

## ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА ИЗ ОТХОДОВ ПОЛИСТИРОЛА

Шипицин Ю.С.,  
Галкина Д.В.,  
Лим Л.А.,  
Сайдакова К.В.,  
Щёлоков А.И.

ДВФУ, г. Владивосток, Россия

*Для получения волокнистого материала, имеющего потенциал применения в качестве теплоизоляции, была применена технология бессплового центробежного прядения, разработана и сконструирована лабораторная установка. Получены образцы с диаметрами волокон от 8,35 до 10,61 мкм, а также изучен процесс сушки волокнистого материала после его изготовления.*

**Ключевые слова:** отходы полистирола, технология вторичной переработки, волокнистый материал, центробежное прядение.

Образование и накопление отходов производства и потребления является глобальной экологической, социальной и экономической проблемой. Увеличение населения Земли и неукротимый рост потребления природных ресурсов ставит во главу угла технологии ресурсо- и энергосбережения, от которых, по большому счету, зависит устойчивое развитие социальных и технологических систем. Отрасль вторичной переработки отходов играет важную роль в области сохранения окружающей среды и улучшения ее экологического состояния. В настоящее время социальные и экономические механизмы технологий вторичной переработки отходов еще формируются. Разные страны мира ищут свой путь, обусловленный структурой производства и состоянием экономики. Несомненно, то, что решение проблемы переработки отходов невозможно только законодательными и воспитательными мерами. Требуется совершенствование технологий и встраивание их в экономическую модель общества, вовлечение отходов в полноценный оборот сырья и материалов. Вторичная переработка отходов – это менее затратный способ получения ресурсов по сравнению с производством первичного материала.

Сырьевая база данной отрасли достигает значительных объемов, так по данным [1] к началу 2018 года в Российской Федерации было накоплено порядка 38,073 млрд тонн отходов производства и потребления, из них 55-60 млн тонн твердых коммунальных отходов (ТКО). Несмотря на обширную сырьевую базу, вторичная переработка отходов остается на низком уровне. Так доля полимерных отходов в общем объеме ТКО составляет от 5 до 15 % в зависимости от региона [2], а утилизируется из них не более 20-25 % [3].

Причина тому – несовершенство имеющихся технологий и неэффективные экономические модели использования потенциала отрасли.

Рассмотрим подробнее такой повсеместно распространенный материал как пенополистирол (ППС), часто называемый в обиходе пенопластом. Из него изготавливают одноразовую посуду, подложки и термоконтейнеры, демпферную упаковку, строительные панели и теплоизоляцию. Доля полистирола (ПС) в общей массе полимерных отходов составляет 8 % [4]. При этом технологии переработки отходов ППС в РФ мало распространены. На Дальнем Востоке предприятий подобного профиля нет вообще. Везти отходы с чрезвычайно низкой объемной плотностью с Дальнего Востока в центральную часть России невыгодно экономически. Следовательно, требуется разработка технологии переработки отходов ПС в готовый товарный продукт, востребованный в месте его производства.

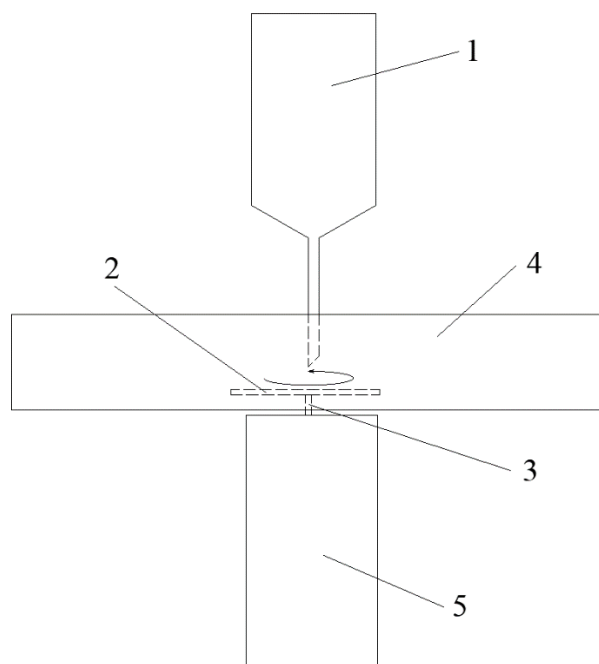
Целью данной работы является разработка технологии переработки отходов ПС в волокнистый материал, пригодный для использования в качестве теплоизоляции. В основе технологии лежит важное отличие ПС от всех других распространенных и широко используемых полимеров – хорошая растворимость в обычных органических растворителях. Для формования волокон из раствора представляется перспективной и имеющей большой потенциал к масштабированию технология бессоплового центробежного прядения [5, 6]. Нам представляется, что данная технология нетребовательна к качеству сырья и может быть реализована при наличии достаточно значительных примесей, что актуально при переработке отходов.

