

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**



**УТИЛІЗАЦІЯ УПАКУВАНЬ.**  
**Практикум з навчальної дисципліни**

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського  
як навчальний посібник для студентів,  
які навчаються за програмою підготовки магістрів  
з галузі знань 13 – Механічна інженерія;  
за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка»,  
спеціалізація – «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання  
та проектування обладнання пакування»*

(денна форма навчання)

КПІ ім. Ігоря Сікорського  
2018

Утилізація упакувань: Практикум з навчальної дисципліни [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студентів, які навчаються за програмою підготовки магістрів з галузі знань 13 – Механічна інженерія; за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка», спеціалізація – «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Т.Б. Шилович, Сімончук Є.П. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,16 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 36 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 6 від 21.02.2019 р.) за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету (протокол № 1 від 28.01.2019 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

## **УТИЛІЗАЦІЯ УПАКУВАНЬ. Практикум з навчальної дисципліни**

Укладачі: *Шилович Тетяна Борисівна*, канд. техн. наук, доц.  
*Сімончук Єлизавета Петрівна*, магістр

Відповідальний редактор *Гондляр Олександр Володимирович*, д-р техн. наук, проф.

Рецензент: *Черьопкіна Р.І.*, канд. техн. наук, доц.

Призначення практикуму – закріпити та поглибити теоретичний програмний матеріал, оволодіти практичними навичками роботи при проектуванні переробного обладнання шляхом самостійних розрахунків різних типів обладнання. Також важливим результатом виконання практикуму є підвищення рівня засвоєння навчального матеріалу, прищеплення умінь і навичок, розвиток наукового мислення та усного мовлення студентів. Практикум містить описи 7 практичних завдань. Кожному практичному завданню передують коротка теоретична частина, яка знайомить студентів з теоретичними поняттями, використаними в роботах. Для кожного практичного завдання сформульована мета та вихідні умови, необхідні для його виконання. Далі наводиться опис прийомів, які використовуються для виконання конкретних розрахункових завдань. У кінці кожної роботи дається список літератури, в якій більш детально розглянуті питання до представленої тематики. Для якісного виконання роботи і самоконтролю студентів запропоновані контрольні запитання до кожної представленої теми.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018

## ВСТУП

Даний практикум призначений для підготовки та проведення практичних робіт з навчальної дисципліни «Утилізація упакувань» для студентів, які навчаються які навчаються за програмою підготовки магістрів з галузі знань 13 – Механічна інженерія; за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка», спеціалізація – «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування» денної форми навчання.

Призначення практикуму – сприяти розвитку навичок самостійних розрахунків обладнання для переробки відходів.

Практикум містить описи 7 практичних завдань, а саме:

Практична робота №1. Процес подрібнення відходів термопластів.

Практична робота №2. Обладнання та способи розділення твердих фаз механічним методом.

Практична робота №3. Нормативно-правова база поводження з відходами в Україні.

Практична робота №4. Переробка поліетилену та поліолефінів.

Практична робота №5. Утилізація термічними способами.

Практична робота №6. Вторинна переробка полівінілхлориду.

Практична робота №7. Екструзія відходів полімерів.

Кожному практичному завданню передують коротка теоретична частина, яка знайомить студентів з поняттями, що використовуються в роботах та конструкціями машин, які вивчаються. Для кожного практичного завдання сформульована мета та вихідні умови, необхідні для його виконання. Далі наводиться опис прийомів, які використовуються для виконання конкретних розрахункових завдань.

У кінці кожної роботи дається список літератури, в якій більш детально розглянуті питання до представленої тематики. Для якісного виконання роботи і самоконтролю студентів запропоновано контрольні запитання до кожної представленої теми.

# 1. МЕТА ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

*Практичне заняття* – це вид навчального заняття, на якому викладач організовує детальний розгляд студентами окремих теоретичних положень навчальної дисципліни та формує вміння і навички їх практичного застосування шляхом індивідуального виконання студентами відповідно до сформульованих завдань.

Основна мета практичного заняття — розширення, поглиблення й деталізація наукових знань, отриманих студентами на лекціях та в процесі самостійної роботи і спрямованих на підвищення рівня засвоєння навчального матеріалу, прищеплення умінь і навичок, розвиток наукового мислення та усного мовлення студентів.

Завдання практичного заняття:

- підготовка до самостійного виконання практичних завдань;
- підготовка студентів до контрольних робіт (за наявності);
- набуття умінь застосування теоретичних знань на практиці;
- підготовка студентів до майбутньої практичної діяльності, тощо.

Основною вимогою до проведення практичних занять є забезпечення розуміння студентами теоретичних основ і творчого виконання практичної роботи. Ефективність практичного заняття залежить від самостійності виконання роботи кожним студентом.

Перелік тем і зміст практичних занять визначаються робочою навчальною програмою дисципліни. Практичне заняття проводиться, як правило, з групою.

Практичні заняття можуть проводитися в аудиторії і в навчальних лабораторіях, оснащених обчислювальною технікою.

## **2. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПІДГОТОВКИ ТА ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

Робочою навчальною програмою дисципліни передбачено практичні заняття загальним обсягом чотири годин.

Впродовж циклу практичних занять розглядається дві теми зі списку тем робочої навчальної програми дисципліни.

Безпосередньо перед виконанням практичних занять викладач надає індивідуальні вихідні дані для проведення необхідних розрахунків при проведенні розрахункової частини.

На практичному занятті розглядається підготована студентами робота з попереднього практичного заняття. Оформлення роботи про виконання практичного заняття сприяє розвитку у студентів самостійної ініціативи в роботі, формує вміння проводити необхідні порівняння та співставлення, знаходити взаємозв'язки окремих явищ, а також робити обґрунтовані висновки з проведених результатів досліджень.

## Практична робота №1

### ПРОЦЕС ПОДРІБНЕННЯ ВІДХОДІВ ТЕРМОПЛАСТІВ

**Мета роботи:** ознайомлення з конструкцією і принципом роботи ножового подрібнювача, призначеного для дроблення відходів термопластичних полімерних матеріалів; складання кінематичної і розрахункової схем, технічної характеристики обладнання для подрібнення.

#### 1.1. Теоретична частина. Опис конструкції обладнання для подрібнення

Устаткування для подрібнення використовується в хімічній промисловості для проведення технологічних операцій: подрібнення, роздавлювання, стирання, розщеплення волокнистих інгредієнтів і відходів полімерних матеріалів при їх вторинній переробці, а також інших операцій. Обладнання, що застосовується: дробарки, млини, дезінтегратори, гранулятори, різальні верстати, дистилятори і ін. В якості робочих органів дробарок використовують ротори з жорсткими поздовжніми білами, молотковими, хрестовими, консольно-стрижневими, ножовими пристроями. Типові бильні вали показані на рис. 1.1. Перший тип роторів (1) характеризується масивністю і жорстко закріпленими на них білами різної конфігурації. Слугують для грубого дроблення твердих тіл (різних смол, твердих компонентів і ін.) Молоткові пристрої 2 характеризуються наявністю шарнірно закріплених насадок-молотків і служать для дроблення твердих тіл, в тому числі і відходів пластмас. Третій тип насадок (3) придатний для вторинного дроблення і розпушення продуктів хімічних виробництв. Консольно-стрижневі насадки 4 характеризуються наявністю стрижнів, жорстко закріплених в дисках, розташованих концентрично і обертаються назустріч один одному; застосовуються в дезінтеграторах для дроблення сірки, графіту, азбесту, відходів і інших матеріалів. Ножові ротори 5 характеризуються наявністю кількох жорстко закріплених ножів і використовуються в дезінтеграторах з переробки полімерних матеріалів і відходів пластмас, шин та іншого.

На рис. 1.2. показана типова конструкція ножового подрібнювача. Полімерні матеріали, підлягають дробленню, з завантажувального бункера 1 надходять в камеру подрібнення 2 і захоплюються обертовим ротором 5. Подрібнення відбувається між двома ножами, встановленими на роторі 3 і нерухомому корпусі 4. Якість подрібнення матеріалів визначається величиною зазору між ножами. Регулювання зазору проводиться шляхом радіального переміщення ножів на роторі. Ступінь подрібнення характеризується величиною отворів калібрувальної решітки.

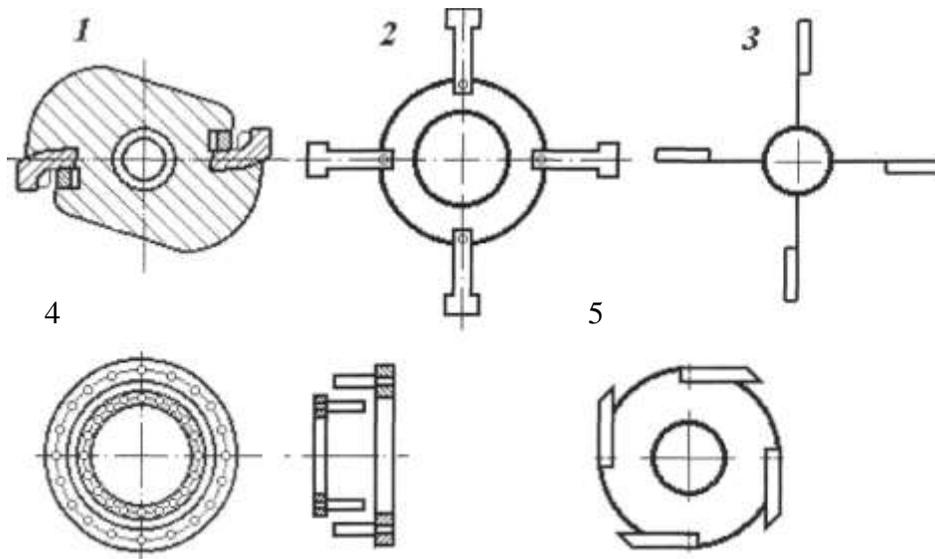


Рисунок 1.1 - Типові конструкції бильних валів:  
 1 - з поздовжніми билами; 2 - молоткові пристрої; 3 - хрестові пристрої; 4 - консольно-стрижневі насадки; 5 - ножові ротори.

