

TECHNICAL SCIENCE

УДК 678.023

*Зозуля П.Ф.,
Костюк Н.О.,
Полищук О.С.*

Хмельницький національний університет

**ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ШНЕКА ЭКСТРУДЕРА НА ПРОЦЕСС
ПЕРЕРАБОТКИ ТЕРМОПЛАСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

*Zozulia P.F.,
Kostyuk N.O.,
Polishchuk O.S.*

Khmelnitskyi National University

**THE INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS OF AN EXTRUDER SCREW ON THE
PROCESS OF TREATMENT OF THERMOPLASTIC MATERIALS**

Аннотация

Данная статья посвящена математическому определению главных параметров шнека экструдера, а именно, оптимальных размеров диаметра, зазора, угла транспортировки, шага винтовой нарезки, глубина каналов и их взаимного влияния на производительность, и давление в самом экструдере при переработке термопластичных материалов. Также впервые в данной работе представлены таблицы с данными расчетов и построены графики зависимостей, на которых видно общее влияние главных параметров шнека на процесс переработки термопластических материалов.

Abstract

This article is devoted to the mathematical determination of the main parameters of an extruder auger, namely, the optimum dimensions of diameter, clearance, transport angle, pitch of screw cutting, depth of channels and their mutual influence on the performance and pressure in the extruder itself during processing of thermoplastic materials. Also, for the first time in this work, tables with data of calculations are presented and graphs of dependences on which the general influence of the main parameters of the auger on the process of thermoplastic materials processing are shown.

Ключові слова: *екструзія, полімер, шнек, геометричні параметри, тиск, продуктивність.*

Keywords: *extrusion, polymer, auger, geometric parameters, pressure, performance.*

Рост производства изделий из полимеров неуклонно ведет к росту их доли в отходах. Поэтому вопрос переработки отходов является актуальным на сегодняшний день. Современные полимерные материалы (ПМ) на основе различных пластмасс, волокон и эластомеров, используют в различных сферах. Не является исключением легкая и обувная промышленность [1] ..

В условиях внедрения новейших технологий в легкой промышленности, широко применяются различные материалы со специфическими свойствами. Для их переработки нужно создать экструдер со специальными, геометрическими параметрами, тепловыми режимами и определить ряд параметров что позволит улучшить производительность, эффективность процесса.

Для переработки современных полимеров со специфическими свойствами необходимо такое оборудование, которое бы соответствовало необходимым требованиям, геометрическим параметрам и тепловым режимам.

Экструзия - представляет собой непрерывный технологический процесс, в результате которого готовые изделия получают в результате продавливания расплавленного полимерного материала

через формирующие отверстия фильеры. Материал, который используется в процессе экструзии, характеризуется высоким уровнем вязкости, а изделия в результате получают нужной формы. Одной из главных условий, что обеспечивает качественную экструзию является правильно спроектированная конструкция шнека для экструзии полимеров [2]. Поэтому актуальность данной разработки является достаточно весомой задачей. На основе расчетов можно получить все необходимые геометрические параметры шнека (рис.1), которые будут влиять на движение твердого и жидкого полимера внутри канала шнека, и фазовых превращений. Поэтому далее речь пойдет об исследовании влияния правильно рассчитанных геометрических параметров шнека на процесс теплопереноса и фазовых превращений полимеров в канале шнека экструдера. Подготовка полимерного материала к формированию, пластификации, гомогенизации и подачи в головку осуществляется благодаря вращающемуся шнеке в цилиндре экструдера. В зависимости от вида полимеров, технологических режимов переработки применяются шнеки различных видов. Для переработки полимерных масс

чаще всего используют два вида шнеков: с переменной глубиной спирального канала и с переменным шагом.

