

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 632.08

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-22-30>

Полимерный композит для распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей: испытания

В.Э. Славкина¹, Ю.В. Катаев², А.С. Свиридов³, Е.Ф. Малыха⁴, Н.В. Сергеева⁵^{1,2,3} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия^{4,5} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия¹ slavkina@vimlab.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2906-8917>² ykataev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>³ sviridov.vim@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9396-2281>⁴ efmalykha@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7143-7574>⁵ nvsergeeva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6757-1666>

Аннотация. Долговечность сельскохозяйственного опрыскивателя зависит от материала, из которого изготовлены распылители. Для повышения износостойкости полимерных форсунок в композит внедряют дисперсные наполнители. Композит для распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей должен отличаться высокой химической стойкостью к агрохимикатам и механической прочностью, а также низким гидроабразивным износом. С целью выбора оптимального полимерного композита для распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей изготовлены три композита на основе полиоксиметилена марки MASCON POM 27, в которых в качестве дисперсных наполнителей использовались стекловолокно, графит и карбид кремния со степенью объемного наполнения 10, 15 и 20%. Полимерные композиты исследовались в течение 14 недель на химическую стойкость к агрохимикатам (гербицид «Лазурит», фунгицид «Ракурс», инсектицид «Борей-Нео»), механическую прочность и гидроабразивный износ. В качестве эталона выступали образцы из полиоксиметилена марки MASCON POM 27. Результаты испытаний на механическую прочность при растяжении показали наибольшее увеличение показателя прочности при 15%-ном содержании наполнителя независимо от его типа. Прочность композита с карбидом кремния увеличилась на 30,2%, со стекловолокном – на 26,8%, с графитом – на 27,4%. Установлено, что химическая стойкость композитов не зависит от концентрации раствора агрохимикатов. Экспериментами по гидроабразивному износу выявлено, что графит и карбид кремния эффективны как наполнители и способны снизить износ до 7,5 раза. Для изготовления распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей рекомендуется применять полиоксиметилен с 15%-ным содержанием карбида кремния.

Ключевые слова: композит для распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей, полиоксиметилен, композит, дисперсный наполнитель, испытания, распылитель, химическая стойкость композитов, износостойкость

Для цитирования: Славкина В.Э., Катаев Ю.В., Свиридов А.С., Малыха Е.Ф., Сергеева Н.В. Полимерный композит для распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей: испытания // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 5. С. 22-30. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-22-30>

ORIGINAL ARTICLE

Polymer composite for farm sprayer atomizers: test results

V.E. Slavkina¹, Yu.V. Kataev², A.S. Sviridov³, E.F. Malykha⁴, N.V. Sergeeva⁵^{1,2,3} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia^{4,5} Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia¹ slavkina@vimlab.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2906-8917>² ykataev@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>³ sviridov.vim@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9396-2281>⁴ efmalykha@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7143-7574>⁵ nvsergeeva@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6757-1666>

Abstract. The long service life of a farm sprayer depends on the material, the nozzles are made of. To increase the wear resistance of polymer nozzles, dispersed fillers are incorporated into the composite. Composites for agricultural sprayer atomizers should have high chemical resistance to agrochemicals and mechanical strength, as well as low

hydro-abrasive wear. In order to select the optimal polymer composite for farm sprayer atomizers, three composites based on polyoxymethylene of MASCON POM 27 brand were produced, in which glass fiber, graphite and silicon carbide with the degree of volume filling 10, 15 and 20% were used as disperse fillers. The polymer composites were tested for 14 weeks for chemical resistance to agrochemicals (herbicide “Lazurit”, fungicide “Rakurs”, insecticide “Borei-Neo”), mechanical strength and hydro-abrasive wear. MASCON POM 27 polyoxymethylene samples served as a reference. The results of mechanical tensile strength tests showed the greatest increase in the strength index at 15% filler content regardless of its type. The strength of the composite with silicon carbide increased by 30.2%, with glass fiber – by 26.8%, with graphite – by 27.4%. It was found that the chemical resistance of composites does not depend on the concentration of agrochemical solution. The experiments on hydro-abrasive wear revealed that graphite and silicon carbide are effective as fillers and can reduce wear up to 7.5 times. It is recommended to use polyoxymethylene with 15% content of silicon carbide for manufacturing farm sprayer atomizers.

Keywords: composite product for farm sprayer atomizers, polyoxymethylene, composite, dispersed filler, tests, atomizer, chemical resistance of composites, wear resistance

For citation: Slavkina V.E., Kataev Yu.V., Sviridov A.S., Malykha E.F., Sergeeva N.V. Polymer composite for farm sprayer atomizers: test results. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(5):22-30. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-22-30>

Введение

По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО), глобальные потери от вредителей и болезней растений ежегодно составляют около 20...25% потенциального урожая продовольственных культур в мире. В России потери достигают 20...25% от фактического производства сельскохозяйственной продукции, то есть каждый пятый гектар не приносит ожидаемого урожая [1, 2]. Решить данную проблему может химический способ защиты растений. Без применения пестицидов потери урожая для плодовых культур составили бы 78%, для овощных – 54%, для зерновых – 32% [3, 4].

