

Нефтегазовое дело. 2023. № 2. С. 97–117. ISSN 1813-503X (online)  
Oil and Gas Business. 2023. No. 2, P. 97–117. ISSN 1813-503X (online)

Научная статья

УДК 678.743.22

doi <https://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2023-2-97-117>

**ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА  
ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНО-СДВИГОВОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ**

**Александр Анатольевич Степанов<sup>1</sup>, Гулия Карамовна Аминова<sup>1</sup>,  
Марат Мансурович Паймурзин<sup>1</sup>, Вадим Мадирович Сайфигалиев<sup>1</sup>,  
Ринат Маснавич Ахметханов<sup>2</sup>, Райля Фаатовна Нафикова<sup>3</sup>,  
Лена Булатовна Степанова<sup>3</sup>**

**<sup>1</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
Уфа, Россия**

**<sup>2</sup>Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия**

**<sup>3</sup>АО «Башкирская содовая компания», Стерлитамак, Россия**

**Автор, ответственный за переписку:**

Гулия Карамовна Аминова, [aminovagk@inbox.ru](mailto:aminovagk@inbox.ru)

**Аннотация.** Переработка вторичного полимерного сырья, в частности отходов ПВХ, несомненно, является сегодня одной из ключевых составляющих современного мира. Значительное место среди отходов на основе ПВХ занимают линолеум, пенопласт, ламинированные обои, сантехнические ПВХ-трубы, искусственной кожи галантерейного и технического назначения, сельскохозяйственные и изоляционные

пленки, ПВХ-шланги, тара, использованная упаковка. В настоящее время отсутствуют эффективные способы их вторичной переработки, поэтому большая часть отходов подвергается захоронению или сжигается.

В работе показана возможность использования дисперсных порошковых материалов, полученных высокотемпературным сдвиговым измельчением отходов производства поливинилхлоридных материалов. Рассмотрена конструкция роторного диспергатора для проведения процесса высокотемпературного сдвигового измельчения полимерных продуктов.

Установлено, что в процессе переработки отходов ПВХ-материалов одновременно с процессом высокотемпературного сдвигового измельчения можно осуществлять модификацию полимерного материала путем введения в исходное сырье 1–3 масс. ч. металлсодержащих термостабилизаторов и 10–30 масс. ч. пластификаторов. Это приводит к повышению запаса термостабильности на 15–50 мин и улучшению показателя текучести расплава, переработанного совместно со сложноэфирными пластификаторами материала на 20–35 %, а также улучшению технологичности процесса диспергирования.

Проведенные исследования позволяют предположить экономически и экологически выгодную возможность вторичного использования поливинилхлоридных материалов и открывают пути создания замкнутых по материальным и энергетическим потокам технологических схем.

**Ключевые слова:** винилхлорид, поливинилхлорид, отходы, высокотемпературное сдвиговое измельчение, переработка, пластификатороемкость, термостабильность, диспергатор

**Для цитирования:** Степанов А. А., Аминова Г. К., Паймурзин М. М., Сайфигалиев В. М., Ахметханов Р. М., Нафикова Р. Ф., Степанова Л. Б. Переработка отходов производства поливинилхлоридных материалов высокотемпературно-сдвиговой деформацией // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2023. № 2. С. 97–117. <https://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2023-2-97-117>.

Original article

**RECYCLING OF WASTE FROM POLYVINYL CHLORIDE  
MATERIAL PRODUCTION BY HIGH-TEMPERATURE SHEAR  
DEFORMATION**

**Alexander A. Stepanov<sup>1</sup>, Gulia K. Aminova<sup>1</sup>, Marat M. Paimurzin<sup>1</sup>,  
Vadim A. Saifigaliev<sup>1</sup>, Rinat M. Akhmetkhanov<sup>2</sup>, Railia F. Nafikova<sup>3</sup>,  
Lena B. Stepanova<sup>3</sup>**

**<sup>1</sup>Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia**

**<sup>2</sup>Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia**

**<sup>3</sup>Bashkir Soda Company JSC, Sterlitamak, Russia**

**Corresponding author:**

Gulia K. Aminova, aminovagk@inbox.ru

**Abstract.** Recycling of recycled polymer raw materials, in particular PVC waste, is undoubtedly one of the key components of the modern world. A significant place among PVC-based waste is occupied by linoleum, foam, laminated wallpaper, sanitary PVC pipes, artificial leather for haberdashery and technical purposes, agricultural and insulating films, PVC hoses, containers, used packaging. Currently, there are no effective ways to recycle them, so most of the waste is disposed or incinerated.

This article shows the possibility of using dispersed powder materials obtained by high-temperature shear grinding of waste from the production of polyvinyl chloride materials. The design of a rotary dispersant for carrying out the process of high-temperature shear grinding of polymer products is considered.

It has been established that in the process of waste PVC material recycling simultaneously with the process of high-temperature shear grinding, it is possible to modify the polymer material by introducing 1–3 wt. fr. of metal-containing heat stabilizers and 10–30 wt. fr. of plasticizers into the feedstock. This leads to an increase in the thermal stability margin by 15–

50 min and an improvement in the flow rate of the melt processed together with ester plasticizers of the material by 20–35 %, as well as an improvement in the manufacturability of the dispersion process.

