

EDN: RNTVZL

DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-31-36



Научная статья

УДК 631.348



## Технологические особенности создания отечественного аналога распылителя сельскохозяйственного опрыскивателя

Виктория Эдуардовна Славкина,  
младший научный сотрудник,  
e-mail: slavkina@vimlab.ru;

Денисов Вячеслав Александрович,  
доктор технических наук,  
главный научный сотрудник,  
e-mail: va.denisov@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** В условиях интенсификации сельского хозяйства особенно важна надежность техники для защиты растений. К уязвимым узлам опрыскивателей относятся распылители. Выход распылителей из строя связан с интенсивным износом форсунок, что приводит к перерасходу рабочей жидкости и экологическим рискам. Возможность получения композита для изготовления отечественных распылителей состоит в повышении износостойкости полиацетала путем введения карбида кремния. (*Цель исследования*) Изучение процесса смешения компонентов композита при плавлении в литьевой машине во время изготовления распылителя сельскохозяйственного опрыскивателя. (*Материалы и методы*) Ранее проведенные работы показали, что использование карбида кремния в качестве дисперсного наполнителя позволяет повысить износостойкость и увеличить срок службы распылителей. В данной работе, посвященной исследованию технологии изготовления распылителя, использована имитация процесса плавления композита полиацеталь-карбид кремния в литьевой машине с помощью синхронного термического анализатора (СТА). Методика опыта включает получение СТА-кривых процесса плавления с последующей обработкой в среде *OriginPro 8* и анализ результатов. (*Результаты и обсуждение*) Предложена методика изучения поведения наполнителя в процессе плавления композита при изготовлении изделия. Наблюдение за изменением хода процесса плавления при вводе наполнителя позволило установить его влияние на технологию изготовления. (*Выводы*) Показано взаимодействие карбида кремния с матрицей полиацетала с точки зрения как влияния наполнителя на сами макромолекулы, так и участия в процессе кристаллизации в качестве зародышей кристаллов. Таким образом установлены особенности технологии изготовления распылителей из композита полиацеталь-карбид кремния.

**Ключевые слова:** опрыскиватель, распылитель, композит, полиацеталь, карбид кремния, роль наполнителя, качество смешения, плавление полимера.

■ **Для цитирования:** Славкина В.Э., Денисов В.А. Технологические особенности создания отечественного аналога распылителя сельскохозяйственного опрыскивателя // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2026. Т. 20. №1. С. 31-36. DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-31-36. EDN: RNTVZL.

Scientific article

### Technology for Developing a Domestic Agricultural Sprayer Nozzle

Victoria E. Slavkina,  
junior researcher,  
e-mail: slavkina@vimlab.ru;

Viacheslav A. Denisov,  
Dr.Sc.(Eng.), professor, chief researcher,  
e-mail: va.denisov@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** In the context of agricultural intensification, the reliability of plant protection equipment becomes increasingly important. Spray nozzles are among the most vulnerable components of sprayers, as their failure is primarily caused by intensive wear of the orifice. The wear results in excessive consumption of the working fluid and increased environmental risks. One promising approach to improving the wear resistance of domestically produced sprayer nozzles is the development of polyacetal-based composites reinforced with silicon carbide. (*Research purpose*) To investigate the mixing behaviors of composite components during melt processing in an injection molding machine for the manufacture of agricultural sprayer nozzles. (*Materials and methods*) Previous studies have demonstrated that the use of silicon carbide as a dispersed filler increases wear resistance and extends the service life of spray nozzles. In the present study, focusing on the manufacturing technology of sprayer nozzles, the melting behavior of a polyacetal-silicon carbide composite during injection molding was simulated using simultaneous thermal analysis (STA). The experimental procedure involved obtaining STA curves of the melting process, followed by data processing in the *OriginPro 8*

software environment and subsequent analysis of the results. (*Results and discussion*) A methodology for studying filler behavior during composite melting in the manufacturing process is proposed. Analysis of changes in the melting behavior after introduction of the filler made it possible to determine its influence on the processing technology. (*Conclusions*) The interaction between silicon carbide and the polyacetal matrix was demonstrated, both in terms of the filler's effect on polymer macromolecules and its role in the crystallization process as crystal nucleation centers. As a result, specific features of the manufacturing technology for sprayer nozzles made of a polyacetal–silicon carbide composite were identified.