Для получения образцов волокнистого материала из растворов полистирола была сконструирована лабораторная установка (см. Рисунок 1), состоящая из питающего устройства 1, с помощью которого подается исходный раствор на распределительную насадку 2, посредством несущего вала 3 приводимую в движение двигателем 5, расположенным вертикально под камерой прядения, оснащенной радиальным коллектором 4, необходимым для сбора готового продукта.

Установлено, что на формирование волокна влияет множество факторов: вязкость / концентрация растворов ПС, форма и диаметр насадки, скорость вращения распределяющего устройства, упругость паров растворителя. Предварительными экспериментами были выбраны подходящие концентрации ПС, растворитель и скорость подачи раствора, тип насадки.

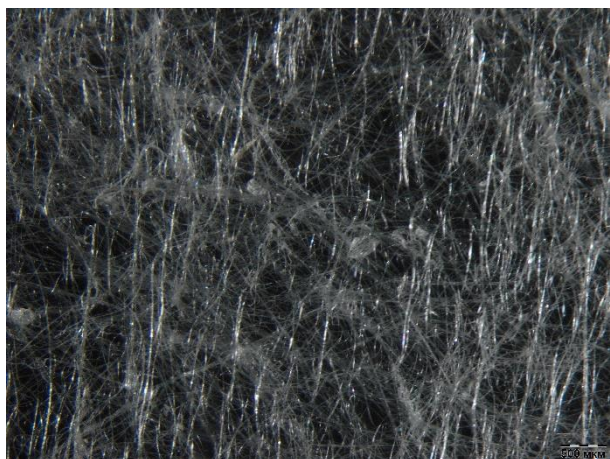
В качестве исходного сырья использовали вторичный ППС, который растворяли в хлороформе (хч) и получали раствор с концентрацией 0,25 г/мл. Раствор с объемным расходом 0,42 мл/с подавали на насадку в виде плоского диска при частоте вращения 2000 об./мин. Эксперименты проводили в вытяжном шкафу при температуре 23 °С.

В результате были получены образцы микроволокон со средним диаметром 8,35 – 10,61 мкм (см. Рисунки 2 и 3), при этом интервал распределения диаметров волокон составил от 3,52 до 22,84 мкм. Кривая распределения близка к нормальной.

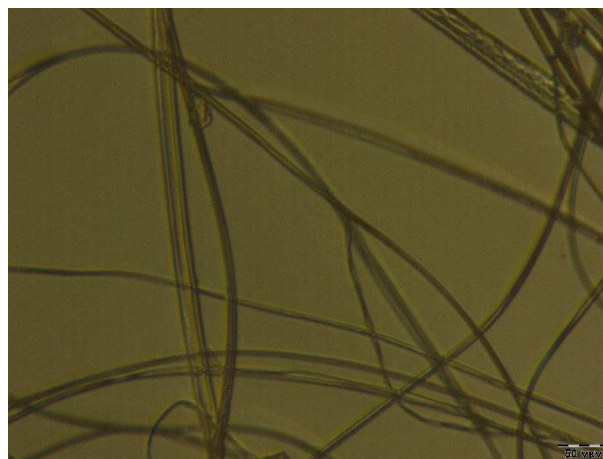


1 – питающее устройство; 2 – распределяющая насадка; 3 – несущий вал; 4 – радиальный коллектор; 5 – двигатель

