

Динамические механические свойства пластифицированных поливинилхлоридных композиций, наполненных силикатами

Диляра Фанисовна Садыкова¹, Елена Михайловна Готлиб², Алла Германовна Соколова³✉

¹ Саратовский государственный технический университет имени Гагарина, г. Саратов, Россия

² Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия

³ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Пластифицированные композиции на основе поливинилхлорида (ПВХ) используются фактически во всех отраслях народного хозяйства и наиболее часто их наполняют силикатами. Перспективным наполнителем ПВХ является также воластонит, игольчатая форма частиц которого обеспечивает его армирующий эффект. Эксплуатационные свойства композиционных полимерных материалов напрямую зависят от их релаксационных свойств.

Цель. Изучение зависимости молекулярной подвижности цепей в ПВХ-композициях от их фазового состава и структуры наполнителей-силикатов для выявления связи между релаксационными и эксплуатационными свойствами полимерных композитов.

Материалы и методы. В работе были исследованы пластифицированные поливинилхлоридные композиции на основе эмульсионного поливинилхлорида, пластификатора ЭДОС, стандартных наполнителей микрошпала и Аэросила и модификаторов на основе золы рисовой шелухи. Для исследования был использован динамический механический метод, а также стандартные методики для определения объема и размера пор применяемых наполнителей.

Результаты и обсуждение. Результаты исследования показали, что для всех изученных модифицированных композиций, не зависимо от вида наполнителя, зафиксирован один максимум температурных зависимостей тангенса угла механических потерь, который соответствует переходу полимера из стеклообразного в высокоэластическое состояние. Также сдвиг релаксационного перехода наблюдается в область более высоких температур для всех исследованных наполненных композиций, что подтверждается данными по изменению температуры стеклования ПВХ. Наибольший эффект обеспечивает воластонит с развитой кристаллической структурой, уменьшающий интенсивность тангенса угла механических потерь в области основного максимума. Промышленный наполнитель Аэросил способствует снижению динамического модуля ПВХ композиций.

Выводы. Было установлено, что обработка поверхности золы рисовой шелухи (ЗРШ) четвертичными аммониевыми солями приводит к снижению температуры стеклования ПВХ композиций ввиду уменьшения пористости золы при активации. При наполнении активированной ЗРШ ширина максимума тангенса угла механических потерь уменьшается, что указывает на повышение однородности модифицированного материала.

Ключевые слова: зола рисовой шелухи; эмульсионный поливинилхлорид; ПВХ композиции; пластификатор ЭДОС; Аэросил; воластонит; пористость; четвертичные аммонийные соли; тангенс угла механических потерь; динамический модуль

Для цитирования: Садыкова Д.Ф., Готлиб Е.М., Соколова А.Г. Динамические механические свойства пластифицированных поливинилхлоридных композиций, наполненных силикатами // Пожаровзрывобезопасность/ Fire and Explosion Safety. 2025. Т. 34. № 3. С. 50–58. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.03.50-58

✉ Соколова Алла Германовна, e-mail: as.falconi@yandex.ru

Dynamic mechanical properties of plasticized polyvinylchloride composites filled with silicates

Dilyara F. Sadykova¹, Elena M. Gotlib², Alla G. Sokolova³✉

¹ Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation

² Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation

³ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Plasticized compositions based on polyvinyl chloride (PVC) are used in virtually all sectors of the economy and are most often filled with silicates. A promising PVC filler is also wollastonite, whose needle-shaped particles provide its reinforcing effect. The performance properties of composite polymer materials directly depend on their relaxation properties.

The aim. To study the dependence of molecular mobility of chains in PVC composites on their phase composition and structure of filler-silicates to reveal the relationship between relaxation and performance properties of polymer composites.

Materials and methods. In the current work, plasticized PVC compositions on the base of emulsion PVC, plasticizer EDOS, conventional fillers micro marble and Aerosil, and modifiers on the base of rice husk ash were filled. Dynamic mechanical method was used for the research as well as standard methods for assessing pores' volume and size of applied fillers.

Results and discussion. The results of study showed that for both basic PVC composition and modified by silicon dioxide derived from rice husk ash (RHA) and synthetic wollastonite (SW) on its base, one maximum is observed corresponding to transition from glassy to highly elastic state. Regardless of the filler's type, the shift of the relaxation transition occurs in the area of more elevated temperatures that correlates to the data on glass transition temperature of the polymer. The most prominent effect is provided by wollastonite with the developed crystalline structure, lowering the intensity of mechanical loss angle tangent in the region of the main maximum. The industrial filler Aerosil reduces the value of dynamic modulus of PVC compositions.

Conclusions. It was stated that treatment of rice husk ash surface with quaternary ammonium salts leads to lowering the glass transition temperature of PVC compositions due to decrease in ash porosity at activation. When the composition is filled with activated RHA, the width of the maximum of the tangent angle maximum of mechanical losses is reduced that demonstrates an increase in homogeneity of the modified material.