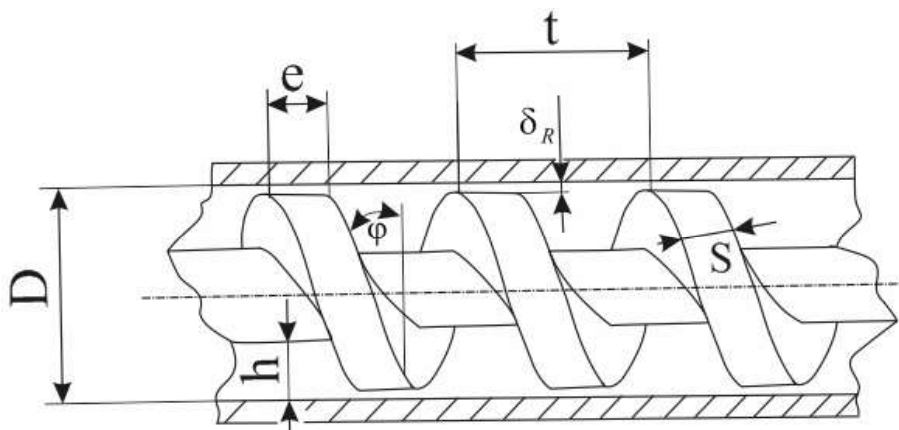


Рисунок 1 Обозначение параметров шнека экструдера: D - диаметр винтового канала; e - осевая толщина стенки; S - нормальная толщина стенки шнекового канала; h - глубина винтового канала; t - шаг винтового канала;

δ_R - радиальный зазор между внутренним диаметром корпуса и наружным диаметром гребня винтовой нарезки шнека; φ - угол подъема винтовой нарезки червяка [3].

К основным технологическим параметрам относят следующие характеристики шнека: длина; диаметр; показатель отношения длины к диаметру; скорость оборота; профиль шнека.

Для переработки термопластических масс обычно используют цилиндрические шнеки с постоянным шагом и переменной глубиной винтового канала. Длина шнека L характеризуется его отношением к диаметру D (L/D). Это отношение может меняться в интервале 8 ... 40. Расчет производительности экструдера. В качестве исходного параметра для расчета задается диаметр шнека D .

После определения диаметра и отношение L/D , определяются другие параметры.

Глубина винтового канала шнека h для переработки термопластических масс принимается равной:

1) в зоне питания:

$$h_1 = 0.15D \quad (1)$$

2) в зоне дозирования:

$$h_3 = 0,5 \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4h_1}{i} \cdot (D - h_1)} \right], \quad (2)$$

3) в зоне пластификации:

$$h_2 = h_1 - \frac{h_1 - h_3}{L} L_0, \quad (3)$$

$$L_0 = L - L_n \quad (4)$$

где L – длина шнека, см;

L_0 – длина шнека ближе к зоне сжатия, см;

L_n – длина напорной части шнека, см;

$$L_n = (0,4 \dots 0,6)L \quad (5)$$

Радиальный зазор между внутренней поверхностью цилиндра и наружной поверхностью витка шнека принимается:

$$\delta = (0,002 \dots 0,005)D. \quad (6)$$

Меньшее значение принимается для больших величин диаметров шнеков.

Расчет производительности одношнековых экструдеров. Определяющее влияние на производительность установки имеет дозировочная зона шнека. Эффективность дозировочной зоны слишком зависит от геометрических параметров самого шнека. Отдача шнекового экструдера в целом зависит не только от геометрических размеров шнека и числа оборотов, но в значительной степени и от конструкции формирующей головки. На основе гидродинамического подхода к анализу взаимодействия рабочих органов с материалом, перерабатываемым в дозирующей зоне экструдера принято рассматривать три составляющие движения потока расплава:

- движение расплава, который движется по межвитковому пространстве в направлении от зоны загрузки в зону дозирования вдоль оси шнека и возникает в результате вращения шнека относительно цилиндра;

- движение расплава, который движется в противоположном направлении вследствие перепада давления P по длине шнека;

- движение при потере расплава, движущегося в зазоре между наружной поверхностью шнека и внутренней поверхностью цилиндра в направлении от зоны дозирования.

