаторов данного фермента [4], при дополнительном снижении начальной концентрации моносубстратов в смеси. Оказалось неожиданным, но дополнительное внесение катионов Mg²⁺ сопровождалось незначительным снижением синтеза ЭПС (таблица). Возможно, это связано с ингибирующим влиянием катионов магния на ферментативные системы, ответственные за катаболизм

жирных кислот, входящих в состав подсолнечного масла. Так, например, у *Lactococcus lactis* ssp. *lactis* концентрация Mg^{2+} , обеспечивающая максимальную активность, отличается для различных ферментов β -окислительной системы [5].

В тоже время установлено, что дополнительное снижение начальной концентрации до 1/5 от их начального количества с последующим дробным внесением равными порциями до конечной концентрации 4,0 % этанола и 1,2 % масла, позволяет повысить концентрацию ЭПС и ЭПС-синтезирующую способность в 1,2 и 2,3 раза соответственно по сравнению с внесением трёх порций этанола и масла по 1,3 % и 0,4 % соответственно.

Таким образом, в ходе проведенных исследований, установлен режим дробного внесения субстратов, позволяющий повысить показатели синтеза этаполана (до 13,5 г/л ЭПС) за счет увеличения концентрации этанола и масла в смеси до 4,0 % и 1,2 % соответственно. Полученные результаты являются основой для разработки технологии получения полисахарида на смеси этанола и отработанного подсолнечного масла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ярош М. Б., Вороненко А. А., Пирог Т. П. Интенсификация микробного экзополисахарида этаполана на смеси этанола и подсолнечного масла. *Современные проблемы генетики, геномики и биотехнологии: материалы конференции*. Ташкент, 2020, с. 286-288.

2. Voronenko A., Ivakhniuk M., Pirog T. Production of exopolysaccharide ethapolan by *Acinetobacter* sp. IMV B-7005 on fried oil and oil-containing mixed substrates. *Banat's Journal of Biotechnology*, 2020, vol. 11, no. 22, pp. 66-75. DOI: 10.7904/2068-4738-XI(22)-66.

3. Лакин Г.Ф. Биометрия. Москва, 1990. С. 352.

4. Подгорский В. С., Иутинская Г. О., Пирог Т. П. Интенсификация технологий микробного синтеза. Киев, 2010. С. 327.

5. Li L., Ma Y. Effects of metal ions on growth, β -oxidation system, and thioesterase activity of *Lactococcus lactis*. *Journal of Dairy Science*, 2014, vol. 97, no. 10, pp. 5975-5982. DOI: 10.3168/jds.2014-8047.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЖИДКИХ ПРОДУКТОВ БЫСТРОГО АБЛЯЦИОННОГО ПИРОЛИЗА ДРЕВЕСИНЫ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА БИТУМНО-ПОЛИМЕРНОЙ МАСТИКИ

В настоящее время большинством исследователей, строителей и проектировщиков не подвергается сомнению тот факт, что использование полимерных модификаторов битума позволяет повысить долговечность автомобильных дорог. Введение подходящего полимерного модификатора придает вяжущему и всему материалу (битумно-полимерной мастике) большую сопротивляемость течению при повышенных температурах, морозостойкость, повышенную сопротивляемость усталостным нагрузкам, существенно повышает долговечность покрытия.

Целью данной работы является создание битумно-полимерной мастики, на основе смесевых термоэластопластов (ТЭП), обладающей повышенной прочностью, сдвигоустойчивостью дорожного полотна, а также увеличить ее адгезию к основанию дорожного полотна с помощью адгезионных добавок на основе жидких продуктов пиролиза древесины. Известно, что быстрый абляционный пиролиз позволяет получить олигомерные продукты, которые потенциально можно использовать в качестве компонентов в дорожном битуме для улучшения адгезии [1]. Олигомерные продукты содержат в водонерастворимой фракции преимущественно соединения, принадлежащие к экстрактивным веществам и продуктам разложения лигнина, а также циклопентан, бензол, этилбензол, винилбензол, фурфурол, фенол, крезолы, метоксифенолы и жирные кислоты.