Keywords: rice husk ash; emulsion polyvinyl chloride; PVC compositions; EDOS plasticizer; Aerosil; wollastonite; porosity; quaternary ammonium salts; tangent of angle of mechanical loss; dynamic modulus

For citation: Sadykova D.F., Gotlib E.M., Sokolova A.G. Dynamic mechanical properties of plasticized polyvinylchloride composites filled with silicates. *Pozharovzryvobezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2025; 34(3):50-58. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.03.50-58 (rus).

✉ Alla Germanovna Sokolova, e-mail: as.falconi@yandex.ru

Введение

Благодаря своим уникальным свойствам пластифицированные поливинилхлоридные композиции широко используются в различных отраслях народного хозяйства, строительстве, машиностроении, медицине, транспортной отрасли, электротехнике и др. Они обладают высокой устойчивостью к воздействию химических веществ, улучшенной механической прочностью, гибкостью и долговечностью. Широкое распространение поливинилхлоридных изделий во многом обусловлено их доступностью, сравнительно невысокой стоимостью поливинилхлорида (ПВХ) по сравнению с другими полимерами, а также неограниченными возможностями варьирования свойств композитных материалов на основе ПВХ [1].

Для улучшения эксплуатационных свойств полимерных материалов, в том числе и на основе поливинилхлорида, широко применяются силикаты природного и искусственного происхождения [2]. Свойства наполнителя играют важную роль в распределении его частиц в матрице. Однако производство кремнеземов из песка или ископаемого сырья требует энергоемких механических, физических, химических и термических операций, основанных на применении высоких температур и больших количеств кислот, которые в конечном итоге генерируют значительные объемы опасных химических отходов. Следует отметить, что ввиду кристаллической структуры природный диоксид кремния является менее реакционноспособным.

Промышленный аналог Аэросил получают методом осаждения или пирогенетическим путем. По своему составу он представляет собой мелкодисперсный диоксид кремния в аморфном состоянии, но является дорогостоящим наполнителем (его стоимость составляет около 3000 рублей за 1 кг).

В этой связи перспективными наполнителями полимерных композитов являются силикаты искусственного происхождения, среди которых особо выделяют недорогие побочные продукты сельскохозяйственного производства, например отходы рисо-переработки, содержащие до 98 % аморфного диоксида кремния [3]. Такие наполнители являются перспективными благодаря своим уникальным свойствам и экологической безопасности [4]. Учитывая высокий уровень применения кремнеземов, замена коммерческого синтетического диоксида кремния золы рисовой шелухи (ЗРШ), полученной путем переработки рисовой шелухи, в рецептуре ПВХ-композитов может принести явные экологические и экономические преимущества, снижая энергопотребление и производство жидких токсичных отходов.

Для наполнения ПВХ композиций эффективно использовать волластонит, игольчатая форма частиц которого обеспечивает армирующий эффект [5, 6]. Волластонит обладает высокой твердостью и прочностью, что делает его эффективным материалом для многих промышленных приложений. В качестве наполнителя применяется в основном природ-

ный волластонит отечественного производства двух марок — Воксил и Миволл. Благодаря своей форме кристаллы волластонита образуют вокруг себя ассоциаты пластифицированного ПВХ, что приводит к снижению усадки [7] и увеличению срока службы изделий из ПВХ-материалов. В настоящее время мировой объем производства волластонита составляет около 750 тыс. тонн в год, из которых 30 % приходится на долю синтетического волластонита (СВ).

По сравнению с природным волластонитом СВ характеризуется высокой степенью чистоты, однородностью химического состава и отсутствием включений других минералов, а также более низкой стоимостью, что расширяет сферы его применения [8, 9]. Синтетический волластонит — это синтетический минерал, который обладает высокой термической стабильностью, износостойкостью и электроизоляционными свойствами. Весьма перспективной для получения СВ является зола рисовой шелухи в качестве источника аморфного диоксида кремния. Ежегодно в мире образуется около 600 млн тонн отходов обмолота риса, загрязняющих окружающую среду. Ввиду наличия в составе ЗРШ порядка 16–18 % диоксида кремния она не распадается в земле, что делает ее переработку актуальной.

Целью данного исследования было изучить зависимость молекулярной подвижности цепей в ПВХ композициях от их фазового состава и структуры наполнителей-силикатов для выявления связи между релаксационными и эксплуатационными свойствами полимерных композитов. Для достижения данной цели исследования были поставлены следующие задачи:

- получить температурные зависимости тангенса угла механических потерь для базовой и модифицированных поливинилхлоридных композиций динамическим механическим методом и провести их анализ;
- изучить влияние модификаторов на изменение температуры стеклования поливинилхлоридных композиций;
- исследовать влияние пористости применяемых наполнителей на динамические механические свойства модифицированных композиций;
- изучить воздействие активации поверхности наполнителя четвертичными аммониевыми солями на значения динамического модуля ПВХ-композиций.

