

## УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПЛАСТМАСС И ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИИ НА ИХ ОСНОВЕ

*Мухиддинов Б.Ф., Навоийский  
государственный горный институт,  
профессор кафедры «Химическая технология»,  
доктор химических наук, профессор*

*Шодиев А.Ф., Навоийский государственный  
горный институт, зам.декана факультета  
«Сельское хозяйство»,  
asliddin.shodiyev93@mail.ru*

**Аннотация.** В статье приводятся расчетно-графические сведения об измельчении роторно-ножевым измельчителем отходов полиэтилентерефталата, а также расчеты для изготовления одношнекового горизонтального экструдера для получения однородной гомогенной композиции  
**Ключевые слова:** полиэтилентерефталат, полиэтилен, роторно-ножевой измельчитель, экструдер, шнек, диаметр, давление, производительность, композиция, полимер, композиционный материал.

**Аннотация.** Мақолада полиэтилентерефталат чиқиндиларини ротор-пичоқли майдалагичлар ёрдамида майдалаш ҳамда бир жинсли гомоген композициялар яратиш мақсадида бир шнекли горизонтал экструдер тайёрлаш учун зарур бўлган ҳисоб китоблар амалга оширилганлиги тўғрисида маълумотлар келтирилган.

**Таянч иборалар:** полиэтилентерефталат, полиэтилен, ротор-пичоқли майдалагич, экструдер, шнек, диаметр, босим, ишлаб чиқариш унумдорлиги, композиция, полимер, композицион материал.

**Abstract.** In this article given information about crushing polyethylene tereftolate wastes with rotary knife crushers and implementation of calculations, which are needs for working-out simple screw horizontal extruder in order to development homogeneous compositions

**Keywords:** polyethylene tereftolate, polyethylene, rotary knife crusher, extruder, screw, diameter, pressure, performance, composition, polymers, composite materials.

### ВВЕДЕНИЕ

Полиолефины самые многотоннажные термопласты, производство, которых продолжает расти. По статистическим данным 2021 году в мире потребления синтетических полимеров превышало 350 млн тонн. Наибольшая доля потребления приходится на полиэтилен (ПЭ) 100,0 млн. тонн, на втором месте – полиэтилентерефталат 92 млн. тонн, на третьем месте – полипропилен (ПП) 72,0 млн. тонн, на четвертом - поливинилхлорид 46,0 млн. тонн [1-2]. При переработке поливинилхлорида (ПВХ) и полиуретана (ПУ) образуется значительное количество отходов (до 50%), которое существенно зависит от способа переработки, вида материала, применяемого оборудования [2,3].

В переработке полиэтилентерефталата (ПЭТФ) сырья в изделия во всех процессах образуются отходы: при экструзии литья, прессовании, вакуум формовании, выдувании заготовок. Отходы появляются во всех стадиях технологического процесса, начиная с переработки сырья в полуфабрикаты и кончая их переработкой в изделия.

В последнее время для утилизации отходов ПЭТФ широко применяется экструдерный метод [4-7].

Для утилизации отходов ПЭТФ и других полимерных материалов нами были использованы роторно-ножевой измельчитель и экструзионный агрегат для получения композиций полимеров.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследования служил полиэтилентерефталат (ПЭТФ) и ПУ получающиеся из употребленных пластиковых бутылок из под напитков, которые измельчали ножевой дробилкой. Размер ПЭТФ-хлопьев составил 5-10 мм, при этом насыпная плотность равна 200-300 кг/м<sup>3</sup>. Использовали полиэтилен (первичный) марки ПЭВП I-1561 синтезированный в Шуртанском химическом комплексе.

Композиции ПЭ с ПЭТФ готовили в шнековом экструдере в интервале температур 160-225<sup>0</sup>С с оборотом шнека 31об/мин. С определенным соотношением ПТФЭ: ПЭ. Сперва механически смешали, потом пропустили через шнековый экструдер. Полученную расплавленную смесь после охлаждения пропустили через гранулятор. После чего полученную гранулу при одинаковых условиях пропускают 3-4 раза через экструдер для равномерного распределения компонентов ПЭТФ: ПЭ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Одним из прогрессивных способов переработки отходов пластмасс является их превращение во вторичное полимерное сырьё.

