

ПОЛУЧЕНИЕ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ ЭКСТРУЗИОННО-ДУТЬЕВЫМ СПОСОБОМ ИЗ ВТОРИЧНЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ

В. М. Святский¹, М. В. Соколов², Б. А. Сентяков³

*Кафедры: «Технология машиностроения и приборостроения» (1);
«Ракетостроение» (3), Воткинский филиал ФГБОУ ВО
«Ижевский государственный технический университет
имени М. Т. Калашникова», г. Воткинск, Удмуртская республика, Россия;
кафедра «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»,
ФГБОУ ВО «ТГТУ» (2), г. Тамбов, Россия; svlad-2000@yandex.ru*

Ключевые слова: волокнистый материал; вторичный термопласт; производительность процесса волокнообразования; экспериментальная установка; экструзионно-дутьевой способ.

Аннотация: Исследован процесс получения волокнистых материалов из вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТ) экструзионно-дутьевым способом. Представлена схема и фотография экспериментальной установки с плавильным агрегатом экструзионного типа и подробно рассмотрен процесс получения волокнистых материалов экструзионно-дутьевым способом. В результате экспериментального исследования процесса получения волокнистых материалов экструзионно-дутьевым способом установлено, что ее производительность пропорциональна частоте вращения шнека экструдера. Доказано, что на производительность процесса волокнообразования влияет тип вторичного ПЭТ.

Процесс получения волокнистых материалов из вторичных термопластов можно реализовать двумя способами. Первый заключается в получении волокнистых материалов вертикальным способом (вертикально-дутьевой), который включает истечение струи расплава из плавильного агрегата под гидростатическим давлением с последующим раздувом ее попутным воздухом при помощи дутьевой головки с кольцевым сходящимся соплом [1]; второй – в получении волокнистых материалов горизонтальным способом (экструзионно-дутьевой), при этом происходит истечение струи расплава из экструдера с последующим раздувом ее потоком воздуха, направленным перпендикулярно струе, с помощью дутьевой головки щелевого типа [2].

Каждый из этих способов имеет свои преимущества и недостатки [3]:

- производительность экструзионно-дутьевого способа получения волокнистых материалов из вторичных термопластов в 2...5 раз выше, чем у вертикально-дутьевого;
- эксплуатационная надежность и долговечность оборудования, используемого при экструзионно-дутьевом способе, выше, чем у вертикально-дутьевого;
- безопасность в эксплуатации оборудования у первого способа существенно выше, чем у второго, это обусловлено отсутствием необходимости повышать давление расплавленного сырья выше атмосферного;

– экономичность оборудования, реализующего вертикальный способ получения волокнистых материалов, заметно выше, чем у экструзионно-дутьевого.

В связи с низкой производительностью вертикально-дутьевого способа получения волокнистых материалов из вторичных термопластов, далее более подробно рассмотрим экструзионно-дутьевой.

Экспериментальная установка (рис. 1) для реализации экструзионно-дутьевого способа получения волокнистых материалов содержит экструдер для плавления исходного полимерного сырья – первичного или вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТ). По аналогии с известными конструкциями экструдеров [4], установка выполнена в виде цилиндрической трубы с наружными нагревательными элементами, внутри которой размещен рабочий орган – однозаходный шнек. Экструдер содержит экструзионную головку для формирования струи расплавленного полимера, узел загрузки исходного сырья в виде бункера, силовой привод, содержащий электродвигатель и редуктор для вращения шнека, и электронную систему управления, включающую термодатчики и ПИД-регуляторы для задания и поддержания необходимого температурного режима в рабочих полостях экструдера.

Точный аналитический расчет шнековой пары – основного рабочего органа экструдера – затруднителен в связи с разнообразием сложных форм экструдеров и свойств перерабатываемого материала. Расчет шнековых экструдеров в настоящее время проводится по приближенным, зачастую эмпирическим, формулам с большим количеством предположений. Так, в работе [5] распределение напряжений сдвига между корпусом экструдера и валом шнека полагается линейным. В работе [4] приводятся основанные на опытных данных аналитические зависимости давления аномально вязкой среды от скорости движения, угловой скорости вращения, производительности экструдера.

