

Повышение сорбционных свойств полипропиленовых материалов с помощью поверхностно-активных веществ

Иван В. Елохин¹ ivaneloxin@gmail.com 0000-0002-4934-4096

1 Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Большая Морская, 18, г. Санкт-Петербург, 191186, Россия

Аннотация. Работа посвящена повышению сорбционных свойств полипропиленовой пленки путем поверхностной модификации водными растворами поверхностно-активных веществ катионного и амфотерного типа. Объектом исследования являлась биаксиально ориентированная полипропиленовая пленка, обработанная при температуре около 99 °C с последующей промывкой и без нее. Сорбционные характеристики оценивали по изотермам сорбции паров воды, набуханию в органических растворителях различной полярности и показателям бензостойкости. Показано, что исходный полипропилен характеризуется минимальной сорбционной способностью по отношению к воде, при этом характеристическая энергия сорбции составляет 1298 Дж/моль. Обработка поверхностно-активными веществами приводит к формированию более гидрофильной поверхности и резкому увеличению сорбционного потенциала. Для пленки, модифицированной кокамидопропилбетаином, характеристическая энергия сорбции водяного пара возрастает до 8338 Дж/моль. Установлено увеличение степени набухания полимера в ацетоне с 0.13% до 7.05%, а в гексане с 0.57% до 2.53%, что свидетельствует об усилении взаимодействия полимера с полярными и неполярными сорбатами. Определено, что промывка образцов после обработки является определяющим фактором повышения сорбции и улучшения бензостойкости. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения поверхностно-активных веществ для целенаправленного регулирования сорбционных свойств полипропиленовых материалов и расширения областей их практического использования.

Ключевые слова: полипропилен, сорбция, поверхностно-активные вещества, сорбция паров воды, бензостойкость, органические растворители, четвертичные аммониевые соли.

Enhancement of the sorption properties of polypropylene materials using surfactants

Ivan V. Elokhin¹ ivaneloxin@gmail.com 0000-0002-4934-4096

1 Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Bolshaya Morskaya, 18, Saint Petersburg, 191186, Russia

Abstract. The study addresses the improvement of sorption properties of polypropylene films through surface modification with aqueous solutions of cationic and amphoteric surfactants. Biaxially oriented polypropylene film was used as the research object and treated at a temperature of about 99 °C with and without a subsequent washing step. Sorption behavior was evaluated by water vapor sorption isotherms, swelling in organic solvents of different polarity, and gasoline resistance tests. The untreated polypropylene exhibited very low affinity for water, with a characteristic sorption energy of 1298 J/mol. Surfactant treatment resulted in significant surface modification accompanied by a marked increase in hydrophilicity and sorption potential. For films treated with cocamidopropyl betaine, the characteristic water vapor sorption energy increased to 8338 J/mol. A substantial rise in swelling degree was observed, from 0.13% to 7.05% in acetone and from 0.57% to 2.53% in hexane, indicating enhanced interactions with both polar and nonpolar sorbates. The washing of treated samples was identified as a key factor governing sorption efficiency and improved gasoline resistance. The results demonstrate that surfactant-assisted surface modification is an effective approach for controlling the sorption properties of polypropylene materials and provides a basis for extending their application in industrial, medical, and environmental fields.

Keywords: polypropylene, sorption, surfactants, water vapor sorption, gasoline resistance, organic solvents.

Введение

Полипропилен (ПП) – один из самых универсальных и часто применяемых полимеров на сегодняшний день. Согласно данным [1] аудиторской компании «Агроан» производство ПП вырастет с 2,138 млн т. (2023 г.) до 2,749 млн т. (2028 г.). ПП не только [2–4] легкий, дешевый, имеет высокую прочность, износостойкость, но и обладает уникальными (специфическими) свойствами, которые необходимы материалам в:

– медицине [5, 6] для производства бахил, хирургических простыней, медицинских масок. Ключевые достоинства для применения являются такие особенности полимера, как: гидрофобность, инертность, гипоаллергенность.

– в текстильной промышленности [6, 7] востребованы эластичность, прочность, устойчивость к воздействию окружающей среды, что дает возможность активного применения его в производстве геотекстиля, канатов, ковровых покрытий.