The conducted research suggests an economically and environmentally beneficial possibility of recycling polyvinyl chloride materials, and opens up ways to create technological schemes closed in material and energy flows.

**Keywords:** vinyl chloride, polyvinyl chloride, waste, high-temperature shear grinding, recycling, plasticizer capacity, thermal stability, dispersant

**For citation:** Stepanov A. A., Aminova G. K., Paimurzin M. M., Saifigaliev V. M., Akhmetkhanov R. M., Nafikova R. F., Stepanova L. B. Pererabotka otkhodov proizvodstva polivinilkhlordnykh materialov vysokotemperaturno-sdvigovoi deformatsii [Recycling of Waste from Polyvinyl Chloride Material Production by High-Temperature Shear Deformation]. *Setevoe izdanie «Neftegazovoe delo» – Network Journal «Oil and Gas Business»*, 2023, No. 2, pp. 97–117 [in Russian]. <https://dx.doi.org/10.17122/ogbus-2023-2-97-117>.

## Введение

В настоящее время наблюдается значительный рост потребления пластмасс, большинство из которых синтезируется на основе нефтехимического сырья. Самыми распространенными из них являются: поливинилхлорид (ПВХ), полипропилен, полиэтилен, полистирол и поликарбонат [1]. Они характеризуются высокой химической стойкостью к кислотам и щелочам, не пропускают воду, устойчивы к коррозии и плохо проводят электрический ток. Все эти свойства и привели к их массовому производству и широкому распространению. Всего за несколько десятков лет ежегодное потребление пластиков увеличилось с 5 млн до 100 млн т. В настоящее время производится примерно 150 видов пластиков, 30 % от этого числа представляют смеси разных полимеров.

Особое место в классе крупнотоннажных хлорорганических соединений, получаемых на основе продуктов нефтехимии, занимает ПВХ, который является базовым сырьевым продуктом для производства полимерных материалов. Непрерывный рост производства ПВХ чрезвычайно остро ставит и проблему утилизации этого полимера.

Полимерные отходы, а правильное вторичное полимерное сырье, формируются из трех источников:

- технологические отходы производства (устраняемые и неустраняемые) возникают при синтезе и переработке полимеров;
- отходы производственного потребления накапливаются в результате выхода из строя изделий из полимерных материалов, используемых в различных отраслях народного хозяйства (шины, тара и упаковка, детали машин и т.д.);
- отходы общественного потребления (смешанные отходы) накапливаются в быту, на предприятиях общественного питания и т.д. Это самый большой резерв вторичных полимеров. Однако с переработкой и использованием именно этих смешанных отходов связаны наибольшие трудности.

Переработка вторичного полимерного сырья, в частности отходов ПВХ, несомненно, является сегодня одной из ключевых составляющих современного мира. Производство из вторичного пластика – **хороший коммерческий** ход. О полезности и важности такого рода работ задумываются сегодня все строительные компании. Современный потребитель отдает предпочтение тем компаниям, которые заботятся о природе.

Значительное место среди отходов на основе ПВХ занимают линолеум, пенопласт, ламинированные обои, сантехнические ПВХ-трубы, искожи галантерейного и технического назначения, сельскохозяйственные и изоляционные пленки, ПВХ-шланги, тара, использованная упаковка и т.д. [2, 3]. Они являются источниками загрязнения окружающей среды, так как их вторичная переработка с целью утилизации представляет определенные

трудности. В настоящее время отсутствуют эффективные способы их вторичной переработки, поэтому большая часть отходов подвергается захоронению или сжигается. В немалой степени это обусловлено тем, что многие ПВХ-изделия используются в виде армированных материалов или покрытий, дублированных с различными основами. Отделение основ или армирующих волокон представляет собой технически сложную задачу.

В работе [4] приведены полимеры, в числе которых ПВХ, которые не подвергаются процессу высокотемпературного сдвигового измельчения (ВТСИ). Данных, подтверждающих данный вывод, в работе в должной степени не предоставлено. Литературных данных по ВТСИ сополимеров винилхлорида (ВХ) мало. Однако известно, что процессу ВТСИ хорошо подвергаются аморфно-кристаллические полимеры, являющиеся типичными гетерогенными системами [5, 6].

ПВХ относится к аморфно-кристаллическим полимерам, для промышленных образцов степень кристалличности составляет 10–13 % [7, 8], т.е. это является предпосылкой для его ВТСИ.

Процесс ВТСИ ПВХ в отличие от измельчения полиолефинов сопровождается интенсивным саморазогревом полимерной массы, что создает технологические трудности, поэтому получение, применение и переработка материалов на основе полимеров ВХ практически невозможна без эффективной стабилизации введением добавок стабилизаторов.

Обязательными компонентами любых ПВХ-композиций являются металлсодержащие стабилизаторы, которые выступают как акцепторы выделяющегося хлористого водорода (HCl). Кроме того, некоторые стабилизаторы (оловоорганические соединения, карбоксилаты свинца, кадмия и других металлов) являются эффективными химическими стабилизаторами [9].