В работе [6] даются практические рекомендации по выбору шага винтовой нарезки шнека, глубины винтового канала, приводится эмпирическая формула для расчета критической частоты вращения шнека, а также других величин, таких как максимальный прогиб, максимальные касательные напряжения, производительность.

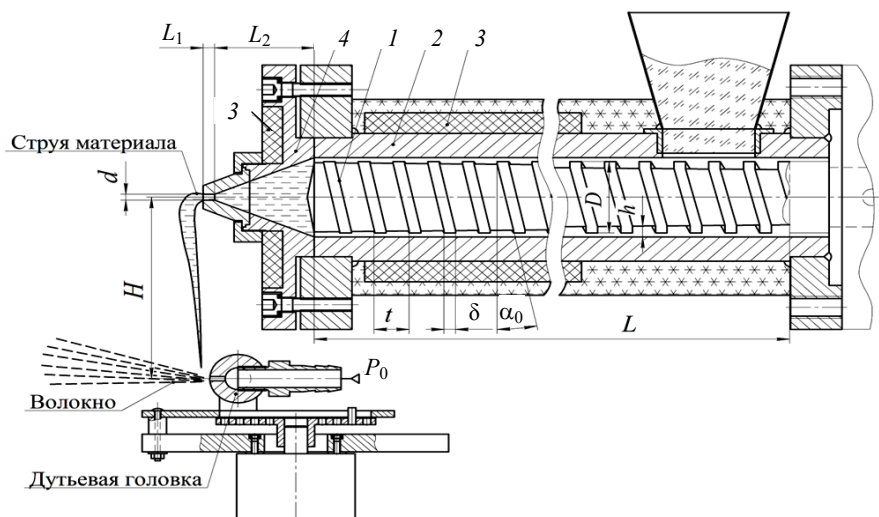


Рис 1. Схема экструзионно-дутьевой установки с расчетной схемой плавильного агрегата (экструдера):

1 – шнек; 2 – цилиндр; 3 – электрические нагревательные элементы;
4 – экструдерная головка

Создание автоматизированного инструмента проектирования шнековых устройств, предоставляющего возможность проведения теоретически обоснованных кинематических и прочностных расчетов, расчетов износоустойчивости и напряженного состояния в различных точках перерабатываемого материала, позволит повысить качество принимаемых проектных решений при их синтезе, увеличит точность расчета и его информативность для проектировщика. Создание новых конструктивных решений с применением методов виртуальной инженерии позволяет экономить время и средства, связанные с проектированием, за счет применения компьютерного моделирования [7].

В основу рекомендаций по расчету и проектированию опытной модели экструдера для плавления исходного полимерного сырья положены результаты работы Шевченко М. Н. [8], в которой предложена система автоматизированного проектирования шнековых экструдеров, включающая в себя следующие функции:

1. Структурный синтез конструкции. Используя заданные примитивы элементов экструдера, составляем его структурную схему. На этом этапе возможен выбор различной геометрии (плоские или гофрированные стенки, цилиндрическая или конусоидальная форма корпуса и т.п.). База данных примитивов, необходимая для этой функции, должна содержать данные, предопределенные разработчиком системы.

2. Редактирование существующих решений. Элементы экструдера, выбранные в процессе структурного синтеза, как правило, имеют настраиваемые параметры, такие как наклон винтовой линии, толщина лопастей. Система позволяет варьировать данные параметры в допустимых, с точки зрения выполнимости конструкции, пределах.

Результаты регистрируются в базе данных конструкций.

3. Инженерные расчеты. Система автоматизированного проектирования выполняет необходимые расчеты, исходя из заданных пользователем структуры, параметров конструкции и технологического режима (рабочее давление перед матрицей, скорость вращения шнека и т. п.), свойств перерабатываемого материала. Система должна обеспечивать возможность таких видов расчетов, как тепловые, прочностные, расчеты напряженно-деформационного состояния в различных точках перерабатываемого материала и расчеты износоустойчивости. Результаты расчетов выводятся на экран в виде графиков зависимостей.

4. Анализ влияния параметров. Система автоматизированного проектирования позволяет отобразить графики зависимостей выбранных параметров в соответствии с результатами инженерного расчета (например, зависимость момента от угловой скорости вращения или наклона винтовой линии).