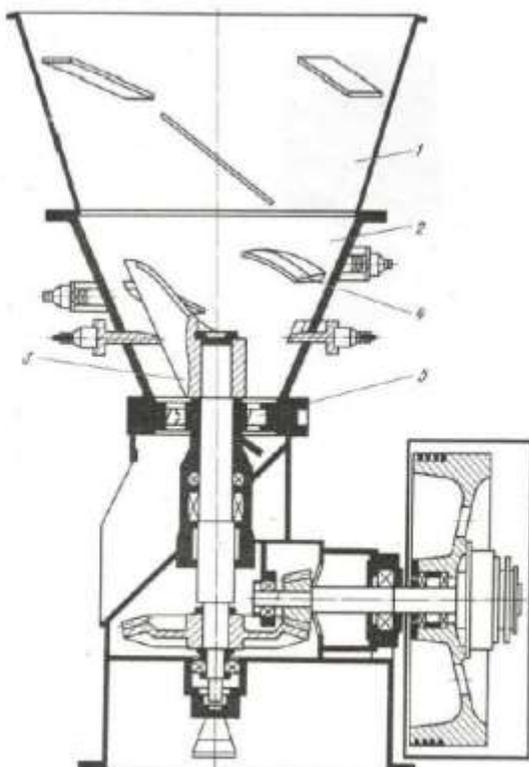


Рисунок 1.2 - Ножова дробарка з вертикальним ротором (“Hazet Zwickau”)

Перспективним напрямком в конструюванні подрібнювачів барабанного типу є розробка віброобртаючихся млинів. Таке обладнання виключає недоліки, властиві барабанним кульовим і вібраційним млинів: низька ефективність процесу подрібнення, наявність застійних зон, значна металоємність і обмеження по швидкості обертання барабана. Конструктивна схема віброобртаючогося млина показана на рис. 1.3. Він складається з барабана 1, його підшипникових опор 2, жорстко встановлених на стійках 3, що спираються на віброплиту 4, яка монтується на чотирьох циліндричних пружинах 6. Вібратор 5 кріпиться до нижньої поверхні плити 4. Обертання барабана здійснюється від електродвигуна, через редуктор (варіатор) (на рис. 3 - умовно не показано) і клинопасову передачу 8.

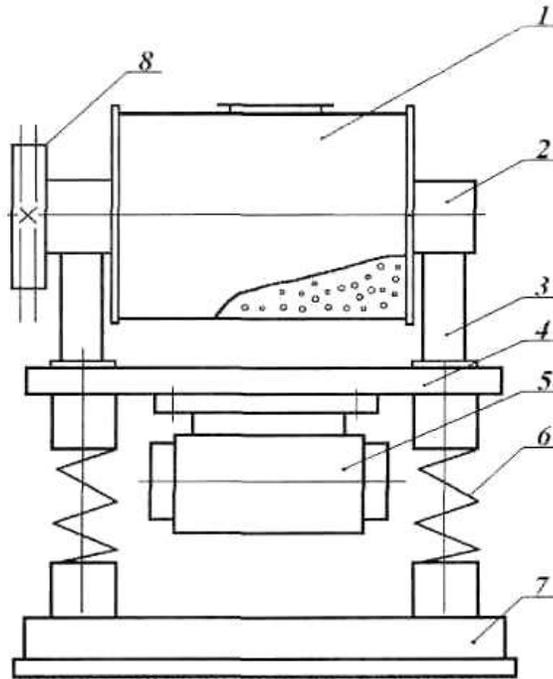


Рисунок 1.3 - Конструктивна схема віброобртаючогося млини:  
 1 - барабан; 2 - вузол підшипника; 3 - стійка; 4 - віброплита; 5 - вібратор;  
 6 - пружина; 7 - плита; 8 - клинопасова передача

Швидкість обертання барабана визначається за емпіричною формулою:

$$n = \frac{8}{(2R_6)^{0,5}} (5\varphi + 2) \quad (1.1)$$

де  $R_6$  - радіус барабана, м;  $\varphi = (0,35 \dots 0,45)$  - коефіцієнт заповнення барабана тілами, що мелють.

Маса кульового завантаження:

$$G_{ш} = \pi R_6 L_6 \varphi \rho_{ш} \quad (1.2)$$

де  $L_6$  - довжина барабана, м;  $\rho_{ш}$  - насипна щільність тіл, що мелють, м.

Діаметр розмельних тел

$$d_w = \sqrt[3]{\frac{3q \cdot 10^{-2}}{\pi \rho_0}} \quad (1.3)$$

де  $q = \frac{cE_0}{8[R_0^2(n/30)^2 - 2R_0^4(n/30)^6 + R_0^6(n/30)^{10}]}$ ;  $c = 0,57$  - коефіцієнт при сухому подрібненні,  $c = 5,5$  - при мокрому подрібненні;  $E_0$  - енергія початка руйнування частинок.

Потужність, необхідна для обертання барабана:

$$N_1 = \frac{1,1M \rho_w R_0^{2,5} L_0}{6 \cdot 10^{-4}} \quad (1.4)$$

## 1.2 Визначення основних параметрів ножового подрібнювача

*Завдання для практичної роботи.* Для складання технічної характеристики студент повинен визначити: потужність приводу і продуктивність ножового подрібнювача, при дробленні відходів термопластів, використовуючи наведені нижче залежності та методи, а також викладені в літературі. При цьому задаються наступні параметри: напрямок і швидкість обертання ротора, величина завантаження відходів полімеру, час подрібнення, величина зазору між ножами, сумарна площа отворів сита.

Продуктивність ножових подрібнювачів визначається за формулою

$$G_n = 3600vS\varphi\gamma \quad (1.5)$$

де  $v$  - швидкість руху крихти через перетин отворів сита, м/с;

$$v = Q_v / (3600S\varphi) \quad (1.6)$$

де  $Q_v$  - об'ємна продуктивність подрібнювача, м<sup>3</sup>/год;  $\varphi = (0,5 \dots 0,8)$  - коефіцієнт повноти заповнення отворів сита крихтою;  $\gamma$  - насипна густина крихти, кг/м<sup>3</sup>,  $S$  - сумарна площа отворів сита, м<sup>2</sup>:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} k \quad (1.7)$$

де  $d$  - діаметр отворів змінною калібруючої решітки, м;  $k$  - число отворів у змінній калібруючій решітці.

Потужність на валу електродвигуна подрібнювача:

$$N_0 = \frac{Pv_p z}{1000\eta} \quad (1.8)$$

де  $P = \tau_{\text{ср}}F$  - сила зрізу матеріалу одним ножом ротора, Н;  $\tau_{\text{ср}}$  - напруга зрізу матеріалу, Н / м<sup>2</sup>;  $F = \delta l$  - площа зрізу, м<sup>2</sup>;  $\delta$  - товщина зрізу, м;  $l$  - довжина ножа, м;  $v_p = \pi Rn / 30$  - швидкість обертання ротора, м/с;  $R$  - радіус дії сили зрізу (визначається шляхом геометричного вимірювання), м;  $n$  - число обертів двигуна, об/хв;  $z$  - кількість ножів;  $\eta$  - ККД приводу подрібнювача.

## 1.2. Розрахункові завдання

**Завдання 1.** Розрахувати продуктивність ножовий дробарки для подрібнення полімерних відходів, якщо сумарна площа отворів сита 47 дорівнює 0,002 м<sup>2</sup>, насипна густина крихти 900 кг/м<sup>3</sup>, а об'ємна продуктивність дробарки 1,3 м<sup>3</sup>/год.

**Завдання 2.** Розрахувати об'ємну продуктивність ножовий дробарки для подрібнення полімерних відходів, якщо діаметр отворів змінної калібруючої решітки дорівнює 12 мм, число отворів 16, а швидкість руху крихти через переріз отворів сита дорівнює 0,4 м/с.

## Контрольні запитання та завдання

1. Як класифікується обладнання для подрібнення відходів термопластів.
2. Опишіть конструкцію ножових подрібнювачів, що застосовуються при переробці відходів полімерів.
3. Як здійснюється регулювання зазору між ножами?
4. Які конструкції аварійних пристроїв ви знаєте?
5. Опишіть технологію виготовлення ножів подрібнювача.
6. Які параметри подрібнювача варіюються в процесі переробки відходів термопластичних полімерних матеріалів?
7. Які параметри впливають на продуктивність ножового подрібнювача?

## Література

1. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-техно-логического и природоохранного оборудования : справочник / А.С. Тимонин. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2002. – Т. 2. – 1085 с.
2. Голубев, Б.А. Типовые конструкции механизмов в химическом машиностроении : справочное пособие / Б.А. Голубев, Б.А. Ершов. – М. : Машиностроение, 1966. – 162 с.
3. Бекин Н.Г. Оборудование и основы проектирования заводов резиновой промышленности : учебное пособие для вузов / Н.Г. Бекин, Н.Д. Захаров, Г.К. Пеунков [и др.]. – Л. : Химия, 1985. – 504 с.

## Практична робота №2

### ОБЛАДНАННЯ ТА СПОСОБИ РОЗДІЛЕННЯ ТВЕРДИХ ФАЗ МЕХАНІЧНИМ МЕТОДОМ

**Мета роботи:** навчитися визначати основні експлуатаційні параметри центрифуги

#### 2.1. Теоретична частина

Сучасні центрифуги використовуються в різних технологічних процесах для механічного поділу сумішей, що складаються з твердих і рідких речовин. До технологій механічного поділу відносяться також осадження і фільтрація. Крім механічних існують термічні методи розділення такі, як дистиляція, ректифікація і сушка. В багатьох технологічних процесах механічне розділення робить істотний вплив на якість кінцевого продукту, економічність та екологічну безпеку виробництва. Приклади використання технологій механічного поділу можна знайти практично у всіх галузях промисловості: в харчовій, хімічній, фармацевтичній, гірничодобувній та багатьох інших, а також в області охорони навколишнього середовища, для розділення осаду після промивки подрібнених відходів.