В работе [10] изучен процесс воздействия сдвиговых деформаций на полимеры. Установлено, что при переработке стабилизированных ПВХ-

композиций в условиях одновременного воздействия давления и сдвиговой деформации можно за счет повышения стабилизирующей эффективности используемых карбоксилатов металлов снижать их содержание в полимерной рецептуре, а также проводить прямой твердофазный синтез соответствующих карбоксилатов металлов в полимерной композиции из исходных реагентов в процессе ее переработки.

Выявленные закономерности поведения полимеров винилхлорида в условиях одновременного воздействия высокого давления и сдвиговой деформации [10] позволяют научно обоснованно подходить к проблеме переработки полимерных продуктов, в т.ч. полимерных отходов, с целью получения качественных полимерных материалов.

Таким образом, целью данного исследования является изучение возможностей использования процесса воздействия сдвиговых деформаций при переработке полимерных материалов, реализовать выявленные закономерности поведения ПВХ в условиях процесса высокотемпературного сдвигового измельчения в практическом плане.

### **Экспериментальная часть**

Источниками отходов ПВХ могут быть и использованные готовые изделия, и упаковки.

Отходы ПВХ принято разделять на 2 основные категории: пластифицированные (гибкие и податливые в эксплуатации изделия) и не пластифицированные (твёрдые и жёсткие изделия).

Использование твердых отходов ПВХ для получения полимерных материалов традиционными методами переработки требует их измельчения с получением высокодисперсного порошкового продукта с соответствующим гранулометрическим составом.

Предпринята попытка получения высокодисперсного полимерного порошка из твердых отходов производства суспензионного ПВХ (крупа,

некондиционный ПВХ С-0) методом ВТСИ. Крупа и некондиционный ПВХ С-0 подвергались высокотемпературному сдвиговому измельчению в роторном диспергаторе при температурах в камерах пластикации, сжатия и измельчения соответственно 120–120–70 °С и степени загрузки рабочего объема диспергатора 50–70 %. Для осуществления процесса ВТСИ необходимо добавление в отходы 3–5 масс. ч./100 масс. ч. ПВХ в качестве термостабилизаторов карбоксилатов металлов (стеараты кальция и др.). В результате ВТСИ образуется высокодисперсный порошок ПВХ, по степени дисперсности превосходящий товарный полимер. Средний размер частиц измельченного порошка ПВХ составляет 45 мкм. При этом значительно возрастает пластификатороемкость измельченного ПВХ. Для исходного продукта она составляет 12,3 г поглощенного диоктилфталата (ДОФ) на 100 г ПВХ, после измельчения этот показатель увеличивается до 19,7 г поглощенного ДОФ на 100 г ПВХ. По основным показателям ПВХ, полученный высокотемпературным сдвиговым измельчением крупы и некондиционного ПВХ С-0, соответствует требованиям ГОСТ 14332-78Е.

При проведении процесса ВТСИ крупы и ПВХ С-0 получены положительные результаты при соизмельчении отходов со сложноэфирными пластификаторами в количестве 40–90 масс. ч./100 масс. ч. ПВХ. Образующийся высокодисперсный ПВХ-пластикат (размеры частиц 60–150 мкм) можно также использовать при получении ПВХ-материалов.

Полученный совместным ВТСИ крупы и ПВХ С-0 с термостабилизатором или пластификатором высокодисперсный порошок ПВХ можно использовать при производстве ПВХ материалов.

### **Обсуждение результатов**

Одним из наиболее эффективных способов вторичной переработки отходов полимерных материалов на основе ПВХ с целью их утилизации является метод ВТСИ. Отходы пластифицированных дублированных



пленочных материалов на различных основах (искожа на х/б тканевой основе, линолеум на полиэфирной тканевой основе, пенопласт на бумажной основе) перерабатываются в условиях ВТСИ в дисперсный однородный вторичный материал, представляющий смесь измельченного ПВХ-пластиката с измельченной основой со средними размерами частиц 320–615 мкм, преимущественно ассиметричной формы, с высокой удельной поверхностью (2,8–4,1 м<sup>2</sup>/г). Оптимальные условия высокотемпературного сдвигового измельчения, при которых образуется наиболее высокодисперсный продукт: температура в камерах пластикации и сжатия 130–150 °С и камере измельчения 70 °С; степень загрузки не более 60 %; минимальная скорость вращения шнека 35 об./мин (таблица 1).

Повышение температуры переработки ПВХ материалов приводит к нежелательной интенсификации деструкционных процессов в полимере, выражающейся в потемнении продукта. Повышение степени загрузки и скорости вращения шнека ухудшает дисперсность материала.

Переработку отходов безосновных пластифицированных ПВХ-материалов ВТСИ с получением качественного высокодисперсного вторичного материала можно проводить без технологических затруднений при более широком варьировании режимов диспергирования. Образуется более тонкодисперсный продукт с размерами частиц 240–335 мкм, преимущественно сферической формы.