5. Моделирование технологического процесса, в результате возникновения в процессе производства нестандартных ситуаций, таких как внезапное увеличение или уменьшение давления, предельные температурные условия, применение установки для нового материала с принципиально иными свойствами, в результате чего показатели эффективности экструдера могут меняться скачкообразно. Система автоматизированного проектирования позволяет смоделировать поведение проектируемого решения в нестандартных ситуациях.

6. Разработка документации. В соответствии с выбранными стандартами изготовления конструкторской документации система производит проектные чертежи, необходимые для выполнения спроектированного решения, и пояснительные записки к ним.

Независимо от того, как будут выполняться расчет и проектирование опытной модели экструдера (в автоматическом режиме по указанной выше методике или без применения специальной программы), основное внимание следует уделить выбору параметров шнека, который выполняет функции захвата, транспортирования, перемешивания, нагревания, плавления и подачи исходного сырья

в экструзионную головку, из которой струя расплавленного полимера должна выходить в атмосферу. Расчетная схема шнека, представленная на рис. 1., включает следующие основные геометрические параметры: L – длина рабочей части шнека; D – диаметр гребня шнека; h – глубина винтового канала; t – шаг винта; δ – толщина гребня; α_0 – угол подъема винтовой линии.

При переработке термопластов в основном применяют шнеки с постоянным шагом и переменной глубиной канала. Такая геометрия дает большую производительность, кроме того, шнеки с постоянным шагом просты в изготовлении. Шнек можно разделить на три основные зоны: загрузки, сжатия и дозирования. Участок, где перемещаются нерасплавленные частицы полимера, называют зоной загрузки; где полимер плавится и гомогенизируется – зоной сжатия; а участок, который обеспечивает подачу расплава в головку экструдера, – зоной дозирования. Конструкция шнека определяет геометрию каждой из зон. Поэтому в зависимости от того, какой материал будет перерабатываться, подбирается шнек определенной конфигурации [6].

При расчете производительности экструдера следует иметь в виду, что определяющее влияние на производительность машины оказывает дозирующая зона шнека. Производительность дозирующей зоны сильно зависит от геометрических параметров самого шнека. В целом производительность экструдера зависит не только от геометрических размеров шнека и числа его оборотов, но и в значительной степени от конструкции экструзионной головки [8].

На основе гидродинамического подхода к анализу взаимодействия рабочих органов с перерабатываемым материалом в дозирующей зоне экструдера принято рассматривать три составляющие потока движения расплава: прямой (вынужденный) – поток расплава, движущийся по межвитковому пространству в направлении от зоны загрузки к выходной зоне вдоль оси шнека, возникающий вследствие вращения шнека относительно цилиндра; обратный – поток расплава, движущийся в противоположном направлении и вызванный перепадом давления по длине шнека, и поток утечек, движущийся в зазоре между наружной поверхностью витков шнека и внутренней поверхностью материального цилиндра в направлении от зоны дозирования.

Подобное разделение на три потока в канале шнека следует считать условным, так как противоток возникает практически редко, а чаще имеет место некоторое ограничение прямого потока, возникающее в результате влияния сопротивления головки.

Объемную производительность экструдера Q , м³/с, можно определить по формуле [9]

$$Q = \frac{\varphi K n}{(K + \beta + \gamma)}, \quad (1)$$

где K – коэффициент геометрической формы канала экструзионной головки, м³; n – частота вращения шнека, с⁻¹; φ , β , γ – константы прямого, обратного потоков и потока утечек, м³.

Константы прямого, обратного потоков и потока утечек для зоны дозирования шнека с постоянными геометрическими размерами определяются по формулам [9]:

$$\varphi = [\pi D h (t - i \delta) \cos^2 \alpha] / 2; \quad (2)$$

$$\beta = [h^3 (t - i \delta) \sin 2\alpha] / 24 L_d; \quad (3)$$

$$\gamma = [\pi^2 D^2 z^3 \operatorname{tg} \alpha \sin \alpha] / 10 L_d \delta, \quad (4)$$

где i – число заходов винтовой нарезки; z – радиальный зазор между гребнем шнека и рабочим цилиндром, м; L_d – длина зоны нагнетания (зоны дозирования), м.

