

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 62-2:691.175.2

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-5-68-74>

Исследование влияния разбавителя на реологические и технологические свойства эпоксидных композитов

Р.М. Касимов¹, Р.А. Алехина², Н.Д. Блинов³, А.С. Свиридов⁴^{1,2,3,4} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия¹ ruslankm@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-0316-4272>² rioraya9@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-1194-392X>³ nik.blinov76@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-8734-2885>⁴ sviridov.vim@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9396-2281>

Аннотация. Условия работы сельскохозяйственной техники вызывают необходимость повышения эксплуатационных характеристик и срока службы деталей. Полимерные композиционные материалы в отличие от металлов не подвергаются коррозии, а изделия из них имеют длительный срок службы. Исследования провели с целью определения влияния типа разбавителя и его концентрации на реологические и технологические свойства эпоксидных композитов, предназначенных для изготовления экстерьера сельскохозяйственной техники. Особое внимание уделили изучению влияния разбавителя на вязкость и формирование микроструктуры композита. В качестве полимерной матрицы использована эпоксидная смола ЭД20, наполнитель – стекломат эмульсионный EMC450-1250-E. Исследовали два типа разбавителей: инактивный (уайт-спирит и растворитель 646) и активный (ДЭГ-1). Вязкость смесей определяли по методике ГОСТ 25276-82 с помощью ротационного вискозиметра. Пористость композита определяли методом мультипараметрической микроскопии. Исследовали зависимость вязкости эпоксидной смолы ЭД-20 при введении активного и инактивного разбавителя в количестве 5, 10 и 15 масс.%. В результате исследований выбран активный разбавитель ДЭГ-1. Провели анализ количества пор в композиционном материале на основе эпоксидной смолы и стекломата с содержанием разбавителя ДЭГ-1 в количестве 5, 10 и 15 масс.%. Результаты экспериментальных исследований показали, что введение ДЭГ-1 существенно снижает вязкость смолы, способствуя лучшему проникновению ее в волокна наполнителя. Определили оптимальную концентрацию разбавителя ДЭГ-1-10 масс.%, при которой обеспечивается снижение вязкости смолы на 60% и ее равномерное распределение в волокнах стекломата, а также минимальное образование пор в композиционном материале (30 пор/см²). При производстве полимерных композитов для деталей экстерьера сельскохозяйственной техники рекомендуем использовать разбавитель ДЭГ-1 в количестве 10 масс.%.

Ключевые слова: эпоксидная смола; ЭД20; разбавитель; ДЭГ-1; пористость; пористость композита; вязкость; вязкость смолы; стекломат; композит

Для цитирования: Касимов Р.М., Алехина Р.А., Блинов Н.Д., Свиридов А.С. Исследование влияния разбавителя на реологические и технологические свойства эпоксидных композитов // Агроинженерия. 2025. Т. 27, № 5. С. 68-74. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-5-68-74>

ORIGINAL ARTICLE

Study of the effect of a diluent on the rheological and technological properties of epoxy composites

R.M. Kasimov¹, R.A. Alekhina², N.D. Blinov³, A.S. Sviridov⁴^{1,2,3,4} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia¹ ruslankm@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-0316-4272>² rioraya9@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-1194-392X>³ nik.blinov76@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-8734-2885>⁴ sviridov.vim@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9396-2281>

Abstract. Conditions of agricultural machinery operation necessitate improving the operational characteristics and service life of parts. Polymer composite materials, unlike metals, are not subject to corrosion and have a long service life. Research was conducted to determine the influence of the type and concentration of a diluent on the rheological and technological properties of epoxy composites intended for manufacturing the exterior