Для цитирования

Елохин И.В. Повышение сорбционных свойств полипропиленовых материалов с помощью поверхностно-активных веществ // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 3. С. 255–261. doi:10.20914/2310-1202-2025-3-255-261

For citation

Elokhin I.V. Enhancement of the sorption properties of polypropylene materials using surfactants. Vestnik VGUIt [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 3. pp. 255–261. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-3-255-261

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

– в нефтехимической промышленности [6, 8], где требуется стойкость к агрессивным средам, термопластичность, устойчивость к коррозии и позволяет использовать ПП для изготовления труб, реакторного оборудования.

– в сельском хозяйстве [6, 9] наличие таких свойств как инертность, устойчивость к коррозии, долговечность позволяют получить упаковки (ПП мешки), резервуары для хранения воды, ПП пленки для мульчирования и т. д.

Однако применение ПП невозможно в обозначенных областях промышленности в полную силу в связи с тем, что он обладает низкой адсорбционной способностью, что могло бы пригодится для улавливания нефтепродуктов при разливе нефти в море и очистке воды на нефтедобывающих платформах, сорбции лекарственных препаратов, крашении текстильных материалов и т. д.

По своим свойствам ПП является неполярным полимером, а значит лучше сорбирует неполярные и малополярные вещества. Недостаток, в ограниченной площади поверхности, объема пор, плохой адгезии заметно ухудшает сорбционные характеристики данного полимерного материала.

Еще одним недостатком ПП является то, что он трудноразлагаемый. Эта проблема оказывает экологическое воздействие на окружающую среду. Разложение ПП занимает от 20 до 500 лет на свалке [10]. Из-за своей стойкости к биоразложению, ПП способствует загрязнению водоемов, морей, океанов и почвы. Это приносит вред флоре и фауне.

К примеру, ПП медленно распадается на микропластик. Площадь поверхности и объем пор составляет $7,04 \text{ м}^2/\text{г}$ и $0,007 \text{ см}^3/\text{г}$ соответственно [11].

В своей работе [12] ученые из Китая изучали поведение стареющего микропластика по отношению к загрязняющим веществам в разное время года (лето/зима). Так сообщается об увеличении сорбционной величины нонилфенола на ПП из-за большей удельной поверхности, а также наличия большого количества функциональных кислородосодержащих групп. При этом анализ показал, что ПП, который был летней выдержки, демонстрирует более выраженные изменения характеристик по сравнению с ПП, который был подвешен на крышу для естественного старения зимой. Оценка сорбционной способности нонилфенола показала: ПП летнего старения (477 мкг/г) превосходит ПП зимнего старения (407 мкг/г). При этом показатель для исходного ПП составил 389 мкг/г .

Для увеличения сорбционной способности ПП проводят модификацию его поверхности.

Например, для этой цели вводят в ПП волокно [13] нанодобавки диоксида кремния и галлуазитовые нанотрубки. Модифицированные волокна ПП с галлуайзитом показали более высокую удельную абсорбционную способность по сравнению с парами диоксида кремния.

Ученые Каунасского технологического университета в Литве [14] повышают гидрофильность и адгезионные свойства ИПП пленки с помощью термоокислительной кислотной обработки поверхности в условиях термостатирования. После 20 мин обработки краевой угол смачивания (контакт капли дистиллированной воды с поверхностью) уменьшился с 104° до 77° (потеря массы – на 2 г/м^2), также наблюдалось увеличение работы адгезии с 16 до 27 мДж/м^2 . Это доказывает усиление взаимодействия между поверхностью ПП и водой. ИК-спектр показал появление полярных функциональных групп на поверхности ($-\text{OH}, -\text{C=O}, -\text{COOH}$).

Гидрофобные волокна обладают сорбционной способностью по отношению к нефтепродуктам [15]. Производили физическую модификацию ПП воздействием СВЧ. Установлено, что процесс поглощения нефтепродуктов ПП материалами протекает с высокой скоростью. Сорбционное равновесие достигается в течение 5 мин.

Использование в качестве модификатора поверхностно-активных веществ [16] (ПАВ), позволяет гидрофобным материалам повышать сродство к воде. Это потенциально увеличивает эффективность поглощения водорастворимых загрязняющих веществ.

В ходе изучения влияния ПАВ на структуру ПП волокна коллективом нашего ВУЗа [17] было установлено, что ионные ПАВ могут влиять на ориентацию полимерных цепей ПП в аморфных областях.