Коэффициент геометрической формы канала экструзионной головки K определяется по формуле [8]

$$K = \left[\sum (1/k_1 + 1/k_2) \right]^{-1}, \quad (5)$$

где k_1 и k_2 – коэффициенты геометрической формы отдельных участков канала, см³.

Для получения цилиндрической струи расплавленного полимера достаточно, чтобы экструзионная головка имела всего лишь два участка: внутреннюю полость в виде конуса с центральным углом 20...30°, больший диаметр которого равен диаметру цилиндра, в котором размещен шнек, а меньший – диаметру требуемой струи, и цилиндрическую часть с диаметром, равным диаметру требуемой струи, и длиной не более этого диаметра.

Коэффициенты геометрической формы таких участков определяются соответственно по формулам [8]:

$$k_1 = \pi D^4 / 128 L_1; \quad (6)$$

$$k_2 = 3\pi D^3 d^3 / \left[128 L_2 (D^2 + Dd + d^2) \right]. \quad (7)$$

Исходные данные для расчета шнека должны быть подобраны таким образом, чтобы появилась возможность обеспечить производительность экструдера в пределах 10...30 кг/ч расплавленного полимера, а струя должна быть диаметром в пределах 2...6 мм. При расчете и проектировании опытной модели экструдера следует принимать во внимание рекомендации [10], представленные в табл. 1.

Таблица 1

Рекомендации по назначению основных параметров экструдеров

Параметр	Рекомендации
Отношение длины к диаметру шнека, L/D	20 и менее для питающих и плавящих экструдеров
	25 для раздувного формования, литья под давлением
	30 и больше для высокопроизводительных экструдеров и для экструдеров с зоной дегазации
Стандартный диаметр, D , мм	20, 25, 30, 35, 40, 50, 60, 90, 120, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500 и 600
Угол наклона винтовой линии, α_0 , °	17,65° для прямоугольной нарезки шнека, где $t = D$
	Новая тенденция: $0,8 < t/D < 1,2$
Глубина канала в зоне дозирования, h , мм	(0,05...0,07) D для $D < 30$
	(0,02...0,05) D для $D > 30$
Зазор между гребнем шнека и материальным цилиндром, δ , мм	0,1 для $D < 30$ мм
	0,15 для $D > 30$ мм
Скорость вращения шнека, N , об/с	1...2 (60...120 об/мин) для больших экструдеров
	1...5 (60...300 об/мин) для маленьких экструдеров
Скорость экструзии, м/с, $V_b = kDN$	0,5 для большинства полимеров
	0,2 для непластифицированного ПВХ
	1,0 для ПЭНП

Представленная методика расчета производительности плавильного агрегата позволяет на стадии проектирования определить основные геометрические параметры плавильной части оборудования и выбрать рациональные режимы технологического процесса на действующем оборудовании, что позволит исключить дорогостоящие натурные испытания.

Для исследования влияния параметров машин, агрегатов и процессов получения волокнистых материалов экструзионно-дутьевым способом из вторичных термопластов по полученным расчетным данным был изготовлен экструдер, для которого также разработаны и изготовлены экструзионные и дутьевые головки [11, 12].

Экспериментальная установка включает в себя плавильный агрегат – экструдер (рис. 2, *а*) с производительностью 55 кг/ч (по паспорту), рабочим диаметром шнека 45 мм. Вращение шнека реализуется через редуктор с передаточным отношением $i = 16$, при помощи электродвигателя мощностью 7,5 кВт, частота вращения которого управляется при помощи частотного преобразователя. Вокруг наружной цилиндрической поверхности экструдера размещены три нагревательных элемента полукольцевого типа мощностью по 1 кВт. К переднему фланцу экструдера устанавливается экструдерная головка, в которую вмонтирован нагревательный элемент мощностью 0,8 кВт (рис. 2, *б*). Экструдерная головка предназначена для формирования из расплава полимера – струи. Температура расплавленного термопласта контролируется с помощью датчиков-термопар, которые соединены с релейным регулятором температуры. Температура расплавленного материала в экструдере контролируется в автоматическом режиме, при этом максимальный предел температуры составляет 400 °С. Под экструдерной головкой установлена дутьевая головка щелевого типа для раздува струи расплавленного материала на элементарные волокна. Кроме этого, экспериментальная установка содержит блок подготовки воздуха [13], состоящий из компрессора, ресивера, фильтра – влагомаслоотделителя, пневматического регулятора давления, манометра с пределом измерения 0,4 МПа класса точности 0,6 (на рис. не показаны).