Наиболее распространенными видами полимерных отходов являются ПЭТФ пластиковые бутылки, ящики, корпуса радиотехнической аппаратуры и аккумуляторов. При этом проблема утилизации отработанных отходов полимерных материалов становится актуальным в любом регионе страны.

Основные стадии вторичной переработки полимерных отходов включает:

1. Сбор пластмассовых отходов потребления, а также бракованных изделий;
2. Сортировка по видам материала, по цвету, марке;
3. Предварительная очистка от загрязнений, промывка;
4. Дробление (твёрдые толстостенные отходы) или агломерация (для плёночных отходов)
5. Гранулирование, как окончательная стадия переработки отходов полимеров.

Крупные по размерам отходы предварительно приходится измельчать.

Для этого используют ножевые, зубчатые дисковые и молотковые дробилки роторного типа. Нами для переработки отходов ПЭ и ПЭТФ разработан, роторный измельчитель ножевого типа, как универсальный агрегат для предварительного измельчения пластмасс.

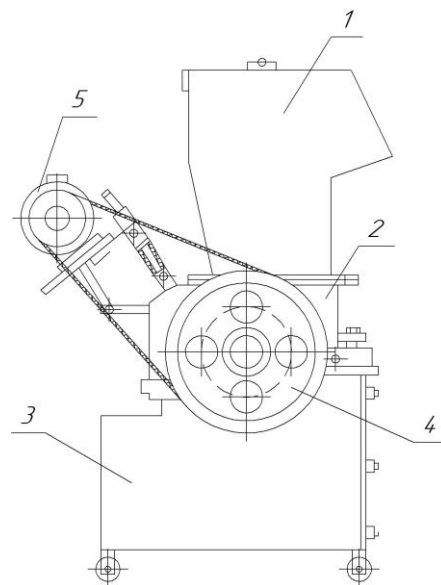


Рис.1. Общий вид роторно-ножевой дробилки  
1-загрузочный бункер; 2- камера дробления; 3- приемный ящик-поддон; 4- шкиф; 5-электродвигатель

Роторно-ножевой измельчитель (рис.1) простота выполнения и обслуживания, надёжна при эксплуатации. Измельчитель, состоит из следующих основных частей.

- Бункер загрузки;
- Роторно-ножевой барабан;
- Корпус с контрножами и фракционной решёткой (ситом);
- Ящик-поддон для приёма продуктов;
- Привод с электродвигателем.

Основным рабочим органом дробилки являются роторные ножи (рис.2 и рис.3). В роторе 1 закреплены три съёмные радиальные ножи -2. Ножи установлены к оси ротора под углом  $15^{\circ}$ . Ротор вращается в двух опорных подшипниках и приводится в движение через массивный шкиф (4) и пары клиновых ремней, от электродвигателя (5). В другом конце роторного вала установлен массивный маховик (6), для компенсации ударной силы ножей. Поступающий в загрузочный бункер (7) материал (отходы пластмасс) захватывается ножами и измельчаются при прохождении последних перед контрножами (8). В дробильной камере (9) жёстко установлены пара контрножей с регулируемой высотой выступа и параллельной рабочей поверхностью к оси ротора, в силу этого ножи с контрножами работают, как ножницы, что уменьшает нагрузку на вал и тем самым стоимость, измельчение, возможность измельчения с определённой производительностью, достигается применением специального ротора, обеспечивающие ножи с оптимальным углом заточки, захват большого объема материала, также способствующие измельчению объёмных полых изделий типа ПЭТФ бутылки, отходы труб, игрушки и т.п., без предварительного дробления.