**Keywords:** sprayer; spray nozzle; composite; polyacetal; silicon carbide; filler role; mixing quality; polymer melting.

■ **For citation:** Slavkina V.E., Denisov V.A. Technology for developing a domestic agricultural sprayer nozzle. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2026. Vol. 20. N1. 31-36 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2026-20-1-31-36. EDN: RNTVZL.

**В** сельском хозяйстве к наиболее распространенным способам борьбы с сорной растительностью и вредителями относится внесение средств защиты растений методом опрыскивания [1, 2]. В целях проведения мероприятий по химической защите растений предлагается множество типов опрыскивателей для обработки различных сельскохозяйственных культур.

В современных реалиях надежность сельскохозяйственной техники приобретает первостепенное значение. Простои, вызванные поломками и отказами, приводят к финансовым потерям, нарушению сроков посева и уборки, снижению качества продукции [3, 4]. Разрыв логистических цепочек импорта запасных частей создает сложную ситуацию в области технического сервиса.

Одним из основных компонентов сельскохозяйственных опрыскивателей является распылитель. Главная причина выхода этих деталей из строя заключается в износе форсунки, что вызывает перерасход рабочей жидкости на 30-60% [5], загрязнение окружающей среды и негативное воздействие на живые организмы [6]. Обеспечение высокой износостойкости – обязательное условие надежной и продолжительной работы распылителя, поскольку потеря его функциональности требует замены всего комплекта и приводит к простоям опрыскивателей [7, 8].

Самыми распространенными на сегодняшний день являются распылители из полимерных материалов благодаря их широкому ассортименту и низкой стоимости [9]. В качестве основного компонента этих материалов используется полиацеталь. Он достаточно хорошо поддается обработке, отличается долгим сроком службы и хорошими эксплуатационными характеристиками [10]. Из-за ограничения поставок зарубежного полимерного сырья для деталей, работающих в условиях повышенного износа, актуальным становится создание отечественных материалов с улучшенными триботехническими характеристиками. Эффективное решение этой задачи видится в поиске модификаторов, добавляемых в базовый полимер и позволяющих обе-

спечить высокую надежность запасных частей для распылителей [11, 12].

Проблемы коррозии, абразии и усталости материала стараются решить путем улучшения химической стойкости и механических свойств полимеров [13]. Ранее на базе ФГБНУ ФНАЦ ВИМ проведены исследования [14], направленные на повышение износостойкости распылителей из полиацетала за счет введения дисперсного наполнителя, в качестве которого был выбран карбид кремния (Славкина В.Э., Гончарова Ю.А., Свиридов А.С. Исследование влияния наполнителей на абразивный износ композиционного материала; сб. матер. Международной инновационной конференции молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения. М.: ИМАШ РАН. 2021. С. 257-263).

Такой композиционный материал может использоваться для изготовления распылителя методом литья под давлением. Но в силу высокой прочности и одновременно хрупкости полиацетала процессы, происходящие при литье композита, мало изучены. Более глубокое исследование позволит решить поставленную задачу производства отечественных материалов с улучшенными триботехническими свойствами.

Процесс литья под давлением начинается с плавления и смешения компонентов в зоне загрузки литьевой машины. На этом этапе из-за возможного трения компонентов с поверхностью стенок шнека и материального цилиндра может нарушиться целостность как деталей машины, так и композита.