parts of agricultural machinery. Special attention was paid to studying the effect of the diluent on the viscosity and microstructure formation of the composite. Epoxy resin ED20 was used as the polymer matrix, and the filler was an emulsion glass mat EMC450-1250-E. Two types of diluents were investigated: inactive (white spirit and solvent 646) and active (DEG-1). The viscosity of the mixtures was measured according to GOST 25276-82 using a rotational viscometer. The porosity of the composite was determined by a multi-parameter microscopy method. The authors studied the relationship between the viscosity of ED-20 epoxy resin and the addition of active and inactive diluents at 5, 10, and 15 wt.%. As a result of the research, the active diluent DEG-1 was selected. An analysis was conducted of the porosity in the composite material based on epoxy resin and glass mat with 5, 10, and 15 wt.% of the DEG-1 diluent. Experimental results showed that the introduction of DEG-1 significantly reduces the resin viscosity, facilitating better penetration into the fibers of the filler. The optimal concentration of the DEG-1 diluent was determined to be 10 wt.%, which provides a 60% reduction in resin viscosity, uniform distribution in the glass fiber matrix, and minimal porosity in the composite material (30 pores/cm²). For manufacturing polymer composites for exterior parts of agricultural machinery, it is recommended to use the DEG-1 diluent at a concentration of 10 wt.%.

Keywords: epoxy resin; ED20; diluent; DEG-1; porosity; composite porosity; viscosity; resin viscosity; glass mat; composite

For citation: Kasimov R.M., Alekhina R.A., Blinov, N.D., Sviridov A.S. Study of the effect of a diluent on the rheological and technological properties of epoxy composites. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2025;27(5):68-74 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-5-68-74>

Введение

Сельскохозяйственная техника и оборудование ориентированы на обеспечение высокой производительности и эффективности работ [1]. Однако в условиях агрессивной эксплуатации, такой, как интенсивное солнечное излучение, высокая влажность, перепады температур и механические воздействия, детали экстерьера сельскохозяйственной техники и оборудования подвергаются интенсивному износу, коррозии и ухудшению внешнего вида [2, 3].

Изготовление деталей экстерьера из полимерных композиционных материалов является перспективным направлением, которое может значительно улучшить качество и производительность сельскохозяйственной техники [4]. Полимерные композиционные материалы по сравнению с металлами не подвержены коррозии, что продлевает срок службы изготовленных из них изделий [5]. Помимо этого, композиты обладают высокой прочностью при меньшем весе, что позволяет снизить общий вес техники. Из полимерных композиционных материалов можно изготавливать внешние корпусные детали экстерьера сельскохозяйственной техники – такие, как капот, крыло, крыша кабины.

Для изготовления деталей экстерьера используются композиционные материалы на основе полимерной матрицы из эпоксидной или полиэфирной смолы, которыми пропитывают либо стеклянные, либо углеродные волокна. Однако для достижения оптимальных характеристик конечного продукта крайне важны параметры технологического процесса – в частности, свойства исходных материалов [6].

Одним из ключевых факторов, влияющих на качество композитного изделия, является вязкость разбавителя эпоксидного композита [7]. Разбавитель снижает вязкость исходной смолы, способствуя улучшению адгезии компонентов [8]. Именно этот параметр определяет степень проникновения смолы в волокна стекломата, равномерность распределения материала и, как следствие, механическую прочность и долговечность готовой детали [9]. Недостаточное или, наоборот, чрезмерно высокое значение вязкости может привести к образованию дефектов – таких, как незаполненные полости внутри материала или неравномерное сцепление компонентов, что негативно сказывается на эксплуатационных характеристиках конечного изделия [10].

Помимо контроля вязкости, важное значение имеет анализ пористости материалов, используемых при производстве деталей экстерьера сельскохозяйственной техники. Пористость влияет на механическую прочность, устойчивость к внешним воздействиям и долговечность конечной конструкции [11]. Компьютерная обработка данных позволяет проводить детальное моделирование и измерение пористых структур, что способствует оптимизации технологических режимов и улучшению качества изделий.

Повышение эффективности производства и качества композиционных материалов, используемых в агропромышленном комплексе, в перспективе может способствовать снижению эксплуатационных расходов и увеличению срока службы сельскохозяйственной техники.

Можно ожидать, что улучшение технологических свойств композиционных материалов будет

обеспечено оптимальным выбором типа и концентрации разбавителя.

Цель исследований: определить влияние типа разбавителя (инактивного – уайт-спирит и растворитель 646, активного – ДЭГ-1) и его концентрации на реологические и технологические свойства эпоксидных композитов, выявить оптимальный разбавитель и его концентрацию.