Ранее на кафедре проводились работы по модификации битума смесевыми термоэластопластами на основе СКЭПТ и ПЭВД [2-5]. Для улучшения свойств ТЭП и прежде всего адгезионных, дополнительно вводились термопластичные материалы с предельной основной цепью СЭВА и Повалан, содержащие в своем составе адгезионно-активные группы: СЭВА – винилацетатные, Повалан – ангидридные. Увеличение содержания в композициях СЭВА и Паволана приводило к повышению температуры размягчения битум-полимерных мастик и увеличению дуктильности [5].

За базовую была взята ранее разработанная рецептура, а в каче-

стве адгезионной добавки жидкие продукты быстрого абляционного пиролиза древесины березы (ЖПБАПД). В составе ТЭП варьировались различные типы каучуков: ДССК, СКЭПТ, СКМС-30-АРКМ15, СКИ-3, в качестве пластика – ПЭВД. Для повышения адгезии мастик к субстрату вводилась адгезионная добавка – ЖПБАПД с различным содержанием 0–15 мас.ч..

Для каждой композиции определяли физико-механические свойства ТЭП. С увеличением содержания добавок до 15 мас.ч. возросла прочность и относительное удлинение ТЭП. ТЭПы на основе СКЭПТ увеличили прочность в два раза, по сравнению с ТЭП без ЖПБАПД, что по-видимому связано с лучшей совместимостью СКЭПТ и ПЭВД – вторым компонентом ТЭП.

Затем получали битум-полимерные композиции (БПК) путем модификации битума 4 % ТЭПом, содержащим различное содержание ЖПБАПД, при температуре 150-160 °С. Адгезионная добавка сократила время смешивания на 2 часа для композиций БПК на основе СКЭПТ. В БПК на основе СКМС данные добавки видимого эффекта не проявили. БПК на основе СКИ-3, имеющая самое долгое время смешения, при введении добавки стала смешиваться на 4 часа быстрее.

Таблица – Адгезия БПК к бетону

Состав ТЭП	Содержание ЖПБАПД, мас.%	Адгезия, МПа	Характер разрыва
СКЭПТ	0	0,38	адгезионный
СКЭПТ	5	0,55	адгезионный
СКЭПТ	15	0,16	когезионный
ДССК	0	0,23	адгезионный
ДССК	5	0,18	адгезионный
ДССК	15	0,21	адгезионный
СКМС30-АРКМ15	0	0,15	адгезионный
СКМС30-АРКМ15	5	0,16	адгезионный
СКМС30-АРКМ15	15	0,43	когезионный
СКИ-3	0	0,68	когезионный
СКИ-3	5	0,55	когезионный
СКИ-3	15	0,52	когезионный

Одним из важнейших свойств для БПК является адгезия к щебню. Как видно из таблицы, адгезия повысилась при модификации битума смесями ТЭП, на основе СКИ-3 и СКМС30-АРКМ15, характер разрушения менялся на когезионный при содержании ЖПБАПД 15 мас. ч.

Для каждой композиции БПК определяли эксплуатационные свойства (физико-технические характеристики). БПК модифицированные ТЭП с добавкой улучшили пенетрацию, на 10 % для всех кау-

чуков. Для БПК, содержащих ТЭП на основе СКМС30-АРКМ15 увеличилась температура размягчения, однако ухудшилась эластичность по сравнению с БПК, модифицированных чистыми термоэластопластами. Дуктильность значительно уменьшилась и осталась примерно на одном уровне при модификации битума всеми смесями ТЭП с различными каучуками.

Таким образом, можно классифицировать ЖПБАПД в качестве добавки, позволяющей в количестве 5–15 мас.ч. улучшать эксплуатационные свойства БПК на основе ТЭП.

ЛИТЕРАТУРА

1. Файзрахманова Г.М. Применение жидких продуктов быстрого абляционного пиролиза древесины для модификации дорожного битума /Г.М. Файзрахманова, С.А. Забелкин // Сб. материалов IX международной научно-практической конференции «Современное состояние и перспективы инновационного развития нефтехимии». – 2016. –С. 197–198.

