

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.173:631.95:691.175

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-6-45-51>

Композиционный биodeградируемый полимерный материал для фильтрационных систем

Е.А. Улюкина¹, С.С. Гусев², А.С. Свиридов³, Н.Д. Блинов⁴, Н.П. Попова⁵

^{1,2} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

^{3,4} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия

⁵ МИРЭА-РТУ Институт тонких химических технологий; г. Москва, Россия

¹ eulykina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3048-6836>

² gusev.s@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3619-6848>

³ sviridov.vim@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9396-2281>

⁴ nik.blinov76@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-8734-2885>

⁵ nataliykapopova123@gmail.com

Аннотация. Для очистки воды, топлива и технологических жидкостей традиционно применяют разнообразные виды фильтров, подлежащие замене и утилизации по истечении срока эксплуатации. Мировая тенденция экологизации производств требует грамотной утилизации отработанных материалов. В связи с этим перспективным направлением развития производства новых фильтрующих материалов является создание композиционного полимерного материала, способного самопроизвольно разлагаться после окончания срока эксплуатации, не выделяя токсичных веществ, загрязняющих почву и грунтовые воды. Цель исследований: синтезировать новый биоразлагаемый полимерный композиционный материал для использования в фильтрационных системах. Для создания полимерного фильтра разработана оригинальная методика получения высокопористого полимерного материала раствором методом с помощью напыления коллоидного раствора на подложку. Контроль состава полученной полимерной композиции осуществляли на ИК-Фурье спектрометре SIMEX FT-801 с алмазной НПВО приставкой. Анализ распределения компонентов в композите проводили на микроскопе БИОМЕД-2 посредством окулярной камеры. В результате синтеза получили новый композиционный биodeградируемый материал на основе полилактида с бутадиен-нитрильным каучуком БНКС-28 АМН и резорцином. Методом ИК-спектроскопии в полученном композиционном материале обнаружили наличие цис- и трансзамещенных ароматических соединений, фенолов и сложных эфиров, а также изонитрилов. Это показывает, что исследуемый материал состоит из сложной смеси полимерных волокон, в котором часть макромолекул полилактида взаимодействует с резорцином, а часть – с каучуком. Микроскопическое исследование образца композиционного материала показало наличие 20750 пор/см² со средним размером пор 31 мкм. Результаты исследований доказывают возможность использования полученного биodeградируемого композиционного полимера в качестве фильтра для очистки воздуха, воды и других жидкостей.

Ключевые слова: композиционный биodeградируемый полимерный материал; полимер; композит; фильтр; высокопористый материал; микроскопическое исследование

Для цитирования: Улюкина Е.А., Гусев С.С., Свиридов А.С., Блинов Н.Д., Попова Н.П. Композиционный биodeградируемый полимерный материал для фильтрационных систем // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 6. С. 45-51. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-6-45-51>

ORIGINAL ARTICLE

Biodegradable polymer composite for filtration applications

E.A. Ulyukina^{1✉}, S.S. Gusev², A.S. Sviridov³, N.D. Blinov⁴, N.P. Popova⁵^{1,2}Russian Timiryazev State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow; Russia^{3,4}Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow; Russia⁵Institute of Fine Chemical Technologies of RTU-MIREA; Moscow; Russia¹eulykina@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-3048-6836>²gusev.s@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3619-6848>³sviridov.vim@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9396-2281>⁴nik.blinov76@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-8734-2885>⁵nataliykapopova123@gmail.com

Abstract. Traditional filters for water, fuel, and process fluids require replacement and disposal, raising environmental concerns. The growing need for sustainable waste management has spurred research into biodegradable filter materials that decompose naturally without releasing harmful substances into the environment. This study aimed to synthesize a novel, biodegradable polymer composite for filtration applications. For this purpose, the authors developed a unique method for producing highly porous polymer materials by spraying a colloidal solution on a substrate. The resulting polymer composite was analyzed using a SIMEX FT-801 FTIR spectrometer with a diamond ATR accessory. Component distribution within the composite was analyzed with a BIOMED-2 microscope and an eyepiece camera. The synthesis yielded a new biodegradable composite material composed of polylactide (PLA), BNK-28 AMN butadiene-nitrile rubber, and resorcinol. FTIR spectroscopy confirmed the presence of cis- and trans-substituted aromatic compounds, phenols, esters, and isonitriles in the composite material, indicating a complex mixture of polymer fibers. This suggests that some PLA macromolecules interact with resorcinol, while others interacted with the rubber component. Microscopic analysis revealed a highly porous structure with 20,750 pores/cm² and an average pore size of 31 microns. These results demonstrate the promising prospects of this novel biodegradable composite polymer as a sustainable filter material for air, water, and other liquids.