ВТСИ жестких ПВХ-материалов необходимо проводить при более высоких температурах по зонам (в камерах пластикации и сжатия 170–180 °С и камере измельчения 70 °С), степени загрузки не более 40 % и минимальной скорости вращения шнека 35 об./мин (таблица 1). При отклонении от заданных режимов ВТСИ наблюдаются технологические затруднения и ухудшение качества получаемого вторичного продукта по дисперсности.

**Таблица 1.** Влияние условий переработки отходов ПВХ-материалов, полученных при высокотемпературном сдвиговом измельчении, на дисперсность и удельную поверхность вторичных продуктов

**Table 1.** Influence of the conditions for processing waste PVC materials obtained by high-temperature shear grinding on the dispersion and specific surface area of secondary products

Вид отхода	Температура по зонам диспергатора, °С	Степень загрузки диспергатора, %	Скорость вращения шнека, об./мин	Средний размер частиц, мкм	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г
Иск. кожа на х/б тканевой основе	130–150–70	30	35	380	–
– «–	130–150–70	60	35	380	3,8
– «–	130–150–70	90	35	455	3,1
– «–	150–180–70	80	35	530	2,8
– «–	120–120–70	50	35	425	–
Линолеум на полиэфирной тканевой основе	130–150–70	60	35	395	3,6
– «–	150–190–70	60	35	615	3,3
– «–	130–150–70	90	35	530	–
– «–	130–150–70	60	61	395	–
ПВХ–трубы	170–180–70	40	35	175	–
– «–	170–180–70	40	35	205	–
Материал для бутылок минводы	170–180–70	40	35	150	2,8
– «–	170–180–70	60	35	210	2,5
– «–	170–180–70	40	61	170	–
Пеноплен на бумажной основе	130–150–70	60	35	320	4,1
– «–	130–190–80	60	35	450	3,4
– «–	130–150–70	90	35	405	–
– «–	130–150–70	60	61	390	–
Изоляционная пленка безосновная	130–150–70	60	35	260	2,6
– «–	130–150–70	80	35	265	2,5
– «–	130–150–70	100	35	280	2,3
– «–	130–150–70	80	61	265	2,5
– «–	130–150–70	60	106	310	2,2
– «–	150–190–70	60	61	290	2,2
– «–	120–130–70	60	35	260	2,4
ПВХ–шланги	130–150–70	60	35	260	2,4
– «–	130–150–70	60	106	315	–
– «–	150–190–70	60	61	335	–
– «–	130–150–70	100	35	295	–

При измельчении жестких ПВХ-материалов, очевидно, из-за высокой температуры переработки, процесс сопровождается падением остаточной термостабильности продукта и изменением показателя текучести расплава (ПТР), например, для материала бутылок из ПВХ при температурах переработки (в камерах пластикации и сжатия 170–180 °С и камере измельчения 70 °С) термостабильность падает с 61 до 37 мин, а ПТР изменяется с 1,5 до 0,23 г/10 мин (190 °С, 16,6 кг).

В процессе переработки отходов ПВХ-материалов одновременно с процессом ВТСИ можно осуществлять модификацию полимерного материала путем введения в исходное сырье 1–3 масс. ч. металлосодержащих термостабилизаторов и 10–30 масс. ч. пластификаторов. Это приводит к повышению запаса термостабильности на 15–50 мин и улучшению показателя текучести расплава, переработанного совместно со сложноэфирными пластификаторами материала на 20–35 %, а также улучшению технологичности процесса диспергирования.

Получающиеся вторичные ПВХ материалы благодаря высокой дисперсности и развитой поверхности частиц обладают повышенной поверхностной активностью. Это свойство образующихся порошков предопределяет их весьма хорошую совместимость с другими материалами, что позволяет использовать их для замены (до 45 % масс.) исходного сырья при получении тех же или новых полимерных материалов. Например, при производстве ленты ПВХ-липкой с добавлением в исходную рецептуру до 45 % высокодисперсного вторичного материала, полученного высокотемпературным сдвиговым измельчением отходов ленты ПВХ-липкой, получается продукт, в целом соответствующий требованиям ТУ 6-01-02003314-122-91 (таблица 2).

**Таблица 2.** Некоторые эксплуатационные показатели ленты ПВХ-липкой, полученной с добавлением вторичного материала, переработанного при помощи высокотемпературного сдвигового измельчения отходов ленты ПВХ-липкой

**Table 2.** Some performance indicators of PVC sticky tape obtained with the addition of secondary material recycled during high-temperature shear grinding of PVC sticky tape waste

Показатели	Норма ТУ 6-01-02003314-122-91	Контрольный образец	Количество вторичного диспергата, %			
			15	30	45	60
Прочность при разрыве, кгс/см <sup>2</sup>	н.м. 170	212	203	192	179	158
Относительное удлинение, %	н.м. 190	234	229	215	201	178
ПТР, г/10 мин, 170 °С	–	4,9	5,1	5,6	5,9	6,5