2. Закирова Л.Ю. Модифицированные гидроизоляционные термоэластопластичные материалы: дисс. ...канд. техн. наук, казанский гос. технологический ун-т, Казань, 2005. 117 с.

3. Пузакова Е.В., Закирова Л.Ю., Вольфсон И.С., Хакимуллин Ю.Н., Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хозин В.Г. Влияние состава термоэластопластов на свойства модифицированных битумов // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16. № 1. С. 120–121.

4. Ахмедгораева А.Р., Бирюков А.А., Закирова Л.Ю., Закиров М.Э., Ефимова А.Р. Исследование влияния технологической добавки на термические свойства динамического термоэластопласта методами дифференциальной сканирующей калориметрии и термогравиметрического анализа // Бутлеровские сообщения. 2017. Т. 50. № 4. С. 85–89.

5. Вольфсон С.И., Хакимуллин Ю.Н., Закирова Л.Ю., Хусаинов А.Д., Вольфсон И.С., Макаров Д.Б., Хозин В.Г. Разработка полимерных добавок для модификации дорожного битума сообщение 2. использование модифицированного дорожного битума в асфальтобетонах и щебеночно-мастичных асфальтобетонах // Вестник Технологического университета. 2016. Т. 19. № 17. С. 37–40.

УДК 544.6.018.42

А. А. Касач, асп.; И. М. Жарский, канд. хим. наук, проф.;
И. И. Курило, канд. хим. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)

КОРРОЗИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ СПЛАВОВ CU-SN В СРЕДЕ ИСКУССТВЕННОГО ПОТА

Благодаря ряду уникальных свойств: высокой коррозионной устойчивости, тепло- и электропроводности, пластичности, износостойкости, декоративному виду – медь и ее сплавы широко используются в различных областях промышленности. В последнее время повышенный интерес к меди и ее сплавам вызван их антибактериальной, противогрибковой и противовирусной активностью по отношению к широкому спектру микроорганизмов.

Стоит отметить, что гальванические покрытия Cu-Sn обладают более высокими декоративными свойствами (блеском) по сравнению с металлургическими сплавами. Однако в процессе эксплуатации в естественных условиях большинство медных сплавов подвержены потускнению или потемнению в связи с образованием различных продуктов коррозии, состав и количество которых зависит от назначения покрытий и условий их эксплуатации.

Целью данной работы является исследование коррозионной устойчивости гальванических сплавов Cu-Sn с различным содержанием олова в среде искусственного пота.

После 30 дней испытаний в растворе искусственного пота слой продуктов коррозии сплава, содержащего 6 мас. % Sn, обогащен медью. Увеличение содержания меди в поверхностном слое сплава Cu₆Sn обусловлено образованием неравномерной пленки SnO₂, по границам которой происходит растворение основного компонента сплава (меди). Увеличение содержания олова в сплаве свыше 8 мас. % приводит к существенному увеличению коррозионной стойкости покрытий. Увеличение защитных свойств обусловлено образованием на поверхности образца сплошного плотного слоя SnO₂, который препятствует дальнейшему растворению сплава, и, соответственно, приводит к ухудшению декоративных свойств покрытия.

Таким образом, увеличение содержания олова в гальваническом сплаве Cu-Sn приводит к существенному увеличению коррозионной стойкости в среде искусственного по сравнению с покрытиями из чистой меди и сплавами Cu₆Sn.

Е.П. Шишаков, вед. науч. сотр., канд. техн. наук;
В.В. Коваль ассист.;
А.М. Залуцкая, асп. (БГТУ, г.Минск)

ПОЛУЧЕНИЕ КАТИОНИРОВАННЫХ ПОЛИМЕРОВ ДЛЯ БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В настоящее время в бумажной промышленности широко используются модифицированные полимеры различного производства, применение которых позволит повысить качество бумаги и снизить потери со сточными водами.

Широкое применение в производстве бумаги и картона нашли катионные крахмалы с различной степенью замещения, позволяющие повысить ретенцию волокна и наполнителя, понизить процесс пыления, увеличить прочность поверхности, сопротивление излому и разрывную прочность бумаги.