Материалы и методы

В качестве связующего использовали эпоксидно-диановую смолу ЭД-20 – одну из самых доступных и широко используемых эпоксидных составов, применяемых в различных отраслях промышленности. ЭД-20 содержит приблизительно 20 эпоксидных групп. Смола прозрачна, по консистенции похожа на сгущенное молоко, ее вязкость варьируется в диапазоне 16000...20000 мПа·с.

Отвердителем для эпоксидных смол является ПЭПА (полиэтиленполиамин), представляющий собой соединение, в основе которого лежат этиленовые полиамины или их аналоги с пиперазиновыми компонентами. Это вещество полностью растворяется в воде и спиртах, что делает его универсальным в использовании. При длительном контакте с воздухом, особенно при нарушении герметичности хранения, материал активно впитывает влагу и углекислый газ, что приводит к утрате его первоначальных свойств. ПЭПА представляет собой однородную прозрачную жидкость без видимых механических примесей. Цвет материала может варьироваться от светло-желтого до темно-бурого, а в некоторых случаях – приобретать зеленоватый оттенок.

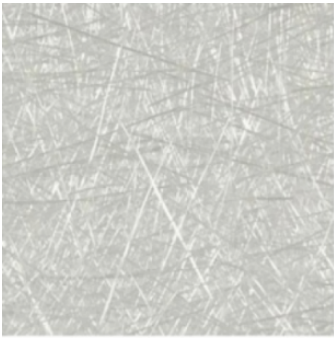


Рис. 1. Стекломат эмульсионный EMC450-1250-E
Fig. 1. Emulsion glass mat EMC450-1250-E

В качестве наполнителя композиционного материала выбрали стекломат эмульсионный EMC450-1250-E, произведенный в Республике Беларусь. Этот материал изготавливается из рубленых волокон Е-стекла, хаотично уложенных, но равномерно распределенных в горизонтальной плоскости, и связанных между собой эмульсионным связующим (рис. 1). Он отличается небольшим удельным весом, хорошо укладывается и легко принимает сложные формы. Благодаря своей структуре материал быстро и равномерно пропитывается смолами, что способствует созданию прочных изделий, выдерживающих значительные разрывные нагрузки. Изделия, изготовленные из стекломата EMC450-1250-E, обладают высокими механическими характеристиками и демонстрируют отличную стойкость к атмосферным воздействиям в течение длительного времени.

Физико-механические характеристики полимерного связующего и наполнителя представлены в таблице.

Физико-механические свойства компонентов эпоксидного композита

Таблица
Table

Physical and mechanical properties of selected components

Характеристики компонентов / Characteristic	Значение / Value
EMC450-1250-E (толщина 0,5 мм) / EMC450-1250-E (0.5 mm thick) emulsion glass mat	
Поверхностная масса, г/м² / Surface weight, g/m²	450 ± 45
Содержание связующего, % / Binder content, %	2...7
Прочность на разрыв, Н / Tensile strength, N	Не менее 60 / Not less than 60
Удельная разрывная нагрузка по вертикали, Н/мм / Specific tensile load (vertically), N/mm	60
Удельная разрывная нагрузка по горизонтали, Н/мм / Specific tensile load (horizontally), N/mm	60
ЭД-20 + ПЭПА / ED20 + PEPA (polyethylenepolyamine)	
Плотность, при t = 23°C, г/см³ / Density, at t = 23°C, g/cm³	1,16...1,25
Изгибающее напряжение при разрушении, МПа / Bending stress at failure, MPa	Не менее 60 / Not less than 60
Разрушающее напряжение при сжатии, МПа / Compressive strength, MPa	100...200
Относительное удлинение при разрыве, % / Relative elongation at break, %	4,6...4,9
Прочность при разрыве, МПа / Tensile strength, MPa	80...140

В качестве разбавителей использовали активный разбавитель ДЭГ-1 и инактивный – уайт-спирит и растворитель 646. Активные разбавители содержат функциональные группы (эпоксидные, гидроксильные), которые участвуют в реакции отверждения и становятся частью полимерной сетки. Инактивные разбавители не вступают в химические реакции и испаряются в процессе отверждения, временно снижая вязкость смеси.