Наиболее распространенным методом химической обработки сельскохозяйственных культур является опрыскивание рабочим раствором пестицидов. Одним из основных рабочих органов, влияющих на качество опрыскивания, является распылитель, обеспечивающий формирование симметричных распыляющих шлейфов путем дозирования и разделения рабочей жидкости на капли определенного размера [5, 6].

На российском рынке в настоящее время представлены опрыскиватели фирм Lechler, Lurmark (Германия), Teejet, Нурро, Combo-Jet (США),

AgroPlast (Польша), Albus, Nozal (Франция), Har-di (Дания), ARAG (Италия) и др.

Замена и выход из строя опрыскивателя случаются по причине износа сопла распылителя (рис. 1, 2), в результате которого происходит изменение формы факела распыла (рис. 3). Причиной износа является абразивность рабочего раствора [7-9].

При выборе распылителя одним из важнейших факторов является износостойкость, характеризующаяся временем работы распылителя без изменения производительности. Износостойкость зависит от материала. В основном распылители опрыскивателя изготавливают из керамики, нержавеющей стали, латуни и полимеров (рис. 4) [10-12].

Срок службы полимерных распылителей не уступает распылителям из нержавеющей стали, но износостойкость их ниже керамических [13]. Основной причиной отказа от керамических распылителей в пользу полимерных является их высокая стоимость, а также специфические требования к обслуживанию. Например, после окончания сезона полевых работ и при хранении опрыскивателя в неотопляемых помещениях керамические распылители необходимо снимать.

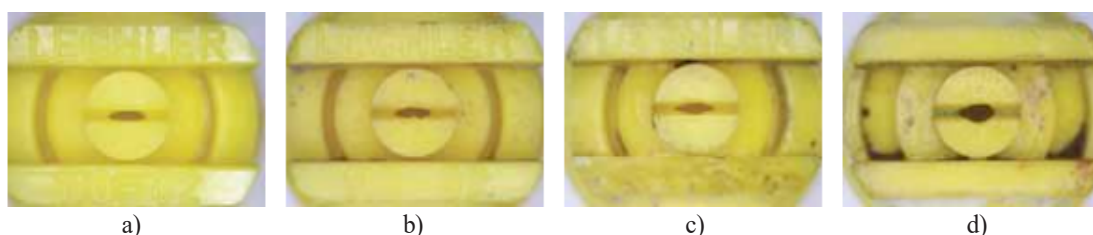


Рис. 1. Сопло форсунки сельскохозяйственного опрыскивателя: новое (а) и после использования в течение 40 ч (б), 70 ч (с) и 180 ч (д)

Fig.1. Nozzle of the farm sprayer injector: new (a) and after use in temperatures for 40 h (b), 70 h (c) and 180 h (d)

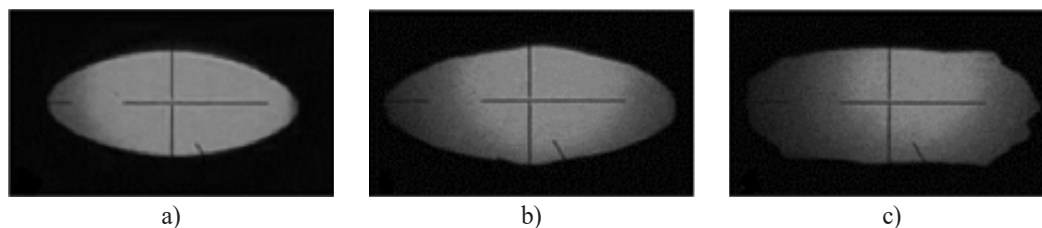


Рис. 2. Форма сопла форсунки сельскохозяйственного опрыскивателя при 20-кратном увеличении:
 а) оригинальная форма; б) частично изношенная форсунка; в) катастрофический износ

Fig. 2. Shape of an farm sprayer injector nozzle (20-fold magnification):
 a) original form; b) partially worn-out nozzle; c) extremely gross wear



Рис. 3. Изменение формы распыла в результате износа сопла

Fig. 3. Change in the spray pattern due to the nozzle wear

Полимер для изготовления распылителей должен обладать химической стойкостью, высокой износостойкостью и способностью к переработке литьем под давлением. Наиболее распространенным полимером, используемым в производстве распылителей, является полиоксиметилен с дисперсными наполнителями, которые способствуют изменению физико-механических свойств и химической стойкости композитов, позволяя получать новый полимерный материал с заданными свойствами [14, 15].

Повысить износостойкость распылителей можно за счет введения в полимер наполнителей, твердость которых выше твердости данного полимера. Такими наполнителями могут быть стеклянные микросферы, керамические частицы, твердые волокна.

Цель исследований: изготовить три композиционных материала на основе термопластичного полимера, провести испытания и на их основе рекомендовать лучший композит для распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей.