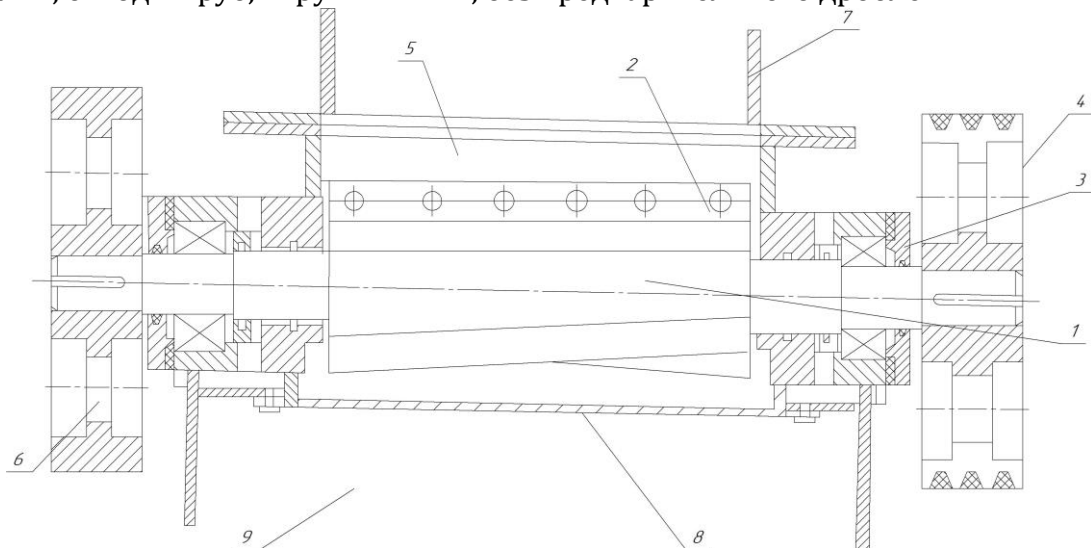


Рис.2. Роторно-ножевой барабан (разрез А-А)

- 1- ротор; 2- радиальные ножи; 3- подшипник; 4-шкиф; 5-камера;
- 6-маховик; 7 – камера загрузки; 8- фракционная решетка;
- 9 – приемный бункер для продуктов.

В нижней части дробилки камеры установлена съёмная фракционная решетка (10), что позволяет регулировать размеры получаемой фракции с установкой решетки с определенным параметром отверстий. Следует отметить, что для круглых отверстий характерен, средний размер, получаемый продукт составляет 70% от диаметра отверстий. Замена ножей и фракционной решетки требует разборки измельчителя.

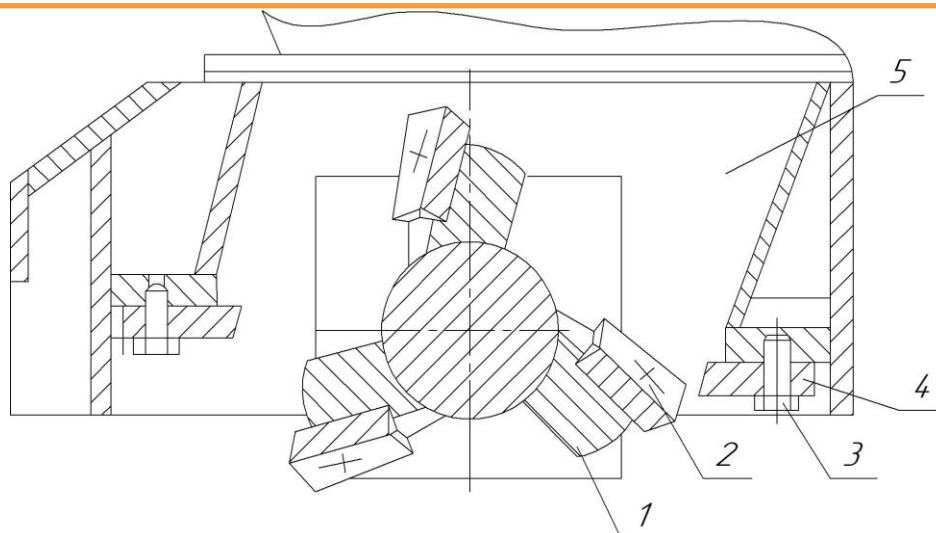


Рис.3. Роторно-ножевой барабан (разрез Б-Б)  
1- ротор; 2- радиальные ножи; 3- крепежный болт;  
4- контрнож; 5- камера дробления.