Исследование вязкости композиционных смесей с различной концентрацией разбавителя проводили согласно ГОСТ 25276-82 «Полимеры. Метод определения вязкости ротационным вискозиметром при определенной скорости сдвига» на ротационном вискозиметре ROTAVISC lo-vi Complete немецкой фирмы IKA-WERKE. Полученные данные о вязкости смолы при разных скоростях сдвига использовали для построения кривой вязкости. Из анализа кривой делали вывод о текучести смолы: например, насколько она подвержена пластическим деформациям при различных условиях эксплуатации. Оценивали точку, в которой кривая начинает показывать нелинейное поведение, что может указывать на текучесть материала.

Отвержденная смола по цвету отличается от цвета стекломата, что позволило визуализировать места выхода пропитки оптической микроскопией. Микроскопия предоставляет возможность получить лишь увеличенное изображение (микрофотографию), поэтому использовали мультипараметрическую микроскопию, сочетающую в себе оптическую микроскопию и компьютерную обработку. Исследования проводили с помощью микроскопа Levenhuk MedPro 600 FLUO и программ DG Analyser 1.5, AFMVision.

Результаты и их обсуждение

В результате эксперимента получили зависимость вязкости эпоксидной смолы ЭД-20 от количества активного и инактивного разбавителя (рис. 2).

При температуре 21°C эпоксидная смола имеет вязкость 16000 мПа·с. Добавление к эпоксидной смоле 5%-ного ДЭГ-1 снижает вязкость до 6300 мПа·с, при 10%-ном содержании разбавителя показатель снижается до 3200 мПа·с, а при 15%-ном – до 1200 мПа·с. Для сравнения: вязкость моторного масла 5W-40 при температуре 40°C составляет 700...1000 мПа·с. Согласно полученным экспериментальным данным вязкость исследуемой эпоксидной смолы ЭД-20 соответствует ее паспортным данным.

Инактивные разбавители (уайт-спирит и растворитель 646) снижают вязкость смолы более эффективно, чем ДЭГ-1. При 5%-ном содержании ДЭГ-1 в эпоксидной смоле вязкость смеси составляет 6300 мПа·с, что на 60% ниже исходной вязкости, тогда как вязкость смеси с инактивным разбавителем составляет 3000 мПа·с, что более чем в 5 раз ниже исходной величины. Однако исследования показали, что с увеличением доли инактивного разбавителя его влияние на снижение вязкости постепенно уменьшается. При содержании инактивного разбавителя в количестве 10 масс.% вязкость смолы достигает 1200 мПа·с, что ниже изначальной величины более чем на 90%. Увеличение содержания данного растворителя с 5 до 10% и с 10 до 15% приводит к снижению вязкости уже не так эффективно, как при добавлении 5%. Такой эффект объясняется ограниченной растворимостью эпоксидной смолы в данном типе растворителя. Процесс разбавления можно

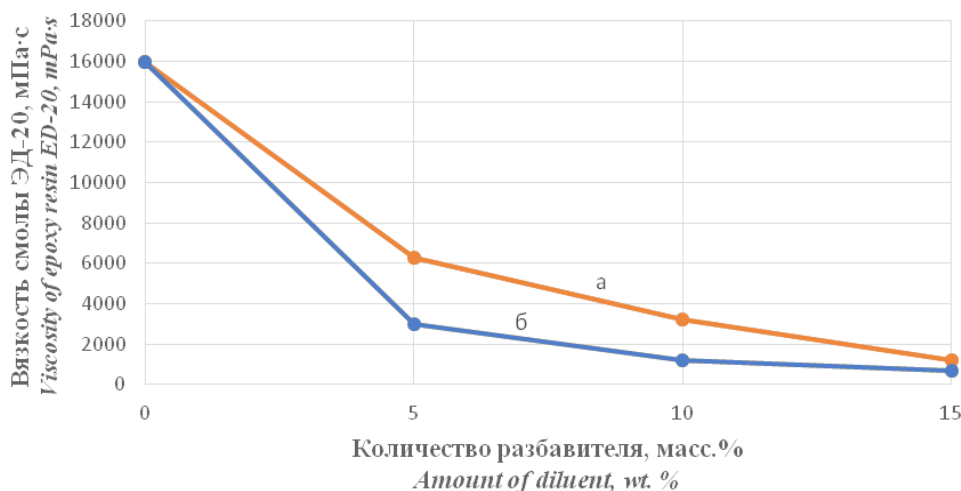


Рис. 2. Зависимость вязкости эпоксидной смолы ЭД-20 от введения различных разбавителей:
а – ДЭГ-1; б – уайт-спирит/растворитель 646

Fig. 2. Dependency of the viscosity of epoxy resin ED-20 on the introduction of various diluents:
a – DEG-1; б – White spirit/Solvent 646

рассматривать как ограниченное набухание, представляющее собой взаимодействие олигомерных молекул с низкомолекулярной жидкостью (инактивным разбавителем).