Материалы и методы

В качестве полимерной матрицы был выбран полиоксиметилен марки MASCON POM 27 (POM). На основании проведенного ранее аналитического обзора в качестве дисперсных наполнителей выбраны стекловолокно, графит и карбид кремния (табл. 1). Степень объемного наполнения

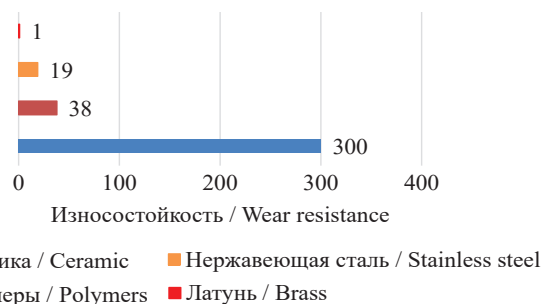


Рис. 4. Относительная износостойкость материалов распылителей

Fig. 4. Relative wear resistance of sprayer materials

принималась как среднее между рекомендуемыми значениями наполнения всех используемых типов наполнителей.

Изготовление образцов осуществлялось путем замешивания в роторном смесителе периодического действия. Перед замешиванием гранулы полиацетата высушивали в термощкафу в течение 6 ч при температуре 100°C. Смешивание полиацетата и наполнителя происходило при температуре 170°C и скорости вращения ротора 50 мин⁻¹, время смешения составляло 40 мин. Полученную смесь измельчали до получения гранул (рис. 5).

Полученный гранулят прессовали в плиты толщиной 2 мм с помощью гидравлического пресса при температуре 180°C в течение 30 мин, после чего плиты охлаждали под прессом в течение 1 ч для обеспечения равномерного охлаждения по всему образцу. С помощью лазерного станка вырезали образцы нужной геометрии (табл. 2).

Изготовленный композит для распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей исследовался на химическую стойкость к агрохимикатам, гидроабразивному износу и механическую прочность.

Прочность композитных образцов исследовали на разрывной машине И1147М-50-01-1. Образец растягивали вдоль его главной продольной оси с постоянной скоростью 5 мм/мин. В процессе растяжения измеряли нагрузку, выдерживаемую образцом, и его удлинение.

Таблица 1

Составы исследуемых смесей
Compositions of the mixtures tested

Table 1

Показатель Indicators	Тип наполнителя / Filler type								
	Стекловолокно / Fiberglass			Карбид кремния / Silicon carbide			Графит / Graphite		
Объемное содержание наполнителя, % Volume content of the filler, %	10	15	20	10	15	20	10	15	20
Размер частиц / Particle size	l = 0,2 мм (mm)			d = 5...10 нм (µm)			d = 1,5 мм (mm)		

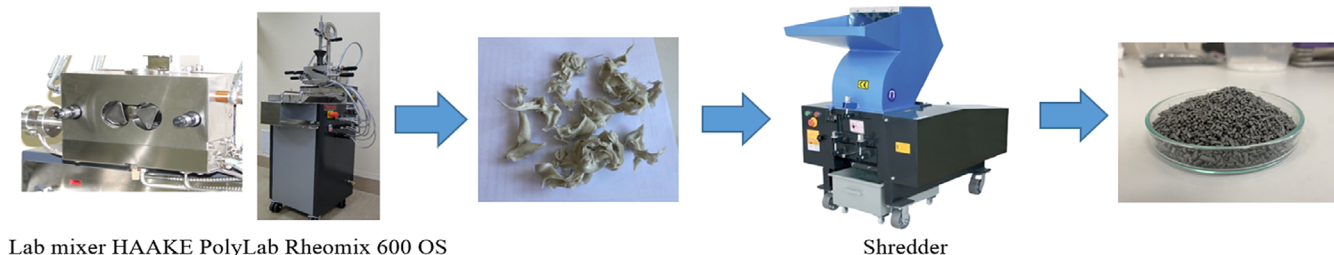


Рис. 5. Изготовление композитных гранул
Fig. 5. Manufacturing of composite granules

Размеры образцов для испытаний

Таблица 2

Table 2

Dimensions of test samples

Размеры / Size	Значение / Value, mm
Общая длина / Total length	73
Толщина рабочей части Thickness of the operating part	2
Длина рабочей части Length of the operating part	35 ± 1
Большой радиус кривизны Large radius of curvature	25 ± 1
Малый радиус кривизны Small radius of curvature	14,0 ± 0,5
Ширина головки / Head width	12 ± 1
Ширина рабочей (узкой) части Width of the narrow (operating) part	4,0 ± 0,4

Исследование химической стойкости композитов проводили в соответствии с рекомендациями стандартов по определению стойкости к воздействию химических средств (ГОСТ Р 56818-2015). Для эксперимента подготовили 60 квадратных образцов со стороной 60,0 мм и толщиной 1,0 мм (рис. 6). В качестве эталона выступали образцы, состоящие из полиоксиметилена марки MASCON POM 27 (POM) (рис. 6а).

В качестве химических средств использовались растворы гербицида «Лазурит», фунгицида «Ракурс» и инсектицида «Борей-Нео». Испытания проводились как в растворах стандартной концентрации, рекомендованной для обработки сои, так и в растворах с 5-кратным

превышением концентрации химических веществ для интенсификации процесса испытаний (табл. 3).

Химическую стойкость образцов оценивали по изменению их массы и твердости при вымачивании в исследуемых растворах. Измерение массы проводили на аналитических весах AND GR-200 (дискретность 0,1 мг). Твердость определялась под нагрузкой 5 кг в течение 10 с при помощи твердомера Шора D (погрешность составляет ±2). Измерения проводились в трех точках образца, затем определялось среднее арифметическое полученных значений.