Материалы и методы исследования

За базовую рецептуру был принят следующий состав поливинилхлоридной композиции при массовом соотношении компонентов 1:1:2:

- поливинилхлорид эмульсионный ПВХ-Е-6250-Ж (ГОСТ 14039–78)¹;
- пластификатор ЭДОС, смесь производных 1,3-диоксана [10] (ТУ 2493-003-13004749–93)²;
- основной наполнитель микрорамор марки РМ-130 (ТУ 5716-001-99242323–2007)³.

В модифицированных композициях 5 мас. % основного наполнителя микрорамора заменяли на равновесное количество силикатов: ЗРШ, полученную при 500 °С, ЗРШ, активированную [11] алкилбензилдиметиламмоний хлоридом С12-С14 КАТАПАВ 1214С.50 (ТУ 2482-003-04706205–2004)⁴, синтетическим волластонитом на основе ЗРШ, полученным при 900 °С (СВ) [12, 13] и промышленным аналогом Аэросилом (ГОСТ 14922-77)⁵, который был использован для проведения сравнительного анализа данных.

Объем и размер пор наполнителей определялся на анализаторе «Nova 1200e» по методу Барретта – Джойнера – Халенды (ВЖН), основанному на анализе адсорбции газов при разных давлениях и последующем расчете объема и размера пор на основе изотермы адсорбции-десорбции (ISO 15901-2)⁶. Для определения температуры стеклования использовали термомеханический анализатор ТМА 402 F1 фирмы Netzsch, скорость нагрева 5 °С/мин, постоянная нагрузка составляла 2Н.

Для проведения динамического механического анализа (ДМА) модифицированных композиций использовали прибор динамический механический анализатор DMA242 фирмы Netzsch при следующих параметрах испытания: частота 1 Гц, скорость потока газа (аргона) 50 мл/мин в интервале температур от –50 до 200 °С.

Результаты и обсуждение

По результатам проведенных исследований базовой и модифицированных композиций динамическим механическим методом температурные зависимости тангенса угла механических потерь

¹ ГОСТ 14039–78. Поливинилхлорид эмульсионный. Технические условия. URL: https://rosgos.ru/file/gost/83/080/gost_14039-78.pdf

² ТУ 2493-003-13004749–93. Пластификатор ЭДОС (дата введения: 01.03.1993).

³ ТУ 5716-001-99242323–2007. Мрамор молотый «РМ» (дата введения: 18.03.2008).

⁴ ТУ 2482-003-04706205–2004. КАТАПАВ 1214. Алкилбензилдиметиламмоний хлорид. CAS № 85409-22-9. URL: <https://niipav.ru/katapav-1214s-50/>

⁵ ГОСТ 14922–77. Государственный Стандарт Союза ССР. Аэросил. Технические условия (дата введения: 01.01.1978). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200007842>

⁶ ISO 15901-2. International Standard. Pores size distribution and porosity of solid materials by mercury porosimetry and gas adsorption. Second Edition 01.22.

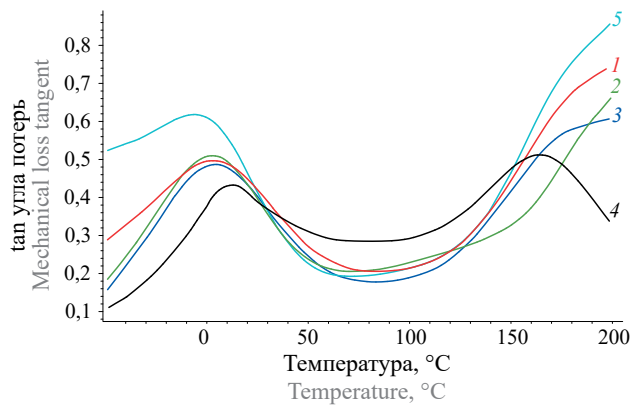


Рис. 1. Температурные зависимости тангенса угла механических потерь ПВХ композиций, модифицированных: 1 — ЗРШ + КАТАПАВ 1214С.50; 2 — ЗРШ; 3 — Аэросилом; 4 — СВ; 5 — базовый состав

Fig. 1. Temperature dependences of mechanical loss tangent for PVC composites modified by: 1 — RHA + CATAPAV 1214C.50; 2 — RHA; 3 — Aerosil; 4 — synthetic wollastonite (SW); 5 — basic composition

демонстрируют один максимум, соответствующий переходу полимера из стеклообразного в высокоэластическое состояние (рис. 1). Наличие одного максимума на температурных зависимостях тангенса угла механических потерь подтверждает высокую совместимость пластификатора ЭДОС с полимером, не зависящую от вида применяемого силиката [11, 12].