Застосування сучасних центрифуг в порівнянні з іншими технологіями поділу, такими як фільтрація і статичне осадження, має наступні переваги:

- менша площа для розташування обладнання;
- закрита конструкція запобігає потраплянню шкідливих випарів в атмосферу, а також перешкоджає контакту продукту з зовнішнім середовищем;
- мінімальні потреби в обслуговуючому персоналі завдяки автоматичному режиму роботи;
- відсутність додаткових витратних матеріалів таких як фільтрувальна тканина, фільтруючі присадки і т.і.

Горизонтальні осаджувальні шнекові центрифуги використовуються для:

- освітлення рідин;
- зневоднення шламів і суспензій;
- згущення осаду;
- розділення трифазних сумішей, наприклад, двох незмішуваних рідині одного твердої речовини
- класифікування твердих частинок в суспензії за розміром частинок (вологе класифікування)
- сортування твердих речовин за густиною.

Для досягнення максимальної продуктивності в кожній конкретній області застосування, центрифуга повинна бути спеціально розроблена і налаштована під рішення відповідного завдання.

Центрифуги використовують в техніці для проведення процесів відцентрового відстоювання та фільтрування. Центрифуги, що використовуються для осадження, називають відстійними, для фільтрування - фільтруючими. Крім того, центрифуги розрізняють

- за принципом дії:

- 1) періодичної,
- 2) безперервної,
- 3) напівбезперервної (автоматичні).

- за способом розвантаження осаду:

  - з ручним і механізованим.

- за способом розміщення валу:

- 1) вертикальні,
- 2) горизонтальні,

- за числом обертів:

- 1) нормальні (число обертів до 5000-6000 об/хв)

- 2) суперцентрифуги (більше 10000 об/хв, використовують для розділення ізотопів).

На рис. 2.1 показана конструкція горизонтальної шнекової центрифуги. Шнек розміщений всередині ротора і обертається разом з ним в одному напрямку, але з різною швидкістю, що дозволяє вивантажувати з ротора утворюється на його стінці осад твердої фази. Центрифуги типу ОГШ використовують для розділення суспензій з концентрацією твердої фази від 1 до 40% (за об'ємом) з розміром частинок більше 5 мкм при різниці щільності фаз більше 0,2 г/см. Крім того, ці центрифуги застосовують для гідравлічної класифікації суспензій по крупності твердих частинок і для інших цілей. Відповідно до призначення центрифуги типу ОГШ поділяють на освітлюючі, що класифікують, збездонювальні і універсальні.

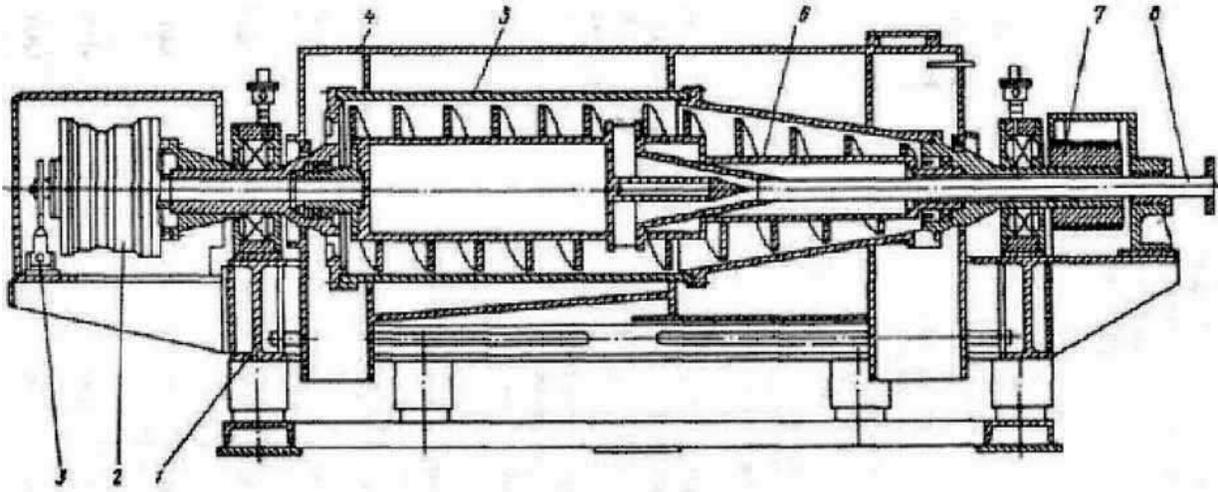


Рисунок 2.1 - Горизонтальна шнекова центрифуга ОГШ -501К-10  
 1 - станина; 2 - планетарний редуктор; 3 - механізм захисту редуктора; 4 - кожух;  
 5 - ротор; 7 - приводні ремені; 8 - труба живлення [1].

*Методика розрахунок центрифуги*

1. Продуктивність автоматизованої центрифуги циклічної дії, (кг/с):

$$\Pi = 0,95\pi(D^2 - d^2) \frac{h\rho\varepsilon\varphi}{4T_{\text{ц}}} \quad (2.1)$$

- де  $D$  - внутрішній діаметр ротора центрифуги, м;
- $d$  - діаметр верхнього обмежуючого кільця ротора, м;
- $h$  - висота ротора, м;
- $\rho$  - густина продукту, кг/м<sup>3</sup>;
- $\varepsilon$  - експлуатаційний коефіцієнт;
- $\varphi$  - коефіцієнт, який враховує частоту обертання ротора;
- $T_{\text{ц}}$  - час циклу, с.

2. Продуктивність пульсуючої центрифуги безперервної дії, (кг/с):

$$\Pi = 0,5\pi(R_0^2 - r_0^2)Ln\rho k\varepsilon \quad (2.2)$$

- де  $R_0$  - внутрішній радіус останнього ступеня ротора центрифуги, м;
- $r_0$  - внутрішній радіус шару продукту на останньому ступені ротора, м;
- $L$  - хід штовхача, м;
- $n$  - частота пульсацій, с<sup>-1</sup>;
- $\rho$  - густина продукту, кг/м<sup>3</sup>;
- $k$  - коефіцієнт заповнення останнього ступеня продуктом;
- $\varepsilon$  - експлуатаційний коефіцієнт.

3. Продуктивність конічної інерційної центрифуги безперервної дії (кг/с):

$$\Pi = Fq \quad (2.3)$$

- де  $F$  - площа робочої поверхні ротора центрифуги, м<sup>2</sup> ;

$q$  – навантаження продукту на одиницю робочої поверхні ротора за одиницю часу, кг/(м·с).

4. Продуктивність відстійної центрифуги безперервної дії (кг/с):

$$\Pi = 2\pi LV\rho \quad (2.4)$$

де  $r$  - середній радіус шару суспензії в роторі, м;

$L$  - довжина зливної ділянки, м;

$V$  – середня швидкість осадження частинок твердої фази, м/с;

$\rho$  – густина продукту, кг/м<sup>3</sup>.

5. Потужність, яка споживається приводом центрифуги (кВт):

$$N = N_1 + N_2 + N_3 \quad (2.5)$$

де  $N_1$  – потужність, яка необхідна на подолання інерції, кВт;

$N_2$  – потужність необхідна на подолання тертя в підшипниках, кВт;

$N_3$  – потужність, яка витрачається на подолання опору повітря, кВт.

6. Витрата енергії на подолання інерції барабану (кг м):

$$T_1 = \frac{G_6 \cdot \omega^2}{2 \cdot g} \quad (2.6)$$

де  $G_6$  – маса частин які обертаються в центрифугі, кг;

$R$  - внутрішній радіус барабана, м;

$\omega$  – кінцева швидкість обертання барабану, рад/с :

$$\omega = \frac{\pi \cdot R \cdot n}{30} \quad (2.7)$$

7. Витрата енергії на подолання інерції завантаження (кг м):

$$T_2 = \frac{G_3 \omega^2}{2g} \left(1 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (2.8)$$

де  $G_3$  – маса завантаження, кг;

$\phi$  - коефіцієнт заповнення барабану;

8. Витрата потужності на подолання інерції (кВт):

$$N_1 = \frac{T_1 + T_2}{\tau \cdot 60 \cdot 102} \quad (2.9)$$

$\tau$  – час розгону центрифуги, 101 хв.;

9. Витрата потужності на подолання тертя валу центрифуги в підшипниках (кВт):

$$N_2 = \frac{P_{TP} \cdot \omega_B}{102} = \frac{f \cdot (G_6 + G_3) \cdot \pi \cdot d \cdot n}{60 \cdot 102} \quad (2.10)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя ( $f = 0,03$ );

$d$  – діаметр шийки вала, м;

$n$  – частота обертання вала, с<sup>-1</sup>.

10. Витрата потужності на подолання барабану опору повітря:

$$N_3 = 6,8 \cdot 10^{-6} \rho_{\text{п}} \cdot R_{308}^2 \cdot \omega_{308}^2 \quad (2.11)$$

де  $\rho_{\text{п}}$  - густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$R_{зов}$  - зовнішній радіус барабану  $R_{зов} = R + \delta$  ( $\delta$  - товщина стінки барабану, м);

$\omega_{зов}$  - пускова потужність поверхні барабану (м/с), рівна

$$\omega_{зов} = \frac{\pi \cdot R_{зов} \cdot n}{30}$$

11. Потужність електродвигуна центрифуги визначається за формулою:

$$N_{дв} = \frac{1,15 \cdot N}{\eta} \quad (2.12)$$

де  $\eta$  – ККД двигуна.

