

Научная статья

УДК 678.744.5:678.046

ПОЛУЧЕНИЕ ПРИВИТОГО СОПОЛИМЕРА МАЛЕИНИЗИРОВАННОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА И 9,10-ДИГИДРО-9-ОКСА-10-ФОСФАФЕНАНТРЕН-10-ОКСИДА (ДОРО)

Дарья Валерьевна Захарова¹, Денис Акрамович Хатыпов²,
Алексей Владиславович Свиридов³, Алексей Евгеньевич Шкуро⁴

^{1, 3, 4} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

² Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС
России, Екатеринбург, России

¹ dariyazharova9@gmail.com

² den-xatypov@mail.ru

³ sviridovav@m.usfeu.ru

⁴ shkuroae@m.usfeu.ru

Аннотация. Получен привитой сополимер малеинизированного полипропилена и ДОРО. Методом ИК-спектроскопии подтверждено образование химической связи. Продукт перспективен для создания огнестойких полимерных композитов с улучшенными физико-механическими характеристиками.

Ключевые слова: малеинизированный полипропилен, ДОРО, реактивная экструзия, сополимеризация, антипирен, ИК-спектроскопия

Для цитирования: Получение привитого сополимера малеинизированного полипропилена и 9,10-дигидро-9-окса-10-фосфафенантрен-10-оксида (ДОРО) / Д. В. Захарова, Д. А. Хатыпов, А. В. Свиридов, А. Е. Шкуро // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 1057–1061.

Original article

OBTAINING A GRAFT COPOLYMER OF MALEINIZED POLYPROPYLENE AND 9, 10-DIHYDRO-9-OXA-10-PHOSPHAPHENANTHRENE-10-OXIDE (DOPO)

**Daria V. Zakharova¹, Denis A. Khatypov², Alexey V. Sviridov³,
Alexey E. Shkuro⁴**

^{1, 3, 4} Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

² Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
Ekaterinburg, Russia

¹ dariyaxarova9@gmail.com

² den-xatypov@mail.ru

³ sviridovav@m.usfeu.ru

⁴ shkuroae@m.usfeu.ru

Abstract. A graft copolymer of maleated polypropylene and DOPO was obtained. IR spectroscopy confirmed the formation of a chemical bond. The product holds promise for creating flame-retardant polymer composites with improved physical and mechanical properties.

Keywords: maleated polypropylene, DOPO, reactive extrusion, copolymerization, flame retardant, IR spectroscopy

For citation: Polucheniye privitogo sopolimera maleinizirovannogo polipropilena i 9,10-digidro-9-oksa-10-fosfafenantren-10-oksida (DOPO) [Obtaining a graft copolymer of maleinized polypropylene and 9,10-dihydro-9-oxa-10-phosphaphenanthrene-10-oxide (DOPO)] (2026) D. V. Zakharova, D. A. Khatypov, A. V. Sviridov, A. E. Shkuro. Nauchnoe tvorчество molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 1057–1061. (In Russ).

Создание полимерных композиционных материалов (ПКМ) на основе полиолефинов часто осложнено плохой совместимостью компонентов. Решение этой проблемы достигается использованием компатибилизаторов – веществ, улучшающих межфазное взаимодействие. Одними из наиболее эффективных и распространенных компатибилизаторов для полиолефинов являются малеинизированные полипропилены (МАРР, МАПП), которые, выступая в роли связующих агентов, обеспечивают однородность структуры и высокие физико-механические характеристики композитов [1].

Среди множества антипиренов эффективным и перспективным соединением является 9,10-дигидро-9-окса-10-фосфафенантрен-10-оксид (DOPO).

Его огнезащитное действие реализуется преимущественно в конденсированной и газовой фазе, где он ингибирует радикальные процессы горения. DOPO характеризуется высоким содержанием фосфора и термической стабильностью, что делает его привлекательной альтернативой галогенированным антипиренам [2].

В настоящее время актуальной задачей является разработка многофункциональных добавок, способных одновременно улучшать несколько характеристик полимерного материала. Перспективным направлением представляется создание такой добавки на основе МАПП, которая объединила бы в себе его выдающиеся компатибилизирующие свойства с огнезащитным действием DOPO. Химическая прививка молекул DOPO к цепи малеинизированного полипропилена позволяет создать именно эту универсальную систему. Такой подход позволяет не просто механически смешать два компонента, а получить химически связанную структуру, которая обеспечит равномерное распределение антипирена в полимерной матрице, предотвратит его миграцию и вымывание, а также позволит синергетически сочетать функции компатибилизатора и антипирена в одной молекуле.