Объемная производительность шнековой машины для переработки полимерных масс в зависимости от сопротивления головки и конструкции дозирующей зоны может быть выражена выражением

$$Q = n \frac{A \cdot K}{K + B + C}, \quad (7)$$

де Q – объемная производительность, мм³/мин;

K – коэффициент сопротивления головки, мм³;

n – частота вращения шнека, мин^{-1} ;

A – постоянная прямого потока материала для шнека с постоянными геометрическими размерами, мм^3 ;

B – постоянная обратного движения материала, мм^3 ;

C – постоянная потока с учетом потерь, мм^3 ;

$$A = \frac{\pi Dh \cdot (t - \lambda e) \sin 2\phi}{2}, \quad (8)$$

$$B = \frac{h^3 (t - \lambda e) \sin 2\phi}{24L_n}, \quad (9)$$

$$C = \frac{\pi^2 D^2 \delta^2 \text{tg}\phi \sin \phi}{10eL_n} \quad (10)$$

λ – число заходов;

L_n – длина напорной зоны дозирования, см.

Объемную производительность экструдера Q в $\text{см}^3/\text{мин}$ перечисляют в массовую временную производительность по формуле в $(\text{кг}/\text{ч})$:

$$Q = \frac{60Q_p \rho_p}{10^6}. \quad (11)$$

Расчет коэффициента сопротивления в формирующей головке. Головка экструдера представляет собой съемный технологический инструмент, предназначенный для формирования экструдированного расплава, конфигурация поперечного сечения которого определяется геометрией формирующего канала (рисунок 2). Конфигурация фильеры характеризуется значительным видом [4]. Главными параметрами являются коэффициент сопротивления и скорость сдвига расплава.

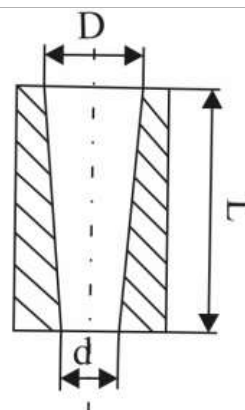


Рисунок 2 Вид профиля нагревателя экструдера в разрезе

Коэффициент сопротивления K , мм^3 :

$$K = \frac{3\pi D^3 d^3}{128L(D^2 + Dd + d^2)}, \quad (12)$$

де D , d – диаметры конуса на входе и выходе расплава.

Скорость смещения расплава (мин) определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{256Q}{\pi(D+d)^3}. \quad (13)$$

Важной технологической характеристикой является максимальное давление расплава (P_m , Па), от которого зависит качество материала на выходе и производительность машины. Величину можно определить по формуле:

$$P_m = \frac{\pi D L_D \eta n}{h_{cp}^2 \text{tg}\phi} \quad (14)$$

где L_D – длина зоны дозирования (мм).

Результаты исследования. В таблице 1 представлены результаты расчетов, а именно влияние диаметров шнека на производительность процесса переработки термопластичных масс и давления расплава.

Таблица 1

Зависимость диаметра шнека при постоянных $L=130\text{мм}$, $\rho_p=823$, $d_n=1,5\text{мм}$

№					
1	D	10	15	20	25
2	t	8	12	16	20
3	L_n	65	65	65	65
4	e	1	1.5	2	2.5
5	δ	0.02	0.03	0.04	0.05
6	ϕ	14,28	14.28	14.28	14.28
7	Q	754,5	1092	671.2	348.8
8	Qч	37,26	53.92	33.14	17.22
9	P	13,34	7.26	4.718	3.37
10	γ	40,42	19.80	5.504	1.528

Полученные результаты представлены в виде графиков на рисунке 3.