Таким образом, целью данной работы является изучение влияния обработки ПП пленки водным раствором катионных и амфотерных ПАВ на сорбцию паров воды, полярных и неполярных растворителей полимером.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовали биаксиальноориентированную ПП пленку. Ее модификацию осуществляли водными растворами поверхностно-активных веществ (ПАВ) с разным типом заряда гидрофильной группы: Цетилtrimетиламмония бромид КПАВ 1; Додецилtrimетиламмония бромид (КПАВ 2); Ко-камидопропилбентанин (АмПАВ).

Обработку ПП пленки водными растворами ПАВ осуществляли в течение 60 мин при температуре ± 99 °С. Половину образцов промывали водой для удаления остатков соли, а другая часть образцов промывке не подвергалась.

Для построения изотерм сорбции паров воды использовали гравиметрический анализ, который основан на периодическом измерении массы образцов при их выдержке в закрытом экскаторе с заданной и постоянной относительной влажностью водяного пара (p/p_0) и температуре. Подготовленные образцы предварительно взвешивали и помещали в экскатор до достижения равновесного влагосодержания.

Поддержание постоянной относительной влажности осуществляли с помощью растворов серной кислоты (60; 45; 30 и 10%). Равновесное влагосодержание (a , мг/г) при данном относительном давлении и температуре рассчитывали по уравнению:

$$a = \frac{m_3 - m_2}{m_2 - m_1}, \quad (1)$$

где m_1 – масса бюкса; m_2 – масса бюкса с сухим образцом; m_3 – масса бюкса с образцом, выдержаным в экскаторе с требуемым относительным давлением паров воды.

Взвешивание осуществляли на электронных аналитических весах с погрешностью ± 0.0001 г.

Исследование сорбции ПП жидкими сорбатами разной полярности при помощи гравиметрического метода [18, 19]. Образцы погружали в жидкость при атмосферном давлении и комнатной температуре. Равновесную степень набухания полимера определяли в заданные промежутки времени и продолжали до достижения постоянной массы.

Бензостойкость ПП изучали в присутствии бензина марки «Галоша» и выдерживали при температуре 20 °С в течение 1 нед. Степень набухания рассчитывали по уравнению:

$$Q = \frac{m - m_0}{m_0} 100\% \quad (2)$$

где, Q – степень набухания, в%; m – масса после набухания, г.; m_0 – масса до набухания, г.

Результаты и обсуждения

Равновесные изотермы сорбции паров воды для исходного и модифицированного ПП, представлены на рисунке 1.

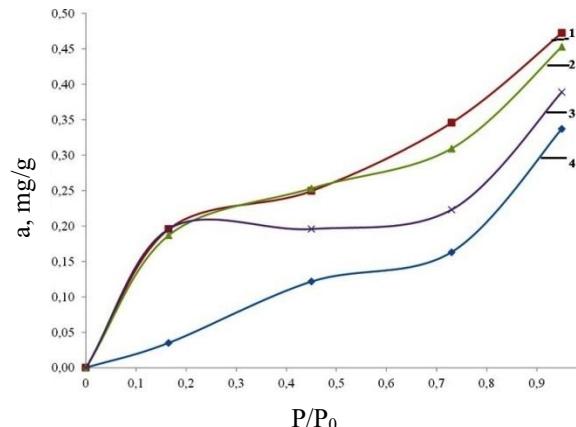


Рисунок 1. Сорбция паров воды немодифицированной (4) и модифицированной ПАВ (1, 2, 3) ПП пленкой: 1 – КПАВ-1, 2 – КПАВ-2, 3 – АмПАВ

Figure 1. Water vapor sorption by unmodified (4) and surfactant-modified (1, 2, 3) polypropylene film: 1 – Cat-1, 2 – Cat-2, 3 – Amph., 4 – untreated sample

На рисунке 1 видно, что все образцы характеризуются S-образная изотерма адсорбции, что свидетельствует о полимолекулярной адсорбции БЭТ. Для образца ПП, который не был подвергнут модификации, такая форма изотермы наблюдается при $0,45$ (p/p_0). Для модифицированных образцов наблюдается крутой подъем в области малых значений ПП пленки – $0,16$ (p/p_0). Модификация образцов приводит к более высокому адсорбционному потенциальному.

Для вычисления характеристической энергии сорбции изотермы представляли в линейных координатах (рисунок 2) при $T = T_0 = 298$ К.