Экспериментальная установка для получения волокнистых материалов экструзионно-дутьевым способом работает следующим образом. Перед началом работы вторичное ПЭТ сырье (гранулы или флексы) должно быть предварительно просушено. Работа начинается с разогрева плавильного агрегата до рабочей температуры 290...310 °С, затем проводится загрузка исходного сырья и включается шнек. Исходное сырье добавляется по мере выработки.

После начала истечения расплавленной массы через сопло (фильеру) плавильного агрегата (экструдера) включается подача сжатого воздуха к дутьевой головке щелевого типа, начинается процесс волокнообразования. Образованные дутьевым способом элементарные волокна осаждаются на поверхности ленточного конвейера, формируя холст (рис. 3).

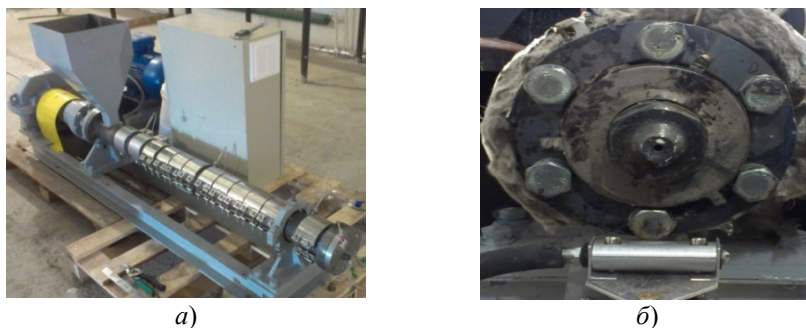


Рис 2. Экспериментальная установка для исследования процесса получения волокнистых материалов экструзионно-дутьевым способом:
а – экструдер; *б* – экструзионная головка

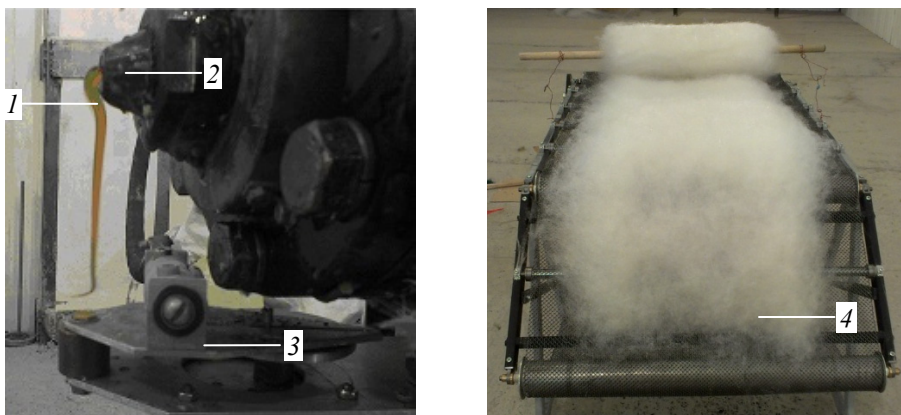


Рис 3. Реализация процесса раздува струи расплава при формировании холста из элементарных волокон экструзионно-дутьевым способом:
 1 – струя; 2 – фильера; 3 – дутьевая головка; 4 – холст

В процессе образования струи расплавленного полимерного сырья выполнялось определение необходимых температуры нагревания экструдера и скорости вращения шнека. При этом установлено, что для получения на выходе из экструдерной головки одиночной струи расплавленного материала, имеющей достаточную температуру для раздува ее с образованием волокна, необходимо обеспечить дополнительное нагревание экструдерной головки. Заметим, что для получения на выходе из экструдерной головки других изделий, например, непрерывного твердого изделия, круглого или любого другого профиля, такого нагревания не требуется. В связи с этим все используемые в экспериментах экструдерные головки были оснащены встроенными в них дополнительными нагревательными элементами с возможностью нагревания расплавленного материала до температуры 270...320 °С [14].