**Цель исследования:** изучение процесса смешения компонентов композита повышенной износостойкости при плавлении в литьевой машине для изготовления отечественного аналога щелевого распылителя сельскохозяйственного опрыскивателя *TeeJet 110VP*.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Высокая кристалличность полиацетала придает этому материалу прочность и одновременно хрупкость. Для улучшения свойств полиацетала требуется введение наполнителя. Как отмечено выше, в данном случае наиболее подходящим выбран карбид кремния.

В цикле работ по изучению и изготовлению аналога щелевого распылителя опрыскивателя *TeeJet 110VP* используются полиацеталь марки *MASCON POM 27* (Россия) и карбид кремния «ЖУК-F600» (Россия) с размером частиц 5-10 мкм в концентрации 15% об.

Для исследования процесса плавления композита полиацеталь-карбид кремния в литейной машине использована имитация с помощью синхронного термического анализатора (СТА) *Jing Yi GAO KE ZCT-1* (Китай). По данным этого прибора получали СТА-кривые и проводили обработку в среде ПО *OriginPro 8*.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Для выяснения роли и поведения наполнителя необходимо изучить кинетику процесса введения его в матрицу и плавления образцов, в частности, характер распределения по толщине ламелей.

Плавление кристаллитов, состоящих из ламелей, и соответственно их образование происходят на зародышах (центрах) кристаллизации. В некоторых случаях именно частицы наполнителя будут играть роль таких центров.

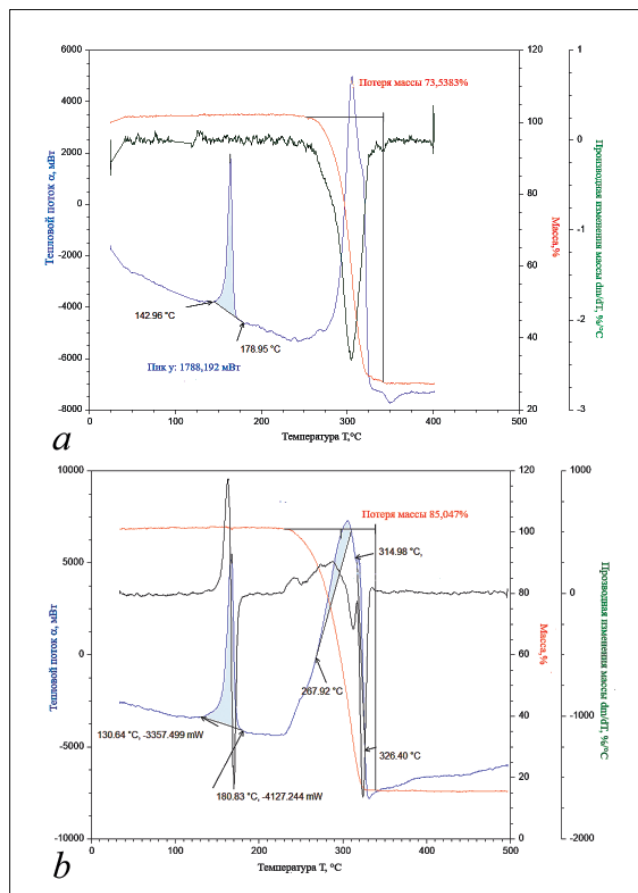
В нашем случае карбид кремния может как про-

никать в межфазные слои, так и располагаться рядом с макромолекулами полимера, играя роль зародышей кристаллизации. Установление поведения карбида кремния и является основной целью данной работы.

В ходе исследований были получены СТА-кривые процессов плавления, переходящих в термоокислительную деструкцию наполненных и ненаполненных образцов (*рис. 1*).

Рассмотрим пики плавления образцов. Ненаполненный образец плавится в интервале температуры 142-178°C. При введении карбида кремния температурный диапазон плавления расширяется до 130-183°C, и увеличиваются затраты энергии. Изменение энергетики, которая определяется количеством теплоты, видно по увеличению интенсивности пика (*рис. 2*).