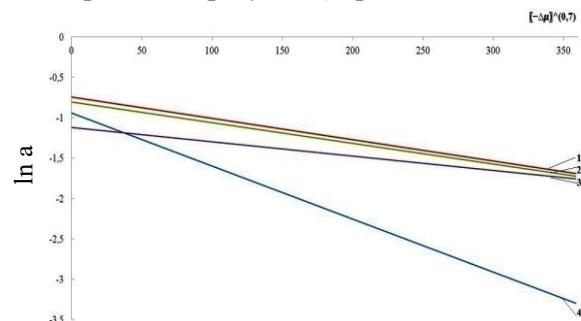


Рисунок 2. Изотермы сорбции паров воды немодифицированной (4) и модифицированной ПАВ (1, 2, 3) пленками ПП в линейных координатах: 1 – КПАВ-1, 2 – КПАВ-2, 3 – АмПАВ

Figure 2. Linear plots of the water vapor sorption isotherms on unmodified (4) and surfactant-modified (1, 2, 3) PP films: 1 – Cat-1, 2 – Cat-2, 3 – Amph., 4 – untreated sample

Рассчитано равновесное влагосодержание по уравнению 3:

$$\ln a = \ln a_0 - \frac{1}{E^n} \left(-RT \ln \frac{p}{p_0} \right)^n \quad (3)$$

где, a_0 – отрезок, отсекаемой прямой на оси ординат $\ln a_0$, E – характеристическая энергия сорбции, p / p_0 – относительная влажность, $1/n$ (Γ) – гамма-функция, при $n = 0,5$, $\Gamma = 1$, $\Delta\mu = RT \ln p / p_0$ – изменение химического потенциала водяного пара при сорбции.

На основе полученных прямых находили a_0 и вычисляли E , для чего использовали уравнение 4.

$$\frac{1}{tg\alpha} = \frac{\Delta\mu}{\Delta \ln a} \quad (4)$$

где, $tg\alpha$ – тангенс угла наклона равный $1/E^n$.

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1.
Основные характеристики сорбции паров воды
Table 1.
Fundamental characteristics of water vapor sorption

ПП пленка PP film	a_0 , мг/г	$1/tg\alpha$	E , Дж/моль
КПАВ-1 Cat Surfactant-1	0,432	384,62	4930
КПАВ-2 Cat Surfactant-2	0,449	384,62	4930
АмПАВ AmSurfactant	0,326	555,56	8338
Немодифицированная Unmodified	0,387	151,1	1298

По данным таблицы видно, что для немодифицированной пленки наблюдается самое низкое значение характеристической энергии сорбции – 1298 Дж/моль. Наибольшее значение энергии установлено для ПП-пленки, которая была обработана АмПАВ, энергия сорбции увеличилась в 7 раз.

Изменение характеристической энергии сорбции паров воды в результате обработки ПАВ свидетельствует об изменении поверхности материала, приводящее к усилению его взаимодействия с молекулами сорбата (в данном случае с водой). Поверхность стала более гидрофильной, а материал более гигроскопичным.

Эти данные совпадают и с установленными ранее результатами [20]: изменением надмолекулярной структуры полимера и повышенным значением параметра внутрицепной кооперативности плавления для ПП, который обработан растворами ПАВ.

Изучая изменение сорбционной способности ПП-пленки по отношению к органическим соединениям, использовали гексан и ацетон. Выбор данных растворителей основан

на их существенных отличиях друг от друга. Гексан – является неполярным растворителем и растворяет вещества за счет дисперсионных взаимодействий. Ацетон – напротив является полярным аprotонным растворителем. Он способен сольватировать как неполярные, так и полярные молекулы, к примеру катионы за счет наличия неподеленной электронной пары кислорода

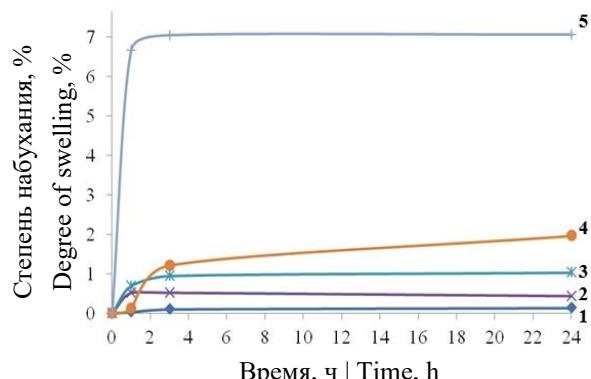


Рисунок 3. Зависимость степени набухания немодифицированного (1) и модифицированного ПАВ (2, 3, 4) ПП (%) от времени нахождения в среде ацетоне: 2 – КПАВ-2, 3 – КПАВ-2 (промытый), 4 – АмПАВ, 5 – АмПАВ (промытый)