Согласно данным, представленным в табл. 1, все исследуемые наполнители повышают температуру перехода полимера из стеклообразного в высокоэластическое состояние (табл. 1).

Таблица 1. Температура, интенсивность максимума механических потерь и динамический модуль модифицированных силикатами ПВХ композиций

Table 1. Temperature, intensity of mechanical loss tangent and dynamic modulus of PVC composites modified by silicates

Модификатор Modifier	Температура max tg, °C/динамический модуль, МПа Temperature of mechanical loss tangent, °C/Dynamic modulus, MPa	Высота tg угла механических потерь в области α-максимума Height tg of the mechanical loss angle in the α-maximum region
Базовый состав Basic composition	–6,2/53	0,62
ЗРШ Rice husk ash (RHA)	3,6/86	0,51
ЗРШ, активированная КАТАПАВ 1214С.50 RHA activated by CATAPAV 1214C.50	2,8/92	0,50
СВ Synthetic wollastonite (SW)	9/96	0,43
Аэросил Aerosil	4,4/42	0,49

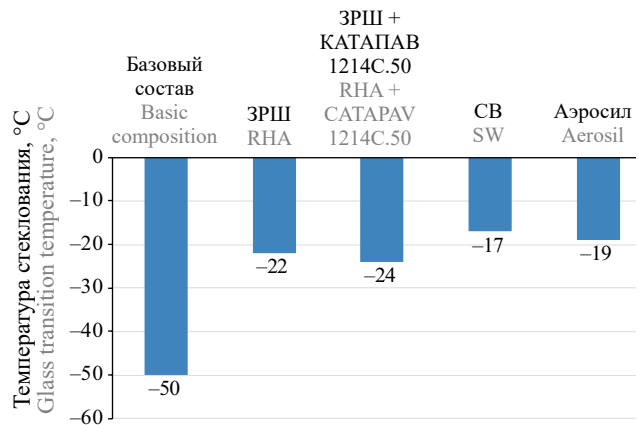


Рис. 2. Температура стеклования ПВХ композиций, модифицированных силикатами

Fig. 2. Glass transition point of PVC composites modified by silicates

Данный эффект объясняется протеканием взаимодействия на границе раздела фаз ПВХ матрица – силикат, в результате которого определенный объем ПВХ иммобилизуется, изменяется подвижность его макромолекул и, соответственно, плотность упаковки полимерных цепей. Полимерные цепи ориентируются вблизи твердой поверхности наполнителей — волластонита и силикатов [11, 12]. Как показывают данные табл. 1, промышленный наполнитель Аэросил увеличивает температуру α-перехода в большей степени, что подтверждают данные рис. 2 по изменению температуры стеклования модифицированного полимера.

На основании полученных экспериментальных данных можно сделать предположение, что благо-

Таблица 2. Характеристики пористости силикатов
Table 2. Porosity characteristics of silicates

Модификатор Modifier	Общий объем пор по ВЈН, см ³ /г Total pores volume under ВЈН, cm ³ /g	Средний диаметр пор по ВЈН, нм Average pores diameter under ВЈН, nm
ЗРШ RHA	0,08	4,1
ЗРШ, активированная КАТАПАВ 1214С.50 RHA activated by CATAPAV 1214C.50	0,03	4,2
СВ SW	0,18	4,0
Аэросил Aerosil	0,25	3,3

даря значительно меньшей пористости ЗРШ, по сравнению с Аэросилом (табл. 2), а также более высокому содержанию в ЗРШ кристаллической фазы [13] ее взаимодействие с пластификатором ЭДОС снижается. Легколетучие диоксановые спирты, основной компонент пластификатора ЭДОС, адсорбируются на поверхности силикатных наполнителей, осаждаются в порах их структуры, на что указывают размеры молекул компонентов пластификатора [12, 14], составляющие 0,6–1,7 нм, что в несколько раз меньше среднего размера пор исследуемых наполнителей (табл. 2).

Интенсивность t_g угла механических потерь в области основного максимума закономерно уменьшается при модификации силикатами и воластонитом, причем в большей степени при применении СВ (рис. 1, табл. 1). Это свидетельствует о снижении уровня (рис. 1) сегментальной подвижности $-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OСOСН}_3)-\text{CH}_2-$ групп ПВХ при введении силикатов [15] и образовании адгезионных связей «полимер – наполнитель».