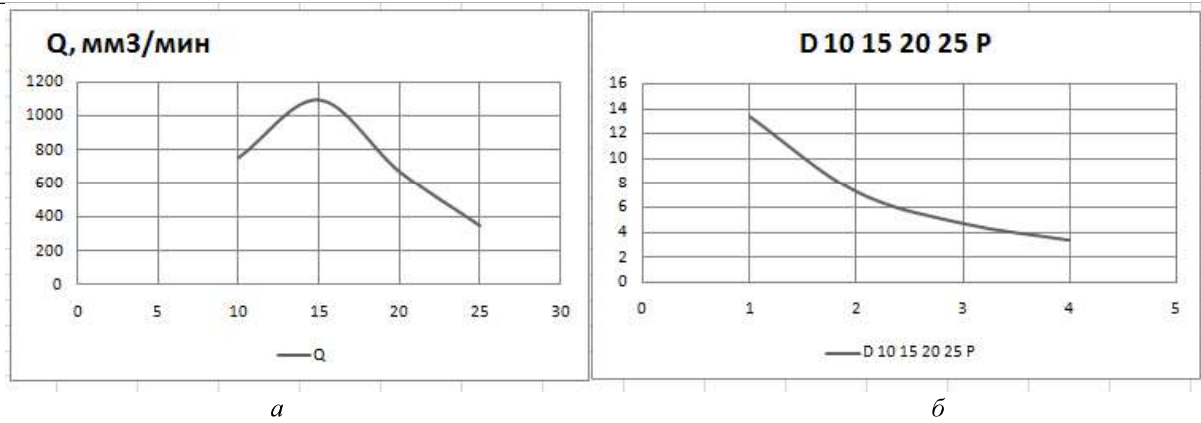


Рисунок 3 Результаты расчетов: а) график зависимости производительности процесса Q от диаметра шнека D ; б) график зависимости давления расплава P от диаметра D

В таблице 2 представлены результаты расчетов влияния длины шнека экструдера от производительности процесса и давления расплава.

Таблица 2

Зависимость рабочей зоны длины шнека L от производительности Q и давления P

№		80	100	130	150
1	L	80	100	130	150
2	t	8	8	8	8
3	L_H	40	50	65	75
4	e	1	1	1	1
5	δ	0,02	0,02	0,02	0,02
6	φ	14,28	14,28	14,28	14,28
7	Q	713,3	734,1	754,5	763,9
8	$Qч$	35,22	36,25	37,26	37,72
9	P	8,213	10,26	13,34	15,04
10	γ	38,22	39,33	40,42	40,93

Полученные результаты представлены в виде графиков зависимостей на рисунке 4.

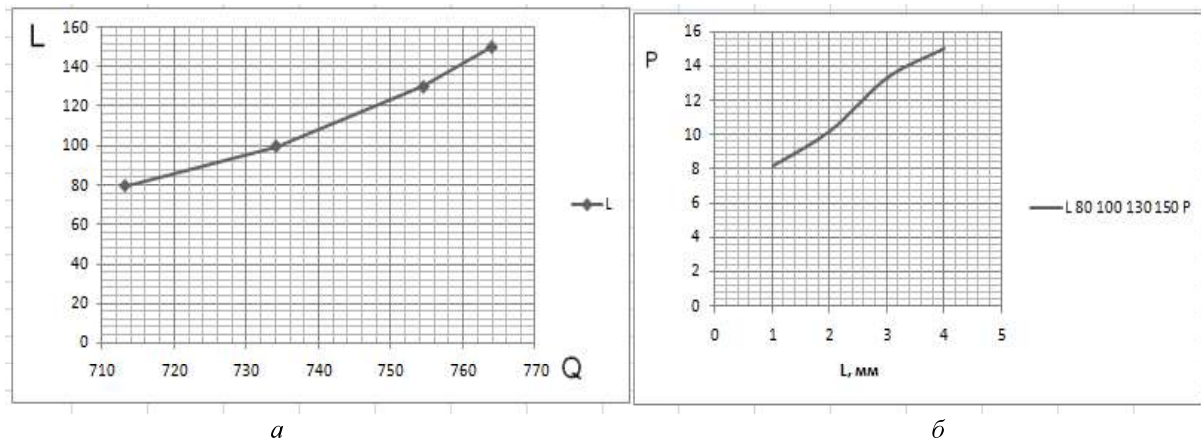


Рисунок 4 Результаты расчетов: а) график зависимости длины рабочей зоны шнека от производительности процесса Q , б) график зависимости давления расплава P от длины рабочей зоны шнека L

В таблице 3 представлены результаты расчетов влияния параметров плотности/скорости сдвига материала от давления P и также от производительности червяка $Qч$.