Под дробильной камерой установлены ящик поддон (11) для приема измельченного продукта.

Роторно-ножевая дробилка является универсальным агрегатом для предварительной подготовки различных отходов пластмасс. В нем можно измельчать полиэтиленовые и другие пленочные материалы, ПЭТФ бутылки, армированные слитки детали, ПВХ – профили, трубы, отходы поролона и пенопласта, резиновые изделия и шланги, б/у игрушки и тарные ящики, другие полимерные изделия.

Полученная «дроблена» после чистки от загрязнений и сушки, может быть использована для приготовления композиций и непосредственно получения изделий.

Процесс получения однородных композиций различных полимеров, является довольно сложным и трудоемким этапом производства. Наиболее оптимальным способом получения композиции, это смешение полимеров в вязко-пластичном состоянии в расплаве. Для этого случая наиболее подходящим оборудованием является червячно-экструзионная машина.

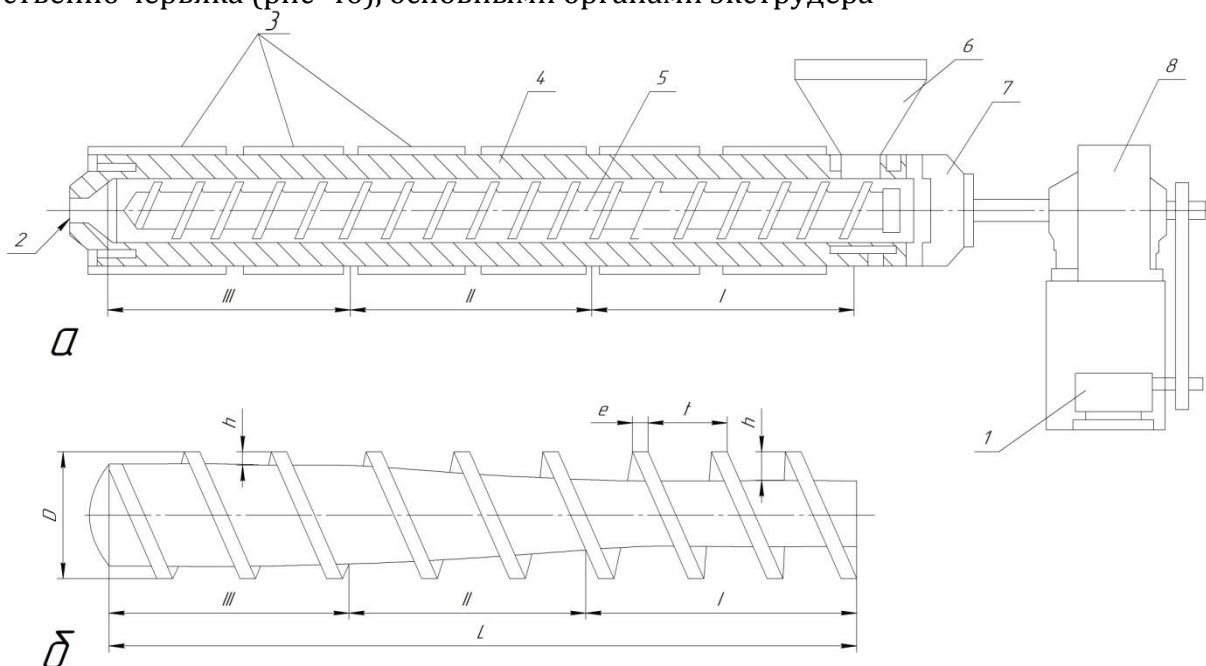
Экструзионный агрегат для получения композиций полимеров в виде гранул состоит из следующих основных узлов:

1. Экструдер (шнек-машина);
2. Головки
3. Охладительная ванна;
4. Гранулятор;

Принцип действия экструдера заключается в том, что она с помощью непрерывно вращающегося винта (шнека) в обогреваемом цилиндре сжимает загружаемый в нее термопластический материал (полимер), нагревает и расплавляет его, перемешивает, гомогенизирует и подает образовавшийся однородный вязкий расплав в головку.

Преимуществами экструзионного метода являются непрерывность и стабильность процесса, отсюда - однородность композиций, универсальность, экономичность легкость регулирования параметров и высокая производительность, делает его по параметрам незаменимым агрегатом для переработки полимеров. Эти же качества экструзионного агрегата служили основанием, в нашем выборе агрегата для приготовления композиции полиэтилена с полиэтилентерефталом.

На рис 4. приведены схематические изображения червячного экструдера (рис 4а) и собственно червяка (рис 4б), основными органами экструдера



**Рис. 4. Одночервячный горизонтальный одностадийный экструдер (а) и червяк (б): 1-двигатель, 2-канал для выхода расплава в профилирующую головку, 3-нагреватели цилиндра (корпуса), 4-цилиндр, 5-червяк, 6-загрузочный бункер, 7-упорный подшипник, 8-редуктор.**

**Зоны червяка:** I-питания (загрузки), II-сжатия (пластикации), III-выдавливания (дозирования).  $D$ -диаметр червяка,  $h_1$ ,  $h_2$ -глубина винтового канала в зонах питания и выдавливания соответственно,  $e$ -ширина витка,  $t$ -шаг нарезки.

являются червяк -1, цилиндр-2, головка-3, бункер-4, привод-5 и нагревательные элементы. Главным рабочим органом является червяк (шнек) высокая пластицирующая способность последних, превратил метод экструзии, основным способом переработки полимеров.

Основными параметрами червяков являются - диаметр ( $D$ ), длина  $L$  отношение  $L:D$ , а также частота вращения с увеличением  $L$  и  $D$  возрастает производительность экструдера, но требуется увеличение мощности привода.

Производительность агрегатов также зависит от глубины  $h$  и шага винтового канала. Оптимальным и простым в изготовлении является, червяк с постоянным шагом  $t=D$  и переменной глубиной канала. В экструдерах обычно различают три геометрические зоны:

I-питания; II-плавления (сжатия) и III-выдавливания (дозирования). Прежде чем изготовить какое-либо оборудование необходимо произвести предварительные расчеты, технических возможностей агрегата. В качестве основного допущения принимаем:

1) постоянство температур расплава по всей длине цилиндра и головки, т.е. процесс изотермический; отсюда вытекает и постоянство эффективной вязкости полимера во всем объеме;

2) постоянный градиент давления массы по длине шнека (червяка)



3) постоянство шага и глубины резьбы червяка. Принимаем  $t=D$ , т.е. угол подъема винтовой линии  $\phi=17^{\circ}45'$ . Червяк ограничен только головкой. Такие допущения вызывают в результате расчета отклонения от реальных величин не более 15%, что является

приемлемой, экструдер для смешивания полимеров друг с другом и с различными ингредиентами.

1. Определяем объемную производительность при различных оборотах

$$Q = \frac{\pi h b D}{2} \cos^2$$

$\phi \cdot n_1(1)$

Где, D-диаметр червяка;

n-число оборотов;

$\phi$ - угол подъема винтовой линии;

h –глубина канала;

b-ширина канала;

В уравнение, подставляя геометрические размеры червяка, находим значение Q, при различных числах оборота червяка.