## 2.2. Розрахункові завдання

Розрахувати витрату енергії на центрифугуванні, якщо вага барабану  $G_6=320$ кг, вага завантаження  $G_3=243$ кг, тривалість розгону  $\tau=3$ хв, радіус барабану центрифуги  $R=0,5$ м, частота обертання  $n=1000$ об/хв. , коефіцієнт тертя  $f = 0,03$ , діаметр валу  $d = 0,08$  м, густина повітря  $\rho=1,2$  кг/м<sup>3</sup>, зовнішній радіус барабану  $R_{зов}=0,512$ м, ККД двигуна  $\eta=0,85$ .

## Література

1. Центробежная сепарация. Режим доступа: <http://ztbo.ru/o-tbo/lit/processi-i-apparati-pererabotki-otxodov/centrobezhnaya-separaciya> (дата звернення: 12.04.2018).– Назва з екрана.

## Контрольні запитання та завдання

1. Для чого застосовуються центрифуги?
2. За якими ознаками класифікуються центрифуги?

## Практична робота №3

## НОРМАТИВНО-ПРАВОВА БАЗА ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ В УКРАЇНІ

**Мета роботи:** ознайомитись із законом України «Про відходи»; навчитися розраховувати кількість контейнерів для збирання відходів у населеному пункті.

### 3.1. Теоретична частина

На цей час значних зусиль в Україні докладено до створення системи керування у сфері поводження з відходами та нормативно-правового й економічного

забезпечення цієї сфери. Особливістю формування і становлення системи є непослідовність вказаних процесів. Окремі підсистеми та елементи мають різні ступені розвиненості та практичної реалізації. Чимало економічних інструментів існують лише на рівні законодавчих положень, залишаються нереалізованими та невпровадженими в практику господарювання.

Характерною рисою сформованої системи керування у сфері поводження з відходами є переважання адміністративних методів над економічними.

Поводження з відходами в Україні регулюють ряд нормативно-правових документів, серед яких більше десяти законів, сотні нормативних актів на рівні Кабінету міністрів і регулятивних документів інших відомств. Основним нормативно-правовим актом є Закон України «Про відходи», який в основному забезпечує базовий рівень правового регулювання проблем поводження з відходами. Закон постійно удосконалюють, зокрема, останні зміни були внесені у 2018 р. [1].

Від 1 січня 2018 року в Україні встановлюється заборона на захоронення неперероблених (необроблених) побутових відходів та зобов'язання українців сортувати сміття. Згідно з документом, великогабаритні, ремонтні та небезпечні відходи, що входять до складу побутових, мають збиратися окремо від інших видів. Штраф за порушення такої норми для населення становитиме від 340 до 1360 грн., для юридичних осіб – від 850 до 1700 грн.

Крім того, згідно з документом:

- небезпечні відходи мають відокремлювати на етапі збирання чи сортування та передавати спеціалізованим підприємствам, які мають ліцензії на здійснення операцій у сфері поводження з небезпечними відходами;
- сміття збирають у спеціально обладнані автівки. Виконавця таких послуг визначатимуть місцеві органи на конкурсних засадах;
- спалювання сміття дозволене лише на спеціально призначених для цього підприємствах чи об'єктах і тільки з метою одержання теплоти та/або електричної енергії;
- забороняється проектування, будівництво та експлуатацію полігонів побутових відходів без оснащення системами захисту ґрунтових вод, вилучення та знешкодження біогазу та фільтрату [2].

У населених пунктах збирання твердих, ремонтних і великогабаритних відходів рекомендується здійснювати за контейнерною та безконтейнерною схемами. За контейнерною схемою тверді, великогабаритні і ремонтні відходи збирають окремо у контейнери різної місткості, розміщені на контейнерному майданчику. Безконтейнерна схема рекомендується для застосування у районах індивідуального житлового будівництва, де обмежена можливість проїзду спеціально обладнаних транспортних засобів, їх маневрування

Для збирання та тимчасового зберігання малих об'ємів побутових відходів застосовують урни, встановлення та очищення яких відбувається відповідно до санітарних правил та норм.

Великогабаритні та ремонтні відходи за контейнерною схемою рекомендується збирати у контейнери місткості вище 2 м<sup>3</sup>. Для збирання рідких відходів застосовують, як правило, вигрібні ями з періодичним видаленням накопичених рідких відходів, та локальні очисні споруди, де рідкі відходи знешкоджують шляхом відстоювання та біологічного очищення [3].

### 3.2. Розрахунок кількості контейнерів для збирання відходів у населеному пункті

Кількість контейнерів для зберігання побутових відходів визначається чисельністю населення, що ними користується, та нормами надання послуг з вивезення побутових відходів. Сумарний об'єм контейнерів для зберігання побутових відходів повинен перевищувати фактичний об'єм їх утворення на 25 відсотків. Розрахунок кількості контейнерів проводиться згідно з Методичними рекомендаціями з організації збирання, перевезення, перероблення та утилізації побутових відходів [4].

Кількість контейнерів,  $N_b$ , визначається за формулою:

$$N_b = \frac{Q_{max} t K_1 K_2}{c K_3}, \text{ од}$$

$Q_{max}$  – максимальний добовий об'єм утворення кожного виду ПВ (побутових відходів) у частині населеного пункту, для якої проводиться розрахунок, м<sup>3</sup>/добу,

$t$  – періодичність перевезення кожного виду ПВ, дів,

$K_1$  – добовий коефіцієнт нерівномірності утворення кожного виду ПВ;

$K_2$  – коефіцієнт, який враховує кількість контейнерів, що перебувають у ремонті та в резерві,

$c$  – місткість одного контейнера, м<sup>3</sup>,

$K_3$  – коефіцієнт заповнення контейнера.

Максимальний добовий об'єм утворення кожного виду ПВ  $Q_{max}$  рекомендується визначати за формулою:

$$Q_{max} = \frac{q m 365}{365 - T_{кр}} K_1, \text{ м}^3/\text{добу}$$

де  $q$  – добовий об'єм утворення кожного виду ПВ на одного мешканця, м<sup>3</sup>/добу

$m$  – чисельність населення,

$K_1$  – добовий коефіцієнт нерівномірності утворення кожного виду ПВ,

$T_{кр}$  – кількість неробочих днів на рік для спеціально обладнаних транспортних засобів, що здійснюють збирання та перевезення кожного виду ПВ.

Рекомендується використовувати такі значення коефіцієнтів:  $K_1=1,4$ ;  $K_2=1,05$ ;  $K_3=0,9$ .

### 3.3. Розрахункові завдання

Завдання 1. Розрахувати кількість контейнерів для збирання ТПВ (твердих полімерних відходів) у одноквартирній житловій забудові міста при контейнерній системі видалення ТПВ. Добовий об'єм утворення відходів складає 8 л/добу на 1 мешканця. Кількість мешканців для даної категорії забудови становить 5870 осіб. Періодичність вивезення відходів - щоденно. Місткість контейнера – 4 м<sup>3</sup>. Передбачити, що кількість неробочих днів на рік для спеціально обладнаних транспортних засобів становить 7 днів.

Завдання 2. Розрахувати кількість контейнерів для роздільного збирання полімерів. Добовий об'єм утворення ТПВ на території міста складає 8 л/добу на 1 жителя. Кількість жителів становить 14830 осіб. Вміст полімерів у складі ТПВ становить 30 % за обсягом. Періодичність вивезення відходів – 1 раз на тиждень. Місткість контейнера – 1,1 м<sup>3</sup>. Передбачити, що кількість неробочих днів на рік для спеціально обладнаних транспортних засобів становить 7 днів.

### **Контрольні запитання та завдання**

1. Сформулюйте основні положення закону України «Про відходи».
2. Які заходи створення для покарання за порушення норм збирання великогабаритних, ремонтних та небезпечних відходів у складі побутових?
3. Де рекомендується застосовувати контейнерні та безконтейнерні способи збору сміття?
4. В які контейнери рекомендовано збирати великогабаритні та ремонтні відходи?
5. Як збираються рідкі відходи?
6. Які параметри впливають на максимальний добовий об'єм утворення ПВ?

### **Література**

1. Нормативно-правові та економічні аспекти поводження з відходами в Україні. Режим доступу: <https://waste.ua/eco/2012/waste-management/legislation/> (дата звернення: 12.05.2018). – Назва з екрана.
2. Українців зобов'язали сортувати сміття. Режим доступу: <https://www.5.ua/suspilstvo/z-1-sichnia-ukraintsiv-zoboviazaly-sortuvaty-smittia-iakym-bude-shtraf-162420.html> (дата звернення: 19.05.2018). – Назва з екрана.
3. К.О.Абашина. Методичні вказівки для практичних робіт із навчальної дисципліни «Утилізація побутових відходів» / К.О.Абашина, О.В. Хандогіна.- ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. -15с.
4. Методичні рекомендації з організації збирання, перевезення, перероблення та утилізації побутових відходів, затверджені наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства України № 176 від 07.06.2010.

## Практична робота №4

### ПЕРЕРОБКА ПОЛІЕТИЛЕНУ ТА ПОЛІОЛЕФІНІВ

**Мета роботи:** ознайомитись із шляхами переробки поліетилену та поліолефінів; навчитися розраховувати максимально-разові викиди та викиди за добу забруднюючих речовин.

#### 4.1. Теоретична частина

Переробка полімерних відходів в нові полімерні матеріали і вироби є найбільш економічнодоцільним шляхом їх використання. Оскільки вторинна переробка полімерів приблизно в два рази менш енергоємна, ніж виробництво первинних полімерів, крім того скорочуються витрати нафтової сировини, рециркуляція полімерних відходів є економічно доцільною.