Keywords: composite biodegradable polymer material; polymer; composite; filter; highly porous material; microscopic examination

For citation: Ulyukina E.A., Gusev S.S., Sviridov A.S., Blinov N.D., Popova N.P. Biodegradable polymer composite for filtration applications. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(6):45-51 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-6-45-51>

Введение

В сельскохозяйственном производстве постоянно требуется проводить операции по очистке от загрязнений различных сред: воды, воздуха, технологических жидкостей и т.д. Универсальным средством очистки жидкостей и газов служат разнообразные по устройству и материалам фильтры¹ [1-4]. Среди множества фильтров стоит выделить широко используемые для очистки воды, топлива, нефтепродуктов и другие полимерные фильтры [5-9]. Фильтры на основе волокнисто-пористых полимерных материалов наилучшим образом зарекомендовали себя в качестве основных рабочих компонентов очистных систем²

¹ Коваленко В.П., Турчанинов В.Е. Очистка нефтепродуктов от загрязнений. М.: Недра, 1990. 160 с.

² Кравцов А.Г., Марченко С.А., Зотов С.В., Станкевич В.М., Наумов А.Д. Полимерные волокнисто-пористые фильтрующие материалы / Под общ. ред. Ю.М. Плескачевского. Гомель: БелГУТ. 2012. 319 с.

Эффективность фильтрования зависит от комплекса свойств фильтроматериала и условий протекания процесса фильтрации [10].

Комплекс свойств композиционного полимерного материала обусловлен его составом. В составе смеси каждый полимер придает определенные характеристики получаемому композиту. Таким образом, основная задача технологии получения смесей сосредоточена на выборе индивидуальных полимеров и способе их сочетания с целью получения материалов с заданными свойствами.

В смеси полимеры и полимер-эластомеры имеют особенности взаимодействия. Взаимное термодинамическое сродство полимеров характеризует величина взаиморастворимости. Под совместимостью полимеров понимается молекулярная взаиморастворимость. В зависимости от молекулярной взаиморастворимости смеси полимеров подразделяют на совместимые, несовместимые и ограниченно

растворимые. В частности, различные сочетания каучуков являются несовместимыми, так как они представляют собой двухфазные механические дисперсии, которые отличаются от индивидуальных каучуков физико-химическими характеристиками [11].

Важнейшими факторами, определяющими механические свойства и морфологию композита, являются уровень совместимости компонентов и энергия взаимодействия на границе фаз в смеси полимеров. В смеси каждый полимер стремится образовать свою фазу, что приводит к фазовому разделению [12]. Кроме совместимости, формирование фазовой структуры зависит от концентрации и молекулярной массы компонентов. Таким образом, если полимеры достаточно совместимы, то фазовая структура может быть однородной.

Один из вариантов полимерно-эластомерных смесей – это сочетание полимера с каучуком. Эластомер придает смеси свои уникальные свойства: высокую эластичность, гибкость и устойчивость к разрыву. Взаимодействие полимера и эластомера основано на силах Ван-дер-Ваальса, дисперсионных силах и водородных связях. Это позволяет образовать надмолекулярную структуру, где эластомерные частицы распределены в полимерной матрице. В смесях с каучуками образуется сетка из эластомерных частиц, которые могут быть равномерно распределены или могут иметь различные структурные особенности, а именно дисперсную или агрегатную структуру.

Таким образом, смеси полимер-эластомер обладают улучшенными механическими свойствами по сравнению с чистыми полимерами – такими, как ударопрочность, гибкость и растяжимость. С другой стороны, морфология и надмолекулярная структура в смесях с каучуками могут существенно изменяться в зависимости от условий и состава смеси, что имеет важное значение для оптимизации свойств и применения таких материалов.