Figure 3. Swelling degree dependence of unmodified (1) and surfactant-modified (2, 3, 4) polypropylene (%) on the exposure time in an acetone environment: 1 – untreated sample, 2 – Cat-2, 3 – Cat-2 (washing step), 4 – Amph., 5 – Amph. (washing step)

Исходя из рисунка 3 видно, что абсорбция ацетона ПП достигает сорбционного равновесия в течение 3 ч. При этом исходный образец ПП имеет самое низкое значение степени набухания (0,13%). Образец, который был обработан КПАВ-2 и АмПАВ показал, что степень набухания непромытых и промытых исследуемых образцов отличается.

При обработке ПП-пленки КПАВ-2 с последующей промывкой степень набухания составляет 1,03%, а для образца без промывки – 0,43%. Так и для образца, который был обработан АмПАВ наблюдается такая же тенденция: для промытого – 7,05%, для непромытого – 1,96%. При этом наибольшее значение адсорбции наблюдается для образца, который был подвергнут смыванию ПАВ с поверхности ПП пленки.

В ходе изучения изменений сорбции ПП в гексане была построена следующая зависимость, представленная на рисунке 4:

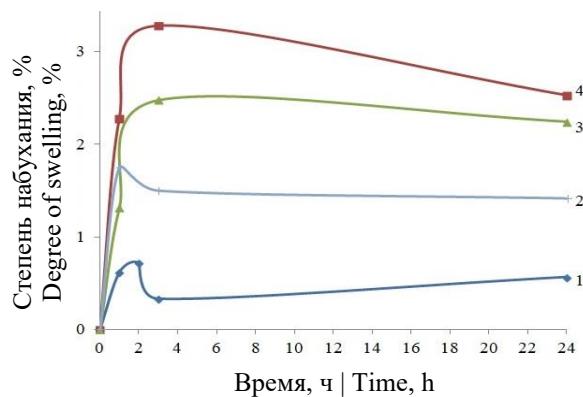


Рисунок 4. Кинетика набухания пленок немодифицированного (1) и модифицированного ПАВ (2, 3, 4) ПП (в%) в среде н-гексана: 1- исходный образец, 2 – АмПАВ (промытый), 3 – КПАВ-1 (промытый), 4 – КПАВ-1

Figure 4. Swelling kinetics (%) of unmodified (1) and surfactant-modified (2, 3, 4) PP films in hexane: 1 – untreated sample, 2 – Amph. (washing step) Cat-1 (washing step), 3 – Cat-1.

Тенденция адсорбции довольно схожа по сравнению с ацетоном, но в присутствии гексана наблюдается снижение набухания по истечению 24 ч. Это может быть связано с тем, что согласно правилу растворимости «подобное растворяется в подобном» – гексан растворяет ПП.

Модификация ПП приводит к повышению сорбционной способности полимера по отношению к неполярному растворителю, в том числе за счет возможного частичного растворения. Для исходного образца степень набухания достигает 0,56% в сут. При обработке КПАВ-1 наблюдается снижение степени набухания с 3,28 до 2,53 для непромытого образца и с 2,47 до 2,24% для промытого образца.

Известно, что изменение равновесной степени набухания предоставляет исчерпывающую количественную информацию о стойкости полимерного материала к воздействию бензола и других неполярных сред.

Определяющими факторами по отношению сорбции к гексану и ацетону являются: смывание соли с поверхности ПП пленки, а также тип ПАВ. Такая же закономерность была обнаружена при изучении бензостойкости.

Данные по степени набухания ПП в бензине представлены в таблице 2.

При контакте полимера с агрессивной средой наблюдается изменение его массы. Для всех исследуемых образцов масса полимера выросла. Бензостойким материал считается, если его изменение массы не более 10%.