Таблица 3

Влияние плотности / скорости сдвига от давления P и производительности червяка $Qч$.

№						
1	Pp/η	662/1140	724/1260	823/1380	910/1460	1080/1520
2	t	8	8	8	8	8
3	$Lн$	65	65	65	65	65
4	e	1	1	1	1	1
5	δ	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
6	φ	14,287	14,287	14,287	14,287	14,287
7	Q	754,550	754,550	754,55	754,550	754,550
8	$Qч$	29,971	32,778	41,198	37,727	48,895
9	P	11,026	12,183	14,116	15,04	14,696
10	γ	40,428	40,428	40,428	40,933	40,428

Полученные графики зависимостей представлены на рисунке 5.

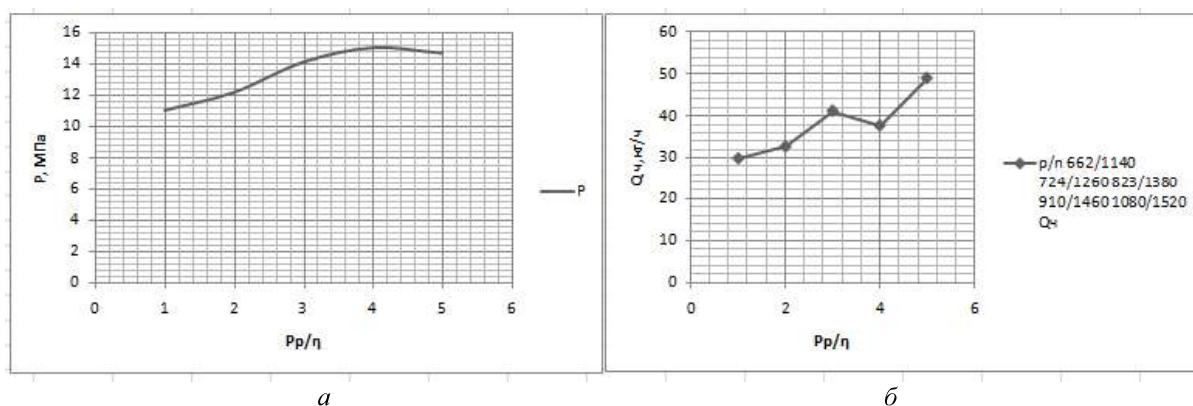


Рис.5 Результаты расчетов: а) график зависимости давления P от плотности / скорости сдвига; б) график зависимости производительности червяка $Qч$ от параметров плотности / скорости сдвига

В результате проведенных расчетов было получено значение определяющие влияние основных геометрических параметров шнека экструдера на основные показатели качества и плавности в работе, а именно производительности и давления. В работе представлены таблицы с результатами и на их основе построены графики зависимостей, позволяющие оценить как влияют параметры шнека в зависимости от геометрических размеров на основные показатели работы при переработке термопластичных материалов.

Список литературы

1. <http://eco.com.ua/pererobki-polimeriv>
2. Зозуля П.Ф., Поліщук О.С., Неймак В.С., Поліщук А.О. «Застосування технології 3d друку у взуттєвій промисловості» // Луцький національно технічний університет.-2019.-№67.
3. Зозуля П.Ф., Поліщук О.С, Місяць В.П. « Математичне визначення геометричних параметрів шнекового обладнання для переробки полімерів в легкій промисловості» // Вісник Херсонського національного технічного університету.-2018.-№4 .
4. Басов Н.И. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов. / Н.И. Басов, Ю.В. Казанков, В.А. Любартович -Москва, Химия, 1986. - 488 с