В процессе исследования экспериментальной установки производительность составила: при использовании гранулированного вторичного сырья до 48 кг/ч; флексов – до 32 кг/ч, при скорости вращения шнека 80 об/мин. Результаты экспериментального исследования производительности экструзионно-дутьевого способа получения волокнистых материалов в зависимости от типа сырья представлены на рис. 4. При этом качество волокнистого материала при использовании гранул или флексов практически одинаково.

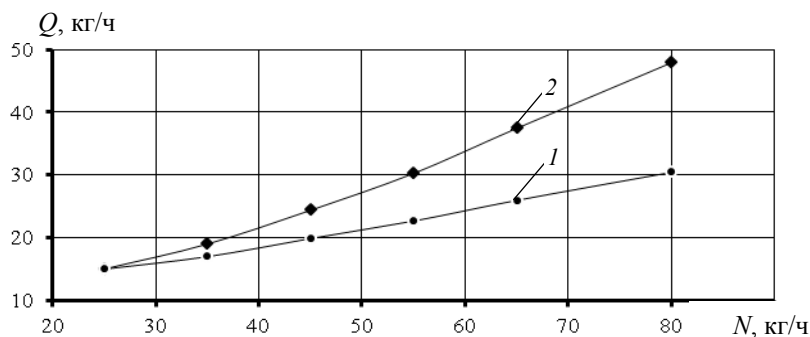


Рис. 4. Результаты исследования производительности экспериментальной установки в зависимости от типа вторичного ПЭТ для фильеры диаметром $d_{\phi} = 4$ мм:
 1 – флексы; 2 – гранулированное сырье

Таким образом, в ходе экспериментального исследования процесса получения волокнистых материалов экструзионно-дутьевым способом установлено, что производительность экспериментальной установки пропорциональна частоте вращения шнека экструдера, а также доказано, что на производительность процесса волокнообразования влияет тип вторичного ПЭТ. Полученные результаты могут представлять интерес для инженеров, занимающихся переработкой термопластов экструзионно-дутьевым способом.

Список литературы

1. Сентяков, Б. А. Процессы получения и практического использования полиэтиленерефталатного волокна из вторичного сырья : монография / Б. А. Сентяков [и др.]. – Старый Оскол : Тонкие наукоемкие технологии, 2014. – 152 с.
2. Святский, В. М. Структурная схема процесса производства изделий из волокнистых материалов на основе вторичного синтетического сырья / В. М. Святский, Б. А. Сентяков // Автоматизация. Современные технологии. – 2015. – № 11. – С. 3 – 7.
3. Святский, В. М. Моделирование процесса формообразования холстов из волокнистых материалов / В. М. Святский [и др.] // Вестн. Ижевского гос. техн. ун-та им. М. Т. Калашникова. – 2015. – № 2 (66). – С. 17 – 20.
4. Полищук, В. Ю. Проектирование экструдеров для отраслей АПК / В. Ю. Полищук, В. Г. Коротков, Т. М. Зубкова // Екатеринбург : Уральское отделение РАН, 2003. – 201 с.
5. Абрамов, О. В. Научное обеспечение процесса экструзии модельных сред на основе крахмалосодержащего сырья и разработка высокоэффективного оборудования для его реализации : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.12 / О. В. Абрамов. – Воронеж, 2009. – 47 с.
6. Соколов, М. В. Автоматизированное проектирование и расчет шнековых машин : монография / М. В. Соколов, А. С. Клинков, О. В. Ефремов, П. С. Беляев, В. Г. Однолько. – М. : Издательство Машиностроение-1, 2004. – 248 с.
7. Ли, К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) / К. Ли. – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.
8. Шевченко, М. Н. Математическое обеспечение САПР шнековых экструдеров / М. Н. Шевченко // Вестник Оренбургского гос. ун-та. – 2010. – № 5 (111). – С. 145 – 149.
9. Торнер, Р. В. Оборудование заводов по переработке пластмасс / Р. В. Торнер, М. С. Акутин. – М. : Химия, 1986. – 400 с.
10. Экструзия [Электронный ресурс] // Официальный сайт ООО «Пластик Текнолоджиз». – Режим доступа : <http://ptl.by/index.pl?act=PRODUCT&id=21> (дата обращения 16.07.2018).
11. Пат. 2530065 Российская Федерация, МПК С1 С03В 37/06 (2006/01). Волокнообразующий механизм / Сентяков Б. А., Святский В. М., Святский М. А., Ширококов К. П., Гараев С. А. ; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова» – 2013120171/03 ; заявл. 30.04.2013 ; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 28.
12. Святский, В. М. Формообразование холстов из синтетических волокнистых материалов / В. М. Святский, К. Б. Сентяков, Б. А. Сентяков, М. А. Святский // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2017. – Т. 23, № 2. – С. 300 – 306. doi: 10.17277/vestnik.2017.02.pp.300-306.
13. Домнина, К. Л. Основы алгоритма оптимизации структуры теплоизоляционных пористых материалов / К. Л. Домнина, М. Н. Каракулов // Вестн. Ижевского гос. техн. ун-та имени М. Т. Калашникова. – 2017. – № 1. – С. 108 – 110.
14. Qazizada, M. Analysis performance characteristics of centrifugal pumps / M. Emal Qazizada, V. M. Sviatskii, P. Božek. // MM Science Journal. – 2016. – pp. 1151 – 1159.