Из данных таблицы 2 видно, что модификация ПП пленки с последующей промывкой приводит к снижению степени набухания по сравнению с исходным образцом. Таким образом, происходит улучшение стойкости материала к бензину.

Таблица 2.
Результаты бензостойкости обработанной
ПП пленки

Table 2.
Results of the Benzene resistance tests
for the treated PP film

Обработка Treat	Промывка Water	Qcp, %
Исходный Original	-	3,122
КПАВ-1	-	5,436
КПАВ-1	+	1,964
КПАВ-2	-	17,026
КПАВ-2	+	2,596
АмПАВ	-	2,402
АмПАВ	+	1,150

Использование КПАВ-2 без смывания соли с поверхности пленки приводит к снижению бензостойкости на 14%.

Заключение

В ходе изучения влияния обработки поверхностью-активными веществами ПП пленки установлено:

1. Модификация ПП пленки с помощью тепловой обработки водными растворами ПАВ приводит к повышению сорбционной способности полимера по отношению к водянику пару. При этом наблюдается полимолекулярная адсорбция БЭТ, а основные характеристики этой адсорбции увеличиваются в 4 раза для катионного и в 7 раз для амфотерного типа ПАВ.

2. Обработка ПП АмПАВ и КПАВ-1 позволяет повысить сорбцию органических растворителей полиолефинов с 0,13% до 7,05% (ацетон) и с 0,57% до 2,53% (гексан).

3. Экспериментальным путем доказано, что обработка ПАВ с последующей промывкой улучшает бензостойкость полимера.

Данное исследование позволит расширить применение ПП в медицине, в текстильной и нефтеперерабатывающей промышленности.

Благодарности

Выражаю искреннюю благодарность научному руководителю доктору технических наук Михайловой Анне Павловне за ценные рекомендации, консультации и советы в ходе выполнения экспериментальной и расчетной части работы.