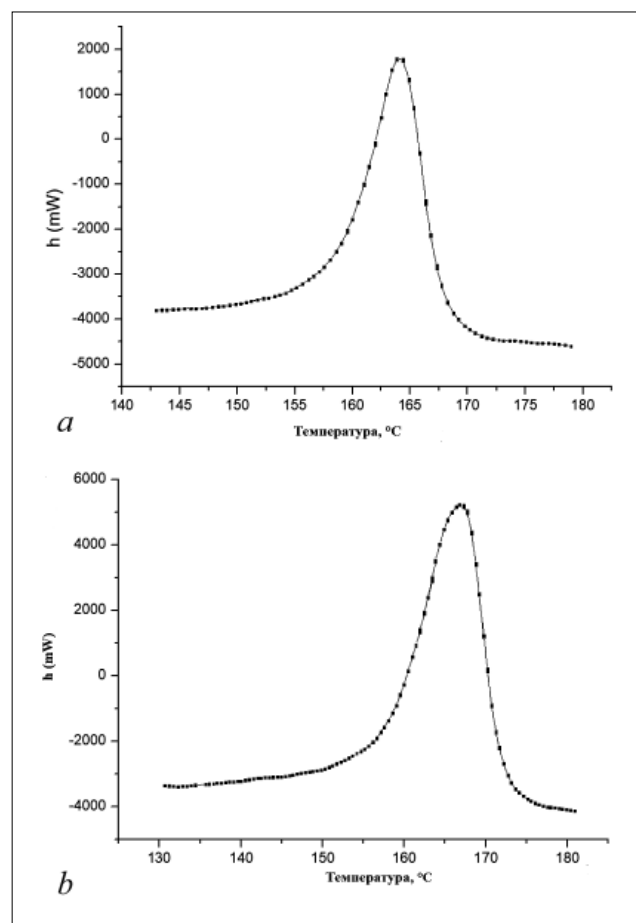
Для плавления обоих образцов характерно наличие двух последовательных процессов: плавление менее совершенных и тонких ламиллярных кристаллитов и плавление более совершенных и термодинамически устойчивых кристаллитов. В наполненном образце первый процесс протекает быстрее, что связано с формированием большого



*Рис. 1.* СТА-кривые образца: *a* – ненаполненного;

*b* – наполненного

*Fig. 1.* Simultaneous thermal analysis (STA) curves of the samples: *a* – unfilled; *b* – filled



*Рис. 2.* Пики плавления образца: *a* – ненаполненного;

*b* – наполненного

*Fig. 2.* Melting peaks of samples: *a* – unfilled; *b* – filled

количества мелких и менее совершенных кристаллитов в присутствии частиц карбида кремния, выполняющих функцию центров зародышеобразования. Такой вид пиков процесса плавления указывает на две модификации кристаллитов либо на сложный характер их плавления. Более детально процесс можно оценить по графикам распределения по толщине ламелей. Для их построения необходимо получить значения функции  $f(da/dT)$ , где  $a$  – степень превращения, характеризующая относительную долю кристаллической фазы, перешедшей в расплав при плавлении, которая определяется с помощью дифференцирования площади пика плавления;  $T$  – температура процесса (рис. 3).

Плавление ненаполненного образца характеризуется распределением ламелей на восемь групп, а в наполненном образце таких групп девять и более сложная картина. При этом в ненаполненном образце больше высокоплавких кристаллитов и наблюдается процесс передачи валентности при переходе от низко- к высокоплавким кристаллитам. При введении наполнителя увеличивается общее количество и размер кристаллитов (это видно по

толщине и положению линий распределения ламелей).

Введение карбида кремния инициирует перераспределение кристаллитов при плавлении, появление большего количества высокоплавких, но менее крупных кристаллитов. Такой характер процесса плавления указывает на то, что карбид кремния выступает зародышем кристаллизации и при этом проникает внутрь макромолекул полиацетала, выполняя двойную роль.

