



Рисунок 1 – Фракционный состав дизельного топлива, подсолнечного масла и их смесей

Вывод. Приведенные данные экспериментальных исследований подтверждают возможность использования в дизелях биодизельных топлив, получаемых из различных сырьевых ресурсов. Наибольшее приближение к свойствам нефтяных дизельных топлив обеспечивает применение смесей нефтяного дизельного топлива и метиловых эфиров растительных масел. При этом удастся получать показатели токсичности отработавших газов, которые заметно лучше аналогичных показателей дизеля, работающего на чистом дизельном топливе. Причем улучшения показателей токсичности отработавших газов достигают даже при небольшом содержании биодизельного топлива в смеси (5–10 %). Это позволяет использовать исследованные биодизельные топлива в качестве экологических добавок к нефтяному дизельному топливу.

#### Список использованных источников

1. Использование биотоплив на основе растительных масел в дизельных двигателях / В. А. Марков, С. Н. Девянин, В. Г. Семенов, А. В. Шахов, В. В. Багров. – М.: ISSN 0236-3941. – Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Сер. «Машиностроение». – 2012.
2. Использование растительных масел и топлив на их основе в дизельных двигателях / В. А. Марков, С. Н. Девянин, В. Г. Семенов, А. В. Шахов, В. В. Багров. – М.: ООО НИЦ «Инженер», 2011. – 536 с.
3. Электронный документ от 13.04.2017: <http://computerra.ru/> Зачем нужны биотоплива - Компьютерра-Онлайн.htm.
4. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: справочник / ред. В. М. Школьников – М.: «Техноинформ». – 1999. – с. 13–94.

УДК 541.64:677.4

## ГИДРОЛИТИЧЕСКАЯ ДЕСТРУКЦИЯ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВОЛОКНО- И ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ ПОЛИЭФИРОВ И ИХ УТИЛИЗАЦИЯ

Ткаченко Л.М.<sup>1</sup>, Рыбаков А.А.<sup>2</sup>, Болотько А.Ю.<sup>1</sup>, к.т.н., Щербина А.Л.<sup>3</sup>, м.т.н.

<sup>1</sup>Могилевский государственный университет продовольствия, г. Могилев,

<sup>2</sup>Белорусский государственный концерн по нефти и химии, г. Минск,

<sup>3</sup>ОАО «Могилевхимволокно», г. Могилев, Республика Беларусь

**Ключевые слова:** полиэфир, полилактид, деструкция, гидролиз, утилизация, компостирование, сжигание.

**Реферат.** Рассмотрены вопросы применения и утилизации биоразлагаемых волокно- и пленкообразующих полимеров. В этой связи рассмотрена гидролитическая деструкция полиэфиров на основе молочной кислоты. Показана возможность получения экономического,

*экологического и социального эффекта от утилизации биodeградируемых полимерных материалов путем компостирования на примере полилактида.*

Стремясь производить высокостабильные материалы для всех областей применения, мы оказались на грани экологической катастрофы и стали все больше задумываться о создании и широком использовании контролируемо-деградируемых полимеров. Сейчас нам не просто отказаться от полимерных материалов, получаемых по отлаженным технологиям, а внедрение нового требует значительных вложений. Законодательный переход на пока более дорогие, новые деградируемые в окружающей среде экологически чистые полимерные материалы и дотации на развитие их более масштабного освоения могут позволить себе экономически развитые страны. Вопрос о снижении себестоимости экофильных полимеров постепенно решается по мере увеличения объемов и совершенствования технологий их производства.

Наиболее значительный рост мирового рынка биodeградируемых пластиков ожидается в секторах упаковки и волокнистых материалов. Если мировой рынок биоразлагаемых полимеров в 2011 г. оценивался в \$1,5 млрд, а в 2016 г. около \$3 млрд, то сегодня все идет к тому, что к 2020 г. производство биоразлагаемых пластиков превратится в глобальный бизнес стоимостью около \$40 млрд. Сегмент упаковочных биоматериалов составляет около 70 % общего объема рынка. Другой сегмент – производство волокон/ткани – также демонстрирует существенный рост, особенно в секторе продуктов гигиены. Использование биоразлагаемых полимеров при производстве волокон и ткани в 2011 г. оценивалось в \$213,4 млн, а в 2016 г. – около \$ 700 млн.

Сегодня среди промышленно выпускаемых биоразлагаемых полимеров лидером является полиэфир на основе молочной кислоты – полилактид (PLA). Ведущие производители PLA: Cargill Dow Polymers (фирменная торговая марка волокон NatureWorks®); Kanebo Gohsgn Ltd. (фирменная торговая марка волокон Lactron®); Ema Inventa Fischer GmbH & Co; Shimadzu Corp. Согласно данным European Bioplastics по объемам производства PLA в мире к 2020 году потребность рынка в PLA будет существенно опережать производственные мощности.