Литература

- 1 Обзор российского рынка полипропилена. Октябрь 2024. Прогноз развития до 2028 года. М.: Агентство Агроан, 2024. 75 с. URL: <https://agroan.ru/wp-content/uploads/2025/01/2024.pdf> (дата обращения: 30.08.2025).
- 2 Гарифуллина А.Р., Гарипов Р.Р., Репина Е.М. и др. Полипропилен. Его свойства и сфера применения // Аллея науки. 2020. № 12 (51). С. 145–148.
- 3 Кубылькина С.Ю., Беликова А.А., Чернова Е.С. и др. Применение полипропилена в современном производстве // Проблемы и перспективы развития экспериментальной науки: сборник статей по материалам III Международной научно-практической конференции. Пенза: Наука и Просвещение, 2019. С. 48–50.
- 4 Малькова А.Е., Михайличенко Е.С. Виды полипропилена и их эксплуатационные свойства // Вестник науки. 2022. Т. 5. № 2 (47). С. 210–213.
- 5 Струсовская Н.Л., Матушкина Н.Н. Особенности сорбции и массопереноса гидрофильных веществ через гидрофобный изотактический полипропилен // Сорбционные и хроматографические процессы. 2022. Т. 22. № 5. С. 748–759. doi: 10.17308/sorpchrom.2022.22/10717
- 6 Hossain M.T., Shahid M.A., Mahmud N. et al. Research and application of polypropylene: a review // Discover Nano. 2024. V. 19. P. 2. doi: 10.1186/s11671-023-03952-z
- 7 Mather R.R., Wardman R.H. The chemistry of textile fibres. 3rd ed. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2023. 512 p. doi: 10.1039/9781782626534
- 8 Alsabri A., Tahir F., Al-Ghamdi S.G. Environmental impacts of polypropylene (PP) production and prospects of its recycling in the GCC region // Materials Today: Proceedings. 2022. V. 56. P. 2245–2251. doi: 10.1016/j.matpr.2021.11.574
- 9 Ragooobur D., Huerta-Lwanga E., Somarao G.D. Microplastics in agricultural soils, wastewater effluents and sewage sludge in Mauritius // Science of the Total Environment. 2021. V. 798. P. 149326. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149326
- 10 GreenMatch. Is Polypropylene Bad For The Environment? Statistics, Trends, Facts & Quotes. 2025. URL: <https://www.greenmatch.co.uk/polypropylene-environmental-impact> (дата обращения: 01.08.2025).
- 11 Ho Truong Nam Hai, Pham Thi Phuong Le, Nguyen Thao Nguyen et al. Potential Impacts of polypropylene Microplastics on the Adsorption Process of Cr(VI) by Biochar // International Journal of Environmental Science and Development. 2024. V. 15. № 5. P. 268–276. doi: 10.18178/ijesd.2024.15.5.1495
- 12 He S., Sun S., Xue H. et al. Polypropylene microplastics aging under natural conditions in winter and summer and its effects on the sorption and desorption of nonylphenol // Environmental Research. 2023. V. 225. P. 115615. doi: 10.1016/j.envres.2023.115615
- 13 Petková M., Ujhelyiová A., Ryba J. et al. Sorption Capabilities of Polypropylene/Modified Polypropylene Fibers // Fibers. 2023. V. 11. № 12. P. 102. doi: 10.3390/fib11120102
- 14 Alaburdaitė R., Krylova V. Polypropylene film surface modification for improving its hydrophilicity for innovative applications // Polymer Degradation and Stability. 2023. V. 211. P. 110334. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2023.110334
- 15 Лысак И.А., Лысак Г.В. Гидрофобные сорбенты на основе ультратонких полимерных волокон для улавливания нефтепродуктов // Известия Томского политехнического университета. Инженеринг георесурсов. 2023. Т. 334. № 12. С. 143–151. doi: 10.18799/24131830/2023/12/4311
- 16 Xia Y., Zhou J.J., Gong Y.Y. et al. Strong influence of surfactants on virgin hydrophobic microplastics adsorbing ionic organic pollutants // Environmental Pollution. 2020. V. 265. P. 115061. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115061
- 17 Acik G. Fabrication of polypropylene fibers possessing quaternized ammonium salt based on the combination of CuAAC click chemistry and electrospinning // Reactive and Functional Polymers. 2021. V. 168. P. 105035.
- 18 Агеев Е.П., Струсовская Н.Л., Матушкина Н.Н. Эффект самоочищения пленок изотактического полипропилена от неизвестных импрегнированных примесей // Коллоидный журнал. 2019. Т. 82. № 2. С. 139–145. doi: 10.1134/S0023291219020022
- 19 Самуйлова Е.О., Маркова Е.В., Успенская М.В. Изучение влияния бензина на механические характеристики древесно-полимерных композитов на основе поливинилхлорида // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2019. № 50 (74). С. 58–61.
- 20 Елохин И.В., Михайловская А.П., Ситникова В.Е. Влияние поверхностно-активных веществ на структуру полипропилена // Дизайн. Материалы. Технология. 2024. № 1 (73). С. 133–137. doi: 10.46418/1990-8997_2024_1(73)_133_137

References

- 1 Review of the Russian polypropylene market. October 2024. Development Forecast until 2028 // Agroan Agency. URL: <https://agroan.ru/wp-content/uploads/2025/01/2024.pdf> (accessed 30.08.2025).
- 2 Carifulluna A.R., Garipov R.R., Repina E.M., Bamburkina V.A. Polypropylene. Its properties and scope of application // Alley of science. 2020. no. 12. pp.145–148. (in Russian).
- 3 Kubylkina S. Yu., Belikova A.A., Chernova E.S., Tarasova I.M. Application of Polypropylene in modern production // Problems and prospects of experimental science development. 2019. pp.48–50. (in Russian).
- 4 Malkova A.E., Mikhailichenko E.S. Types of Polypropylene and their performance properties // Science Herald. 2022. no. 5. pp. 210–213. (in Russian).
- 5 Strusovskaya N.L., Matushkina N.N. Features of sorption and mass transfer of hydrophilic substances through hydrophobic Isotactic Polypropylene. Sorption and Chromatographic Processes. 2022. vol. 22. no. 5. pp. 748–759. doi: 10.17308/sorpchrom.2022.22/10717 (in Russian)
- 6 Hossain M.T., Shahid M.A., Mahmud N., Habib A., Rana M.M. et al. Research and application of polypropylene: a review. Discover Nano. 2024. vol. 19. no. 1. p. 2. doi: 10.1186/s11671-023-03952-z
- 7 Mather R.R., Wardman R.H. The chemistry of textile fibres. 3rd ed. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2023. 512 p. doi: 10.1039/9781782626534