**Рис. 1** – Лабораторная установка



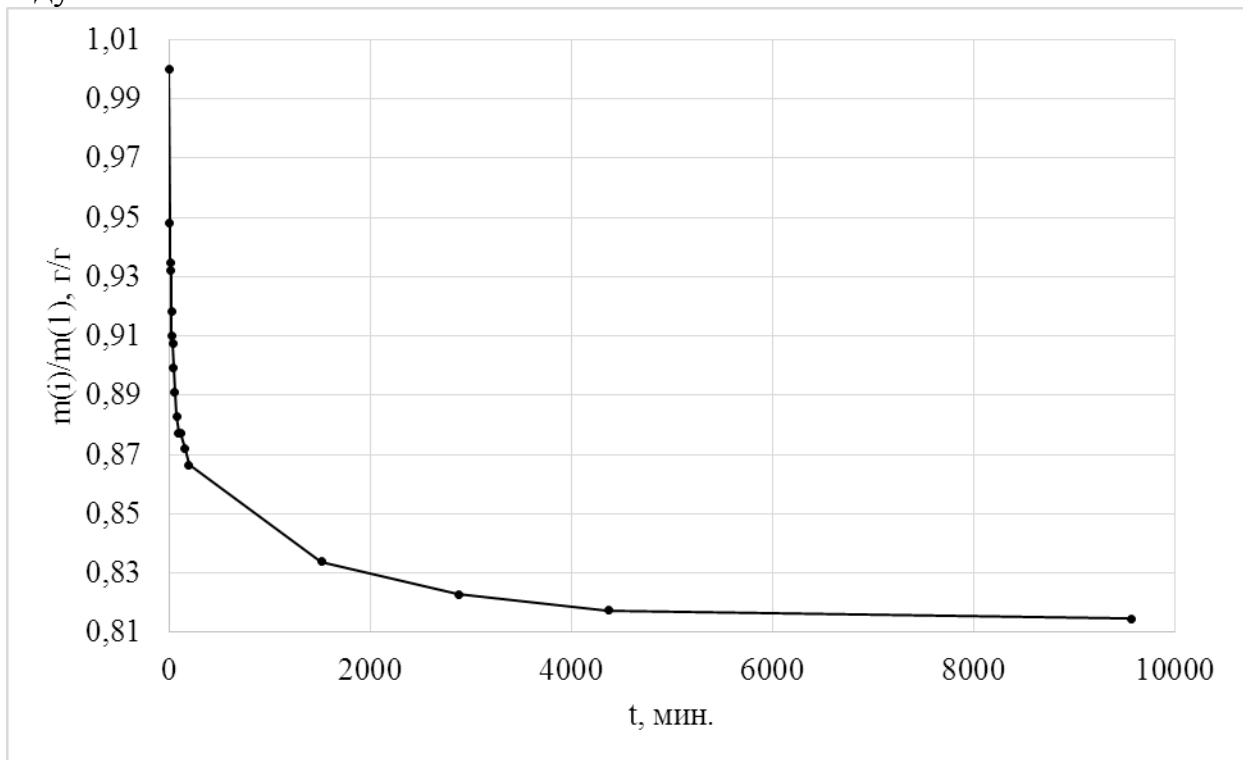
**Рис. 2** – Микрофотография волокна из полистирола (увеличение 20 крат)