Таким образом, целью данной работы являлась модификация малеинизированного полипропилена 9,10-дигидро-9-окса-10-фосфафенантрен-10-оксидом с получением привитого сополимера и подтверждение его структуры методом ИК-Фурье спектроскопии.

В качестве исходного компатибилизатора использовался коммерчески доступный малеинизированный полипропилен марки *Okabond 4220* (содержание малеинового ангидрида – 0,9 масс. %). Реагент 9,10-дигидро-9-окса-10-фосфафенантрен-10-оксид (DOPO) был предоставлен компанией ООО «Асмаго». Прививка DOPO к макромолекуле *Okabond 4220* осуществлялась методом реактивной экструзии в лабораторном одночервячном экструдере с тремя зонами нагрева с температурами 180, 180 и 210 °С соответственно. Количество вводимого DOPO составляло 2 мас. % от массы *Okabond 4220*. Результаты ИК-спектроскопии продукта реакции представлены на рис. 1.

В результате анализа ИК-спектра установлено, что произошла химическая прививка ДОПО к МАПП. Ключевым доказательством этого служит появление интенсивного пика при $1\,710\text{ см}^{-1}$, соответствующего карбоксильной группе, образовавшейся при раскрытии ангидридного цикла. О неполноте протекания реакции прививки свидетельствует сохранение в спектре пика циклического ангидрида при $1\,783\text{ см}^{-1}$, а также полосы валентных колебаний Р-Н связи ДОПО ($2\,335\text{ см}^{-1}$). Хотя такие характеристические пики ДОПО, как Р = О при $1\,209\text{ см}^{-1}$ и ароматические колебания при 724 см^{-1} , могли бы наблюдаться и при механическом смешении.

Ключевым доказательством именно химического прививания является образование новой карбоксильной группы. В случае физической смеси пик при $1\,710\text{ см}^{-1}$ отсутствовал бы, наблюдались бы исключительно пики исходных компонентов, что однозначно подтверждает образование химической связи между компонентами.

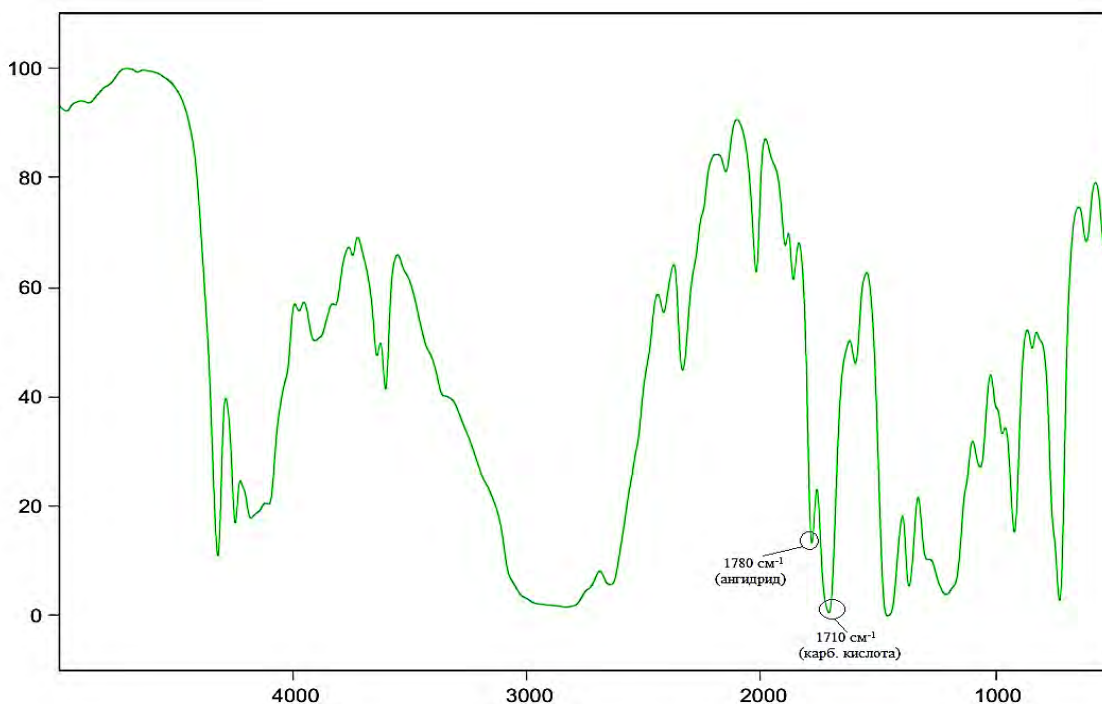


Рис. 1. ИК-спектр продукта реакции

Реакция между DORO и MAPP напоминает взаимодействие спиртов с ангидридами. В случае DORO роль гидроксильной группы спирта играет Р–ОН-группа (рис. 2). Предполагаемый механизм реакции включает несколько последовательных стадий: нуклеофильный атом кислорода Р–ОН-группы DORO атакует электрофильный карбонильный углерод ангидридного цикла MAPP, что приводит к его раскрытию.