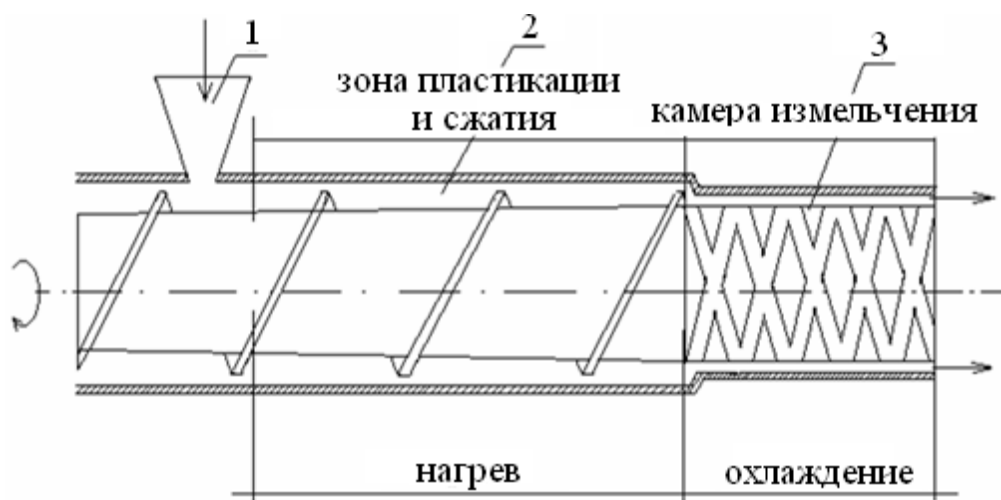
Следует отметить также, что вторичные высокодисперсные материалы, образующиеся при высокотемпературном сдвиговом измельчении дублированных ПВХ пленочных материалов, обладают высокой адсорбционной способностью в отношении нефти и нефтепродуктов (до 250–350 %), что, в частности, дает возможность использовать их в качестве адсорбента при ликвидации экологических аварий с поверхности земли и воды.

Таким образом, метод ВТСИ и совмещения компонентов позволяет переработать отходы производства ПВХ и ПВХ-материалы во вторичное полимерное сырье.

Для практической реализации процесса ВТСИ полимерных продуктов сконструированы роторные диспергаторы на базе одно- и двухшнековых экструдеров [4, 11]. В частности, в настоящее время освоено производство лабораторных диспергаторов с производительностью 0,1–2 кг порошка в 1 ч в Институте химической физики имени академика Н.Н. Семенова РАН и

предназначенных для промышленного измельчения полимерных материалов диспергаторов с производительностью до 170 кг/ч серии «Милст» и «Рост» производства ЗАО «Родан», ЗАО «Стимул» и НТЦ «Экорд» (Москва).

Принципиальная схема конструкции диспергатора представлена на рисунке 1 [12].



**Рисунок 1.** Принципиальная схема конструкции роторного диспергатора  
экструзионного типа

**Figure 1.** Schematic diagram of the design of an extrusion-type rotary  
dispersant

В установках данного типа на базе одношнекового экструдера величина необходимого давления (до 50 МПа) создается вращающимся шнеком, имеющий конусный сердечник, а сдвиговое деформирование осуществляется в зазоре между внутренней поверхностью рабочей камеры измельчения и внешней поверхностью ротора. Следует отметить, что в настоящее время созданы экструдеры, создающие давление в рабочей зоне 100–200 МПа, а в установке типа экструдера, оснащенного камерой с узлом

динамического действия, – 500–2000 МПа [13]. Для поддержания необходимого температурного режима корпус диспергатора снабжен нагревательными элементами, а камера измельчения снабжена средствами охлаждения. Температура в камерах пластикации, сжатия и измельчения контролируется автоматическими потенциометрами.

Материал в виде гранул или крупной крошки подается в загрузочный патрубок камеры пластикации и сжатия, где с помощью нагревательных элементов он нагревается до перехода в высокоэластическое или вязкотекучее состояние, перемешивается и сдавливается. Из камеры пластикации и сжатия материал под давлением поступает в концентрический зазор камеры измельчения, где он интенсивно охлаждается проточной водой, протекающей через рубашку охлаждения, и затвердевает при одновременном воздействии на материал сдвиговых деформаций, вызываемых вращением ротора. В результате наблюдается множественное разрушение материала в режиме непрерывного реологического взрыва с образованием высокодисперсного порошка.

В диспергаторах на базе двухшнекового экструдера транспортировка материала и создание соответствующего давления осуществляются сопряженными шнеками, а измельчение происходит между сменными сдвиговыми элементами, которые могут быть различных типов в зависимости от природы измельчаемого материала.

Одной из интересных характеристик промышленных диспергаторов, выпускаемых НТЦ «Экорд», является их способность самонастраиваться на температурных режим, соответствующий минимальным энергозатратам на измельчение резиновых материалов [10]. Современные промышленные диспергаторы сконструированы таким образом, что при равномерной загрузке того или иного материала в камеру измельчения происходит саморазогрев материала до оптимальной рабочей температуры, и в последующем нет необходимости использования нагревательных

элементов, температура поддерживается за счет саморазогрева полимерного материала. Затраты электроэнергии идут только на электропривод.

Способы получения порошка в непрерывном режиме из полимерного продукта с использованием принципа высокотемпературного сдвигового измельчения и различные модификации устройств для их осуществления защищены авторскими свидетельствами СССР и патентами РФ [13–20].

