

## ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Р. Прокопчук [и др.] / Наномодификация полиэтилентерефталата // Нефтехимия – 2021 : материалы IV Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 22–24 ноября 2021 г. – Минск : БГТУ, 2021. – С. 104-106.
2. Н. Р. Прокопчук [и др.] / Замедление горения ПЭТФ, наномодифицированного диоксидом титана // Технология органических веществ : материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск, 31 января - 12 февраля 2022 г. - Минск : БГТУ, 2022. – С. 111-113
3. Эмануэль Н. М., Бучаченко А. Л. / Химическая физика старения и стабилизации полимеров. – М.: Наука, 1982. – 360 с
4. Регель В. Р., Слуцкер А. И., Томашевский Э. Е. / Кинетическая природа прочности твердых тел. – М.: Наука, 1974. – 560 с.

УДК 677.014.86

**Горбачев А.В., Файзуллин И.З., Вольфсон С.И.,  
Казаков Ю.М.**

(ФГБОУ ВО «КНИТУ», г. Казань)

**Касперович А.В.**

(Белорусский государственный технологический университет)

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДА БИОХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ**

Рисовая шелуха является одним из наиболее распространенных сельскохозяйственных отходов. Растительная оболочка, состоящая из внешних оболочек семян риса, содержит в себе значительное количество биохимически активных компонентов, таких как целлюлоза, лигнин, силикаты и другие органические соединения [1]. Благодаря биоразлагаемости и доступности рисовая шелуха обладает потенциалом для применения в различных промышленных секторах, включая строительство, автомобильную промышленность и упаковочную индустрию [2].

В работе [3, 4] был использован метод биохимической модификации в условиях высокосдвиговых нагрузок. Для получения высокосдвигового эффекта необходим двухроторный смеситель, что не позволяет эффективно использовать данный метод в производстве в связи с высокой энергозатратностью.

В данной работе был исследован метод биохимической модификации рисовой шелухи, основанный на ферментативной обработке без высокосдвиговых усилий. Биохимическую модификацию рисовой шелухи фракцией помола 1 мм проводили в водной среде с использованием высокоскоростного смесителя при комнатной температуре в течении двух часов с применением комплекса ферментных препаратов «Ронозим». Далее для удаления влаги проводили четырехчасовую сушку рисовой шелухи в климатическом шкафу при температуре 65 °С. Обработанный наполнитель вводили в композиционный материал на основе полипропилена. В качестве полимерного связующего для получения композиций был использован полипропилен марки PP 4215M производства ПАО «СИБУР холдинг».

Основываясь на данных, полученных в ходе научно-технического и патентного обзора, дозировка наполнителя в композициях была фиксированной и составляла 50 % мас., так как эта дозировка является предпочтительной с практической точки зрения для производителей [5]. Рецептура исследуемых полимерных композитов приведена в таблице 1.

**Таблица 1 – Рецептура исследуемых полимерных композитов**

| Ингредиенты                                      | Контрольный | Модифицированный |
|--|-------------|------------------|
| PP 4215M, % мас.                                 | 50          | 50               |
| Рисовая шелуха, % мас.                           | 49,9        | 49,4             |
| Irganox 1010, % мас.                             | 0,1         | 0,1              |
| Комплекс ферментных препаратов «Ронозим», % мас. | –           | 0,5              |

Получение композиционных материалов осуществлялось с использованием двухроторного смесителя закрытого типа «Measuring Mixer 350E» лабораторной станции «Lab-Station» (Brabender, Германия) при числе оборотов ротора 60 об/мин. Температура смешения составляла 180 °С, продолжительность смешения – 10 минут. Образцы для испытаний готовились на инжекционно-литьевой машине Krauss Maffei ClassiX CX 50-180. Давление впрыска составляла 110 МПа, температура по зонам –  $T_1=185$  °С,  $T_2=195$  °С,  $T_3=205$  °С,  $T_4=210$  °С. Характеристики полученных композиционных материалов на основе полипропилена и рисовой шелухи представлены в таблице 2.