Вторинна переробка полімерних відходів, застосування їх в комунальному господарстві міст України є актуальним завданням екологічного і економічного характеру. У результаті моніторингу утворення полімерних відходів та їх складу визначено, що накопичення їх у вигляді твердих побутових відходів збільшується і випереджає можливості переробки, оскільки методи повторного використання їх у вигляді грануляту вторинної сировини ще не знайшли широкого поширення.

Існує три шляхи вторинної переробки полімерних відходів: 1) механічна переробка; 2) хімічна переробка; 3) спалювання з отриманням енергії (рис. 4.1). Механічна переробка є основним напрямком відновлення пластмас, але обмежена впливом таких чинників, як забруднення, деградація властивостей і т.п. Тому все, що не підлягає механічній переробці, може перероблятися іншими методами. Спалювання є дуже ефективним способом знищення великих об'ємів пластмас, але в цьому випадку із сміття отримується невелика частка корисних продуктів.

Третій спосіб переробки – хімічна, або сировинна або “третинна”. Сюди можна віднести будь-яку технологію, яка використовує керовані хімічні реакції, а саме: деполімеризація макромолекул з утворенням мономерів, покрокова деструкція до низьких молекулярних мас через розрив певних хімічних зв'язків, нарощування полімерних ланцюгів для відновлення молекулярної маси, піроліз з утворенням складної суміші газоподібних, рідких і твердих продуктів, реакційне змішування різних полімерів та ін. Цей шлях переробки дозволяє відновити більшу частину відходів [1].



Рисунок 4.1 - Методи утилізації і вторинної переробки полімерних відходів

#### 4.2 Розрахунок викидів шкідливих речовин в атмосферу при переробці термопластів

Проведемо розрахунок викидів шкідливих речовин в атмосферу при переробці термопластів для технологічної лінії виробництва. Вихідними даними для розрахунку є характеристики продуктивності лінії та типи матеріалів термопластів, що наведені у табл. 4.1. Технологічна лінія з переробки термопластів містить обладнання для виконання технологічних операцій гранулювання на базі екструдерів для роздільної переробки поліетилену, полістиролу, ПВХ та ПЕТ-пляшок. При їх роботі у атмосферу виділяються леткі продукти термоокислювальної деструкції. При подрібненні термопластів у атмосферу виділяється їх пил. Питомі викиди шкідливих речовин у атмосферу при переробці термопластів наведено у табл. 4.2 [2].

Таблиця 4.1 – Характеристики продуктивності лінії з переробки термопластів

Матеріал	Продуктивність лінії, кг/год
Поліетилен	300
Полістирол	100
ПВХ	100
ПЕТФ	100

Таблиця 4.2 – Питомі викиди шкідливих речовин у атмосферу при переробці термопластів

Найменування технологічної операції	Матеріал	Шкідливі речовини, що виділяються у атмосферу	
		Найменування	Показник питомих викидів, г/кг
Гранулювання на базі екструдерів	Поліетилен	Органічні кислоти в перерахунку на оцтову кислоту	0,30
		Оксид вуглецю	0,20
	Полістирол	Стирол	0,05
	ПВХ	Вінілхлорид	0,02
ПЕТФ		Органічні кислоти в перерахунку на оцтову кислоту	0,30
		Оксид вуглецю	0,20
Подрібнення	Поліетилен, Полістирол, ПВХ, ПЕТФ	Пил термопластів	0,70

Розраховуємо максимально-разовий викид забруднюючих речовин у атмосферу у процесі переробки термопластів для кожної з технологічних операцій та виду забруднюючої речовини:

$$Q_i = \frac{q_i \cdot M \cdot 10^3}{3600} \text{ (г/с)}, \quad (4.1)$$

де  $Q_i$  – показники питомих викидів  $i$ -тої забруднюючої речовини на одиницю ваги термопластів, які переробляються (г/кг);

$M$  – кількість матеріалу, що переробляється (т/год).

З урахуванням того, що технологічне обладнання працює позмінно, середні викиди забруднюючих речовин у атмосферу протягом доби будуть:

$$Q_{iд} = Q_i \cdot \frac{T_i}{24} \text{ (г/с)}, \quad (4.2)$$

де  $T_i$  – час роботи обладнання на добу (годин), при роботі обладнання у одну зміну приймаємо 8 годин [2].

Підставивши значення характеристик продуктивності лінії з табл.4.1 та питомих викидів шкідливих речовин у атмосферу з табл.4.2., визначимо максимально-разові викиди та викиди за добу забруднюючих речовин на базі екструдерів для поліетилену:

Органічні кислоти в перерахунку на оцтову кислоту

$$Q_1 = \frac{0,3 \cdot 0,3 \cdot 10^3}{3600} = 25 \text{ (мг/с);}$$

$$Q_{1д} = 25 \cdot \frac{8}{24} = 8,3 \text{ (мг/с);}$$

Оксид вуглецю

$$Q_2 = \frac{0,2 \cdot 0,3 \cdot 10^3}{3600} = 16,7 \text{ (мг/с);}$$

$$Q_{2д} = 16,7 \cdot \frac{8}{24} = 5,6 \text{ (мг/с);}$$

### 4.3. Розрахункові завдання

Завдання 1. Розрахувати максимально-разові викиди та викиди за добу забруднюючих речовин технологічної операції гранулювання на базі екструдерів для полістиролу.

Завдання 2 Розрахувати максимально-разові викиди та викиди за добу забруднюючих речовин технологічної операції гранулювання на базі екструдерів для ПЕТФ.

### Контрольні запитання та завдання

1. Які існують шляхи вторинної переробки полімерних відходів?
2. Основний напрям відновлення пластмас?
3. Впливом яких чинників обмежена механічна переробка?
4. Опишіть процес хімічної переробки.
5. Які шкідливі речовини виділяються в атмосферу при переробці поліетилену?

### Література

1. Мартинюк М. М. Вплив способів переробки вторинних поліолефінів на формування властивостей виробів з них / М. М. Мартинюк, Н. І. Доманцевич // Вісник Львівської комерційної академії. Серія товаровознавча. - 2014. - Вип. 14. - С. 37-40. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vlca\\_2014\\_14\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vlca_2014_14_9) (дата звернення: 19.09.2018).– Назва з екрана.
2. Ресурсоенергозбереження в галузі переробки полімерів . Режим доступу: [eco.com.ua/sites/eco.com.ua/files/lib1/ref/0083.doc](http://eco.com.ua/sites/eco.com.ua/files/lib1/ref/0083.doc) - 82 с. (дата звернення: 19.09.2018).– Назва з екрана.

## Практична робота №5

### УТИЛІЗАЦІЯ ТЕРМІЧНИМИ СПОСОБАМИ

**Мета роботи:** ознайомитись з термічними способами утилізації, сформувані уміння визначення доцільності спалення відходів

#### 5.1. Теоретична частина

Існують наступні термічні способи використання вторинного полімерної сировини (ВПС):

- спалювання для одержання теплоти;
- термічне розкладання (піроліз, деструкція, розкладання до вихідних мономерів та інших.)

Спалювання відходів у сміттєспалювальних печах потребує попереднього сортування для розділення на горючу і негорючу фракції.

#### **Переваги сміттєспалювальних заводів:**

1. Зменшення витрат на перевезення, порівняно з полігонами для захоронення.
2. При спаленні 1 тони відходів можна отримати 1300-1700 кВт.ч теплоти або 300-550 кВт.ч електроенергії.
3. Додаткове отримання чорного металолому. Однак существуют и несколько факторов против мусоросжигания как одного из способов утилизации ТБО.

#### **Недоліки:**

1. Складний процес очищення газів, що відходять в атмосферу.
2. Необхідність утилізації або захоронення шлаків та золи, що утворюються при згорянні, а також утворення небезпечних хімічних з'єднань.
3. Вісока вартість обладнання та технологій. (1000 \$/ т).
3. Обеспечение гарантированной поставки сырья. По мнению специалистов, объемы сжигания мусора на таком заводе больше, и, чтобы не допускать убыточности подобного проекта, руководству города необходимо поддерживать определенный установленный ввоз мусора на завод.
4. Для забезпечення роботи сміттєспалювального заводу необхідно витримувати певну морфологію (склад) відходів.

Значне місце у утилізації вторинного полімерної сировини відведене **термічному розкладанню** як засобу перетворення ВПС в низькомолекулярні сполуки. Важливе місце у тому числі належить піролізу. *Піроліз* - це термічне розкладання органічних речовин для одержання корисних продуктів. За більш низьких температурах (до 600°C) утворюються у основному рідкі продукти, а вище за 600°C - газоподібні, до технічного вуглецю.

Досить поширеним матеріалом в промисловості є полівінілхлорид (ПВХ), який використовується в електротехнічній, легкій, харчовій, автомобільній промисловості, машинобудуванні, суднобудуванні, під час

виробництва будматеріалів, медичного устаткування і т.і. завдяки його унікальними фізико-механічними, діелектричними та інші експлуатаційними властивостями. Однак зараз застосування ПВХ поступово обмежується, що пов'язано, передусім, з екологічними проблемами, що виникають при експлуатації виробів, їх утилізації і вторинної переробці. При старінні полімер разом із втратою фізико-механічних властивостей спостерігається негативний вплив на навколишнє середовище, обумовлене процесами дегідрохлорування ПВХ, що підсилюються при досягненні температур 50 - 80°C (утворюються високотоксичні хлорвміщуючі поліароматичні сполуки).

**Піроліз ПВХ** з додаванням відходівПЭ, ПП і ПС при  $t=350^{\circ}\text{C}$  і тиску до 30 атм у присутності катализатора Фриделя-Крафтса і за умов обробки суміші воднем дає змогу отримувати багато цінних хімічних продуктів із виходом до 45% корисних речовин: бензолу, толуолу, пропану, кумолу, альфа-метилстирол та інших., а також хлористого водню, метану, етану, пропану. Попри ряд недоліків, піроліз, на відміну процесів спалювання ТПВ, дає можливість отримання промислових продуктів, що використовуються для подальшої переробки.