Катионированные крахмалы (КтК) – группа производных полисахаридов, получаемых в результате реакций нативного крахмала с химическими соединениями, включающими аминные, иминные, аммонийные, сульфониевые, фосфониевые и другие группировки, имеющие положительные заряды.

Для оценки функциональных свойств и перспектив применения катионированных крахмалов в различных отраслях промышленности используется такой показатель, как степени замещения (СЗ). Величина степени замещения показывает количество замещенных гидроксильных групп, приходящихся на каждое глюкопиранозное звено полимерной цепи.

Получение катионного крахмала возможно различными способами путем введения в макромолекулу крахмала функциональных групп, несущих положительный заряд. В качестве исходного субстрата для катионизации возможно использовать нативные крахмалы различного происхождения – картофельный, кукурузный, пшеничный, тапиковый, рисовый, овсяный, гороховый крахмал.

подавляющее большинство алкилирующих реагентов (АР) представляют собой производные первичных, вторичных, третичных аминов или четвертичных аммонийных соединений. В качестве АР при производстве КтК широко используются 3-хлоро-2-гидроксипропилтриметиламмоний хлорид (ХГПТМАХ) или 2,3-эпоксипропилтриметиламмоний хлорид (ЭПТМАХ) [1].

Реакция алкилирования осуществляется преимущественно в присутствии щелочей, которые облегчают разрыв связи О-Н и повышают нуклеофильность гидроксильных групп крахмала.

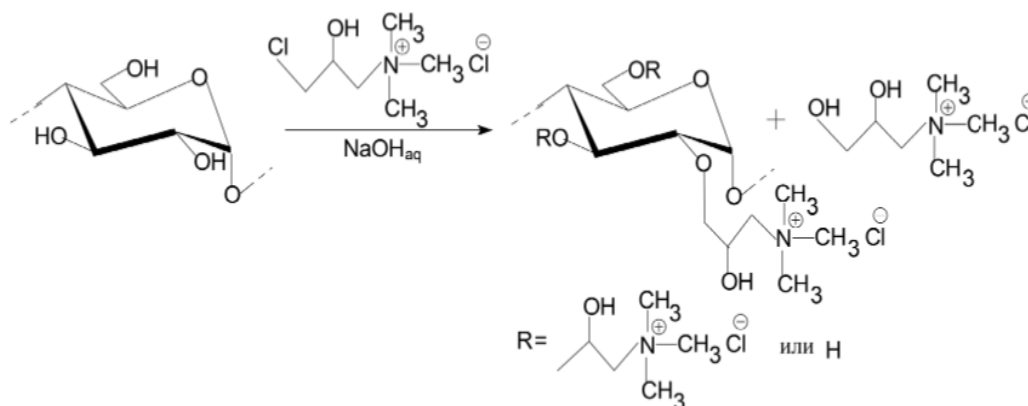


Рисунок – Обобщенная схема катионирования крахмала

Все известные способы получения катионного крахмала можно разделить на три группы:

1. «Мокрый» способ получения включает гетерогенные реакции гранул крахмала в суспензии и гомогенные реакции желатинизированного крахмала в пасте.

К определяющим факторам при реализации данного метода относятся: концентрация суспензии (преимущественно 25–35%), количество реагентов, температурный режим (редко превышает границы в 400С) и длительность процесса (4–24 ч.).

Эффективности катионирования при данном методе составляет 40–70%, это связано с высокой интенсивностью побочных процессов и с неполным расходом реагента, который затем отделяют от крахмала при обезвоживании и промывании, а в последствии утилизируют со сточными водами.

Главное преимущество данного метода заключается в простота аппаратурно-технологического оформления.

В качестве недостатков можно выделить такие моменты как расход очень большого количества воды, невысокая эффективность реакции катионизации в суспензии, высокий расход катионного реагента.

2. При «сухом» способе происходит распыскивание водного раствора щёлочи и катионного агента на крахмал, после этого полученная смесь подвергается тепловой обработке. Полученные данным способом продукты возможно использовать без дополнительной обработки. Эффективности катионирования крахмала составляет 90–95% (на 20–25% выше, чем при мокром методе). Данный метод позво-

ляет получить КтК с высокой степенью замещения (до 0,5) и исключить потери продукта при промывке.