Популярность полилактида обусловлена рядом факторов:

– возможностью производства данного полиэфира из биоразлагаемого и биовозобновляемого сырья (углеводородсодержащее растительное сырье и отходы: кукуруза, сахарный тростник, сахарная свекла, картофель, солома, опилки и т. п.), что не требует нефтехимических ресурсов;

– высокой биосовместимостью, биобезопасностью, прочностью, маслостойкостью, светостойкостью, термопластичностью и возможностью переработки на стандартном оборудовании;

– пригодностью для производства нитей, волокон, пленок, композитов, используемых в производстве пищевой упаковки, одноразовой посуды, тары, текстиля, нетканых материалов типа спанбонд, ковровых изделий, средств гигиены, предметов обихода и игрушек, отделочных материалов для помещений и транспорта, клеев, в медицине для производства хирургических нитей и штифтов, имплантатов, систем подачи лекарственных средств; для осуществления 3D-печати, производства синтетической бумаги и рекламной продукции и много другого;

– широкими вариациями вторичной переработки и утилизации отходов его производства и потребления.

Надо отметить, что приставку «био» и термин биополимеры в последнее время стали применять не только к полимерам истинно биологического происхождения (крахмал, целлюлоза, хитин, пектин, казеин, зеин, коллаген, фибрин, фиброин и др.), но и по конъюнктурным соображениям используют применительно к синтетическим полимерам, полностью биodeградируемым до углекислого газа и воды, к полимерам, синтезируемым из биовозобновляемого биологического сырья, к полимерам, распадающимся под действием факторов внешней среды на устойчивые к ней микрочастицы полимера. Такие квазибиополимеры получают, например, путем введения в структуру хорошо освоенных многотоннажных промышленных полимеров (полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полистирол, полиэтилентерефталат и др.) веществ, способствующих ускоренному фоторазложению, окисли-

тельной и гидролитической деструкции, мела, бентонитов, трепела, модифицированного крахмала и других добавок.

Это вносит существенную путаницу для потребителя, желающего видеть под приставкой «био» экологически чистые материалы, что на руку коммерческим дельцам.

В частности, не редкость использование понятия биополимер применительно к полилактиду. Тем не менее полилактид, хотя и получают из биовозобновляемой молочной кислоты, он все же является синтетическим полиэфиром. Если исходить из того, что полилактид относят к категории биodeградируемых полимеров, то и здесь, как показали исследования [1, 2], проведенные на кафедре химической технологии высокомолекулярных соединений Могилевского государственного университета продовольствия, не все однозначно.

В частности, среди почвенных микроорганизмов нашей биосферы не удалось выделить тех, которые приводили бы к гидролитической деструкции высокомолекулярного полиэфира молочной кислоты. Также было отмечено, что активная деструкция полилактида в абсолютно стерильных условиях и в присутствии почвенной микрофлоры начинается фактически одновременно лишь при наличии в окружающей среде воды и при повышении температуры.

Показано, что процесс гидролитической деструкции полилактида при повышении температуры связан с уменьшением его молекулярно-массовых показателей. Этот процесс характеризуется некоторым индукционным периодом, наличие которого можно объяснить динамикой диффузии воды в структуру полимера. С уменьшением молекулярной массы наблюдалась потеря эластичности у полимерных образцов и рост их хрупкости. Это совпадало с началом проявления интенсивного уменьшения массы образцов полилактида. Одновременно с уменьшением молекулярной массы наблюдалось изменение числа омыления и увеличение накопления кислых продуктов гидролиза в водной среде, в которую были помещены образцы полилактида.

На основе полученных экспериментальных данных также сделан вывод о том, что скорость гидролитической деструкции из полилактида можно регулировать изменением условий среды, что позволяет его использовать в качестве экологически безопасного деградируемого материала в производстве экологически безопасных полимерных материалов, одноразовых изделий гигиенического, бытового и медицинского назначения. Для этого полилактид имеет достаточную способность к деградации и, одновременно, достаточно высокую стабильность для того, чтобы его использовать при хранении, разогреве и стерилизации пищевых продуктов с ограниченным сроком хранения [1–3].

Таким образом, деструкцию высокомолекулярного полилактида следует, прежде всего, связывать со специфической гидролитической неустойчивостью сложноэфирных связей в данном полиэфире. Находящиеся в окружающей среде микроорганизмы способны лишь ассимилировать до углекислого газа и воды, выделяющиеся в результате гидролиза полилактида низкомолекулярные соединения.