2. Определяем скорость сдвига  $V_c$  дозирующей гомогенизирующей зоны канала червяка при различных числах оборота, в нашем случае выражение скорости сдвига (в сек<sup>-1</sup>) имеет вид:

$$V_c = \frac{\pi n}{60} \left( \frac{D}{h} - 2 \right) \quad (2)$$

На рис. 5 показана зависимость  $V_c$  от числа оборотов шнека и диаметра червяка. Как видно из результатов

исследования (рис.5), с увеличением число оборотов и диаметра шнека возрастает скорость сдвига с одновременным увеличением выхода перерабатываемого полимерного продукта.

3. Определяем эффективную вязкость расплава ПЭ в зависимости от температуры, скорости сдвига и индекса расплава, зная величину корректирующего фактора вязкости рис. 6, можно определить эффективную вязкость расплава  $\eta_{эф}$  при различных значениях n. На рис.6 приведена зависимость значения

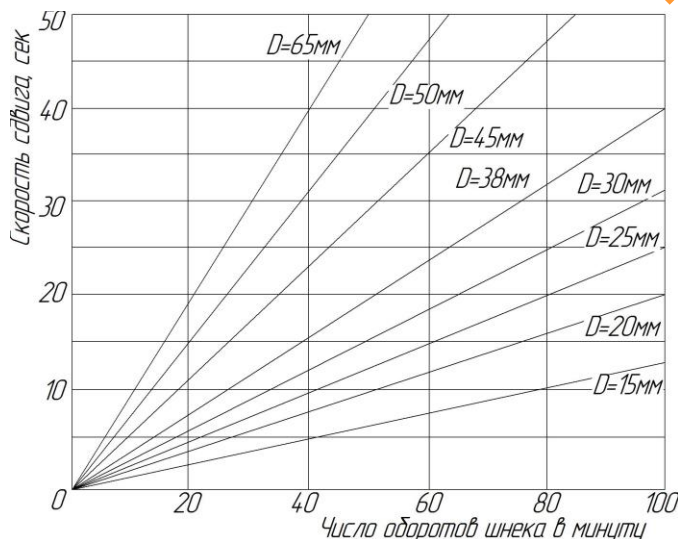


Рис.5. Зависимость скорости сдвига от числа оборотов шнеках при различных его диаметрах

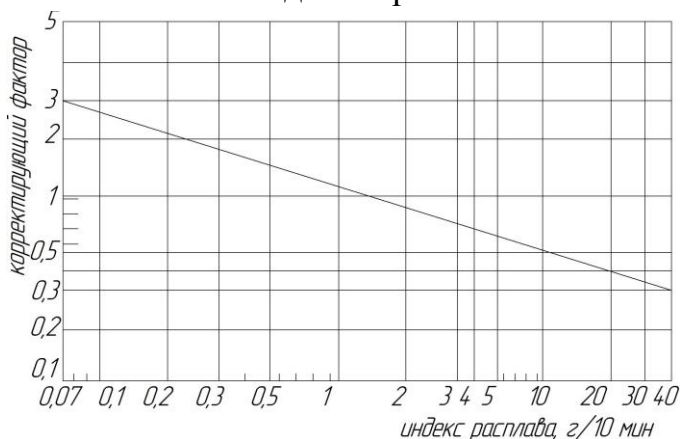


Рис.6. Зависимость значения корректирующего фактора вязкости от индекса текучести расплава полиэтилена

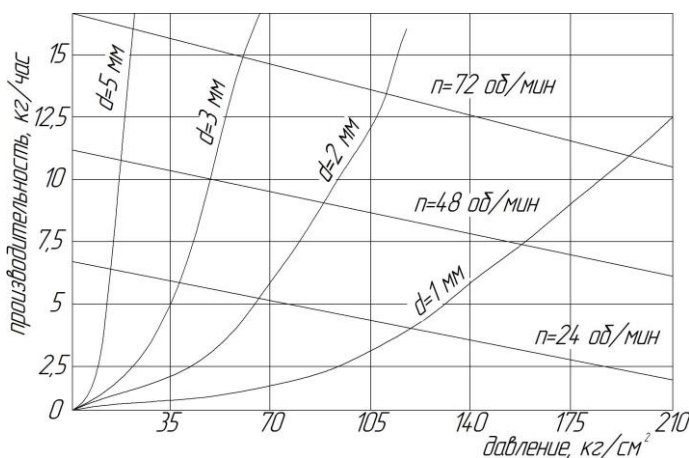


Рис.7. Теоретические кривые производительности при экструзии через круглого канала в зависимости от давления массы при разных числах оборотов шнека и зазорах t головки