В течение первой недели измерение массы и твердости производилось ежедневно, затем – единожды в неделю, и каждый раз готовился новый раствор. Продолжительность испытания составила 14 недель.

Обзор способов проведения испытаний на истирание в воде показал возможность использования схемы, когда стакан заполняется абразивной жидкостью, а испытуемые образцы размером 1 × 1 см крепятся на ротор, полностью погруженный в стакан с жидкостью. Абразивные частицы приводятся в движение и истирают испытуемый образец (рис. 7) [16]. Скорость вращения ротора составляла 100 об/мин.

Для интенсификации процесса изнашивания в воду добавляли 30% песка. Испытывали эталонные образцы (100% POM) и образцы, содержащие 15% каждого вида наполнителя. Гидроабразивный износ определялся разностью массы образцов с помощью весов AND GR-200 до испытания и после него. Поскольку полимеры гигроскопичны, то для удаления воды из образцов после испытания их помещали в печь на 2 ч при 100°C.

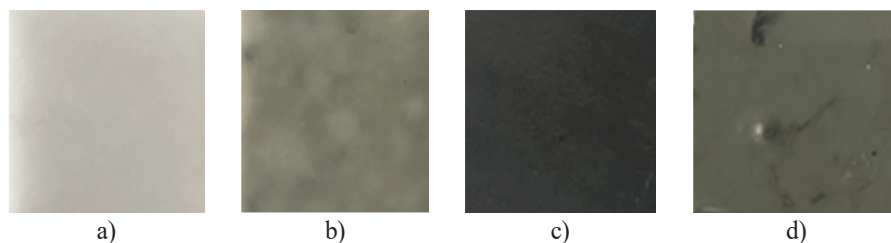


Рис. 6. Образцы композитов для исследования химической стойкости к коррозионным средам: а) 100% POM (эталон); б) POM + стекловолокно; в) POM + графит; д) POM + карбид кремния

Fig. 6. Samples of composites for studying chemical resistance to corrosive environments: а) 100% POM (reference); б) POM + fiberglass; в) POM + graphite; д) POM + silicon carbide

Таблица 3

Концентрация действующих препаратов

Table 3

Chemical product concentrations

Препарат <i>Chemical product</i>	Норма расхода <i>Consumption rate</i>	Объем расходуемой воды, мл <i>Volume of water used, ml</i>	Количество препарата <i>Amount of chemical products needed</i>	
			Стандартная концентрация <i>Standard concentration</i>	Увеличенная концентрация <i>Increased concentration</i>
Гербицид «Лазурит» / <i>Herbicide "Lazurit"</i>	0,5...1,0 кг/га (kg/ha)	400	1 г (g)	5 г (g)
Фунгицид «Ракурс» / <i>Fungicide "Rakurs"</i>	0,2 л/га (l/ha)	500	0,5 мл (ml)	2,5 мл (ml)
Инсектицид «БорейНео» <i>Insecticide "Borei Neo"</i>	0,1...0,2 л/га (l/ha)	500	0,5 мл (ml)	2,5 мл (ml)

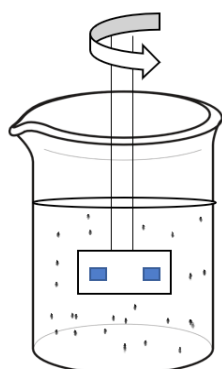


Рис. 7. Испытание на гидроабразивный износ

Fig. 7. Hydro-abrasive wear testing scheme

Характер взаимодействия полимерной матрицы с наполнителями изучался с помощью оптического микроскопа OLYMPUS BX53M. Исследовалась поверхность образцов после гидроабразивного износа. Исследования проводились при 4- и 20-кратном увеличении.

Оценка погрешности результатов испытаний осуществлялась путем использования доверительного интервала с уровнем доверия 95%:

$$\bar{X} - t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + t_{\alpha, n-1} \cdot \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{n}},$$

где \bar{X} – среднее значение; $t_{\alpha, n-1}$ – коэффициент Стьюдента α ; $\hat{\sigma}$ – стандартное отклонение.

В соответствии с поставленными задачами использовались графический метод исследований, методы математического анализа с применением программного обеспечения, методы системного и статистического анализа с использованием пакетов Microsoft Office Excel 2020 и др. Результаты испытаний на химическую стойкость были обработаны с помощью программы Google Colaboratory.

Результаты и их обсуждение

Результаты испытаний на механическую прочность при растяжении изготовленных образцов представлены на рисунке 8.