Ще одним способом трансформації вторинної полімерної сировини є **каталітичний термолиз**, що відбувається при нижчих температурах. У окремих випадках щадні режими дають змогу одержувати мономери, наприклад, при термолизе ПЕТФ, ПС та інших. Одержувані мономери можна використовувати як при проведенні процесів полімеризації і поліконденсації. З використаних ПЕТФ-пляшок отримують дефіцитні мономери - диметилтерефталат і етиленгліколь, які знову йдуть на синтезу ПЕТФ заданої молекулярної є і структури, яка потрібна на виробництва пляшок.

Найліпшими способами утилізації вторинного полімерної сировини з економічної й екологічної точок зору представляється повторне використання та вторинна переробка на нові види матеріалів і виробів.

### **Вторинна переробка полівінілхлориду**

У процесі переробки полімери піддаються впливу високих температур, напруг зсуву і окислювання, що зумовлює зміни структури матеріалу, його технологічних і експлуатаційних властивостей. На зміну структури матеріалу головним чином впливають термічні і термоокислюючі процеси.

ПВХ – один із найменш стабільних карбоцепних промислових полімерів. Реакція деструкції ПВХ –дегідрохлорування розпочинається вже при температурах вищих за 100 °С.

Поруч із урахуванням впливу умов експлуатації і кратності переробки вторинних полімерних матеріалів, необхідно оцінити раціональне співвідношення відходів та первинної сировини у композиції, призначеної для переробки.

При екструзії виробів із змішаної сировини є велика небезпека браку через різні в'язкості розплавів, тому пропонується екструдувати первинний і вторинний

ПВХ різними машинами, проте порошкоподібний ПВХ практично можна змішувати з вторинним полімером [1].

### **Утилізація ТПВ високотемпературним піролізом**

Можна спалювати ТПВ в спеціальних печах на колосникових ґратах, а отриману теплоту використовувати для опалення або для отримання електроенергії. Але при спалюванні пластикових відходів утворюються високотоксичні діоксини з полімерами галогенів у своєму складі: хлору, бромов, фтору, а також поліароматичні вуглеводні (ПАВ). Потрібні системи фільтрації відведених газів, вартість яких може на порядок перевищує номінальну вартість самих сміттєспалювальних установок.

Технології зі спалювання ТПВ у циркулюючому псевдозрідженому шарі не забезпечують знешкодження діоксинів у твердому неспаленому залишку. З світового досвіду утилізації ТПВ термічним способом відомі умови утворення діоксинів:

- низька температура горіння 600-900°C, яка припадає на пік інтенсивності синтезу;
- надлишковий вміст кисню повітря.

Тільки висока температура, понад 1250°C і витримка більш 2 секунд сприяє руйнації діоксинів.

В установках **високотемпературного піролізу** можна було б одержати температуру, близьку до руйнації діоксинів, але з виключенням без подальшого синтезу.

**Плазмова технологія утилізації ТПВ** дозволяє створити у зоні термічного розкладання температуру понад 1300°C, що цілком достатньо для безпечної утилізації відходів, а отримана економічна складова дуже висока - на 1 кг відходів витрачається 2-3 кВт електроенергії. Ця технологія існує у розробках, складна у реалізації і досить витратна. Таким чином, для безпечної утилізації ТПВ потрібно створення устаткування, яке відповідала б наступним умовам:

- безкисневе термічне розкладання органічної речовини;
- температура щонайменше 900°C у зоні розкладання;
- пропорційне й рівномірне змішування компонентів горіння;
- час перебування газів у гарячій зоні спалювання щонайменше 2 секунд.

Термодинамічні розрахунки піролізу ПВХ проводили із застосуванням програмного продукту "ИВТАНТЕРМО", розробленого у центрі даних про термодинамічних властивості індивідуальних речовин "ТЕРМОЦЕНТР ім. академіка В.П. Глушка". В результаті було запропоновано два варіанта проведення процесів термічної утилізації ПВХ, що забезпечують їх екологічну безпеку.

I. Піроліз ПВХ за нормальної температури 700 - 800 К із наступною нейтралізацією хлороводорода, що утворюється шляхом його спалення з оксидом кальцію при 400 — 500 К, з нейтралізацією газу киснем повітря при 1000 — 1100 К. Для нейтралізації піролізних газів можна використовувати фільтри, що містять кускове негашене вапно.

II. Піроліз ПВХ у присутності оксиду кальцію при 600 — 800 К. Піролізні гази, містять метан і водень, які мають високу теплотворну здатність, їх можна використовувати як паливо для підтримки необхідної температури в печі піролізу. При неможливості утилізації, перед викидом у повітря їх слід доспалювати при 1100 — 1200 К.

**Газифікація** – це перетворення органічної частини палива в горючі гази при високотемпературному нагріванні (до 1000—2000 °С) з окислювачем (кисень, повітря, водяна пара, тощо). Процес відбувається в устаткуванні, яке називаються газифікаторами. *Газифікатор* - це апарат, призначений для перетворення твердого палива в газоподібне в результаті взаємодії вуглецю палива з киснем в умовах високих температур. В генераторному газі основними горючими складовими являються вуглекислий газ CO (27 - 37%) і вода H<sub>2</sub> (13 - 25%). Теплота згоряння генераторного газу  $Q_{PH} = 5 - 7$  МДж/м<sup>3</sup>.

В газифікаторі можуть перероблятися (газифікуватися):

- вугілля
  - тверді побутові відходи
  - відходи деревопереробної, целюлозно-паперової, лісової промисловості
  - відходи сільськогосподарських виробництв (біомаса)
  - старі автомобільні покришки. Газифікатор твердого палива показано на рис.5.1
- Схема заводу з газифікацією сміття показана на рис. 5.2.
- 



Рисунок 5.1- Газифікатор твердого палива "Салют"

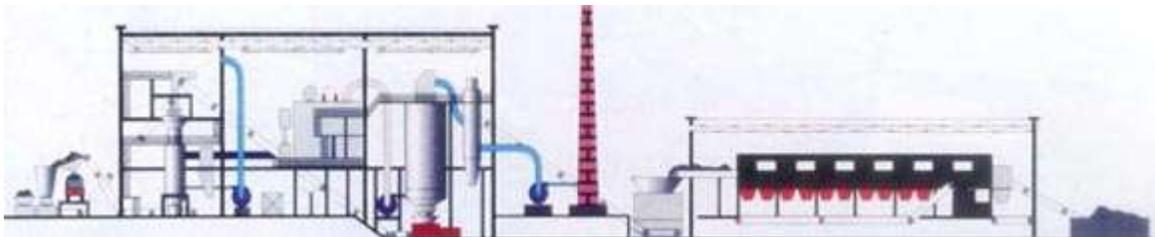


Рисунок 5.2. Схема заводу з газифікацією сміття

### 5.3. Завдання

1. Знайти за відкритими джерелами інформації основні підприємства, які займаються утилізацією ТПВ в Україні

#### Контрольні запитання та завдання

1. Проаналізуйте основні способи терміної утилізації відходів.
2. Проаналізуйте основні переваги та недоліки різних способів термічної утилізації ТПВ.
3. Яка основна небезпека виникає при спаленні полімерних відходів.

#### Література

1. Клинков А.С., Беляев П.С., Соколов М.В., Шашков И.В. Утилизация полимерной тары и упаковки. – Тамбов: Издательство ТГТУ, 2008. 62 с.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №6

### ВТОРИННА ПЕРЕРОБКА ПОЛІВІНІЛХЛОРИДУ

**Мета роботи:** ознайомитись зі способами переробки відходів полівінілхлориду; ознайомитись зі схемою виробництва плівкових виробів з відходів ПВХ.

#### 6.1. Теоретична частина

Полівінілхлорид (ПВХ) являє собою сучасний універсальний синтетичний полімер, який має широкий спектр застосування (будівельна сфера, автомобільна галузь, фармакологія і медицина, хімічна промисловість, сфера побуту тощо). Популярність ПВХ в першу чергу викликана доступністю сировини, експлуатаційними властивостями і відносною дешевизною матеріалу.

Зважаючи на інтенсивність використання виробів з полівінілхлориду, зростає і кількість відходів ПВХ. Утилізація відходів з подальшою переробкою дозволяє економити ресурси, робити свій вагомий внесок у захист навколишнього середовища.

Залишки матеріалу дають кілька основних джерел:

1. Відходи первинного виробництва, які за своїм складом практично не відрізняються від первинної сировини.
2. Побутові відходи, які вивозяться на звалище - посуд, елементи декору.

### 3. Утильсировину з різних виробництв:

- відходи кабельного ПВХ;
- відходи ПВХ віконного профілю;
- відходи плівки ПВХ;
- відходи ПВХ труб.

Основну проблему для вторинної переробки представляють побутові відходи ПВХ, які перемішані з іншими видами твердих відходів, що ускладнює сортування.

Переробка ПВХ має ряд особливостей. Складність даного процесу в першу чергу пов'язана з високою в'язкістю розплаву даного матеріалу, а також його термічною нестабільністю. Процес переробки ПВХ вимагає грамотного підходу і застосування спеціального якісного обладнання [1].

## 6.2 Методи переробки

### 6.2.1 Лиття під тиском

Основними видами відходів на основі ненаповнених ПВХ є пластизол, технологічні і браковані вироби. На підприємствах легкої промисловості діє наступна технологія переробки відходів пластизолу методами лиття під тиском.

Встановлено, що вироби задовільної якості з вторинних ПВХ-матеріалів можна отримати за пластизолними технологіями. Процес включає подрібнення відходів плівок і листів, приготування пасти ПВХ з пластикатором, формування нового виробу методом лиття.

Для переробки відходів методом лиття під тиском, як правило, застосовують машини, що працюють за типом інтрузії, з постійно обертовим шнеком, конструкція якого забезпечує мимовільний захват і гомогенізацію відходів.