При производстве современных фильтров нужно учитывать не только комплекс свойств фильтроматериала, но и его способность самопроизвольно разлагаться. Экологические требования к производству требуют грамотной утилизации отработанных материалов, поэтому перспективным направлением является создание инновационного полимерного материала, который по окончании срока службы мог бы самопроизвольно разлагаться, не образуя при этом токсичных веществ, загрязняющих почву и грунтовые воды. Можно использовать в составе полимера биоразлагаемые добавки, например, полилактид (продукт полимеризации молочной кислоты, ПЛА) – один из современных биоразлагаемых полимеров, который легко разлагается в почве [13].

Цель исследований: синтезировать новый биоразлагаемый полимерный композиционный материал для использования в фильтрационных системах.

Материалы и методы

Для создания полимерного фильтра необходимо получить тонкую пористую пленку из полимерного смесового материала. Полимерная смесь включает в себя матрицу и наполнитель. В качестве матрицы использовали полимер-эластомерную композицию из смеси биodeградируемого пластика полилактида и эластомера – бутадиен-нитрильного каучука БНКС-28 АМН, в качестве наполнителя – резорцин. Полилактид (полимолочная кислота, ПЛА) – полиэфир молочной кислоты, продукт натурального происхождения, разлагаемый в почве при повышенной температуре и наличии влаги.

В исследовании использовали полилактид марки 4032D, характеристики которого представлены в таблице 1.

В качестве эластомера применили бутадиен-нитрильный каучук БНКС-28 АМН (28 означает среднее процентное содержание нитрила акриловой кислоты, А – полимеризован при низкой температуре (5°C), М – каучук мягкий, вязкость по Муни составляет 50...70 усл. ед., Н – заправлен неокрашивающим противостарителем). Свойства каучука представлены в таблице 2.

В качестве наполнителя и функциональной добавки использовали резорцин. Резорцин применяется в медицине в качестве обеззараживающего средства, пары и пыль резорцина могут раздражать кожу и слизистую глаз и дыхательных путей, вызывая кашель [14]. Технические характеристики резорцина высшего сорта ОКП 24 7211 0120 представлены в таблице 3.

Образец композиционного материала получили по оригинальной разработанной методике воздушным напылением.

Таблица 1
Физические свойства полилактида PLA 4032D³

Table 1
Physical properties of polylactide PLA 4032D

Показатель	Значение
Плотность, г/см ³	1,24
Предел прочности на разрыв, МПа	103,4
Температура плавления, °C	155...170

³ Biopolymer 4032D Technical Data Sheet//NatureWorks URL: https://www.natureworksllc.com/~media/Technical_Resources/Technical_Data_Sheets/TechnicalDataSheet_4032D_films_pdf (дата обращения: 20.04.2025).

**Физические свойства каучука
бутадиен-нитрильного БНКС-28 АМН⁴**

Таблица 2

Table 2

Physical properties of butadiene-nitrile rubber BNKS-28 AMN

Показатель	Значение
Массовая доля стабилизатора (Агидол-2), %	0,50...1,20
Потеря массы при сушке, %, не более	0,8
Растворимость в метилэтилкетоне, %	95
Тип антиоксиданта	неокрашивающий
Разброс по вязкости внутри партии, не более	8
Массовая доля золы, %, не более	1,0
Вязкость по Муни, МБ (1 + 4 (100°C))	61...70
Массовая доля связанного нитрила акриловой кислоты, %	27...30

Технические характеристики резорцина⁵

Таблица 3

Table 3

Technical characteristics of resorcinol

Показатель	Значение
Плотность, г/см ³	1,27
Температура плавления, °С	110
Растворимость в воде, г/100 мл	140
Растворимость в бензоле, г/100 мл	193
Дипольный момент	2,70
Массовая доля фенола, %, не менее	0,09
Оптическая плотность водного раствора массовой концентрации 12 г/дм ³ , не более	0,10

Сложный состав полимерной композиции ввиду своих свойств требует контроля как качественного и количественного состава, так и распределения компонентов по поверхности материала. Пористость – важнейшее свойство фильтрующих материалов, поэтому важно оценить размеры частиц

⁴ Каучук бутадиен-нитрильный // Россполимер. URL: https://rosspilimer.ru/produktsiya/catalog_ps/kauchuk/kauchuk-butadien-nitrilnyj-bnks-28amn-gruppa-2-krasnoyarskiy-zavod-sinteticheskogo-kauchuka-oao/?ysclid=m9iaaxv6ca539790729 (дата обращения: 20.04.2025).