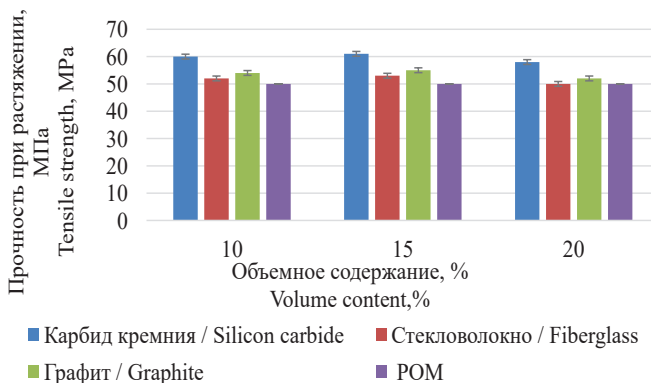


Рис. 8. Прочность при растяжении в зависимости от вида и количества наполнителя

Fig. 8. Value of mechanical strength

Согласно результатам исследований добавление дисперсных наполнителей приводит к увеличению прочности при растяжении, причем наибольшее увеличение показателя прочности достигается при 15%-ном содержании наполнителя независимо от его типа. Дисперсные наполнители обладают высокой прочностью и жесткостью по сравнению с полимерами и способствуют равномерному распределению механической нагрузки в материале. Их использование предотвращает возникновение напряжений в отдельных областях и повышает общую прочность композитного материала. Наиболее ярко это проявляется в композитных смесях с карбидом кремния. При использовании карбида кремния в качестве наполнителя прочность увеличивается на 30,2%. При добавлении стекловолокна прочность на разрыв увеличивается на 26,8%, при добавлении графита – на 27,4%.

Твердость образцов из POM, выдержанных в течение 14 недель в 1%-ном и 5%-ном растворах гербицида «Лазурит», фунгицида «Ракурс» и инсектицида «Борей-Нео», представлена на рисунке 9.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что увеличение концентрации раствора в 5 раз относительно эталона не оказывает существенного влияния на скорость изменения твердости исследуемых материалов. Аналогичная картина наблюдается и относительно изменения массы.

Высокая механическая прочность и химическая стойкость композитов наблюдались у образцов с 15%-ным содержанием наполнителя, поэтому данные составы в дальнейшем испытывали на гидроабразивный износ. Результаты замеров массы образцов, подвергшихся абразивному воздействию в течение 1 и 5 ч, представлены на рисунке 10.

Максимальный износ показали образцы композита со стекловолокном. Через 1 ч испытаний скорость износа композитов с графитом и карбидом кремния была в 3 раза ниже, чем у эталона (100% POM). Через 5 ч испытаний результаты изменились: у эталонных образцов износ увеличился почти в 5 раз, у графитовых образцов – всего в 2 раза, а у композитов с карбидом кремния – в 13 раз.

Согласно результатам испытаний гидроабразивного износа графит и карбид кремния являются эффективными наполнителями, способными снизить износ до 7,5 раза. Однако данные, полученные ранее по абразивному износу композиционных смесей [17], показали наибольшую износостойкостью смеси на основе POM с 15%-ным наполнением карбида кремния.

Фотографии, полученные с помощью оптической микроскопии, представлены на рисунке 11.

По результатам оптической микроскопии, наблюдается ориентационное растяжение частиц наполнителя преимущественно по углам образцов. В образцах с графитовым наполнителем он распределен

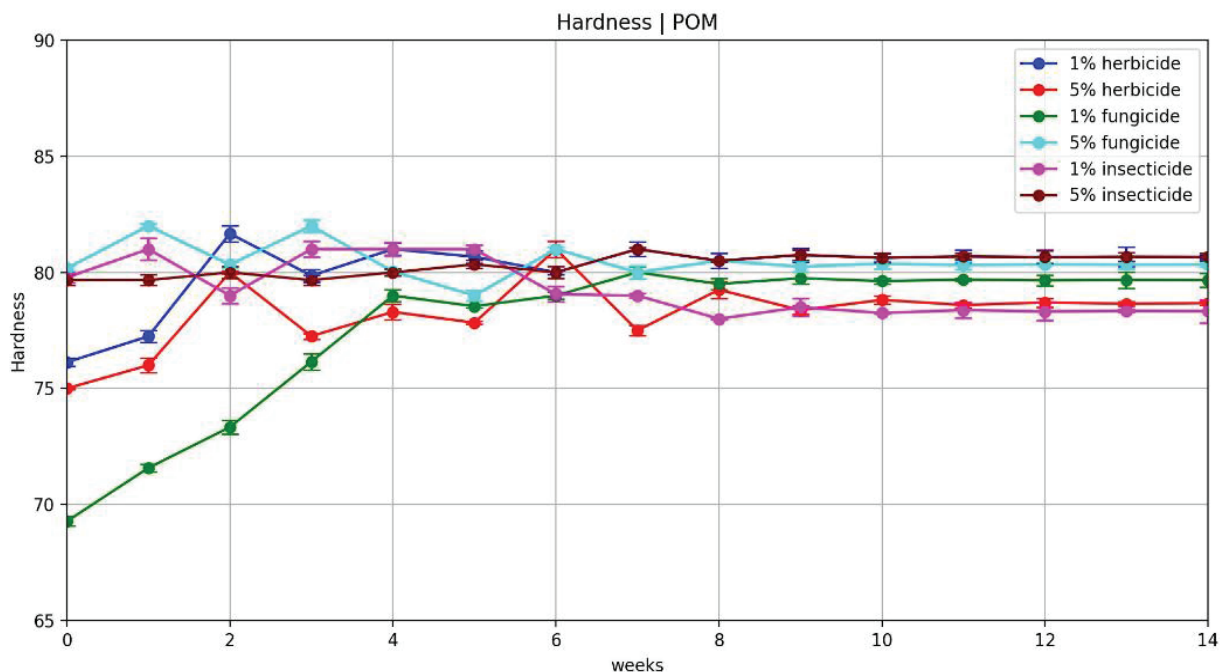


Рис. 9. Химическая стойкость композитов: изменение твердости образцов из POM в зависимости от типа, концентрации препарата и времени выдержки