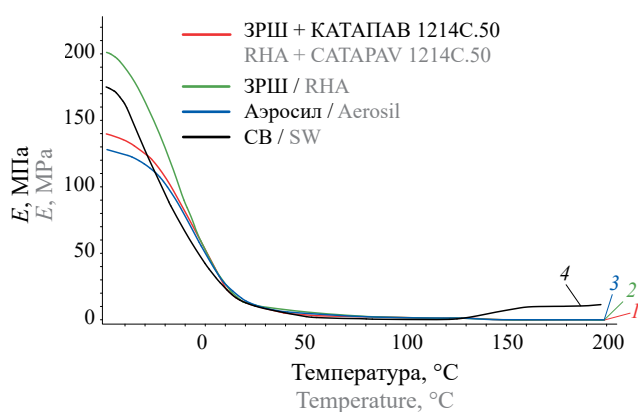


Рис. 3. Температурные зависимости динамического модуля ПВХ композиций, модифицированных: 1 — ЗРШ + КАТАПАВ 1214С.50; 2 — ЗРШ; 3 — Аэросилом; 4 — СВ

Fig. 3. Temperature dependencies of dynamic modulus of PVC composites modified by: 1 — RHA + CATAPAV 1214C.50; 2 — RHA; 3 — Aerosil; 4 — SW

Следовательно, по сравнению с базовым составом применение наполнителя Аэросила снижает значения динамического модуля модифицированных ПВХ композиций (табл. 1, рис. 3), что подтверждается снижением прочностных показателей ПВХ материалов с его применением [12, 14]. Данный эффект может быть обусловлен более низким адгезионным взаимодействием на границе раздела фаз ПВХ матрица – силикат, а также связан с высокой пористостью Аэросила (табл. 2).

По данным табл. 1 при применении в качестве наполнителей ЗРШ и СВ динамический модуль ПВХ материалов выше, чем при модификации Аэросилом (табл. 1), что связано с наличием у ЗРШ и СВ гидроксилсодержащих групп [16], которые образуют водородные связи с диоксановыми кольцами пластификатора или с атомом хлора ПВХ.

Активация поверхности ЗРШ ожидаемо увеличивает динамический модуль ПВХ материалов из-за роста межфазных взаимодействий.

Наиболее значительный рост динамического модуля ПВХ композиций имеет место при применении СВ (табл. 1) из-за его известного микроармирующего эффекта, обусловленного игольчатой формой частиц.

Характер релаксационных процессов, протекающих в ПВХ композициях, модифицированных активированной ПАВ ЗРШ, остается практически неизменным (рис. 1 и 3). Полученные данные коррелируют с характером температурных зависимостей динамического модуля и тангенса угла механических потерь.

Обработка поверхности ЗРШ поверхностно-активным КАТАПАВ С1214.50 приводит к смещению пика релаксационного перехода в область более низких температур (табл. 1), что обусловлено пластифицирующим действием пластификатора ЭДОС. Пористость активированной ЗРШ снижается

и, соответственно, меньший объем пластификатора задерживается в ее порах [12, 17].

Активация поверхности ЗРШ приводит к ограничению сегментальной подвижности макромолекул благодаря улучшению адгезионного взаимодействия между полимером и частицами ЗРШ [18]. Следует отметить, что ширина тангенса угла механических потерь при наполнении ПВХ композиций активированной ЗРШ уменьшается, что может быть обусловлено сокращением числа кинетических единиц, задействованных в размораживании сегментальной подвижности (рис. 1).

Литературные данные показывают, что наполнение и пластификация поливинилхлорида приводят к повышению однородности структуры композиционного материала [19, 20]. При этом на значения динамического модуля ПВХ композиций практически не влияет активация поверхности наполнителя ЗРШ (рис. 3, табл. 1) [19].

Заключение

В результате проведенных исследований было установлено, что модификация ПВХ композиций всеми исследованными силикатами и синтетическим волластонитом приводит к увеличению температуры стеклования и перехода полимера из стеклообраз-

ного состояния в высокоэластическое. Наибольший эффект обеспечивает волластонит с развитой кристаллической структурой, уменьшающий интенсивность тангенса угла механических потерь в области основного максимума.

Экспериментально подтверждено влияние пористости силиката на температуру стеклования модифицированных ПВХ композиций. Во всех изученных композициях, независимо от вида применяемого силикатного наполнителя, зафиксирован один максимум механических потерь в области α -релаксационного перехода, подтверждающий высокую совместимость пластификатора ЭДОС с полимером. При наполнении активированной ЗРШ ширина максимума тангенса угла механических потерь уменьшается, что указывает на повышение однородности модифицированного материала. Обработка поверхности золы рисовой шелухи поверхностно-активными четвертичными аммониевыми солями приводит к снижению температуры стеклования ПВХ композиций ввиду уменьшения пористости золы при активации.