В отличие от использования инактивного разбавителя изменение вязкости эпоксидной смолы при добавлении активного разбавителя (ДЭГ-1) имеет практически линейный характер. Это обусловлено тем, что в данном случае процесс разбавления происходит за счет взаимодействия с низкомолекулярными олигомерными фракциями. Однако такой подход требует большего количества активного разбавителя для достижения уровня вязкости, сопоставимого с результатами применения инертного разбавителя.

В дальнейших испытаниях исследовали образцы с добавлением ДЭГ-1. Выбор ДЭГ-1 обоснован тем, что несмотря на необходимость его большего количества для достижения сопоставимого снижения вязкости, он вступает в реакцию отверждения и становится частью полимерной сетки, не испаряясь и не вызывая образования дефектов структуры. В отличие от инертных разбавителей, которые лишь временно уменьшают вязкость и при испарении провоцируют рост пористости и неоднородности материала, ДЭГ-1 обеспечивает более стабильные реологические свойства и формирование равномерной микроструктуры композита.

Анализ пористости выполняли с помощью программы DG Analyser 1.5. От каждого вида композиционного материала отбирали по 3 образца (рис. 3).

Согласно полученным данным увеличение процентного содержания разбавителя ДЭГ-1 приводит к росту количества пор, образующихся и распределяющихся неравномерно по всему объему образца, и формированию отдельных участков с высокой

концентрацией пор. Такое действие можно объяснить повышением текучести компонента, в результате чего в составе образца появляются микроскопические воздушные пузырьки, которые за счет быстрой текучести остаются в пропитанном материале. В образцах с разным содержанием разбавителя (рис. 2 а, б, в) количество пор равно 28, 30, 34 пор/см² соответственно.

Отслеживать поры можно с помощью анализа светимости пикселей. Для этого применяют моделирование светорассеяния на поверхности или выполняют оценку рельефа по методу атомно-силовой микроскопии (АСМ). Метод АСМ позволяет получать микрорельеф образца, однако оборудование для его проведения является дорогостоящим и малораспространенным. Обработка файлов в формате BMP дает возможность смоделировать принцип работы АСМ с использованием анализа светимости пикселей: чем выше яркость, тем ближе данный участок к наблюдателю и, соответственно, тем выше рельеф. Моделирование проводили с использованием программного обеспечения «AFM Vision». Результаты представлены на рисунке 4.

По результатам моделирования микрорельефа поверхности образцов с разным содержанием разбавителя ДЭГ-1 можно увидеть локальные зоны с высокой концентрацией пор, что может быть связано с неполной пропиткой материала (рис. 4а). На рисунке 4б поверхность образца более однородная, и наблюдается меньшее скопление пор. При дальнейшем увеличении содержания разбавителя (рис. 4в) смола становится слишком жидкой, что приводит к появлению большого числа пор. Поскольку пузырьки воздуха легче «запираются» внутри материала, заметны более выраженные перепады рельефа, связанные с неоднородностью образца.

