УДК 678.01:543.2:547.56

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ ПОЛИФЕНОЛОВ В КАЧЕСТВЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДОБАВОК ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ ПОЛИЛАКТИДА

Н. Р. ПРОКОПЧУК, К. В. ВИШНЕВСКИЙ, О. А. КРОТОВА, Е. П. УСС
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Полилактид (PLA) – один из наиболее перспективных биоразлагаемых полимеров, однако его практическое использование в производстве упаковки ограничено высокой хрупкостью и низкой ударной вязкостью. В чистом виде PLA демонстрирует жесткое и хрупкое поведение при разрушении, что существенно сужает возможности его применения в упаковочной индустрии. Решением этой проблемы является пластификация – введение в полимер низкомолекулярных веществ, снижающих межмолекулярные силы и повышающих подвижность цепей. Пластификация позволяет значительно расширить области применения PLA, сохраняя его биоразлагаемые свойства [1].

В [1, 2] описано значительное количество пластификаторов, используемых для модификации PLA. Их выбор определяется эффективностью, совместимостью с полимером, безопасностью и – для упаковочных материалов – допустимостью контакта с пищевыми продуктами. Среди наиболее распространённых и перспективных можно указать:

1) цитратные пластификаторы – эфиры лимонной кислоты – одни из наиболее изученных пластификаторов для PLA. Их получают из природного сырья; они нетоксичны и одобрены для применения в материалах, контактирующих с пищевыми продуктами. Исследования показывают, что при введении таких эфиров можно достичь рекордных значений относительного удлинения при разрыве, однако это сопровождается значительным снижением прочности на разрыв;

2) глицерин и его производные, такие как триацетин, также рассматриваются как потенциальные пластификаторы для PLA благодаря своей нетоксичности. Однако их эффективность может уступать другим классам пластификаторов.

Также применяются дибутилсебацинат (DBS), поли(1,3-бутиленгликоль-адипат) (PBOH), ацетилглицерилмонолаурат (AGM), полипропиленгликоль (PPG) и другие соединения. Однако особое место среди пластификаторов занимает полиэтиленгликоль (PEG), который является одним из наиболее широко используемых и изученных пластификаторов для PLA по нескольким причинам [2]: биосовместимость и нетоксичность; широкий диапазон молекулярных масс от 200 до 5 000 г/моль и выше), что позволяет гибко регулировать свойства; совместимость с PLA; биоразлагаемость, что критически важно для сохранения экологических свойств упаковочного материала. Критическим параметром, определяющим эффективность пластификации PEG, является его молекулярная масса.

Добавление PEG оказывает комплексное воздействие на свойства PLA. С одной стороны, снижает температуру стеклования и температуру холодной кристаллизации, что является прямым эффектом пластифицирующего действия и повышения подвижности цепей, при этом увеличивает скорости кристаллизации и степень кристалличности PLA, повышает стойкость к ударным нагрузкам. С другой стороны, наблюдается снижение прочности и модуля упругости, что является типичным компромиссом при пластификации. Еще одним недостатком использования низкомолекулярных пластификаторов, включая PEG, является их склонность к миграции – процессу постепенного выделения пластификатора из материала с течением времени. Это может приводить к ухудшению свойств и потенциальному загрязнению упакованной продукции. Несмотря на мировой опыт, в Республике Беларусь подобных производств нет и готовых решений не разработано.

Цель работы – модификация свойств PLA для создания материала с необходимым комплексом свойств для упаковки нового поколения.

На начальном этапе изучено влияние PEG различной молекулярной массы на основные физические и механические свойства PLA. Установлено, что добавление 10 мас. % PEG приводит к значительному снижению температуры начала разложения (падение составляет до 70 °C в случае использования PEG400), а максимальная скорость разложения находится в интервале от 290 °C до 310 °C, однако при повышении молекулярной массы (PEG2000 и PEG4000) эффект менее значителен. При этом выявлено снижение температуры стеклования на 10 °C...24 °C в зависимости от используемого PEG.

Таким образом, для дальнейших исследований целесообразно использовать PEG2000 и PEG4000, поскольку в этом случае достигается необходимый баланс между эффектом пластификации и сохранением прочности. Дальнейшие исследования планируется проводить с учетом того, что для повышения стабилизирующих и антисептических свойств PLA будут использоваться полифенолы природного происхождения. В этом случае снижение температуры переработки до 160 °C...190 °C будет положительно влиять на сохранение свойств и структуры добавок природного происхождения.

Работа выполнялась в рамках совместного проекта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований и Вьетнамской академии наук и технологий «*БРФФИ – ВАНТ-2026*» *Т26В-003*.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Enhancing Polylactic Acid Films With Polyethylene Glycol-Based Plasticizers : A Reactive Extrusion Approach / C. Lázaro-Hernández, J. Gómez-Caturla, M. P. Arrieta [et al.] // Macromolecular Rapid Communications. – 2025. – Vol. 46, № 14.

2. **Benaniba, M. T.** Thermal and Dynamic Mechanical Analyses of Poly (Lactic Acid) / Poly (Ethylene Glycol) Blends / M. T. Benaniba, K. Aouachria // Academic Perspective Procedia. – 2018. – Vol. 1, № 1. – P. 526–535.