Из этого следует, что изделия из полилактида в условиях отсутствия повышенной влажности и температуры можно эксплуатировать и хранить достаточно долго, а утилизацию непригодных к повторной переработке отходов полилактида и продуктов его переработки можно осуществлять путем компостирования.

Как правило, утилизация полимерных отходов, которые нет возможности вернуть в потребительский цикл, дело затратное, но для экологии небезопасное. Повторное использование отходов полимерных материалов законодательно поощряется в США, странах Западной Европы и в Японии. В Японии до 80–95 % всех образующихся отходов полимерных материалов вовлекается тем или иным способом в повторную переработку. Вместе с тем в США принимаются все более жесткие меры к ограничению применения не подвергающихся утилизации отходов полимерных материалов (например, это некоторые виды отходов пенополистирола), а в Швейцарии, Дании, Австрии и Италии серьезно ограничивают потребление контейнеров из поливинилхлорида. Также считается, что утилизация 1 тонны отходов полимерных материалов позволяет сэкономить около 0,95 тонны первичных полимеров и 1 тыс. тонн нефти, а также снизить выбросы углекислого газа на 23 тонны. Термическая переработка еще 20,15 тонн отходов полимеров дает возможность сэкономить 15,7 тыс. тонн нефти. Однако термическая переработка (сжигание) влечет за собой образование газообразных выбросов.

В связи с тем, что перерабатываемые отходы полилактида можно утилизировать и термическим методом, и путем компостирования, было проведено аналитическое исследование с целью анализа эффективности обоих вариантов. Для этого, на основании обобщения имеющейся в открытой печати информации, проведен сравнительный анализ стоимости переработки одной тонны отходов небiorазлагаемых и полилактидных материалов, не подлежащих рециклингу (см. табл. 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ стоимости переработки полимерных отходов

| Статьи затрат<br>(в расчете на 1 тонну)         | Сжигание<br>(PLA, ПЭТ, ПП, ПЭ, и др.) |                 | Компостирование (биоразлагаемые: PLA и др.) |                 |
|---|---------------------------------------|-----------------|---|-----------------|
|   | Сумма, руб.                           | Структура,<br>% | Сумма, руб.                                 | Структура,<br>% |
| Сырье   | 14,82                                 | 26              | 14,82                                       | 23              |
| Транспортные расходы                            | 3,42                                  | 6               | 5,11  | 8               |
| Энергия   | 6,84                                  | 12              | 6,4   | 10              |
| Оплата труда с отчислениями на социальные нужды | 2,85                                  | 5               | 3,83  | 6               |
| Амортизационные отчисления                      | 23,94                                 | 42              | 27,15                                       | 42,5            |
| Экологический налог                             | 0,57                                  | 1               | 0,31  | 0,5             |
| Косвенные расходы                               | 4,56                                  | 8               | 6,40  | 10              |
| Итого   | 57                                    | 100             | 64  | 100             |

Так, если принять, что минимальная стоимость мусоросжигательного завода составляет 75–80 млн долларов США, а максимальная – 150 млн долларов США, то себестоимость сжигания 1 тонны отходов полимеров составит до 30 долларов США. При этом экологические последствия не учитываются, так как реально подсчитать их не представляется возможным.

При стоимости завода по переработке мусора в компост 30–40 млн долларов США, себестоимость переработки мусора в компост составит до 40 долларов США.

Так как в результате компостирования образуется компост, то его можно реализовать. Цена продажи 1 тонны компоста колеблется в диапазоне от 80 до 200 долларов США.

Если принять цену реализации компоста 93 рубля за тонну, то прибыль составит 29 рублей с 1 тонны компоста. Тогда рентабельность продукции составит:

$$P = (П/С) \times 100 = (29/64) \times 100 = 45 \%,$$

где П – прибыль от реализации продукции, руб; С – себестоимость продукции, руб.

Таким образом, использование полиэфиров молочной кислоты и других биоразлагаемых полимерных материалов, при условии правильно организованной переработки их отходов, может стать прибыльным бизнесом.

Дополнительный эффект от использования биоразлагаемых полимерных материалов может быть достигнут за счет: отсутствия необходимости уплаты за утилизацию отходов и получения прибыли от продажи отходов, получения энергии и биогаза, снижения выбросов углекислого газа, сохранения озонового слоя, рационального использования земельных ресурсов и получения удобрений для почвы, уменьшения полигонов для отходов, сохранения биосферы для будущих поколений.