Producing Fiber Materials by Extrusion Blowing Method from Secondary Thermoplastics

V. M. Svyatskiy¹, M. V. Sokolov², B. A. Sentyakov³

*Department of Technology of Mechanical Engineering and Instrumentation (1),
Department of Rocket Building (3), Votkinsk Branch of M. T. Kalashnikov
Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia;
Department of Computer-Integrated Systems in Engineering, TSTU (2),
Tambov, Russia; svlad-2000@yandex.ru*

Keywords: secondary thermoplastics; extrusion blowing method, fibrous material; fiber-forming process productivity; experimental setup.

Abstract: The research presents the investigation of the process of producing fibrous materials from secondary polyethylene terephthalate (PET) by extrusion blowing method. A schematic and photograph of the experimental setup with an extrusion-type melting unit is presented, and the process of obtaining fibrous materials by an extrusion blowing method is discussed in detail. As a result of an experimental study of the process of production of fibrous materials by the extrusion blowing method, it was found that its productivity is proportional to the rotational speed of the screw of the extruder, and it was also proved that the productivity of the fiber-forming process is affected by the type of secondary PET.

References

1. Sentyakov B.A., Shirobokov K.P., Svyatskiy V.M., Svyatskiy M.A., Fonareva K.A. *Protsessy polucheniya i prakticheskogo ispol'zovaniya polietilentereftalatnogo volokna iz vtorichnogo syr'ya* [Processes of obtaining and practical use of polyethylene terephthalate fiber from secondary raw materials], Stary Oskol: Tonkie naukoemkie tekhnologii, 2014, 152 p. (In Russ.) (In Russ.)
2. Svyatskiy V.M., Sentyakov B.A. [The manufacturing structural diagram of the articles from fibrous materials on the grounds of recycled synthetic materials], *Avtomatizatsiya. Sovremennye tekhnologii* [Automation. Modern technologies], 2015, no. 11, pp. 3-7. (In Russ., abstract in Eng.)
3. Svyatskiy V.M., Sviatskiy M.A., Sentyakov B.A., Sentyakov K.B., Garaev S.A. [Simulation of Forming Web of Fibrous Materials], *Vestn. IzhGTU im. M. T. Kalashnikova* [Bulletin of the Kalashnikov Izhevsk State Technical University], 2015, no. 2, pp. 17-20. (In Russ., abstract in Eng.)
4. Polishchuk V.Yu., Korotkov V.G., Zubkova T.M. *Proyektirovaniye ekstruderov dlya otrasley APK* [Designing extruders for the agroindustrial complex industries], Yekaterinburg : Ural'skoye otdeleniye RAN, 2003, 201 p. (In Russ.)
5. Abramov O.V., Extended abstract of Doctor's of technical thesis, Voronezh, 2009, 47 p. (In Russ.)
6. Sokolov M.V., Klinkov A.S., Yefremov O.V., Belyayev P.S., Odnol'ko V.G. *Avtomatizirovannoye proyektirovaniye i raschet shnekovykh mashin* [Automated design and calculation of auger machines], Moscow: Izdatel'stvo Mashinostroyeniye-1, 2004, 248 p. (In Russ.)
7. Li K. *Osnovy SAPR (CAD/CAM/CAE)* [Fundamentals of CAD (CAD / CAM / CAE)], St. Petersburg: Piter, 2004, 560 p. (In Russ.)