- 8 Alsabri A., Tahir F., Al-Ghamdi S.G. Environmental impacts of polypropylene (PP) production and prospects of its recycling in the GCC region. Materials Today: Proceedings. 2022. vol. 56. pp. 2245–2251. doi: 10.1016/j.matpr.2021.11.574
- 9 Ragoobur D., Huerta-Lwanga E., Somarao G.D. Microplastics in agricultural soils, wastewater effluents and sewage sludge in Mauritius. Science of the Total Environment. 2021. vol. 798. p. 149326. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149326
- 10 Is Polypropylene Bad For The Environment? Statistics, Trends, Facts & Quotes // GreenMatch. URL: <https://www.greenmatch.co.uk/polypropylene-environmental-impact> (accessed: 01.08.2025).
- 11 Ho Truong Nam Hai, Pham Thi Phuong Le, Nguyen Thao Nguyen et al. Potential Impacts of polypropylene Microplastics on the Adsorption Process of Cr(VI) by Biochar. International Journal of Environmental Science and Development. 2024. vol. 15. no. 5. pp. 268–276. doi: 10.18178/ijesd.2024.15.5.1495
- 12 He S., Sun S., Xue H. et al. Polypropylene microplastics aging under natural conditions in winter and summer and its effects on the sorption and desorption of nonylphenol. Environmental Research. 2023. vol. 225. p. 115615. doi: 10.1016/j.envres.2023.115615
- 13 Petková M., Ujhelyiová A., Ryba J. et al. Sorption Capabilities of Polypropylene/Modified Polypropylene Fibers. Fibers. 2023. vol. 11. no. 12. p. 102. doi: 10.3390/fib11120102
- 14 Alaburdaitė R., Krylova V. Polypropylene film surface modification for improving its hydrophilicity for innovative applications. Polymer Degradation and Stability. 2023. vol. 211. p. 110334. doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2023.110334
- 15 Lysak I.A., Lysak G.V. Hydrophobic sorbents based on ultrathin polymer fibers for capturing petroleum products. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2023. vol. 334. no. 12. pp. 143–151. doi: 10.18799/24131830/2023/12/4311 (in Russian)
- 16 Xia Y., Zhou J.J., Gong Y.Y. et al. Strong influence of surfactants on virgin hydrophobic microplastics adsorbing ionic organic pollutants. Environmental Pollution. 2020. vol. 265. p. 115061. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115061
- 17 Acik G. Fabrication of polypropylene fibers possessing quaternized ammonium salt based on the combination of CuAAC click chemistry and electrospinning. Reactive and Functional Polymers. 2021. vol. 168. p. 105035. doi: 10.1016/j.reactfunctpolym.2021.105035
- 18 Ageev E.P., Strusovskaya N.L., Matushkina N.N. The effect of self-cleaning of isotactic polypropylene films from unknown impregnated impurities. Colloid Journal. 2019. vol. 82. no. 2. pp. 139–145. doi: 10.1134/S0023291219020022 (in Russian)
- 19 Samuylova E.O., Markova E.V., Uspenskaya M.V. Study of the effect of gasoline on the mechanical characteristics of wood-polymer composites based on polyvinyl chloride. Proceedings of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University). 2019. no. 50 (74). pp. 58–61. (in Russian)
- 20 Elokhin I.V., Mikhailovskaya A.P., Sitnikova V.E. Effect of surfactants on the structure of polypropylene. Design. Materials. Technology. 2024. no. 1 (73). pp. 133–137. doi: 10.46418/1990-8997_2024_1(73)_133_137 (in Russian)

Сведения об авторах

Иван В. Елохин аспирант, ассистент, кафедра химических технологий им. проф. А. А. Хархарова, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, ул. Большая Морская, 18, г. Санкт-Петербург, 191186, Россия, ivaneloxin@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-4934-4096>

Вклад авторов

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за plagiat

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Ivan V. Elokhin graduate student, assistant, chemical engineering named after professor a. a. kharkharov department, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, Bolshaya Morskaya, 18 Saint Petersburg, 191186, Russia, ivaneloxin@gmail.com
 <https://orcid.org/0000-0002-4934-4096>

Contribution

All authors are equally involved in the writing of the manuscript and are responsible for plagiarism

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/08/2025	После редакции 18/08/2025	Принята в печать 09/09/2025
Received 01/08/2025	Accepted in revised 18/08/2025	Accepted 09/09/2025