Однако к недостаткам существующих конструкций роторных диспергаторов следует отнести их невысокую производительность. В этой связи в реальных производственных условиях приходится в технологических линиях по вторичной переработке отходов полимерных материалов устанавливать дополнительные роторные диспергаторы.

## **Выводы**

Проведенные исследования позволяют предположить экономически и экологически выгодную возможность вторичного использования поливинилхлоридных материалов, и открывают пути создания замкнутых по материальным и энергетическим потокам технологических схем.

## **Список источников**

1. Бобович Б.Б., Девяткин В.В. Переработка отходов производства и потребления. М.: Интермет инжиниринг, 2000. 498 с. EDN: TJEKLL.
2. Вольфсон С.А. Вторичная переработка полимеров // Высокомолекулярные соединения. 2000. Т. 42, № 11. С. 2000-2014.
3. Вильниц С.А., Вагина Ю.М. Оптимизация процесса низкотемпературного измельчения полимерных материалов // Пластические массы. 1974. № 12. С. 19-22.
4. Вольфсон С.А., Никольский В.Г. Твердофазное деформационное разрушение и измельчение полимерных материалов. Порошковые технологии // Высокомолекулярные соединения. 1994. Т. 36, № 6. С. 1040-1056.

5. Ениколопян Н.С., Акопян Е.Л., Кармилов А.Ю., Никольский В.Г., Хачатрян А.М. Получение высокодисперсных порошковых материалов на основе термопластов и их смесей методом упруго-деформационного измельчения // Высокомолекулярные соединения. 1988. Т. 30, № 11. С. 2403-2409.
6. Ениколопян Н.С., Хачатрян А.М., Кармилов А., Никольский В.Г., Плате И.В., Федорова Е.А., Филипов В.В. Структура и морфология порошковых материалов, полученных методом упруго-деформационного измельчения // Высокомолекулярные соединения. 1988. Т. 30, № 11. С. 2397-2402.
7. Лебедев В.П., Окладнов Н.А., Шлыкова М.Н. Определение степени кристалличности полимеров винилхлорида и винилиденхлорида // Высокомолекулярные соединения. 1967. Т. 9, № 3. С. 495-561.
8. Получение и свойства поливинилхлорида / Под ред. Е.Н. Зильбермана. М.: Химия, 1968. 432 с.
9. Минскер К.С., Федосеева Г.Т. Деструкция и стабилизация поливинилхлорида. М.: Химия, 1979. 272 с.
10. Ахметханов Р.М. Превращения полимеров винилхлорида под действием температурно-сдвиговых деформаций: дис. ... д-ра хим. наук. Уфа, 2005. 270 с.
11. Акопян Е.А., Кармилов А.Ю., Никольский В.Г., Хачатрян А.М., Ениколопян Н.С. Упруго-деформационное измельчение термопластов // Доклады Академии наук СССР. 1986. Т. 291, № 1. С. 133-136.
12. Фридман М.Л., Петросян А.З., Казарян Г.А. Реологические свойства и новые процессы переработки вторичных полимерных материалов // Пластические массы. 1986. № 6. С. 16-18.
13. Пат. 1022735 СССР, МПК В 02 С 19/00. Способ измельчения полимерного материала / А.Э. Чебаторевский, Н.С. Ениколопов, В.Г. Никольский, Н.А. Миронов, Г.М. Панченков, И.М. Котов, М.С. Габутдинов, С.И. Свиридов, Ф.Г. Гилимьянов. 2811303, Заявлено 26.06.1979; Оpubл. 15.06.1983.
14. Пат. 1213612 СССР, МПК В 29 В 13/10. Способ получения порошковых материалов из термопластов / Н.С. Ениколопов, В.Г. Никольский, А.Ю. Кармилов, А.И. Непомнящий, Е.М. Бражников, Л.А. Фильмакова. 03582996, Заявлено 05.05.1983; Оpubл. 15.11.1993.
15. Пат. 1120587 СССР, МПК В 29 В 13/10. Устройство для получения тонкого порошка из полимерного материала / Н.С. Ениколопов, В.Г. Никольский, Е.М. Бражников, А.И. Непомнящий, Г.Р. Трубников, О.О. Черпнина. 03592602, Заявлено 17.02.1983; Оpubл. 15.11.1993.



16. Пат. 2038979 РФ, МПК В 29 В 17/00. Устройство для получения порошка из полимерного материала / В.Г. Никольский, Д.А. Горьков. 93020814/05, Заявлено 21.07.1995; Оpubл. 09.07.1995.

17. Пат. 2057013 РФ, МПК В 29 В 17/00. Способ получения порошка из полимерного материала и устройство для его получения / В.Г. Никольский, Д.А. Горьков, В.Н. Балыбердин, М.Р. Рубинштейн, И.И. Халявин, Л.Б. Александрова, Г.П. Машинская, В.А. Рудой. 94 94004110, Заявлено 07.02.1994; Оpubл. 27.03.1996.

18. Пат. 94004110 РФ, МПК В 29 В 17/00. Способ получения порошка из полимерного материала и устройство для его осуществления / В.Г. Никольский, Д.А. Горьков, В.Н. Балыбердин, М.Р. Рубинштейн, И.И. Халявин, Л.Б. Александрова, Г.П. Машинская, В.А. Рудой. Заявлено 07.02.1994; Оpubл. 20.08.1996.