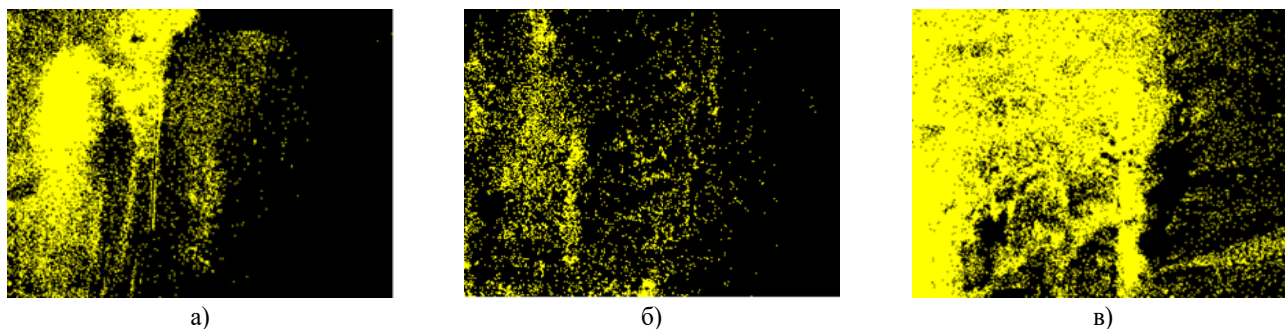


Рис. 3. Анализ количества пор в композиционном материале на основе эпоксидной смолы и стекломата с различным содержанием разбавителя ДЭГ-1:
а) 5 масс.%; б) 10 масс.%; в) 15 масс.%

Fig. 3. Analysis of the number of pores for a composite material based on epoxy resin and glass mat with different diluent contents:
а) 5 wt.%; б) 10 wt.%; в) 15 wt.%

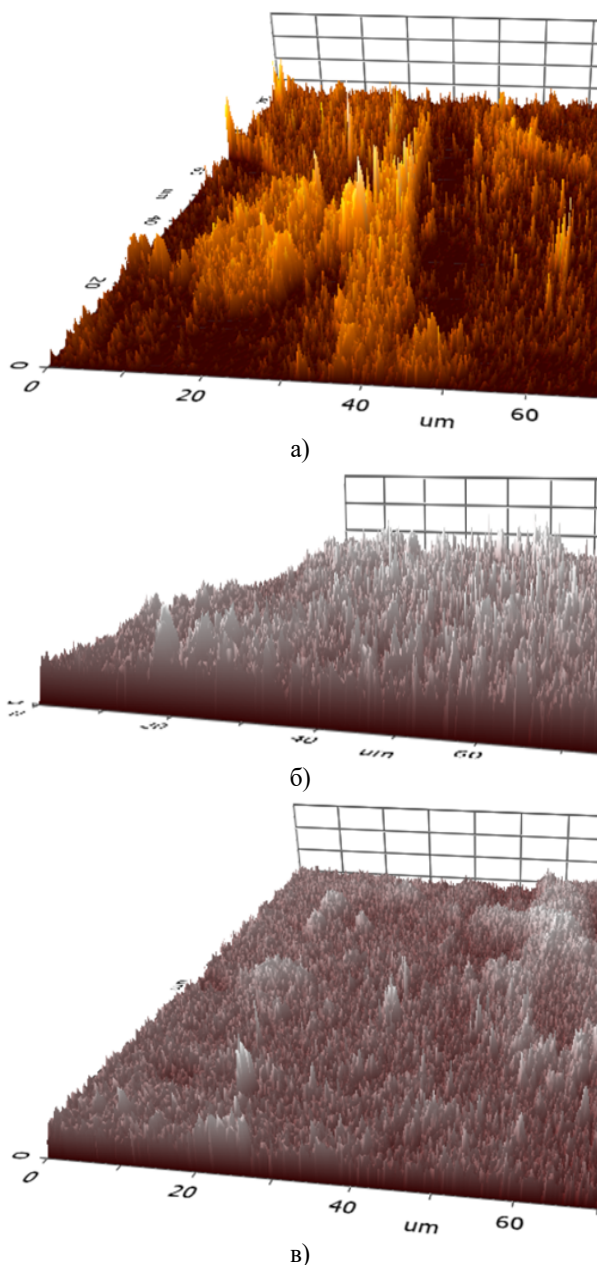


Рис. 4. Моделирование рассеяния света по поверхности образцов с различным содержанием разбавителя ДЭГ-1:

а) 5 масс.%; б) 10 масс.%; в) 15 масс.%

Fig. 4. Simulation of light scattering over the surface of samples with different diluent contents:

а) 5 wt.%; б) 10 wt.%; в) 15 wt.%

Список источников

1. Костомахин М.Н. Оценка режимов работы сельскохозяйственной техники // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 4. С. 78-83. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-4-78-83>
2. Гончарова Ю.А., Денисов В.А. Анализ отказов полимерных деталей сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2021. № 3. С. 146-154. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2021-59-3-146-154>
3. Ризаев Д.А. Современные тенденции развития сельскохозяйственного машиностроения // Академическая публицистика. 2023. № 4-1. С. 96-98. EDN: GJFJRF

Исходя из данных мультипараметрической микроскопии, можно сделать следующие выводы: 1) при текущих условиях создания материала более равномерная пористость композита со средним значением 30 пор/см² наблюдается у образца с 10 масс.% ДЭГ-1; 2) однородность распределения пор и характер их скопления в различных участках зависят не только от природы материала, но и от совокупности технологических факторов – таких, как вязкость смолы, тип и концентрация разбавителя, режим отверждения, условия пропитки наполнителя и скорость удаления летучих компонентов; 3) наблюдаемые при оптической микроскопии картины пористости свидетельствуют о формировании неоднородной микроструктуры, что может вызывать изменения физических, механических и прочностных характеристик композита, влияя на его эксплуатационные свойства и долговечность.

Предположение о влиянии типа и концентрации разбавителя на технологические свойства композиционных материалов подтверждено.

Выводы

Тип и концентрация разбавителя существенно влияют на реологические и технологические свойства композиционных материалов. Данные параметры необходимо контролировать для равномерного распределения материала и формирования однородного микрорельефа. Инактивный разбавитель (растворитель 646) эффективно снижает вязкость системы, но ограниченная растворимость эпоксидной смолы в нем приводит к формированию неоднородной структуры, поэтому более предпочтительным является использование активного разбавителя ДЭГ-1. Кривая вязкости эпоксидного композита с ДЭГ-1 практически линейна, однако чрезмерное разбавление вызывает рост пористости. Среди изученных составов оптимальным является состав с 10 масс.% ДЭГ-1, обеспечивающий снижение вязкости эпоксидной смолы на 60% и равномерную пористость композита.

References

1. Kostomakhin M.N. Evaluation of Agricultural Machinery Operation Modes. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020;14(4):78-83. (In Russ.)
2. Goncharova Y.A., Denisov V.A. Failures of polymer parts of agricultural machinery. *Machinery Technical Service*. 2021;144(3):146-154. (In Russ.)
3. Rizaev D.A. Modern trends in the development of agricultural engineering. *Akademicheskaya Publitsistika*. 2023;4-1:96-98. (In Russ.)
4. Kasimov R.M., Alekhina R.A., Sviridov A.S., Blinov N.D. Methods for increasing the fluidity of two-component resins for the

4. Касимов Р.М., Алехина Р.А., Свиридов А.С., Блинов Н.Д. Методы повышения текучести двухкомпонентных смол для производства деталей экстерьера сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2024. Т. 62, № 4. С. 117-122. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2024-62-4-117-122>

5. Алдошин Н.В., Голубев В.В., Васильев А.С. и др. Перспективы использования пластиковых деталей сельскохозяйственных машин // Агроэкоинженерия. 2023. № 3 (116). С. 20-34. EDN: IFEBHA

6. Загора А.Г., Ткачук А.И., Терехов И.В., Мухаметов Р.Р. Методы химической модификации эпоксидных олигомеров (обзор) // Труды ВИАМ. 2021. № 7. С. 73-85. EDN: PQCSJR

7. Rudawska A., Frigione M. Effect of diluents on mechanical characteristics of epoxy compounds. *Polymers*. 2022;14(11):2277. <https://doi.org/10.3390/polym14112277>

8. Pastarnokienė L., Jonikaitė-Švėgždienė J., Lapinskaitė N. et al. The effect of reactive diluents on curing of epoxy resins and properties of the cured epoxy coatings. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2023;20:1207-1221. <https://doi.org/10.1007/s11998-022-00737-4>

9. Блазнов А.Н., Бычин Н.В., Сакошев Е.Г. и др. Исследование возможности применения разбавителя Cardura E10P в эпоксидных композициях // Пластические массы. 2024. № 4. С. 27-30. <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2024-04-27-30>