Следует отметить, что использование синтетического волластонита и золы рисовой шелухи позволяет снизить стоимость производства за счет уменьшения количества дорогостоящих компонентов, таких как пластификаторы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Колосова А.С., Сокольская М.К., Виткалова И.А., Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные полимерные композиционные материалы и их применение // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 5 (1). С. 245–256. URL: <https://s.applied-research.ru/pdf/2018/5/12252.pdf>
2. Nadlene R., Sapuan S.M., Jawaid M., Ishak M.R., Yusriah L. The effects of chemical treatment on the structural and thermal, physical, and mechanical and morphological properties of roselle fiber-reinforced vinyl ester composites // Polymer Composites. 2018. No. 39. Pp. 274–287. DOI: 10.1002/pc.23927
3. Nwosu-Obieogu K., Chiemenem L.K., Adekunle K. Utilization of Rice Husk as Reinforcement in Plastic Composites Fabrication : a Review // American Journal of Materials Synthesis and Processing. 2016. No. 1 (3). Pp. 32–36. DOI: 10.11648/j.ajmsp.20160103.12
4. Fernandes I.J., Santos R.V., Dos Santos E.C.A., Rocha T.L.A.C., Domingues N.S., Moraes C.A.M. Replacement of Commercial Silica by Rice Husk Ash in Epoxy Composites : a Comparative Analysis // Materials Research. 2018. No. 21 (3). Pp. 1–10. DOI: 10.1590/1980-5373-mr-2016-0562
5. Gotlib E., Yamaleeva E., Thi Nya H.Ph. et al. Fillers of polymeric materials based on rice husk: Study Guide. Kazan : Otechestvo, 2019. P. 91. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010444109
6. Azarov G.M., Maiorova E.V., Oborina M.A., Belyakov A.V. Wollastonite raw materials and their applications : a review // Glass and Ceramics. 1995. No. 52. Pp. 237–240. DOI: 10.1007/BF00681090
7. Готлиб Е.М., Садыкова Д.Ф., Ямалеева Е.С. Волластонит — эффективный наполнитель резин и композиционных материалов на основе линейных и сетчатых полимеров : монография. М. : Lambert Academic Publishing, 2018. 180 с. URL: <https://a.co/d/j9PRK0K>
8. Chen S., Zhou X., Zhang S., Li Bo., Zhang T. Low temperature preparation of the β -CaSiO₃ ceramics based on the system CaO-SiO₂-BaO-B₂O₃ // Journal of Alloys and Compounds. 2010. No. 505 (2). Pp. 613–618. DOI: 10.1016/j.jallcom.2010.06.090
9. Ismail H., Shamsudin R., Abdul Hamid M.Z., Jalar A. Synthesis and Characterization of Nano-Wollastonite from Rice Husk Ash and Limestone // Materials Science Forum. 2013. Vol. 756. Pp. 43–47. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.756.43

10. Волоцкой А.Н., Юркин Ю.В., Авдонин В.В. Влияние типа наполнителя на динамические свойства вибропоглощающих полимерных композиционных материалов на основе этиленвинилацетата // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 12. С. 31–36. DOI: 10.17513/snt.37258
11. Готлиб Е.М., Соколова А.Г. Композиционные материалы, пластифицированные ЭДОСом : монография. М. : Палеотип, 2012. 236 с. EDN CUGLBS.
12. Садыкова Д.Ф. Пластифицированные ПВХ материалы, модифицированные диоксидом кремния и волластонитом на основе золы рисовой шелухи : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2021. 19 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010936531/?ysclid=mbtrf4nmuh295796665
13. Hossain Sk.S., Roy P.K. Study of physical and dielectric properties of bio-waste derived synthetic wollastonite // Journal of Asian Ceramic Societies. 2018. No. 6 (3). Pp. 289–298. DOI: 10.1080/21870764.2018.1508549
14. Садыкова Д.Ф., Готлиб Е.М., Кожевников Р.В., Гарсия-Триньянес П. Влияние активации поверхности волластонита четвертичными аммониевыми солями на релаксационные свойства модифицированных им ПВХ-композиций // Бутлеровские сообщения. 2020. Т. 62. № 5. С. 64–71. EDN OIHNFO.
15. Шаравара А.М., Христофорова И.А. ПВХ-композиции и их применение // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 2 (80). С. 84–86. DOI: 10.23670/IRJ.2019.80.2.015
16. Готлиб Е.М., Садыкова Д.Ф., Кожевников Р.В., Твердов И.Д., Мишагин К.А. Поливинилхлоридные композиции для линолеума с добавками наполнителей на основе рисовой шелухи // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2023. № 66 (2). С. 114–119. DOI: 10.6060/ivkkt.20236602.6692
17. Алексеенко В.В., Гонжитов А.Б., Бугдаев С.П. Влияние состава на физико-механические характеристики модифицированных ПВХ // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. № 14 (1). С. 20–29. DOI: 10.21285/2227-2917-2024-1-20-29. EDN YTBWB
18. Готлиб Е.М., Садыкова Д.Ф., Кожевников Р.В., Ямалеева Е.С. Влияние активации поверхности волластонита четвертичными аммонийными солями на свойства модифицированных им ПВХ композиций // Вестник технологического университета. 2017. № 20 (21). С. 35–36. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-aktivatsii-poverhnosti-vollastonita-chetvertichnymi-ammoniynymi-solyami-na-svoystva-modifitsirovannyh-im-pvh-kompozitsiy/viewer>
19. Нафикова Р.Ф., Фаткуллин Р.Н., Афанасьев Ф.И., Степанова Л.Б., Исламутдинова А.А. Исследование влияния пластификатора ДЭС М-2 на физико-механические и технологические свойства // Пластические массы. 2020. № 3–4. С. 33–36. DOI: 10.35164/0554-2901-2020-3-4-33-36
20. Tiwari P., Choudhary S., Cloudhary M. Study on Mechanical, Thermal and Morphological Properties of RHA Filled PVC Composite // International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (USEAS). 2015. No. 5 (1). Pp. 265–281. URL: <https://ijseas.com/volume1/v1i5/ijseas20150529.pdf>