⁵ ГОСТ 9970-74. Резорцин технический. Технические условия: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 6 июня 1974 г. № 1405, введен 1975-01-07. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200020188> (дата обращения: 20.04.2025)

и пор. Оценивали размеры частиц с помощью мультипараметрической микроскопии на ИК-Фурье спектрометре SIMEX FT-801 с алмазной НПВО-приставкой (Новосибирск, Россия). Полученные микрофотографии обрабатывали с помощью комплекса программного обеспечения.

Анализ распределения компонентов проводили с помощью оптической микроскопии с последующей программной обработкой. Исследования выполняли на микроскопе БИОМЕД-2 с компьютерным подключением посредством окулярной камеры.

Методика получения образца. Основным отличием от стандартных методик является использование полимер-эластомерной композиции на основе биodeградируемого пластика и вещества-активатора поверхности (резорцин). Для изготовления исследуемого материала взвешивали навески полимерных компонентов, исходя из требуемого объема рабочего раствора. Далее в растворитель последовательно вводили компоненты: полилактид, затем резорцин, и, наконец, каучук. Перемешивание осуществляли верхнеприводной мешалкой в течение 2 ч до полного растворения полимерных компонентов. Была установлена конкуренция между резорцином и каучуком при их взаимодействии с полилактидом.

В соответствии с разработанной методикой раствор смеси полимеров наносили на стеклянную подложку по растворной технологии методом воздушного напыления с помощью аэрографа. В емкость устройства заливали приготовленный раствор и распыляли на стеклянную подложку по заданной области. Распыление проводили с фиксированной позиции на расстоянии 50 см от подложки для получения микропористой поверхности.

Результаты и их обсуждение

Важнейшими показателями для волокнисто-пористых материалов являются параметры, характеризующие пористую структуру. Пористость влияет на поверхностные и объемные свойства фильтрующего материала. Полученный раствор представляет собой коллоидную систему, концентрация и распределение компонентов которой определяет пористость полученного полимерного материала. На рисунке 1 приведена микрофотография структуры композиционного материала, полученного методом напыления коллоидного раствора на подложку.

Для определения пористости провели компьютерную обработку полученного изображения в среде ПО DG Analyser. Результаты исследований показали, что в данном образце 20750 пор/см² со средним

размером пор 31 мкм. Можно заключить, что высокое содержание пор в исследованном композиционном материале позволяет использовать его в качестве фильтра, а размер пор обеспечит высокую тонкость фильтрования.

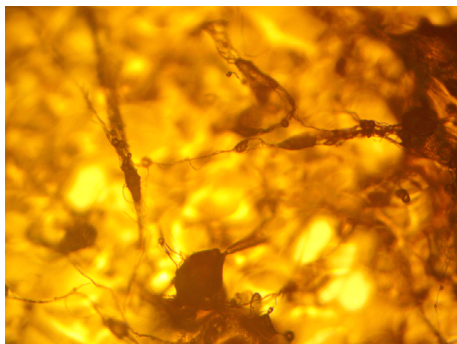


Рис. 1. Микрофотография волокон композиционного материала на основе полилактида с бутадиен-нитрильным каучуком БНКС-28 АМН и резорцином

Fig. 1. Microphotograph of composite material fibers based on polylactide with butadiene-nitrile rubber BNKS-28 AMN and resorcinol

Состав полученных волокон контролировали методом ИК-спектроскопии. На рисунке 2 приведен ИК-спектр композиционного материала.