8. Shevchenko M.N. [Mathematical support of the CAD of screw extruders], *Vestn. Orenburgskogo gos. un-ta* [Bulletin of the Orenburg State University], 2010, no. 5 (111), pp.145-149. (In Russ.)

9. Torner R.V., Akutin M.S. *Oborudovaniye zavodov po pererabotke plastmass* [Equipment of Plastics Processing Plants], Moscow: Khimiya, 1986, 400 p. (In Russ.)

10. <http://ptl.by/index.pl?act=PRODUCT&id=21> (accessed 16 July 2018).

11. Sentyakov B.A., Svyatskiy V.M., Svyatskiy M.A., Shirobokov K.P., Garayev S.A. *Voloknoobrazuyushchiy mekhanizm* [Fiber-forming mechanism], Russian Federation, 2014, Pat. 2530065. (In Russ.)

12. Svyatskiy V.M., Sentyakov K.B., Sentyakov B.A., Svyatskiy M.A. [Formation of canvases from synthetic fibrous materials], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2017, vol. 23, no. 2, pp. 300-306. doi: 10.17277/vestnik.2017.02. pp.300-306. (In Russ., abstract in Eng.)

13. Domnina K.L., Karakulov M.N. [The basis of the algorithm for optimizing the structure of heat-insulating porous materials], *Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni M. T. Kalashnikova* [Bulletin of the Kalashnikov Izhevsk State Technical University], 2017, no.1, pp. 108-110. (In Russ., abstract in Eng.)

14. Qazizada M., Sviatskii V.M., Božek P. Analysis performance characteristics of centrifugal pumps, *MM Science Journal*, 2016, pp. 1151-1159.

Erhalten von Fasermaterialien durch Extrusion-Blasverfahren aus sekundären Thermoplasten

Zusammenfassung: Die Arbeit ist der Erforschung des Prozesses der Herstellung der Fasermaterialien aus sekundärem Polyäthylenterephthalat durch Extrusion-Blasverfahren (PETP) gewidmet. Es sind das Diagramm und das Foto der experimentellen Anlage mit dem Schmelzaggregat des Extrusionstyps vorgestellt, und der Prozess der Herstellung der Fasermaterialien durch Extrusion-Blasverfahren ist im Detail betrachtet.

Als Ergebnis der experimentellen Untersuchung des Prozesses der Herstellung von Fasermaterialien durch Extrusion-Blasverfahren wurde festgestellt, dass Ihre Leistung proportional zur Drehzahl der Extruderschnecke ist. Es wurde auch bewiesen, dass die Leistung des Faserverarbeitungsprozesses durch den Typ des sekundären PETP beeinflusst wird.

Obtention des matières fibreuses par un moyen d'extrusion et de soufflage à partir des thermoplastiques secondaires

Résumé: L'article est consacré à l'étude du processus de la production des matériaux fibreux à partir du polyéthylène téréphtalate secondaire (PTS) par un moyen d'extrusion et de soufflage. Sont présentés le schéma et la photographie d'une installation expérimentale avec une unité de fusion du type d'extrusion; est examiné en détail le processus de la production des matériaux fibreux d'extrusion et de soufflage.

À la suite d'une étude pilote du processus de la production des matériaux fibreux par un moyen d'extrusion et de soufflage est constaté que la capacité de la production est proportionnelle à la vitesse de la rotation de vis d'extrudeuse, est prouvée la performance du processus.

Авторы: *Святский Владислав Михайлович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения и приборостроения»; Воткинский филиал ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова», г. Воткинск, Удмуртская Республика, Россия; *Соколов Михаил Владимирович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия; *Сентяков Борис Анатольевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Ракетостроение», Воткинский филиал ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова», г. Воткинск, Удмуртская Республика, Россия.

Рецензент: *Ренко Александр Валентинович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения и приборостроения», Воткинский филиал ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова», г. Воткинск, Удмуртская Республика, Россия.