Таким образом, введение карбида кремния в матрицу полиацетала в процессе получения композитного материала для литья под давлением щелевых распылителей для аналога опрыскивателя TeeJet 110VP определяет хорошее взаимодействие матрицы и наполнителя, но может способствовать диффузии наполнителя на поверхность матрицы. Это в свою очередь вызовет необходимость как защиты матрицы при целевом использовании, так и улучшения ее взаимодействия с наполнителем.

**Выводы.** Изучение процессов плавления и смешения компонентов композита полиацеталь-карбид кремния показало двойственное поведение карбида кремния в качестве наполнителя. В этой паре матрица-наполнитель достигается сильное взаимодействие, но усложняется процесс плавления (расширение температурного диапазона, изменение хода процесса, перераспределение кристаллитов с изменением их размера и числа), что может стать причиной выхода из строя производственного оборудования. Также возникает необходимость в дополнительной обработке наполнителя, направленной на улучшение его адгезионного взаимодействия с полимерной матрицей и снижение склонности к миграции на поверхность. Такая обработка представляет собой поверхностную модификацию частиц карбида кремния, обеспечивающую более равномерное распределение наполнителя и стабилизацию структуры композита.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке композиционных материалов на основе полиэтилена, наполненных карбидом кремния, предназначенных для эксплуатации в условиях повышенного абразивного воздействия. Установленные особенности формирования структуры композита и распределения кристаллических областей позволяют оптимизировать состав материала и условия его переработки. Это способствует повышению стабильности структуры композита и улучшению его эксплуатационных характеристик.

Дальнейшие исследования планируется направить на изучение влияния поверхностной модификации частиц карбида кремния на адгезионное взаимодействие с полимерной матрицей, а также на исследование влияния концентрации наполнителя на механические и трибологические свойства композиционного материала.

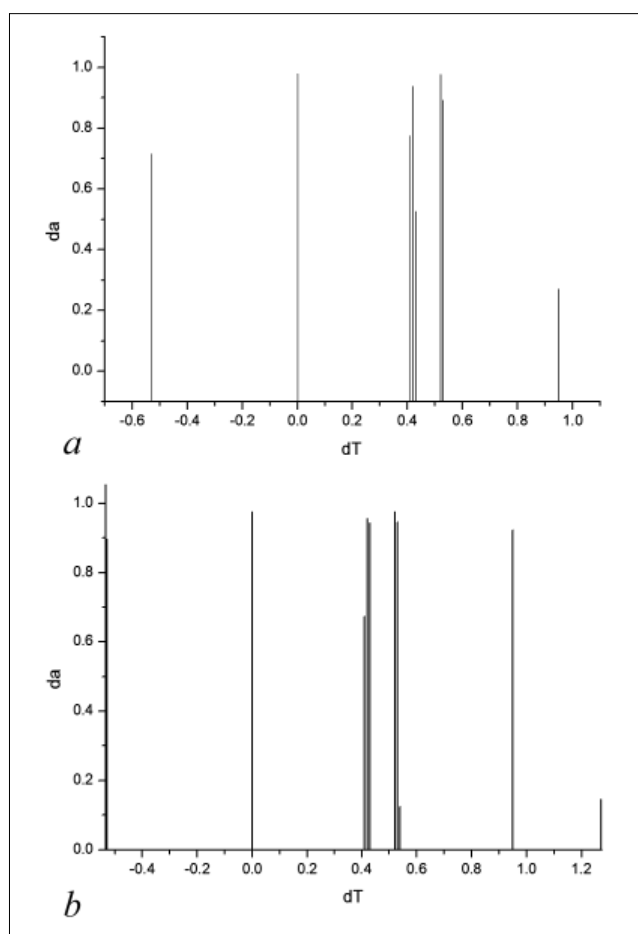


Рис. 3. Распределения по толщине ламелей образца:

*a* – ненаполненного; *b* – наполненного

Fig. 3. Lamellar thickness distributions: *a* – unfilled sample; *b* – filled sample