19. Пат. 2173634, МПК В 29 В 13/00. Способ получения порошка из полимерного материала и устройство для осуществления (варианты) / В.Н. Балыбердин, В.Г. Никольский. 2000122139/12, Заявлено 23.08.2000; Оpubл. 20.09.2001. Бюл. 26.

20. Пат. 2167056, МПК В 29 В 13/00. Устройство для переработки полимерного материала / В.Н. Балыбердин, П.А. Богомолов, Е.С. Журкин, В.Г. Никольский. 2000122142/12, Заявлено 23.08.2000; Оpubл. 20.05.2001. Бюл. 14.

## References

1. Bobovich B.B., Devyatkin V.V. *Pererabotka otkhodov proizvodstva i potrebleniya* [Processing of Production and Consumption Waste]. Moscow, Internet inzhiniring Publ., 2000. 498 p. EDN: TJEKLL. [in Russian].

2. Volfson S.A. Vtorichnaya pererabotka polimerov [Polymer Recycling]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya – Vysokomolekulyarnye Soedineniya*, 2000, Vol. 42, No. 11, pp. 2000-2014. [in Russian].

3. Vilnits S.A., Vagina Yu.M. Optimizatsiya protsessa nizkotemperaturnogo izmel'cheniya polimernykh materialov [Optimization of the Process of Low-Temperature Grinding of Polymeric Materials]. *Plasticheskie massy – Plasticheskie Massy*, 1974, No. 12, pp. 19-22. [in Russian].

4. Volfson S.A., Nikolskii V.G. Tverdogaznoe deformatsionnoe razrushenie i izmel'chenie polimernykh materialov. Poroshkovye tekhnologii [Solid-Phase Deformation Destruction and Grinding of Polymeric Materials. Powder Technology]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya – Vysokomolekulyarnye Soedineniya*, 1994, Vol. 36, No. 6, pp. 1040-1056. [in Russian].

5. Enikolopyan N.S., Akopyan E.L., Karmilov A.Yu., Nikolskii V.G., Khachatryan A.M. Poluchenie vysokodispersnykh poroshkovykh materialov na osnove termoplastov i ikh smesei metodom uprugo-deformatsionnogo izmel'cheniya [Obtaining Highly Dispersed Powder Materials Based on Thermoplastics and Their Mixtures by Elastic-Deformation Grinding]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya – Vysokomolekulyarnye Soedineniya*, 1988, Vol. 30, No. 11, pp. 2403-2409. [in Russian].
6. Enikolopyan N.S., Khachatryan A.M., Karmilov A., Nikolskii V.G., Plate I.V., Fedorova E.A., Filipov V.V. Struktura i morfologiya poroshkovykh materialov, poluchennykh metodom uprugo-deformatsionnogo izmel'cheniya [Structure and Morphology of Powder Materials Obtained by Elastic-Deformation Grinding]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya – Vysokomolekulyarnye Soedineniya*, 1988, Vol. 30, No. 11, pp. 2397-2402. [in Russian].
7. Lebedev V.P., Okladnov N.A., Shlykova M.N. Opredelenie stepeni kristalichnosti polimerov vinilkhlorida i vinilidenkhlorida [Determination of the Degree of Crystallinity of Vinyl Chloride and Vinylidene Chloride Polymers]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya – Vysokomolekulyarnye Soedineniya*, 1967, Vol. 9, No. 3, pp. 495-561. [in Russian].
8. *Poluchenie i svoistva polivinilkhlorida* [Preparation and Properties of Polyvinyl Chloride]. Ed. by E.N. Zilbermana. Moscow, Khimiya Publ., 1968. 432 p. [in Russian].
9. Minsker K.S., Fedoseeva G.T. *Destruktsiya i stabilizatsiya polivinilkhlorida* [Destruction and Stabilization of Polyvinyl Chloride]. Moscow, Khimiya Publ., 1979. 272 p. [in Russian].
10. Akhmetkhanov R.M. *Prevrashcheniya polimerov vinilkhlorida pod deistviem temperaturno-sdvigovykh deformatsii: dis. d-ra khim. nauk* [Transformations of Vinyl Chloride Polymers Under the Action of Temperature-Shear Deformations: Doct. Chem. Sci. Diss.]. Ufa, 2005. 270 p. [in Russian].
11. Akopyan E.A., Karmilov A.Yu., Nikolskii V.G., Khachatryan A.M., Enikolopyan N.S. Uprugo-deformatsionnoe izmel'chenie termoplastov [Elastic-Deformation Grinding of Thermoplastics]. *Doklady Akademii nauk SSSR – Soviet Physics. Doklady*, 1986, Vol. 291, No. 1, pp. 133-136. [in Russian].
12. Fridman M.L., Petrosyan A.Z., Kazaryan G.A. Reologicheskie svoistva i novye protsessy pererabotki vtorichnykh polimernykh materialov [Rheological Properties and New Processes for Processing Secondary Polymer Materials]. *Plasticheskie massy – Plasticheskie Massy*, 1986, No. 6, pp. 16-18. [in Russian].
13. Chebatorevskii A.E., Enikolopov N.S., Nikolskii V.G., Mironov N.A., Panchenkov G.M., Kotov I.M., Gabutdinov M.S., Sviridov S.I., Gilim'yanov F.G. *Sposob izmel'cheniya polimernogo materiala* [Method for Grinding Polymeric Material]. Patent USSR, No. 1022735, 1983. [in Russian].