Fig. 9. Chemical resistance of composites: change in the hardness of samples from POM depending on the type and concentration of the product and exposure time

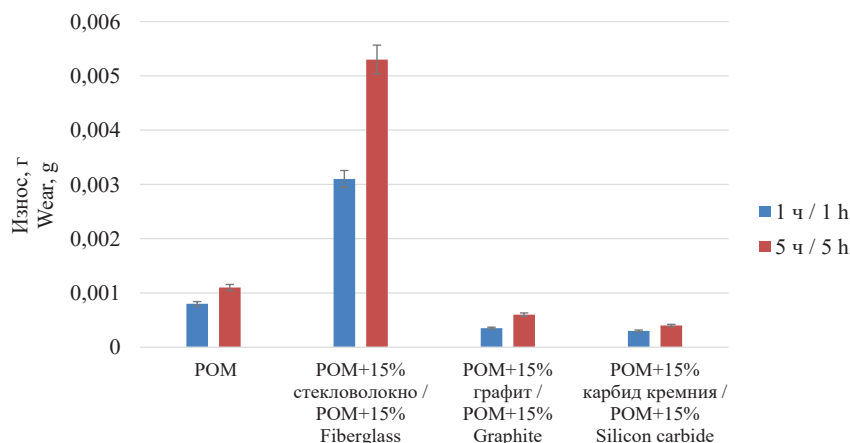


Рис. 10. Объемный износ образцов после гидроабразивных испытаний

Fig. 10. Volumetric wear of specimens after hydro-abrasive testing

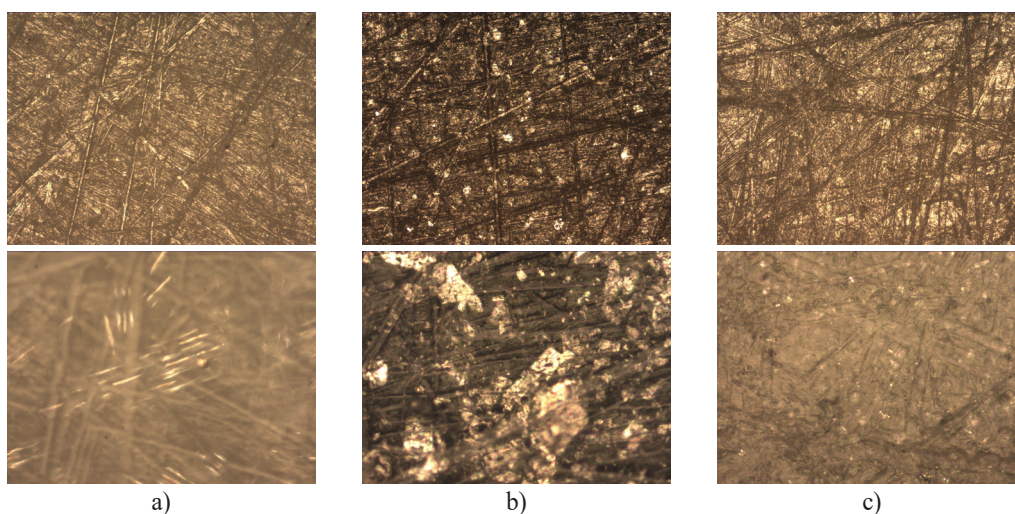


Рис. 11. Результаты микроскопических исследований при 4-кратном (фото слева) и 20-кратном (фото справа) увеличении:

a) POM + стекловолокно; b) POM + графит; c) POM + карбид кремния

Fig. 11. Results of microscopic examinations at 4-fold (photo on the left) and 20-fold magnification (photo on the right):

a) POM + fiberglass; b) POM + graphite; c) POM + silicon carbide

между макромолекулами матрицы, и частицы наполнителя способны к агрегации, по-видимому, за счет электростатических сил. Предположительно образуется «сетка в сетке», способствующая улучшению прочностных свойств за счет дополнительных связей и образования дополнительного «каркасного» элемента. В образцах с наполнителем из карбида кремния наблюдается хаотичное распределение частиц наполнителя между макромолекулами матрицы с выходом частиц на поверхность материала, что объясняет наибольшую стойкость этих образцов к гидроабразивному износу.

Выводы

1. Композит для распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей должен отличаться высокой

химической стойкостью к агрохимикатам и механической прочностью, а также низким гидроабразивным износом.

2. Добавление в полиоксиметилен (POM) дисперсных наполнителей в количестве 15% приводит к увеличению механической прочности композита с карбидом кремния на 30,2%, со стекловолокном – на 26,8%, с графитом – на 27,4%.

3. Концентрация растворов агрохимикатов не оказывает значительного влияния на химическую стойкость композита.

4. Графит и карбид кремния эффективны как наполнители и способны снизить износ в 7,5 раза.

5. Рекомендуется композит для распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей, включающий в себя POM и 15% карбида кремния.