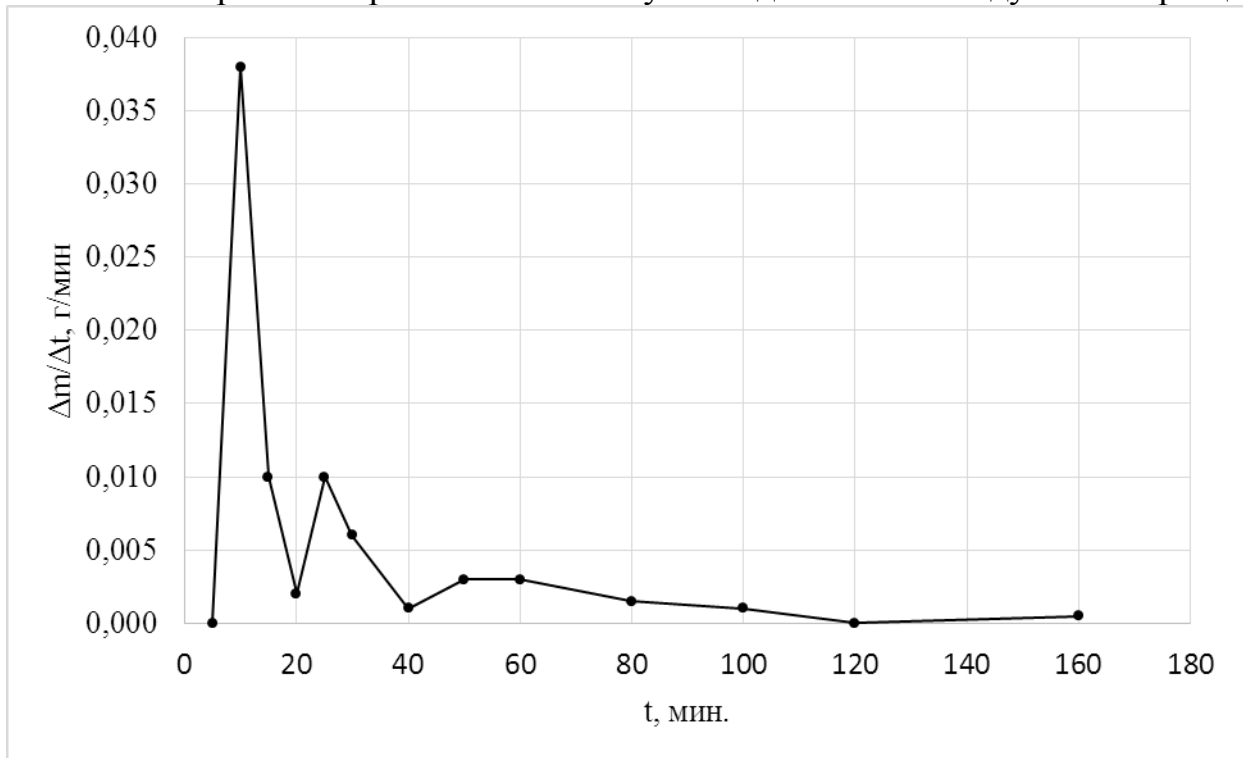
**Рис. 3** – Микрофотография волокна из полистирола (увеличение 200 крат)

Формование волокна происходит в процессе отрыва и вытягивания капли от края распределяющего диска за счет центробежных сил. Затем за счет испарения растворителя образуются микроволокна, причем структура волокна, скорее всего, имеет значительные релаксационные напряжения, так как растворитель испаряется в первую очередь с поверхности волокон, внутри волокна остается вязкий раствор. Исследованиями кинетики сушки полученных волокнистых материалов установлено, что 62,77 % растворителя удаляется за 1 час 46 минут, причем доля испарившегося хлороформа достигает 95 % только

через 47 часов 58 минут (см. Рисунки 4 и 5) при экспозиции на открытом воздухе.



**Рис. 4** – Интегральная кривая кинетики сушки одного из исследуемых образцов



**Рис. 5** – Дифференциальная кривая кинетики сушки одного из исследуемых образцов

Скорость испарения растворителя имеет важное значение для разработки растворных технологий переработки отходов ПС.

Таким образом, проведенные исследования показали, что технология бесшпального центробежного прядения пригодна для вторичной переработки отходов полистирола в волокна, формирующие нетканый волокнистый материал, имеющий потенциал использования его в качестве теплоизоляции. Установлена необходимость удаления из получаемого материала остатков растворителя для максимально полной рекуперации растворителей и разработки замкнутой безотходной технологии.

### Список литературы

1 Информационное агентство ТАСС [Электронный ресурс] / Разработчик: Федеральное государственное унитарное предприятие «Информационное телеграфное агентство России (ИТАР-ТАСС)». – Режим доступа : <https://tass.ru> свободный. – Загл. с экрана.

2 Ведущий информационно-аналитический центр в российской нефтехимической отрасли «Рупек» [Электронный ресурс] / Разработчик : Информационно-аналитический центр «Рупек». – Режим доступа : <http://www.rupec.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

3 Интернет-портал «Российской газеты» [Электронный ресурс] / Разработчик : Студия веб-дизайна «Web-мастерская». – Режим доступа : <http://www.rg.ru>, свободный. – Загл. с экрана.

4 ИТС 15-2016. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания термическим способом (сжигание отходов). – Введ. 01.07.2017. – М. : Бюро НТД, 2016. – 198 с.

5 Effective method for high-throughput manufacturing of ultrafine fibres via needleless centrifugal spinning / H. Chen, H. Xu, J. Sun, C. Liu, B. Yang // Nano Letters. – 2015. – Vol. 10, N. 2. – P. 81-84.

6 Polymer Nanofibers via Nozzle-Free Centrifugal Spinning / R. T. Weitz, L. Harnau, S. Rauschenbach, M. Burghard, K. Kern // Nano Letters – 2008. – Vol. 8, N. 4. – P. 1187-1191.