Авторы благодарят профессора кафедры химии и технологии переработки эластомеров имени Ф.Ф. Кошелева РТУ МИРЭА Людмилу Сергеевну Шибряеву, младшего научного сотрудника лаборатории 10.3. ФГБНУ ФНАЦ ВИМ Никиту Дмитриевича Блинова за помощь в интерпретации результатов анализа.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тавасиев Р.М., Дзиццов А.П., Ахмад А. Определение параметров опрыскивателя для плодопитомников // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т.18. №2. С. 55-60. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-55-60.
2. Ценч Ю.С., Сидоров И.В. Этапы развития технологий и технических средств для внесения удобрений и защиты растений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т.18. №3. С. 14-22. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-14-22.
3. Ветрова С.М., Барчукова А.С., Кривых Н.С. и др. Триботехнические свойства высокопрочной стали в абразивной среде // *Технический сервис машин*. 2025. Т. 63. №2. С. 86-91. DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-2-86-91.
4. Салыков Б.Р., Салыкова О.С., Комаров Д.Н., Мануйлов Н.В. Применение высокопрочных материалов при изготовлении сельскохозяйственной техники. *3i: intellect, idea, innovation-интеллект, идея, инновации*. 2025. №1. С. 194-200. DOI: 10.52269/22266070\_2025\_1\_194.
5. Гуреев И.И., Нуралин Б.Н., Мухтаров М.У., Костюченкова О.Н. Оптимизация параметров адаптивного распылителя сельскохозяйственного опрыскивателя // *Инженерные технологии и системы*. 2024. Т.34. №1. С. 72-87. DOI: 10.15507/2658-4123.034.202401.072-087.
6. Larras F., Charles S., Chaumot A. et al. A critical review of effect modeling for ecological risk assessment of plant protection products. *Environmental Science and Pollution Research International*. 2022. Vol. 29. 43448-43500. DOI: 10.1007/s11356-022-19111-3.
7. Лобачевский Я.П., Миронов Д.А., Миронова А.В. Основные направления повышения ресурса быстроизнашиваемых рабочих органов сельскохозяйственных машин // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №1. С. 41-50. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-41-50.
8. Ротенберг Ю.Ю., Раскатова Т.В., Редкозубов И.А. Несколько советов по эксплуатации распылителей // *Защита и карантин растений*. 2011. №3. С. 47-49. EDN: NDEFKT.
9. Лысов А.К., Корнилов Т.В. Механизация опрыскивания сельскохозяйственных растений // *Защита и карантин растений*. 2018. №4. С. 38-48. EDN: XNPZBZ.
10. Полянская Е. Распылители: размер имеет значение, высокие технологии на нескольких сантиметрах // *АгроСнабФорум*. 2016. №6(146). С. 24-27. EDN: WZEUCB.
11. Радайкина Е.А., Котин А.В. Исследование триботехнических свойств полиамидных композитов // *Технический сервис машин*. 2023. №1(150). С. 103-109. DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-1-103-109.
12. Миничкина В.П. Импортозамещение: проблемы, результаты и направления развития // *Вестник НИИ гуманитарных наук при Правительстве Республики Мордовия*. 2023. №2(66). С. 25-40. EDN: НКPGMB.
13. Кудряшова Е.Ю., Задорожний Р.Н. Слоистые полимеры с армирующими волокнами и их триботехнические показатели // *Технический сервис машин*. 2024. Т. 62. №4. С. 77-82. DOI: 10.22314/2618-8287-2024-62-4-77-82.
14. Славкина В.Э., Катаев Ю.В., Свиридов А.С., Загоруйко М.Г. Оценка эффективности применения композита из полиацетата для изготовления щелевых распылителей // *Аграрный научный журнал*. 2024. №4. С. 136-141. DOI: 10.28983/asj.y2024i4pp136-141.