Список источников

1. Колесников А.В., Харина М.В. Оценка объемов производства основных видов сельскохозяйственной продукции в России в 2024 году // АПК: экономика, управление. 2024. № 4. С. 13-23. <https://doi.org/10.33305/244-13>
2. Petukhova M.S. Innovative development of the Russian grain sector. *Russian Journal of Economics*. 2022;8(1):49-59. <https://doi.org/10.32609/j.ruje.8.78314>
3. Дорохов А.С., Старостин И.А., Ещин А.В. Перспективы развития методов и технических средств защиты сельскохозяйственных растений // Агроинженерия. 2021. № 1. С. 26-35. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-1-26-35>
4. Дорохов А.С., Старостин И.А., Ещин А.В., Курбанов Р.К. Технические средства для химической защиты растений: состояние и перспективы развития // Агроинженерия. 2022. Т. 24, № 3. С. 12-18. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-3-12-18>
5. Chen S., Lan Y., Zhou Z., Deng X., Wang J. Research advances of the drift reducing technologies in application of agricultural aviation spraying. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2021;14(5):1-10.
6. Liliane T.N., Charles M.S. Factors affecting yield of crops. *Agronomy-Climate Change and Food Security*. 2020:9. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90672>
7. Vulshinskaya I., Glytvan K., Stepanchenko V., Ugryumov E. Methods for improving the wear resistance of machine parts operating under conditions of abrasive wear. *The Scientific Heritage*. 2021;66-1:39-41. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-66-1-39-41>
8. Гончарова Ю.А., Денисов В.А. Анализ отказов полимерных деталей сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2021. № 3 (144). С. 146-154. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2021-59-3-146-154>
9. Славкина В.Э., Свиридов А.С., Арумугам Г., Гончарова Ю.А., Касимов Р.М. Разработка конструкции щелевого сельскохозяйственного распылителя и исследование его выходных параметров // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16, № 4. С. 34-37. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-34-37>
10. Slavkina V.E., Mirzaev M.A., Kuzmin A.M., Kutyrév A.I., Tuzhilin S.P., Denisov V.A., Kataev Y.V. Testing of polymer composites for manufacturing of sprayer nozzles. *Polymers*. 2024;16(4):496. <https://doi.org/10.3390/polym16040496>
11. 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. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-1-41-50>
12. Смирнов И.Г., Личман Г.И., Марченко Л.А. Алгоритм расчета параметров штангового садового опрыскивателя для внесения пестицидов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16, № 4. С. 26-33. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-26-33>
13. Свиридов А.С., Катаев Ю.В., Загоруйко М.Г. Анализ типов распылителей сельскохозяйственных опрыскивателей // Аграрный научный журнал. 2021. № 6. С. 96-100. <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i6pp96-100>
14. Rueda M.M., Auscher M-C., Fulchiron R., Périé T., Martin G., Sonntag P., Cassagnau P. Rheology and applications of highly filled polymers: A review of current understanding. *Progress in Polymer Science*. 2017;66:22-53. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2016.12.007>
15. Денисов В.А., Катаев Ю.В., Гончарова Ю.А., Славкина В.Э., Шитов А.О. Оценка триботехнических свойств и возможности применения композита ULTRAN630CF для узлов трения сельскохозяйственной техники

References

1. Kolesnikov A.V., Kharina M.V. The main agricultural products production assessment in Russia in 2024. *AIC: Economics, Management*. 2024;4:13-23. (In Russ.) <https://doi.org/10.33305/244-13>
2. Petukhova M.S. Innovative development of the Russian grain sector. *Russian Journal of Economics*. 2022;8(1):49-59. <https://doi.org/10.32609/j.ruje.8.78314>
3. Dorokhov A.S., Starostin I.A., Eschin A.V. Prospects for the development of methods and technical means of protecting agricultural plants. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2021;1:26-35. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-1-26-35>
4. Dorokhov A.S., Starostin I.A., Eschin A.V., Kurbanov R.K. Technical means for chemical plant protection: status and development prospects. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2022;24(3):12-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-3-12-18>
5. Chen S., Lan Y., Zhou Z., Deng X., Wang J. Research advances of the drift reducing technologies in application of agricultural aviation spraying. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2021;14(5):1-10.
6. Liliane T.N., Charles M.S. Factors affecting yield of crops. *Agronomy-Climate Change and Food Security*. 2020:9. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90672>
7. Vulshinskaya I., Glytvan K., Stepanchenko V., Ugryumov E. Methods for improving the wear resistance of machine parts operating under conditions of abrasive wear. *The Scientific Heritage*. 2021;66-1:39-41. <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-66-1-39-41>
8. Goncharova Yu.A., Denisov V.A. Failures of polymer parts of agricultural machinery. *Machinery Technical Service*. 2021;3(144):146-154. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2021-59-3-146-154>
9. Slavkina V.E., Sviridov A.S., Arumugam G., Goncharova Yu.A., Kasimov R.M. Developing the design for a slotted agricultural sprayer and studying its output parameters. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022;16(4):34-37. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-34-37>
10. Slavkina V.E., Mirzaev M.A., Kuzmin A.M., Kutyrév A.I., Tuzhilin S.P., Denisov V.A., Kataev Y.V. Testing of polymer composites for manufacturing of sprayer nozzles. *Polymers*. 2024;16(4):496. <https://doi.org/10.3390/polym16040496>
11. Lobachevsky Ya.P., Mironov D.A., Mironova A.V. Increasing the operating lifetime of wearable working bodies of agricultural machines. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023;17(1):41-50. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-1-41-50>
12. Smirnov I.G., Lichman G.I., Marchenko L.A. Algorithm for calculating the parameters of a garden boom sprayer for pesticide application. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022;16(4):26-33. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-4-26-33>
13. Sviridov A.S., Kataev Yu.V., Zagoruiko M.G. Analysis of the types of agricultural sprayers' nozzles. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021;6:96-100. (In Russ.) <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i6pp96-100>
14. Rueda M.M., Auscher M-C., Fulchiron R., Périé T., Martin G., Sonntag P., Cassagnau P. Rheology and applications of highly filled polymers: A review of current understanding. *Progress in Polymer Science*. 2017;66:22-53. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2016.12.007>
15. Denisov V.A., Kataev Yu.V., Goncharova Yu.A., Slavkina V.E., Shitov A.O. Evaluation of tribological properties and the possibility of using the ULTRAN630CF composite for friction units of agricultural machinery. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2023;6(312):31-34. (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-6-31-34>