Одним з перспективних методів використання відходів ПВХ є багатокомпонентне лиття. При такому способі переробки виріб має зовнішній і внутрішній шари з різних матеріалів. Зовнішній шар - це, як правило, товарні пластмаси високої якості, стабілізовані, забарвлені, мають гарний зовнішній вигляд. Внутрішній шар - вторинне ПВХ сировина. Переробка термопластів даним методом дозволяє значно економити дефіцитну первинну сировину, скорочуючи її споживання більш ніж в два рази.

### 6.2.2 Пресування

Одним з традиційних методів переробки відходів полімерних матеріалів є пресування. Подрібнені відходи рівномірної товщини транспортною стрічкою подають в піч і розплавляють, таким чином утворюється єдиний масив. Цим методом переробляють суміші пластмас з вмістом сторонніх речовин більше 50%.

Проблема регенерації відходів ПВХ-пластиків в даний час інтенсивно розробляється, проте є чимало труднощів, пов'язаних насамперед з наявністю наповнювача. Деякі розробники пішли шляхом виділення полімеру з композиту з подальшим його використанням. Однак найчастіше ці технологічні варіанти неекономічні, трудомісткі і придатні тільки для вузького асортименту матеріалів.

Відомі способи прямого термоформування або вимагають високих додаткових витрат (підготовчі операції, добавка первинного полімеру, пластифікаторів, використання спеціального обладнання), або не дозволяють переробляти високонаповнені відходи, зокрема, ПВХ-пластиків.

### **6.2.3 Каландрування**

Прикладом переробки відходів методом каландрування може бути так званий процес "Регал", що полягає в каландруванні матеріалу та отриманні плит і листів, які застосовуються для виробництва тари та меблів. Зручність такого процесу для переробки відходів різного складу полягає в легкості його регулювання шляхом зміни зазору між валками каландра для отримання хорошого зсувного і диспергуючого впливу на матеріал. Хороша пластифікація і гомогенізація матеріалу при переробці забезпечує отримання виробів з досить високими показниками міцності. Спосіб економічно вигідний для термопластів, що пластифікуються при відносно низьких температурах, в основному, це м'який ПВХ.

Для підготовки відходів розроблений агрегат, що складається з ножової дробарки, змішувального барабана і тривалкових рафінувальних вальців. Компоненти суміші більшої фракції, високого пресуючого тиску і перемішування між обертовими поверхностями ще більше подрібнюються, пластикуються і гомогенізуються. Вже за один прохід через машину матеріал набуває досить високої якості.

## **6.3 Переробка та виробництво плівкових виробів з відходів ПВХ**

Розглянуті технологічні операції з підготовки до повторного використання відходів ПВХ матеріалів можуть бути реалізовані на безперервній лінії, яка включає в себе всі необхідні агрегати для їх виконання.

Так, лінія німецької фірми "Райфенхаузер" для гранулювання забрудненої плівки включає: ножовий подрібнювач; ванну для миття; вихровий водовідділювач; фільтр; черв'ячний прес; ванну з охолоджувальною водою; гранулятор; транспортуючий пристрій; допоміжне обладнання.

Процес отримання гранул на цій лінії складається з наступних стадій: подрібнення, змішування, усереднення, відмивання, сушки, ущільнення, пластикації, фільтрації розплаву, формування джгутів, охолодження джгутів, гранулювання, контролю якості грануляту і його затарювання.

Продуктивність такої лінії складає 300 кг/год, встановлена потужність 326 кВт, витрата охолоджуючої води 2,5 м<sup>3</sup>/т, витрата води для відмивання плівки 5,5 м<sup>3</sup>/т, розміри гранул 4x4 мм.

Лінія ЛПВ-2000 (рис. 6.1) призначена для комплексної підготовки до переробки кускових і плівкових відходів. Продуктивність лінії складає 2000 т/рік. Подрібнення відходів проводиться в роторних подрібнювачах (ІПР-300 - для кускових відходів, ІРНП-300-600 - для плівкових відходів). Подрібнені відходи у вигляді пульпи надходять в шнековий промивач, звідки відмиті відходи надходять в

віджимний пристрій і далі в вихрову сушарку, а потім в шнековий екструдер на грануляцію. Розмір гранул, одержуваних на цій лінії, 2-5 мм. [2]

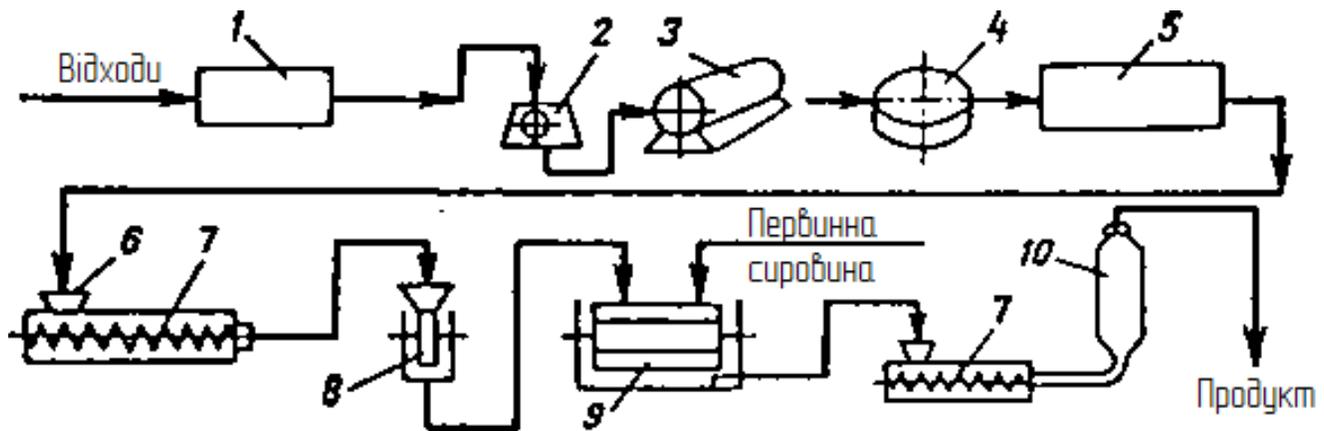


Рисунок 6.1 - Схема виробництва плівкових виробів з відходів ПВХ: 1-вузол сортування відходів; 2-дробарка; 3-мийна машина; 4-центрифуга; 5-сушарка; 6-вальці; 7-екструзійні преси; 8-гранулятор; 9-змішувач; 10-каландр; 11-намотувальний пристрій.

### Контрольні запитання та завдання

1. Проаналізуйте основні джерела утворення ПВХ-відходів?
2. Порівняйте основні методи вторинної переробки ПВХ?
3. Чим викликана розповсюдженість ПВХ?
4. Опишіть метод каландрування.

### Література

1. Переробка пластику. Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Переробка пластику](https://uk.wikipedia.org/wiki/Переробка_пластику).
2. Переработка отходов поливинилхлорида. Режим доступу: <http://www.ecologyside.ru/ecosids-721-4.html>.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА №7

### ЕКСТРУЗІЯ ВІДХОДІВ ПОЛІМЕРІВ

**Мета роботи:** ознайомитись із поняттям екструзія; розглянути опис установки екструдера; навчитися розраховувати продуктивність екструдера.

## 7.1. Теоретична частина

Екструзія є безперервним технологічним процесом, що полягає в продавлюванні матеріалу, що має високу в'язкість у пластифікованому стані, через формувальний інструмент - екструзійну головку, з метою отримання виробу з поперечним перетином потрібної форми. У промисловості після переробки полімерів методом екструзії виготовляють різні погонні вироби, такі, як труби, листи, плівки, оболонки кабелів, профілі тощо. Основним технологічним устаткуванням для переробки сировини у вироби методом екструзії є одношнекові та двошнекові екструдери. [1]

У залежності від виду матеріалу, що переробляється та особливостей формування з нього виробу за рівнем температури розрізняють такі види екструзії:

- холодна екструзія (без підведення тепла)
- тепла екструзія (попередній підігрів сировини)
- гаряча екструзія (забезпечується нагрівання сировини в зоні шнека та екструзійної головки).

У багатьох галузях поширення набув метод «гарячої» екструзії, який здійснюється при високих швидкостях і тиску, при значному перетворенні механічної енергії у теплову.

Екструдований виріб (екструдат) необхідного профілю виходить з екструдера в сильно нагрітому стані (його температура становить від 125 до 350°C), і для збереження форми потрібно його швидко охолодження. Екструдат надходить на конвеєрну стрічку, що проходить через чан з холодною водою де він твердне. Для охолодження екструдата також застосовують обдування холодним повітрям і зрошення холодною водою. Сформований продукт надалі розрізається чи змотується в катушки.

За допомогою екструзії виконується вторинне використання сировини полімерів. Відходи полімерів сприяють виходу на ринок великої кількості нової продукції виконаної за допомогою утилізації вторинної сировини. Для здійснення екструзійного процесу використовують спеціальне обладнання – черв'ячний екструдер.[2]

Основним обладнанням для екструзії служать одно- і двошнекові екструдери, а також комбіновані дисково-шнекові екструдери. У дискових екструдерах тиск створюється за рахунок ефекту Вайсенберга, який полягає в зворотній до відцентрової сили течії розплаву до центру при обертанні диску.