Анализ полученного ИК-спектра показал наличие следующих значимых полос:

689 см^{-1} – C=C цис-замещенные ароматические соединения;

966 см^{-1} – C=C транс-замещенные ароматические соединения;

1041, 1080, 1126 см^{-1} – замещенные ароматические соединения;

1180 см^{-1} – фенолы, сложные эфиры;

1746 см^{-1} – сложные эфиры;

2116 см^{-1} – изонитрилы, связь между молекулами каучука и полилактида.

Таким образом, результаты ИК-спектроскопии композиционного материала на основе полилактида с бутадиен-нитрильным каучуком БНКС-28 АМН и резорцином показали, что полученный материал состоит из сложной смеси полимерных волокон, в котором часть макромолекул полилактида взаимодействует с резорцином, а часть – с каучуком.

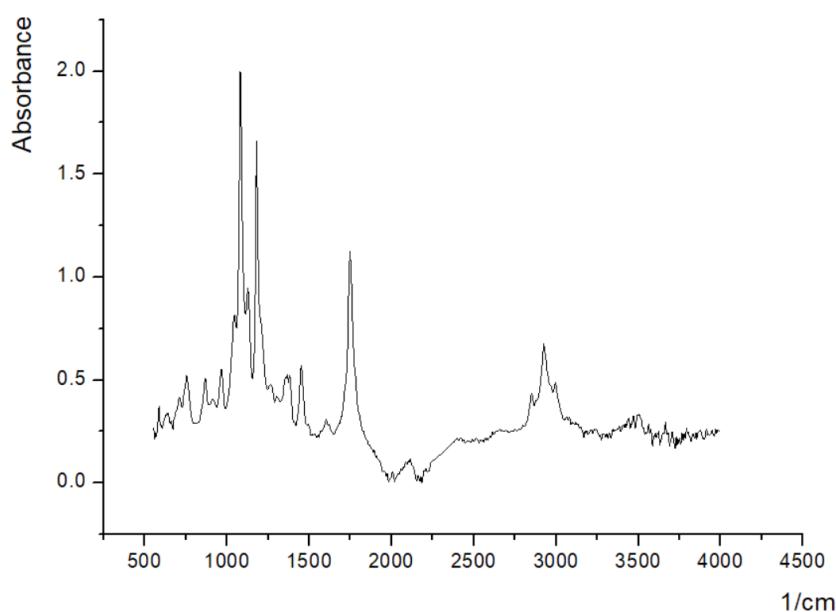


Рис. 2. ИК-спектр композиционного материала на основе полилактида с бутадиен-нитрильным каучуком БНКС-28 АМН и резорцином

Fig. 2. IR spectrum of composite material based on polylactide with butadiene-nitrile rubber BNKS-28 AMN and resorcinol

Выводы

1. Разработана оригинальная методика получения высокопористого полимерного композиционного материала на основе полилактида с бутадиен-нитрильным каучуком БНКС-28 АМН и резорцином раствором методом с помощью напыления коллоидного раствора на подложку.

2. Полученный композит состоит из сложной смеси полимерных волокон (часть макромолекул полилактида взаимодействует с резорцином, а часть – с каучуком) и отличается высоким содержанием пор (20750 пор/ см^2) со средним размером 31 мкм.

3. Полученный новый биodeградируемый композитный полимер может использоваться в качестве

фильтрующего материала и обеспечивать высокую тонкость фильтрации с частицами загрязнений до 10 мкм, а после окончания срока эксплуатации

самопроизвольно разрушаться без выделения токсичных веществ.