// Техника и оборудование для села. 2023. № 6 (312). С. 31-34.
<https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-6-31-34>

16. Борисевич В.Д., Шемякин Б.А. Гидроабразивный износ различных покрытий // Неделя науки СПбПУ: Материалы научной конференции с международным участием: В 2 ч. Ч. 2. СПб.: Политех-Пресс, 2020. С. 206-208. EDN: VCBSIM

17. Slavkina V., Goncharova Y., Sviridov A. Influence of the type quantity of fillers on the abrasive wear of composite materials. *AIP Conference Proceedings*. 2023;2697(1):040006. <https://doi.org/10.1063/5.0112492>

Информация об авторах

Виктория Эдуардовна Славкина¹,

младший научный сотрудник; slavkina@vimlab.ru;
<https://orcid.org/0000-0003-2906-8917>

Юрий Владимирович Катаев^{2,3}, канд. техн. наук, доцент,
 ведущий научный сотрудник; ykataev@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>

Алексей Сергеевич Свиридов³, младший научный сотрудник;
sviridov.vim@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9396-2281>

Екатерина Федоровна Малыха⁴, канд. экон. наук, доцент;
efmalykha@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7143-7574>

Наталья Викторовна Сергеева⁵, канд. экон. наук, доцент;
nvsergeeva@rgau-msha.ru;
<https://orcid.org/0000-0001-6757-1666>

^{1,2,3} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ;
 109428, Российская Федерация, г. Москва,
 1-й Институтский проезд, 5

^{4,5} Российский государственный аграрный университет –
 МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434,
 Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Вклад авторов

В.Э. Славкина – методология проекта, проведение исследований, формальный анализ, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;

Ю.В. Катаев – научное руководство исследованием, формулирование основных направлений исследования, цели и задачи, формулирование общих выводов;

А.С. Свиридов – анализ литературных источников для постановки цели, создание черновика рукописи, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;

Е.Ф. Малыха – проведение исследований, формальный анализ, создание черновика рукописи, визуализация;

Н.В. Сергеева – проведение исследований, визуализация

Конфликт интересов

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

Статья поступила 08.03.2024, после рецензирования и доработки 03.07.2024; принята к публикации 04.07.2024

16. Borisevich V.D., Shemyakinskiy B.A. Water abrasive wear of various coatings. *SPbPU Science Week: Proceedings of a scientific conference with international participation*. Part 2. St. Petersburg: Politekh-Press, 2020. Pp. 206-208. (In Russ.)

17. Slavkina V., Goncharova Y., Sviridov A. Influence of the type quantity of fillers on the abrasive wear of composite materials. *AIP Conference Proceedings*. 2023;2697(1):040006. <https://doi.org/10.1063/5.0112492>

Author Information

Viktoria E. Slavkina¹, Junior Research Engineer;
slavkina@vimlab.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2906-8917>

Yuriy V. Kataev², CSc (Eng), Associate Professor,
 Lead Research Engineer; ykataev@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0003-0832-3608>

Aleksey S. Sviridov³, Junior Research Engineer;
sviridov.vim@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9396-2281>

Ekaterina F. Malykha⁴, CSc (Econ), Associate Professor;
efmalykha@rgau-msha.ru;
<https://orcid.org/0000-0001-7143-7574>

Natalya V. Sergeeva⁵, CSc (Econ), Associate Professor;
nvsergeeva@rgau-msha.ru;
<https://orcid.org/0000-0001-6757-1666>

^{1,2,3} Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM;
 1st Institutsky Proezd Str., Moscow, 5109428,
 Russian Federation

^{4,5} Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural
 Academy named after K.A. Timiryazev;
 Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127434, Russian Federation

Author Contribution

V.E. Slavkina – project methodology, research, formal analysis, finalizing (revising and editing) of the manuscript

Yu.V. Kataev – research supervision; formulation of the main steps, goals and objectives of the research; general conclusions;

A.S. Sviridov – literature review, goal setting, writing – original draft preparation, finalizing (revising and editing) of the manuscript;

E.F. Malykha – investigation, formal analysis, writing – original draft preparation, visualization

N.V. Sergeeva – investigation, visualization

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interest and are responsible for plagiarism

Received 08.03.2024, Revised 03.07.2024, Accepted 04.07.2024