корректирующего фактора вязкости от индекса текучести расплава полиэтилена. Как видно из рис.6, с уменьшением индекса текучести расплава возрастает значения корректирующего фактора, т.е. имеется обратная зависимость между индексами текучести расплава и корректирующими факторами.

4. Вычислим обратный поток расплава в канале червяка, при различных значениях давления на выходном конце червяка  $P=20; 40; 60$  кг/м<sup>2</sup> и больше.

$$Q_j = \frac{bh^3}{12L} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi \cdot \frac{p_j}{M_{эфф}}$$

Зная величину  $L$ , которая обозначает длину гомогенизирующей зоны (т.е. 3-5 витков червяка), можно вычислить обратный поток расплава.

Вычисляя значения прямого потока и значения обратного потока, для системы координат  $P$ - $Q$  (давление - производительность) для каждого числа оборотов червяка, получена кривая производительности (рис.7).

Совмещая график работы червяка и график работы головки, получаем полную диаграмму данной экструзионной машины (рис.7).

Эта диаграмма с достаточной точностью (+15%) показывает технические возможности машины по производительности и по развиваемому давлению. Последние служили основанием для механического расчета машины: червяка, цилиндра и головки.

На основании теоретических и экспериментальных результатов нами создана лабораторная червячно-экструзионная установка для получения композиции из расплава полимеров.

Таким образом, геометрические размеры лабораторного экструдера червяка, с диаметром 20 мм, глубиной канала - 3мм, шириной канала -2 мм, углом подъема винтовой линии  $\varphi=17^{\circ}45'$ , числом оборотов - 31 об/мин, составляя производительность экструдера  $Q$  -53 г/мин.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан для переработки отходов полимерных материалов роторный измельчитель ножевого типа и червячный экструдер. Установлено, что роторно-ножевым измельчителем измельчаются бытовые отходы ПЭТФ в виде хлопьев до 5-10 мм с насыпной плотностью 300-400 кг/см<sup>3</sup>, а также получены однородные гомогенные массы полимерного композиционного материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вилниц С.А. Вапно Ю.М. «Химия и технология высокомолекулярных соединений». Итоги науки и техники, вып. 15, М. 1981, с 127-160
2. Левин В.С., Очкур И.С., Ковалева Р.И. и др. Организация сбора использование отходов полимерных материалов. Обзорная информация. Серия «Рациональное использование материальных ресурсов», м., ЦНИИТЭИМС,1977, 24 с.
3. Гуль В.Е. Повышение эффективности использования вторичных полимерных материалов. Пластмассы, 1998, с.26.
4. Левин В.С., Коростелев В.И.// В.Н.: Вторичное использование полимерных материалов. Под ред. Любушкиной Е.Г. М., Химия, 1985, с. 81-95
5. Rabbinate N.M. Technology for recovery of PET manufacturing wastes into polyether resins// Technol. Civil. Impact Environ: Situat. Post-Sov.Area: Int.Symp. Karlsruhe, 22-26 Apr., 1996: Abst-Karlsruhe, 1996, p. 109
6. Коростелев В.И., Левин В.С.// В кн. // Производство и переработка пластмасс и синтетических смол. М., НИИТЭХИМ, 1979 № 1, с. 36-39.
7. Вольниц С.А., Вапно Ю.М. Новое в технологии порошковых полимерных материалов и покрытий. // Л.,ЛДНТП, 1969, Ч 2, с. 16-18.