Недостатками данного способа являются энергоемкость, длительность технологического цикла производства, высокий расход катионного реагента.

3. В последние годы получил активное развитие экструзионный способ. Данный способ представляет собой влаготермомеханическую обработку крахмала с реагентами на вальцовой сушилке, экструзионной установке, развариванием в специальных аппаратах

Недостатком является сложность контроля основных технологических параметров [2].

В последние годы активно разрабатываются упрочняющие добавки получаемые катионированием поливинилового спирта (ПВС) и сополимеров акриламида и акрилата натрия (САА и АН).

Процесс катионирования поливинилового спирта происходит в щелочной среде, для этого используют гидроксиды, щелочные соли, оксиды и гидроксиды щелочноземельных, а также комбинации указанных соединений. В экструзионном способе получения катионированного ПВС в качестве АР при используются ЭПТМАХ, ХГПТМАХ и эпоксипропилтриэламмония хлорид [3].

В «сухом» способе получения катионированного ПВС используют ациклические высокомолекулярные эпоксидами в качестве алкилирующих реагентов [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. Синтез и изучение физико-химических свойств катионных крахмалов / С.М. Бутрим [и др.] // Химия природ. соединений. – 2011. – №2. – С. 172–175.

2. Литвяк, В.В. Механизм химической модификации крахмала / В.В. Литвяк, Ю.Ф. Росляков // Изв. высш. учеб. заведений. Пищевая технология. – 2013. – № 2–3. – С. 31–35.

3. A kind of cationic polyvinyl alcohol preparation method and manufacture of paper [Electronic resource]: pat. CN 107266611A / T. Wang, Z. Wei. – Publ. date 07.06.2017. – Mode of access: <https://patents.google.com/patent/CN107266611A/zh?q=107266611A>. – Date of access: 21.10.2020.

4. Process for the preparation of cationized polyvinyl alcohol [Electronic resource]: pat. US 4822851A / R. Stober, E. Kohn. – Publ. date 18.04.1989. – Mode of access: <https://patents.google.com/patent/US4822851A/en?q=US4822851A>. – Date of access: 21.10.2020.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДА ЭТИЛОВОГО СПИРТА ПРИ СБРАЖИВАНИИ СУСЛА

В настоящее время этиловый спирт широко применяется в различных отраслях промышленности, в том числе в качестве топлива для автотранспорта. Получение биоэтанола из крахмал- и сахаросодержащего сырья ограничено использованием этих видов сырья в пищевых целях. Производство гидролизного этилового спирта из лигноцеллюлозной биомассы кислотным гидролизом растительного сырья в настоящее время в РБ приостановлено в связи с высокой энергоемкостью процесса и высокой себестоимостью спирта.

В промышленности используется в основном традиционный способ получения этилового спирта: получение гидролизата кислотной или ферментативной обработкой крахмал-, сахаро- и целлюлозосодержащего сырья; гидролизат, содержащий раствор моносахаридов, после соответствующей подготовки подвергается глубинной ферментации в анаэробных условиях различными спиртообразующими культурами дрожжей (преимущественно рода *Saccharomyces* и *Schizosaccharomyces*) с последующим выделением этанола и его очисткой с помощью ректификации [1].

Стадия сбраживания в процессе производства спирта по классической технологии является наиболее продолжительной, поскольку ферментация длится до 65 ч. Концентрация спирта в бражке при этом составляет 1–10% в зависимости от исходного сырья. В настоящее время повышение эффективности процесса сбраживания является актуальной задачей.

Качество бражки определяется такими основными показателями, как концентрация спирта, доля остаточных сбраживаемых моносахаридов, состав и содержание побочных продуктов.

Максимальная концентрация спирта в бражке при проведении процесса в оптимальных условиях лимитируется в основном фактором ингибирования дрожжевой активности конечными продуктами брожения, в т. ч. этиловым спиртом. В настоящее время активно проводятся исследования по увеличению максимальной концентрации спирта в бражке.