### REFERENCES

1. Tavasiev R.M., Dzitsoev A.P., Ahmad A. Determination of sprayer parameters for fruit nurseries. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. №2. 55-60 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-2-55-60.
2. Tsench Yu.S., Sidorov I.V. Stages of technologies and technical means development for fertilization and plant protection. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol.18 (3). 14-22 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-3-14-22.
3. Vetrova S.M., Barchukova A.S., Krivykh N.S. et al. Tribotechnical properties of high-strength steel in abrasive environment. *Machinery Technical Service*. 2025. Vol. 63. №2. 86-91 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-2-86-91.
4. Gureev I.I., Nuralin B.N., Mukhtarov M.U., Kostyuchenko O.N. Optimization of parameters of adaptive spray system for agricultural sprayers. *Engineering Technologies and Systems*. 2024. Vol. 34. №1. 72-87 (In Russian). DOI: 10.15507/2658-4123.034.202401.072-087.
5. Salykov B.R., Salykova O.S., Komarov D.N., Manuilov N.V. Application of high-strength materials in the manufacturing of agricultural machinery. *3i: intellect, idea, innovation*. 2025. №1. 194-200 (In Russian). DOI: 10.52269/22266070\_2025\_1\_194.
6. Larras F., Charles S., Chaumot A. et al. A critical review of effect modeling for ecological risk assessment of plant protection products. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022. Vol. 29. 43448-43500 (In English). DOI: 10.1007/s11356-022-19111-3.
7. Lobachevskiy Ya.P., Mironov D.A., Mironova A.V. Increasing

- the operating lifetime of wearable working bodies of agricultural machines. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 17. N1. 41-50 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-41-50.
8. Rotenberg Yu.Yu., Raskato T.V., Redkozubov I.A. Some advice on spraying equipment operation. *Plant Protection and Quarantine*. 2011. N3. 47-49 (In Russian). EDN: NDEFKT.
  9. Lysov A.K., Kornilov T.V. Mechanization of spraying agricultural plants. *Plant Protection and Quarantine*. 2018. N4. 38-48 (In Russian). EDN: XNPZBZ.
  10. Polyanskaya E. Sprayers: size matters, high technology in a few centimeters. *AgroSnabForum*. 2016. N6 (146). 24-27 (In Russian). EDN: WZEUCB.
  11. Radaikina E.A., Kotin A.V. Radaykina E.A., Kotin A.V. Study of tribotechnical properties of polyamide composites. *Machinery Technical Service*. 2023. N1(150). 103-109 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2023-61-1-103-109.
  12. Minichkina V.P. Import substitution: issues, results and trends development. *Bulletin of the Research Institute of Humanities by the Government of the Republic of Mordovia*. 2023. N2(66). 25-40 (In Russian). EDN: HKPGMB.
  13. Kudryashova E.Yu., Zadorozhny R.N., Romanov I.V. Layered polymers with reinforcing fibers and their tribotechnical indicators. *Machinery Technical Service*. 2024. Vol. 62. N4. 77-82 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2024-62-4-77-82.
  14. Slavkina V.E., Kataev Yu.V., Sviridov A.S., Zagoruiko M.G. Evaluation of the effect of application of polyacetal composite for manufacturing slot sprayers. *Agricultural Scientific Journal*. 2024. N4. 136-141 (In Russian). DOI: 10.28983/asj.y2024i4pp136-141.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Заявленный вклад соавторов:

Славкина В.Э. – графическое представление результатов, анализ литературы, проведение и описание результатов исследования, подготовка текста;

Денисов В.А. – постановка задачи, формулирование основной концепции исследования.

*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

### Coauthors' contribution:

Slavkina V. E. — graphical presentation of results; literature review and analysis; analysis and presentation of results; manuscript preparation;

Denisov V. A. — problem statement; development of the core research concept.

*The authors read and approved the final manuscript.*

Статья поступила в редакцию  
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on  
The paper was accepted for publication on

08.12.2025  
25.02.2026