Последующий перенос протона с атома фосфора на карбоксилат-ион и формирование карбоновой кислоты завершаются образованием устойчивой фосфозфирной связи (Р–О–С=О). Данный механизм удовлетворительно объясняет как образование новой карбоксильной группы, проявляющейся в ИК-спектре при $1\,710\text{ см}^{-1}$.

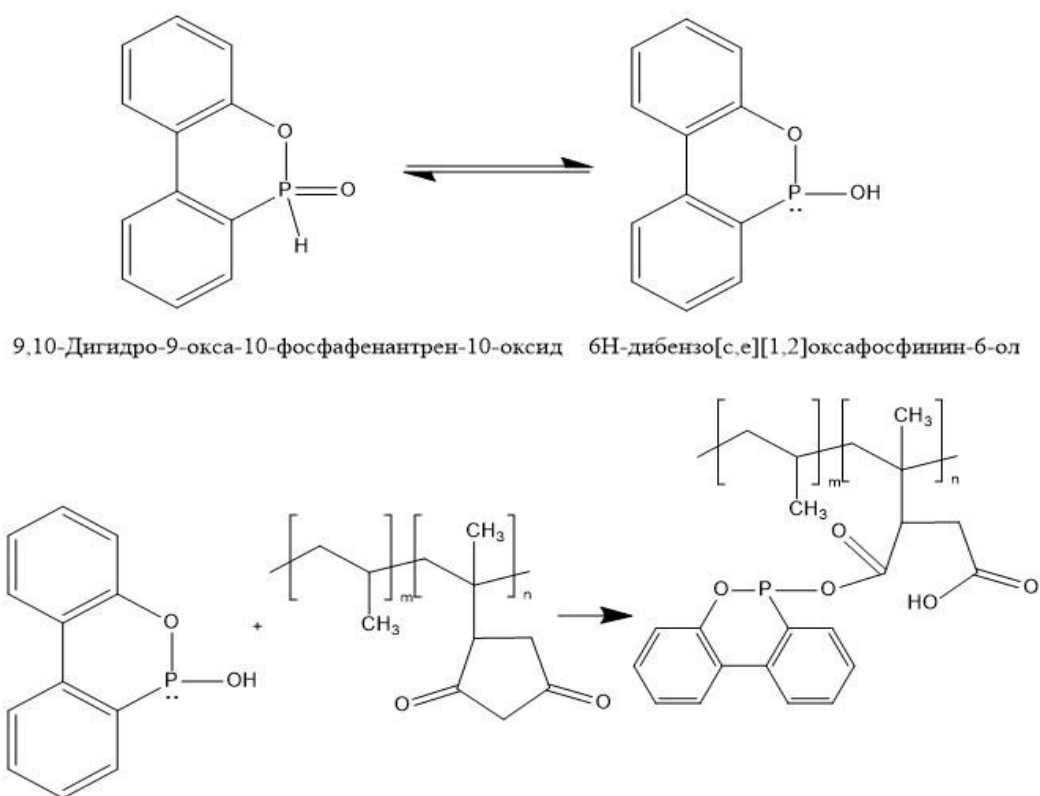


Рис. 2. Предполагаемая схема реакции прививки DOPO к MAPP

В результате работы получен многофункциональный модификатор для полимерных композиционных материалов. Методом ИК-спектроскопии подтверждена химическая прививка DOPO к малеинизированному полипропилену. Полученный продукт перспективен для создания композитов «полиолефин/лигноцеллюлозный наполнитель», где сможет одновременно выполнять функции компатибилизатора и антипирена. Для подтверждения эффективности модификатора планируются испытания огнестойкости и физико-механических свойств разработанных материалов.

Список источников

1. Compatibilization of PP/elastomer/microsilica composites with functionalized polyolefins: Effect on microstructure and mechanical properties / R. Uotila, U. Hipp, S. Paavola, J. Seppälä // *Polymer*. 2005. Vol. 46. P. 7923–7930. DOI: 10.1016/j.polymer.2005.06.099
2. A Novel and Effective Synthetic Approach to 9,10-Dihydro-9-oxa-10-phosphaphenanthrene-10-oxide (DOPO) Derivatives. / J. Artner, M. Ciesielski, M. Ahlmann [et al.] // *Phosphorus, Sulfur, Silicon and the related Elements*. 2007. Vol. 182. P. 2131–2148. DOI: 10.1080/10426500701407417