Список источников

1. Лебедева О.В., Сипкина Е.И. Полимерные композиты и их свойства // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022. Т. 12, № 2. С. 192-207. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-2-192-207>
2. Орешников А.В., Пирогов Ю.Н., Константинов В.Е., Шарыкин Ф.Е. Эффективность применения гидрофобных проволочных сетчатых перегородок при гидродинамическом фильтровании топлива // Нефтепереработка и нефтехимия. 2022. № 1. С. 21-25. EDN: HVFXUC
3. Многоканальный гидродинамический фильтр: Патент RU168131 U1, МПК B01 D36/00(2006.01) / В.В. Прошкин, А.Н. Каптюх, Д.Д. Моршан и др.; заявл. 04.07.2016; опубл. 18.01.2017, Бюл. № 2. EDN: UKTAAB
4. Улюкина Е.А., Орешников А.В., Шарыкин Ф.Е. Экспериментальное исследование эффективности гидродинамического фильтрования дизельного топлива // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 2. С. 34-40. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-34-40>
5. Способ получения полимера с пространственно-глобулярной структурой: Патент RU2470948 C1 / Г.С. Жданов, С.С. Новиков, А.Ю. Сандеров; заявл. 11.07.2011; опубл. 27.12.2012. Бюл. № 36. EDN: ZGORN R
6. Фильтрующий материал для тонкой очистки масел и топлив, способ его получения и применение: Патент RU2732273 C1 / М.А. Смульская, И.Ю. Филатов, И.А. Капустин; заявл. 18.09.2019; опубл. 14.09.2020. 10 с. EDN: AEXXRO
7. Способ получения ультратонких полимерных волокон: Патент RU2527097 C2 / И.Д. Симонов-Емельянов Ю.Н. Филатов, А.В. Петров; заявл. 13.12.2012; опубл. 27.08.2014. 5 с. EDN: ZQWJXC
8. Самоочищающийся фильтр: Патент RU205889 U1 / А.А. Андреев, Е.А. Улюкина, С.С. Гусев, А.С. Апатенко; опубл. 11.08.2021. Бюл. № 23. EDN: PKSHQU
9. Улюкина Е.А., Андреев О.П., Гусев С.С. и др. Очистка биотоплива с помощью высокопористого полимерного фильтра // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 6. С. 71-76. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-71-76>
10. Бардадым В.Ю. Что важнее: высокая эффективность hera-фильтров или их производительность? // Инновационная наука. 2021. № 1. С. 15-18. EDN: PEBNUW
11. Дьяконов А.А., Тапьев С.А., Охлопкова А.А. и др. Исследование свойств эластомеров на основе комбинации изопренового и бутадиен-нитрильного каучуков // Южно-Сибирский научный вестник. 2021. № 3. С. 93-97. <https://doi.org/10.25699/SSSB.2021.37.3.003>
12. Jem K.J., Tan B. The development and challenges of poly (lactic acid) and poly (glycolic acid). *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. 2020;3(2):60-70. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2020.01.002>
13. Малахов С.Н., Малышкина А.В., Чвалун С.Н. Нетканые материалы на основе полилактида для сорбции углеводородов различной вязкости // Журнал прикладной химии. 2022. Т. 95, № 9. С. 1179-1186. <https://doi.org/10.31857/S0044461822090109>
14. Schmiedel K.W., Decker D. Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2012. 521 с.

References

1. Lebedeva O.V., Sipkina E.I. Polymer composites and their properties. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2022;12(2):192-207. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-2-192-207>
2. Oreshnikov A.V., Pirogov Yu.N., Konstantinov V.E., Sharykin F.E. Efficiency of application hydrophobic wirenetwork partition in hydrodynamic filtering of fuel. *Neftepererabotka i neftekhimiya*. 2022;1:21-25. (In Russ.)
3. Proshkin V.V., Kaptyukh A.N., Moroshan D.D., Kovalenko V.P., Moroz A.F., Mammadov R.G., Sharykin F.E. Multi-channel hydrodynamic filter: Pat. 168131. Russian Federation, IPC B01 D36/00(2006.01); published on 18.01.2017.
4. Ulyukina E.A., Oreshnikov A.V., Sharykin F.E. Experimental efficiency studies of the hydrodynamic filtration of diesel fuel. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(2):34-40 (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-34-40>
5. Zhdanov G.S., Novikov S.S., Sanderov A.Y. Method of producing polymer with spatial-globular structure: Pat. RF 2470948; published on 27.12.2012.
6. Smulskaya M.A., Filatov I.Yu., Kapustin I.A. Filtering material for fine cleaning of oils and fuels, method of production and application thereof: Patent of the Russian Federation, No. 2732273; applied on 18.09.2019; published on 14.09.2020.
7. Simonov-Yemelyanov I.D., Filatov Yu.N., Petrov A.V. Method of obtaining ultrathin polymer fibers: Patent of the Russian Federation, No. 2527097; applied on 13.12.2012; published on 27.08.2014.
8. Andreev A.A., Ulyukina E.A., Gusev S.S., Apatenko A.S. Self-cleaning filter: Pat. RF No. 205889; published on 11.08.2021.
9. Ulyukina E.A., Andreev O.P., Gusev S.S., Andreev A.A., Melikov A.V. Biofuel purification using a highly porous polymer filter. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(6):71-76. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-71-76>
10. Bardadym V.U. What is more important: high efficiency of heap-filters or their performance? *Innovation Science*. 2021;1:15-18. (In Russ.)
11. Diakonov A.A., Tapyev S.A., Okhlopkova A.A. et al. Research of elastomers properties based on combination of isoprene and nitrile butadiene rubbers. *South-Siberian Scientific Bulletin*. 2021;3:93-97. (In Russ.)
12. Jem K.J., Tan B. The development and challenges of poly (lactic acid) and poly (glycolic acid). *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*. 2020;3(2):60-70. <https://doi.org/10.1016/j.aiepr.2020.01.002>
13. Malakhov S.N., Malyshkina A.V., Chvalun S.N. Polylactide-based nonwoven materials for sorption of oils of different viscosity. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2022;95(9):1373-1379 (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0044461822090109>
14. Schmiedel K.W., Decker D. Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2012. 521 p.