10. Морозов С.В., Павлов Н.А., Зенин М.Н. Исследование влияния состава эпоксидного связующего на его физико-механические характеристики // Ползуновский вестник. 2020. № 1. С. 140-144. EDN: EWNQAW

11. Симонов-Емельянов И.Д., Ломовской В.А., Шмбель Н.Л. и др. Влияние пористости и температуры термообработки на релаксационные и механические свойства полимерных и углеродных композиционных материалов // Конструкции из композиционных материалов. 2009. № 1. С. 33-39. EDN: JXMFTV

Информация об авторах

¹ Касимов Руслан Михайлович, ведущий инженер; ruslankm@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-0316-4272>; SPIN-код: 7689-3869

² Алехина Раиса Ашотовна, инженер; rioraya9@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-1194-392X>; SPIN-код: 7863-0285

³ Блинов Никита Дмитриевич, младший научный сотрудник; nik.blinov76@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-8734-2885>; SPIN-код: 5033-8004

⁴ Свиридов Алексей Сергеевич, младший научный сотрудник; sviridov.vim@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9396-2281>; SPIN-код: 7334-3624

^{1,2,3,4} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

Вклад авторов

Касимов Р.М. – концептуализация, методология, визуализация; Свиридов А.С. – руководство исследованием, ресурсы, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование; Алехина Р.А. – создание черновика рукописи, проведение исследования;

Блинов Н.Д. – проведение исследования, верификация данных.

Конфликт интересов

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

Статья поступила 04.03.2025; после рецензирования и доработки 21.08.2025; принята к публикации 25.08.2025

production of exterior parts of agricultural machinery. *Machinery Technical Service*. 2024;62(4):117-122. (In Russ.)

5. Aldoshin N.V., Golubev V.V., Vasiliev A.S. et al. Application potential of plastic parts of agricultural machines. *Agroekoinzheneriya*. 2023;3(116):20-34. (In Russ.)

6. Zagora A.G., Tkachuk A.I., Terekhov I.V., Mukhametov R.R. Methods of chemical modification of epoxy oligomers (review). *Proceedings of VIAM*. 2021;101(7):73-85. (In Russ.)

7. Rudawska A., Frigione M. Effect of diluents on mechanical characteristics of epoxy compounds. *Polymers*. 2022;14(11):2277.

8. Pastarnokienė L., Jonikaitė-Švėgždienė J., Lapinskaitė N. et al. The effect of reactive diluents on curing of epoxy resins and properties of the cured epoxy coatings. *Journal of Coatings Technology and Research*. 2023;20:1207-1221. <https://doi.org/10.1007/s11998-022-00737-4>

9. Blaznov A.N., Bychin N.V., Sakoshev E.G. et al. Study of the possibility of using Cardura E10P thinner in epoxy compositions. *Plasticheskie massy*. 2024;(4):27-30. (In Russ.)

10. Morozov S.V., Pavlov N.A., Zenin M.N. Study of the influence of the composition of the epoxy binder on its physical and mechanical characteristics. *Polzunovskiy Vestnik*. 2020;1:140-144. (In Russ.)

11. Simonov-Emelianov I.D., Lomovskoy V.A., Shmebel N.L. et al. Porosity and heat treating temperature influence on the relaxation and mechanical properties of polymer and carbon composite materials. *Composite Materials Constructions*. 2009;1:33-39. (In Russ.)

Author Information

Ruslan M. Kasimov¹, Lead Engineer; ruslankm@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0006-0316-4272>

Raisa A. Alekhina², Engineer; rioraya9@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-1194-392X>

Nikita D. Blinov³, Junior Research Engineer; nik.blinov76@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0008-8734-2885>

Aleksei S. Sviridov⁴, Junior Research Engineer; sviridov.vim@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-9396-2281>

^{1,2,3,4} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, Moscow, Russia, 1st Institutskiy Proezd Str., Bld. 5

Authors Contribution

R.M. Kasimov – conceptualization, methodology, visualization; A.S. Sviridov – research supervision, resources, writing – manuscript review and editing;

R.A. Alekhina – writing – original draft preparation, investigation;

N.D. Blinov – investigation, data verification.

Conflict of interest

Authors declare no conflict of interest and are responsible for plagiarism.

Received 04.03.2025; Revised 21.08.2025; Accepted 25.08.2025