REFERENCES

1. Kolosova A.S., Sokolskaya M.K., Vitkalova I.A., Orlova A.S., Pikalov E.S. Modern polymer composite materials and their application. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2018; 5(1):245-256. URL: <https://s.applied-research.ru/pdf/2018/5/12252.pdf> (rus).
2. Nadlene R., Sapuan S.M., Jawaid M., Ishak M.R., Yusriah L. The effects of chemical treatment on the structural and thermal, physical, and mechanical and morphological properties of roselle fiber-reinforced vinyl ester composites. *Polymer: Composites*. 2018; 39:274-287. DOI: 10.1002/pc.23927
3. Nwosu-Obieogu K., Chiemenem L.K., Adekunle K. Utilization of Rice Husk as Reinforcement in Plastic Composites Fabrication : a Review. *American Journal of Materials Synthesis and Processing*. 2016; 1(3):32-36. DOI: 10.11648/j.ajmsp.20160103.12
4. Fernandes I.J., Santos R.V., Dos Santos E.C.A., Rocha T.L.A.C., Domingues N.S., Moraes C.A.M. Replacement of Commercial Silica by Rice Husk Ash in Epoxy Composites : a Comparative Analysis. *Materials Research*. 2018; 21(3):1-10. DOI: 10.1590/1980-5373-mr-2016-0562
5. Gotlib E., Yamaleeva E., Thi Nya H.Ph. et al. *Fillers of polymeric materials based on rice husk: Study Guide*. Kazan, Otechestvo, 2019; 91. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010444109
6. Azarov G.M., Maiorova E.V., Oborina M.A., Belyakov A.V. Wollastonite raw materials and their applications : a review. *Glass and Ceramics*. 1995; 52:237-240. DOI: 10.1007/BF00681090
7. Gotlib E.M., Sadykova D.F., Yamaleeva E.S. *Wollastonite — an effective filler for resins and composite materials based on linear and cross-linked polymers : monograph*. Moscow, Lambert Academic Publishing, 2017; 180. URL: <https://a.co/d/j9PRK0K> (rus).
8. Chen S., Zhou X., Zhang S., Li Bo., Zhang T. Low temperature preparation of the β -CaSiO₃ ceramics based on the system CaO-SiO₂-BaO-B₂O₃. *Journal of Alloys and Compounds*. 2010; 505(2):613-618. DOI: 10.1016/j.jallcom.2010.06.090