Для повышения эффективности предлагаются различные способы усовершенствования процесса сбраживания субстратов в этанол:

модернизация технологического оборудования и процессов, замена дрожжевых культур, введение активаторов брожения и т.д.

Активно исследуется повышение эффективности процесса путем иммобилизации дрожжевых клеток различными способами (рисунок 1).



Рисунок 1 - Способы иммобилизации дрожжевых клеток

Одним из перспективных направлений исследований по повышению выхода этанола является использование различных культур микроорганизмов, ассимилирующих пентозы (*Candida shehatae*, *Candida tropicalis*, *Pachysolen tantrophilus* и т.д.), что связано с высоким содержанием пентозанов в гидролизатах, полученных из растительного сырья. В таблице приведены данные об остаточном содержании пентозанов и пентоз в бражках, полученных из наиболее распространенных видов сырья [2].

Таблица – Среднее содержание пентоз и пентозанов в бражках, полученных из различных культур зерна и картофеля

Культура	Массовая концентрация пентоз и пентозанов, г/100 см ³
Картофель	0,2
Просо	0,3
Рожь	0,7
Кукуруза	0,3
Пшеница	0,4
Свекла сахарная	0,2–0,3
Меласса	0,11
Ячмень	0,6
Овес	0,7

Видно, что содержание остаточных пентоз в полученной бражке является значительным и их переработка позволяет значительно повысить выход спирта.

Перспективным направлением является переработка крахмалсодержащего и лигноцеллюлозного сырья в этанол прямой биоконверсией субстрата без предварительной гидролитической или микробиологической обработки с использованием бактерий, расщепляющих полисахариды и сбраживающих полученные олиго- и моносахариды в одном процессе (например, бактериями *Clostridium thermocellum*). Однако промышленное использование в качестве продуцентов этанола термофильных анаэробных бактерий, является их низкая устойчивость к этанолу [3].

Одним из способов увеличения выхода этанола является сбраживание под вакуумом, организация которого позволяет проводить одновременную отгонку спирта и других летучих веществ, тем самым удаляя из реакционной среды конечные продукты реакции и смещая равновесие в их сторону.

Эффективность процесса конверсии целлюлозы и гемицеллюлоз растительной биомассы в этанол значительно повышается при использовании ассоциаций микроорганизмов, например, *Clostridium thermocellum* и *Clostridium thermohydrosulfuricum* [4], или ее одновременном «осахаривании» и ферментации при применении комплексных ферментных препаратов [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология спирта / В. Л. Яровенко [и др.]; под общ. ред. В. Л. Яровенко. – М.: Колосс: Колосс-Пресс, 2002. – 464 с
2. Осетров, С. А. Контроль качества зрелой бражки. URL: <http://www.sergey-osetrov.narod.ru/Projects/Fermentation> (дата доступа: 02.01.2020).
3. Болтовский В. С. Теория и технология комплексной гидролитической переработки растительной биомассы / В. С. Болтовский. – Минск: БГТУ, 2014. – 267 с.
4. Ng, T. K. Differential metabolism of cellulose by *Clostridium thermocellum* и *Clostridium thermohydrosulfuricum* / T. K. Ng, J. G. Zeikus // J. Bacteriol. – 1982. – Vol. 150, No. 3. – P. 1391–1399.
5. Степанов Н. А., Ефременко Е. Н., Барфоломеев С. Д. Получение биоэтанола в процессе одновременного осахаривания и ферментации отходов переработки древесины и сельского хозяйства / URL: www.ru.waste.ua/eeco/2009/biomass/bioetchnol (дата доступа: 10.01.2021).

Научное издание

ТЕХНОЛОГИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

**Материалы докладов 85-ой научно-технической
конференции профессорско-преподавательского
состава, научных сотрудников и аспирантов
(с международным участием)**

Электронный ресурс

В авторской редакции

Компьютерная верстка:

*А.В. Домненкова, С.В. Киселев, А.В. Лешкевич,
Е.Ф. Чернявская, Е.О. Черник*

Усл. печ. л. 22,61. Уч.-изд. л. 23,34.

Издатель и полиграфическое исполнение:

УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распро-
странителя печатных изданий

№ 1/227 от 20.03.2014

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.