Информация об авторах

- ¹ **Улюкина Елена Анатольевна**, д-р техн. наук, профессор; eulykina@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-3048-6836>; SPIN-код: 5118-1522
- ² **Гусев Сергей Сергеевич**, канд. техн. наук, доцент; gusev.s@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3619-6848>; SPIN-код: 3730-7430
- ³ **Свиридов Алексей Сергеевич**, научный сотрудник; sviridov.vim@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9396-2281>; SPIN-код: 7334-3624
- ⁴ **Блинов Никита Дмитриевич**, младший научный сотрудник; nik.blinov76@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-8734-2885>; SPIN-код: 5033-8004
- ⁵ **Попова Наталия Павловна**, студент; nataliykapopova123@gmail.com
- ^{1,2} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49
- ^{3,4} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5
- ⁵ Институт тонких химических технологий РТУ-МИРЭА; 119454, Российская Федерация, г. Москва, Проспект Вернадского, 78

Вклад авторов

Е.А. Улюкина – концептуализация, планирование экспериментов, формулирование выводов;
 С.С. Гусев – организация экспериментов, обработка результатов, анализ;
 А.С. Свиридов – лабораторное обеспечение, организация экспериментов, оформление статьи;
 Н.Д. Блинов – проведение исследований, анализ, обработка результатов, отчет;
 Н.П. Попова – получение полимерного материала, проведение испытаний

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила 03.06.2025, после рецензирования и доработки 23.09.2025; принята к публикации 26.09.2025

Author Information

- Elena A. Ulyukina**¹, DSc (Eng), Professor; eulykina@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-3048-6836>; Scopus ID57218137674
- Sergey S. Gusev**², CSc (Eng), Associate Professor; gusev.s@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3619-6848>; Scopus ID58399738100
- Aleksey S. Sviridov**³, Research Engineer; sviridov.vim@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9396-2281>
- Nikita D. Blinov**⁴, Junior Research Engineer; nik.blinov76@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-8734-2885>
- Nataliya P. Popova**⁵, student; nataliykapopova123@gmail.com
- ^{1,2} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49 Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation
- ^{3,4} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 5 1st Institutskiy Proezd Str., Moscow, 109428, Russian Federation
- ⁵ Institute of Fine Chemical Technologies, MIREA – Russian Technological University; 78 Vernadsky Avenue, Moscow, 119454, Russian Federation

Author Contribution

E.A. Ulyukina – conceptualization, methodology, conclusions;
 S.S. Gusev – investigation, validation, formal analysis;
 A.S. Sviridov – resources; investigation; writing – original draft;
 N.D. Blinov – investigation, formal analysis, validation;
 N.P. Popova – resources, investigation.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests and are responsible for plagiarism.

Received 03.06.2025; Revised 23.09.2025; Accepted 26.09.2025