Сравнив физико-механические характеристики контрольного и модифицированного образца, можно отметить, что прочность при растяжении у образцов с биохимической модификацией увеличилась на 7,5 %, модуль упругости при изгибе остался неизменным, показатель текучести расплава модифицированного образца увеличился на 19 %, ударная

вязкость при +23 °С возросла на 8 %, а твердость материала по Шор D увеличилась на 6 %. Как видно из таблицы, модифицированный образец демонстрирует улучшение в большинстве физико-механических характеристик по сравнению с контрольным образцом.

**Таблица 2 – Физико-механические характеристики полученных композитов**

| Показатель, ед. изм.  | Контрольный | Модифицированный |
|---|-------------|------------------|
| Прочность при растяжении, МПа                               | 33,7        | 36,1             |
| Модуль упругости при изгибе, МПа                            | 5119        | 5124             |
| Показатель текучести расплава, г/10мин (при 2,16 кг/230 °С) | 1,17        | 1,4              |
| Ударная вязкость при +23 °С, Дж/м <sup>2</sup>              | 8131,1      | 8785             |
| Твердость материала по Шор D, усл.ед.                       | 74,5        | 79               |

Установлено, что данный метод позволяет увеличить физико-механические и эксплуатационные свойства композиций на основе полипропилена и рисовой шелухи без использования высокосдвиговых усилий. Полученные данные подтверждают важность дальнейших исследований в данной области.

Дальнейшие исследования необходимо направить на оптимизацию механизма биохимической модификации, а также на оценку стабильности свойств и долговечности модифицированных композиций в реальных эксплуатационных условиях. По результатам дальнейших исследований возможно расширение практического применения данного метода и использование рисовой шелухи в производстве полимерных композитов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горбачев А. В. и др. Лигноцеллюлозные наполнители и методы их модификации //Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – №. 8. – С. 148-157.
2. Кыдырали С. Е. и др. Рециклинг отходов апк. Процессы и технологии переработки рисовой шелухи //Интернаука. – 2021. – №. 20-3. – С. 35-38.
3. Горбачев А. В. и др. Биохимическая модификация растительного наполнителя и разработка полимерного композиционного материала на основе полипропилена и модифицированного наполнителя // Технология органических веществ. – 2021. – № 85. – С. 225-226.
4. Вольфсон, С. И. и др. Разработка метода биохимической модификации древесной муки для полимерных композитов // Технология органических веществ. – 2022. – С. 312-314.

5. Сулейманова Д. Ф. и др. Технология производства древесно–полимерного композита на основе термомодифицированной муки // Лесоэксплуатация и комплексное использование древесины. - Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнева. – 2020. – С. 197-201.

УДК: 678.073

**Шарафиев И.А., Хисамиева Д.Р.,  
Миронова Ю.Е., Никифоров А.А.,  
Галимзянова Р.Ю., Вольфсон С.И.,  
Хакимуллин Ю.Н., Казаков Ю.М.  
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)  
Касперович О.М.**

(Белорусский государственный технологический университет)

**ВЛИЯНИЕ ТИПА ТЕРМОПЛАСТИЧНОГО КРАХМАЛА  
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИЙ  
НА ОСНОВЕ ПОЛИЛАКТИДА МЕДИЦИНСКОГО  
НАЗНАЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА  
БИЛИАРНЫХ СТЕНТОВ**

В последние годы изделия из пластмасс стали неотъемлемой частью нашей жизни. Однако, несмотря на все преимущества, пластик оказывает серьезное воздействие на экологическую обстановку. С целью решения данной проблемы разрабатываются биоразлагаемые материалы, которые не наносят вреда окружающей среде [1]. Одним из таких материалов является полилактид (ПЛА) – биоразлагаемый полимер, получаемый из кукурузного крахмала. Стоит отметить, что полилактид используется для изготовления медицинских изделий различного назначения благодаря своей биологической совместимости и способности к деградации в организм. Для снижения хрупкости в матрицу полимера вводится термопластичный крахмал (ТПК), что также имеет примеры использования в медицине, например в тканевой инженерии [2]. Однако он влияет на механические свойства полученного композита, в том числе снижая прочность ввиду их взаимной несовместимости [3]. Для поиска путей решения данной задачи было проведено исследование по разработке композита на основе ПЛА и термопластичного крахмала (ТПК) двух видов, кукурузного и амилопектинового. Для полученных композиций были определены физико-механические свойства.