Скорейшему внедрению биоразлагаемых полиэфиров должны способствовать - общественное мнение и законодательные способы воздействия и регулирования на управление полимерными отходами, а также экономические стимулы для производителей биоразлагаемых полимерных материалов и большая информированность населения о ее положительных свойствах.

#### Список использованных источников

1. Онищенко Л. Д. Полилактид – перспективный материал для производства упаковки пищевых продуктов / А. Л. Щербина, Е. А. Криксина, Л. М. Ткаченко, А. Ю. Болотко // Техника и технология пищевых производств: тезисы докладов X Международ. науч. конф. студентов и аспирантов, Могилев, 28–29 апреля 2016 г. / Могилев. гос. ун-т продовольствия. – Могилев, 2016. – 488 с. – С. 362.

2. Рыбаков, А. А. Деструкция полилактидных материалов в водной среде / А. А. Рыбаков, А. Л. Щербина, Л. М. Ткаченко // Новые технологии рециклинга отходов производства и потребления: материалы Международ. науч.-техн. конференции, Минск, 19–21 октября 2016 г. / Белорус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2016. – С. 154–156.
3. Щербина, А. Л. Полилактид – полимерная основа для производства современной упаковки/ Л. М. Ткаченко, А. Ю. Болотько // Техника и технология пищевых производств: Тезисы докладов XI Междунар. Науч.-техн. конф., 20–21 апреля 2017 г. / МГУП. – Могилев, 2017. – С. 208.

УДК 678.745.32

**О СИНТЕЗЕ СОПОЛИМЕРОВ  
АКРИЛОНИТРИЛА, МЕТИЛАКРИЛАТА  
И 2-АКРИЛАМИД-2-  
МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ В  
ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДЕ В ПРИСУТСТВИИ  
ДИНИТРИЛА АЗОДИЗОМАСЛЯНОЙ  
КИСЛОТЫ**

*Харитонович А.Г.<sup>1</sup>, ст. преп., Бондаренко В.А.<sup>2</sup>, инж., Гичко И.В.<sup>1</sup>, студ.,  
Хлыщенко А.М.<sup>1</sup>, студ., Щербина Л.А.<sup>1</sup>, доц.*

<sup>1</sup>Могилевский государственный университет продовольствия, г. Могилев,

<sup>2</sup>ОАО «Нафтан» завод «Полимир», г. Новополоцк, Республика Беларусь

**Ключевые слова:** полиакрилонитрил, сополимеризация, синтез, диметилсульфоксид.

Реферат. Изучена динамика синтеза при терсополимеризации акрилонитрила, метилакрилата с 2-акриламид-2-метилпропансульфокислотой в диметилсульфоксиде при варьировании концентрации инициатора в реакционной смеси от 0,1 до 1 % (масс.) от массы мономеров при содержании третьего сомономера 1 % (масс.) при температуре ведения процесса 80 °С.

Так сложилось, что со времен Советского Союза Республика Беларусь унаследовала уникальное сочетание производственных, технологических и кадровых возможностей для создания помимо текстильных полиакрилонитрильных (ПАН) волокнистых материалов высокопрочные углеродные волокнистые материалы специального назначения.

Реализация технологии получения волокнистых материалов специального назначения на основе ПАН позволит нашей стране иметь собственное производство высокопрочных волокнистых импортозамещающих и экспортноориентированных армирующих и теплоизоляционных материалов, применяемых в различных сферах строительства, проектирования и конструирования как зданий, так и техники.

Накопленные в научно-технической литературе научно-практические данные указывают на существенное влияние условий проведения гомофазного синтеза волокнообразующих сополимеров на основе виниловых мономеров на его протекание. На кафедре химической технологии высокомолекулярных соединений учреждения образования «Могилевский государственный университет продовольствия» ведутся систематические исследования влияния состава реакционной смеси и других факторов на протекание как отдельных стадий, так и всего процесса синтеза сополимеров на основе акрилонитрила (АН) в целом.

В данной работе представлены результаты изучения влияния содержания инициатора в реакционной смеси на динамику синтеза и показатели молекулярной массы сополимеров АН, метилакрилата (МА) и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты (АМПС) в диметилсульфоксиде (ДМСО) в реакторе идеального смешения непрерывного типа. Выбор этой задачи инициирован необходимостью поиска путей сокращения ресурсо- и энергозатрат при производстве волокнообразующего сополимера АН на заводе «Полимир» ОАО «Нафтан», а также рациональных вариантов получения ПАН волокнистых материалов заданной структуры. Использование ДМСО в качестве технологического растворителя продиктовано тем,