14. Enikolopov N.S., Nikolskii V.G., Karmilov A.Yu., Nepomnyashchii A.I., Brazhnikov E.M., Fil'makova L.A. *Sposob polucheniya poroshkovykh materialov iz termoplastov* [Method for Producing Powder Materials from Thermoplastics]. Patent USSR, No. 1213612, 1993. [in Russian].

15. Enikolopov N.S., Nikolskii V.G., Brazhnikov E.M., Nepomnyashchii A.I., Trubnikov G.R., Cherpina O.O. *Ustroistvo dlya polucheniya tonkogo poroshka iz polimernogo materiala* [Device for Obtaining Fine Powder from Polymer Material]. Patent USSR, No. 1120587, 1993. [in Russian].

16. Nikolskii V.G., Gorkov D.A. *Ustroistvo dlya polucheniya poroshka iz polimernogo materiala* [Device for Obtaining Powder from Polymeric Material]. Patent RF, No. 2038979, 1995. [in Russian].

17. Nikolskii V.G., Gorkov D.A., Balyberdin V.N., Rubinshtein M.R., Khalyavin I.I., Aleksandrova L.B., Mashinskaya G.P., Rudoi V.A. *Sposob polucheniya poroshka iz polimernogo materiala i ustroistvo dlya ego polucheniya* [Method for Producing Powder from a Polymeric Material and a Device for its Production]. Patent RF, No. 2057013, 1996. [in Russian].

18. Nikolskii V.G., Gorkov D.A., Balyberdin V.N., Rubinshtein M.R., Khalyavin I.I., Aleksandrova L.B., Mashinskaya G.P., Rudoi V.A. *Sposob polucheniya poroshka iz polimernogo materiala i ustroistvo dlya ego osushchestvleniya* [Method for Producing Powder from a Polymeric Material and a Device for its Implementation]. Patent RF, No. 94004110, 1996. [in Russian].

19. Balyberdin V.N., Nikolskii V.G. *Sposob polucheniya poroshka iz polimernogo materiala i ustroistvo dlya osushchestvleniya (varianty)* [Method for Producing Powder from Polymeric Material and Device for Implementation (Versions)]. Patent RF, No. 2173634, 2001. [in Russian].

20. Balyberdin V.N., Bogomolov P.A., Zhurkin E.S., Nikolskii V.G. *Ustroistvo dlya pererabotki polimernogo materiala* [Device for Processing Polymeric Material]. Patent RF, No. 2167056, 2001. [in Russian].

## **Информация об авторах**

### **Information about the authors**

**Степанов Александр Анатольевич**, студент кафедры «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

**Alexander A. Stepanov**, Student of Department «Applied and Natural Science Disciplines», Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia  
AAStepanov82@mail.ru

**Аминова Гулия Карамовна**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

**Gulia K. Aminova**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Applied and Natural Sciences Department, Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia  
aminovagk@inbox.ru

**Паймурзин Марат Мансурович**, студент кафедры «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

**Marat M. Paimurzin**, Student of Department «Applied and Natural Science Disciplines», Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia  
Maratpm77.student@gmail.com

**Сайфигалиев Вадим Мадирович**, студент кафедры «Прикладные и естественнонаучные дисциплины», Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

**Vadim M. Saifigaliev**, Student of Department «Applied and Natural Science Disciplines», Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

Vadim.sayfigaliev@gmail.com

**Ахметханов Ринат Маснавич**, доктор химических наук, профессор, декан химического факультета, Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

**Rinat M. Akhmetkhanov**, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Chemistry, Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia  
rimasufa@rambler.ru

**Нафикова Райля Фаатовна**, доктор технических наук, профессор, заведующая лабораторией технологии и переработки поливинилхлорида, АО «Башкирская содовая компания», Стерлитамак, Россия

**Railia F. Nafikova**, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Polyvinyl Chloride Technology and Processing Laboratory, Bashkir Soda Company JSC, Sterlitamak, Russia

Taiffa27@mail.ru

**Степанова Лена Булатовна**, кандидат технических наук, ведущий инженер лаборатории технологии и переработки поливинилхлорида, АО «Башкирская содовая компания», Стерлитамак, Россия

**Lena B. Stepanova**, Candidate of Engineering Sciences, Leading Engineer of Polyvinyl Chloride Technology and Processing Laboratory, Bashkir Soda Company JSC, Sterlitamak, Russia

Lenadez@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 13.03.2023; одобрена после рецензирования 22.02.2023; принята к публикации 31.03.2023.*

*The article was submitted 13.03.2023; approved after reviewing 22.02.2023; accepted for publication 31.03.2023.*