9. Ismail H., Shamsudin R., Abdul Hamid M.Z., Jalar A. Synthesis and Characterization of Nano-Wollastonite from Rice Husk Ash and Limestone. *Materials Science Forum*. 2013; 756:43-47. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.756.43
10. Volotskoy A.N., Yurkin Yu.V., Avdonin V.V. Influence of filler type on dynamic properties of damping polymer compositional materials based on ethylene-vinyl acetate. *Modern High Technologies*. 2018; 12:31-36. DOI: 10.17513/snt.37258 (rus).
11. Gotlib E.M., Sokolova A.G. *Composite materials plasticized with EDOS : monograph*. Moscow, Paleotip, 2012; 235. EDN CUGLBS. (rus).
12. Sadykova D.F. *Plasticized PVC materials modified with silicon dioxide and wollastonite based on rice husk ash : abstract of a dissertation for a candidate of technical sciences*. Kazan, 2021; 19. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_010936531/?ysclid=mbtrf4nmuh295796665 (rus).
13. Hossain Sk.S., Roy P.K. Study of physical and dielectric properties of bio-waste derived synthetic wollastonite. *Journal of Asian Ceramic Societies*. 2018; 6(3):289-298. DOI: 10.1080/21870764.2018.1508549
14. Sadykova D.F., Gotlib E.M., Kozhevnikov R.V., García-Triñanes P. Effect of activation of wollastonite surface by quaternary ammonium salts on the relaxation properties of PVC compositions modified by it. *Butlerov Communications*. 2020; 62(5):64-71. DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/20-62-5-64 (rus).
15. Sharavara A.M., Khristoforova I.A. PVC compositions and their application. *International Research Journal*. 2019; 2(80):84-86. DOI: 10.23670/IRJ.2019.80.2.015 (rus).
16. Gotlib E.M., Sadykova D.F., Kozhevnikov R.V., Tverdob I.D., Mishagin K.A. Polyvinyl chloride compositions with fillers based on rice husk for linoleum. *News. Higher educational institutions. Chemistry and chemical technology*. 2023; 66(2):114-119. DOI: 10.6060/ivkkt.20236602.6692 (rus).
17. Alekseenko V.V., Gonzhitov A.B., Bugdayev S.P. Influence of composition on physical and mechanical properties of modified PVC. *News of universities. Investments. Construction. Real estate*. 2024; 14(1):20-29. DOI: 10.21285/2227-2917-2024-1-20-29. EDN YTBJBW (rus).
18. Gotlib E.M., Sadykova D.F., Kozhevnikov R.V., Yamaleeva E.S. The influence of wollastonite surface activation by quaternary ammonium salts on the properties of PVC composites modified with it. *Bulletin of the Technological University*. 2017; 20(21):35-36. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-aktivatsii-poverhnosti-vollastonita-chetvertichnymi-ammoniyami-na-svoystva-modifitsirovannyh-im-pvh-kompozitsiy/viewer> (rus).
19. Nafikova R.F., Fatkullin R.N., Afanasiev F.I., Stepanova L.B., Islamutdinova A.A. Study of the influence of plasticizer DES M-2 on the physical, mechanical and technological properties of plasticate PVC. *Plasticheskie massy*. 2020; 3-4:33-36. DOI: 10.35164/0554-2901-2020-3-4-33-36 (rus).
20. Tiwari P., Choudhary S., Choudhary M. Study on Mechanical, Thermal and Morphological Properties of RHA Filled PVC Composite. *International Journal of Scientific Engineering and Applied Science (USEAS)*. 2015; 5(1):265-281. URL: <https://ijseas.com/volume1/v1i5/ijseas20150529.pdf>

Поступила 09.05.2025, после доработки 29.05.2025;

принята к публикации 02.06.2025

Received May 9, 2025; Received in revised form May 29, 2025;

Accepted June 02, 2025

Информация об авторах

САДЫКОВА Диляра Фанисовна, к.т.н., преподаватель кафедры химии и химической технологии материалов, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77; ORCID: 0000-0002-2010-1592; AuthorID: 57209311162; e-mail: dilyras@mail.ru

ГОТЛИБ Елена Михайловна, д.т.н., профессор кафедры технологии синтетического каучука, Казанский национальный исследовательский технологический университет, 420015,

Information about the authors

Dilyara F. SADYKOVA, Cand. Sci. (Eng.), Lecture, Department of Chemistry and Chemical Technology of Materials, Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Polytechnicheskaya St., 77, Saratov, 410054, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-2010-1592; AuthorID: 57209311162; e-mail: dilyras@mail.ru

Elena M. GOTLIB, Dr. Sci. (Eng.), Professor of Department of technolog.rubber, Kazan National Research Technological, Karl Marx St., 68, Kazan, 420015, Russian Federation;

г. Казань, ул. Карла Маркса, 68; ORCID: 0000-0003-1666-8702; AuthorID: 6603371638; e-mail: GotlibEM@corp.knrtu.ru

СОКОЛОВА Алла Германовна, к.т.н., доцент кафедры строительного материаловедения, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; ORCID: 0000-0001-8425-1883; ResearcherID: F-3314-2017; AuthorID: 57202822282; e-mail: as.falconi@yandex.ru

Вклад авторов:

Садыкова Д.Ф. — *идея; обработка материала; написание статьи.*

Готлиб Е.М. — *концепция; научное редактирование текста; общее руководство.*

Соколова А.Г. — *сбор материала; обработка материала. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

ORCID: 0000-0003-1666-8702; AuthorID: 6603371638; e-mail: GotlibEM@corp.knrtu.ru

Alla G. SOKOLOVA, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Materials Science, National Research Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-8425-1883; ResearcherID: F-3314-2017; AuthorID: 57202822282; e-mail: as.falconi@yandex.ru

Contribution of the authors:

Sadykova D.F. — *idea; processing of the material; writing the article.*

Gotlib E.M. — *concept; scientific editing of the text; general guidance.*

Sokolova A.G. — *collection of the data; processing of the data. The authors declare that there is no conflict of interest.*