## 7.2 Опис установки

Тиск в екструзійному агрегаті створюється за рахунок примусового, неперервного переміщення матеріалу вздовж гвинтової нарізки шнека при його обертанні (принцип м'ясорубки) (рис.7.1)

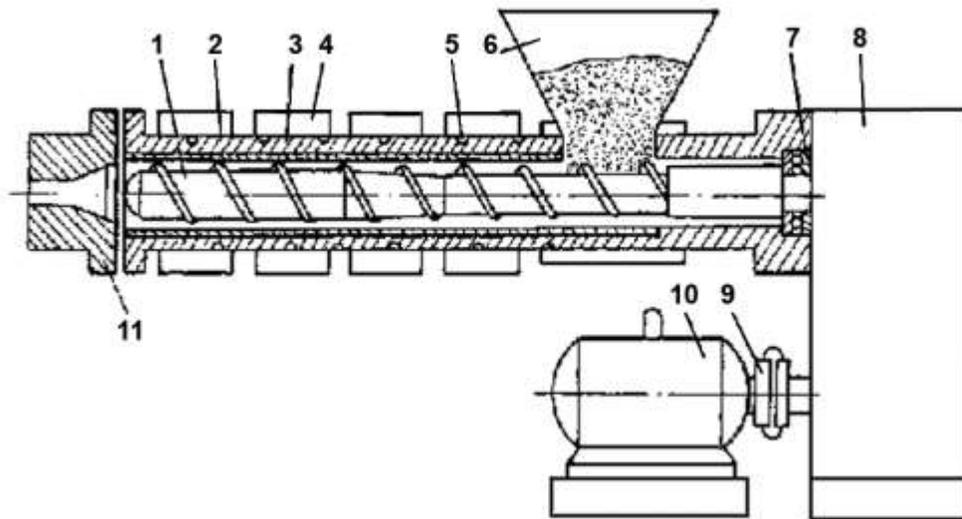


Рис. 7.1 Одношнековий екструдер з горизонтальним розташуванням циліндра: 1 – шнек; 2 – гільза; 3 – циліндр; 4 – електронагрівач; 5 – система охолодження; 6 – завантажувальна лійка; 7 – вузол опірного підшипника; 8 – редуктор; 9 – муфта; 10 – електродвигун; 11 – формувальна головка (філь’єра)

Стадії процесу екструзії:

- завантаження матеріалу та транспортування його обертанням шнека з відповідним нахилом гвинтової нарізки;
- топлення матеріалу;
- гомогенізація і дозування розтопу;
- перетискання через профільний отвір (головку);
- обробка екструдату з метою надання йому необхідних розмірів і властивостей – формування кінцевого виробу.

Внаслідок неперервності процесу екструзія є найпрогресивнішим і найперспективнішим методом переробки пластмас, який потребує найменших енерго- і матеріальних витрат та може бути повністю автоматизований і керуватись за допомогою ЕОМ. Порівняно простою справою є створення безвідходної (замкненої) лінії виробництва екструзійних виробів. [3]

### 7.3 Розрахунок продуктивності екструдера

У зв’язку з викладеними вище стадіями процесу екструзії в агрегат виділяють три основні зони в напрямку руху матеріального потоку: 1) зона завантаження; 2) зона топлення (стиснення); 3) зона дозування (гомогенізації) (рис. 7.2).

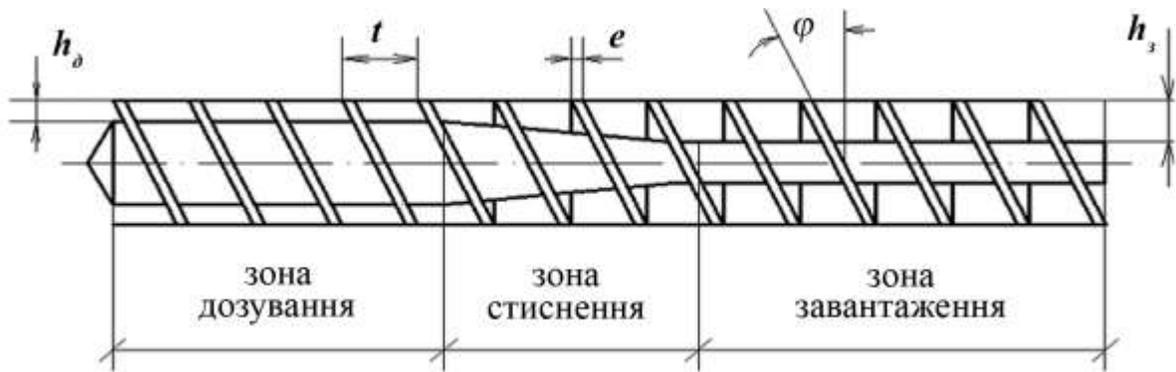


Рис. 7.2 Шнек загального призначення:  $h_s$  і  $h_d$  – глибина нарізки в зоні завантаження й зоні дозування;  $t$  – крок;  $\varphi$  – кут нахилу гвинтової нарізки;  $e$  – ширина гребеня нарізки

Довжина кожної зони є непостійною, залежить від гранулометричного складу і теплофізичних характеристик сировини.

Для правильної роботи екструдера необхідною умовою є строге дотримання співвідношення продуктивностей кожної із зон. Стабільність процесу екструзії й висока якість екструдату спостерігається, коли  $Q_z \geq Q_c \geq Q_o$ , де:  $Q_z, Q_c, Q_o$  – відповідно, продуктивності зон завантаження, топлення і дозування.

Коли ж  $Q_z \leq Q_o$  і  $Q_c \leq Q_o$ , екструдер працює в „голодному режимі” з можливими пульсаціями і низьким К.К.Д. При „голодному” режимі значно погіршується якість екструдату, бо в такому випадку можливе захоплення не розтоплених частинок та повітряних бульбашок. Отже, завжди стежать, щоб зберігалась умова узгодженості ( $Q_z \geq Q_c \geq Q_o$ ).

Для математичного опису процесу використовують характер потоку матеріалу по довжині шнека. Потік у всіх трьох зонах складний, зі складових якого можна виділити три основних потоки:

1. потік прямий або вимушений, спрямований уздовж каналу шнеку, він зумовлює продуктивність зони (продуктивність –  $Q_{zn}$ );
2. потік під дією перепаду тисків, що виникають на передньому зубі, – це зворотний потік, спрямований у протилежний від напрямку переміщення матеріалу бік (продуктивність –  $Q_{zn}$ );
3. потік перетікання, який відбувається між торцем нарізки шнека й стінкою циліндра (інколи його розглядають як умовний потік, бо вважають, що переміщується гвинтова нарізка щодо матеріального рукава (чохла) (продуктивність –  $Q_{пер}$ ). [3]

Продуктивність екструдера має вплив ряд факторів, які можна звести в загальну залежність:

$$Q_{3,0} = F_1 \cdot \alpha \cdot N - F_2 \cdot \frac{\beta}{\mu_{ef}} \cdot \Delta P$$

де:  $F_1$  і  $F_2$  – коефіцієнти, які враховують геометрію шнека (кут нарізки  $\varphi$ , ширина нарізки, глибина каналу і т.д.);  $\alpha$  і  $\beta$  – коефіцієнти, які враховують реологічну характеристику матеріалу;  $N$  – число обертів шнека;  $\mu_{ef}$  – ефективна в'язкість розтопу;  $\Delta P$  – перепад тиску в екструдері.

Характеристика екструдера визначається співвідношенням прямогоку й протитоку:

$$a = \frac{Q_n}{Q_{nt}}$$

де:  $Q_n$  – прямоток забезпечується, коли  $\Delta P = P_{nl} - P_{доз} > 0$ , а;  $Q_{nt}$  – протиток забезпечується, коли  $\Delta P = P_{nl} - P_{доз} \leq 0$ , де  $P_{nl}, P_{доз}$  – відповідно тиск у зоні топлення і дозування; якщо  $a = 0$  – насосний режим;  $a = 1$  – дросельний режим.

Розраховану продуктивність екструдера узгоджують з потужністю, яку споживає екструдер ( $W$ ), і визначають з залежності:

$$\frac{W}{Q_e} = \int_{T_1}^{T_2} \rho \cdot C_p \cdot dT + \frac{\Delta P}{\rho} + \lambda$$

де:  $T_1$  і  $T_2$  – температура полімеру на вході і виході з екструдера;  $\lambda$  – теплота топлення полімеру;  $\Delta P$  – протитиск – опір у головці;  $Q_e$  – продуктивність екструдера.

### Контрольні запитання та завдання

7. Сформулюйте поняття екструзія;
8. Які існують види екструзії?
9. Що таке екструдований виріб?
10. Яке обладнання використовують для екструзії?
11. Назвіть стадії процесу екструзії?
12. Від яких параметрів залежить продуктивність екструдера?

### Література

1. Екструзія. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Екструзія>
2. Переробка полімерів і їх відходів: технологія, вторинна сировина . Режим доступу: <http://budiivnik.in.ua/pererobka-polimeriv-i-yih-vidhodiv-tehnologiya-vtorynna-syrovyna.html>
3. О.В. Суберляк. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів/ О.В. Суберляк, П.І. Баштанник – Київ.: 2006. - 270 с.

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1. Мета та основні завдання практичних занять.....	4
2. Рекомендації щодо підготовки та проведення практичних занять .....	5
Практична робота №1. Процес подрібнення відходів термопластів .....	6
Практична робота №2. Обладнання та способи розділення твердих фаз механічним методом. ....	12
Практична робота №3. Нормативно-правова база поводження з відходами в Україні	15
Практична робота №4. Переробка поліетилену та поліолефінів	19
Практична робота №5. Утилізація термічними способами	23
Практична робота №6. Вторинна переробка полівінілхлориду	27
Практична робота №7. Екструзія відходів полімерів	30

Електронне мережне навчальне видання

**Шилович** Тетяна Борисівна  
**Сімончук** Єлизавета Петрівна

**УТИЛІЗАЦІЯ УПАКУВАНЬ.  
Практикум з навчальної дисципліни**

*для студентів,  
які навчаються за програмою підготовки магістрів  
з галузі знань 13 – Механічна інженерія;  
за спеціальністю 131 – «Прикладна механіка»,  
спеціалізація – «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання  
та проектування обладнання пакування»  
денної форми навчання*

Комп'ютерна правка та верстка – *авторські*