

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧЕРНІВЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ЮРІЯ ФЕДЬКОВИЧА  
Навчально-науковий інститут біології, хімії та біоресурсів  
Кафедра хімії та експертизи харчової продукції

Реферат

**ВИРОБНИЦТВО ПОЛІЕТИЛЕНУ ВИСОКОГО ТИСКУ**

Роботу виконала:

студентка III курсу

спеціальності 102 «Хімія»

Навчально-наукового інституту  
біології, хімії та біоресурсів

Чернівецького національного  
університету імені Юрія Федьковича

П'ясецька Анастасія Вікторівна

Керівник практики:

Проф. Лявинець О.С.

Чернівці – 2025

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
СИРОВИНА.....	4
ХІМІЗМ ОТРИМАННЯ ПОЛІЕТИЛЕНУ ВИСОКОГО ТИСКУ .....	10
ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ПРОЦЕСУ .....	11
ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІЕТИЛЕНУ ВИСОКОГО ТИСКУ .....	14
ВИСНОВКИ.....	17
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	18

## ВСТУП

В останні роки полімерний ринок – один із найшвидше зростаючих сегментів нафтохімії у світі. Споживання пластиків зростає в середньому на 20% на рік. Завдяки новітнім технологіям вдається досягти збільшення потужності установки, внаслідок чого прискореними темпами зростає імпорт полімерів. У світі синтезовано безліч полімерів, з яких дуже багато освоєні промисловістю. Вироби з полімерів застосовуються в машинобудуванні, будівництві, транспорті, авіації, кабельній промисловості, виробництві сучасних предметів тощо. Без перебільшення варто зазначити, що в даний час практично немає жодної галузі народного господарства, якою б не застосовувалися полімери.

Широке застосування визначається їх цінними фізичними та хімічними властивостями. На основі чого характерна низька щільність – від 900 до 2300 кг/м<sup>3</sup>. Тому пластмаси мають найбільшу з конструкційних матеріалів питому міцність. Серед полімерних матеріалів, що випускаються промисловістю, велике значення має поліетилен (поліолефін). Це один із найбільш поширених та дешевих полімерів. З цього полімеру також отримують різного виду та призначення плівки - термозбіжні, морозостійкі, накривні, парникові та ін. Найбільш хімічно чистим, еластичним та дешевим є поліетилен високого тиску (ПЕВТ).

Поліетилен високого тиску (ПЕВТ) виготовляється з етилену методом радикальної полімеризації в реакторах (автоклавного і трубчастого типів) під впливом тиску від 1000 до 3000 атмосфер. Обов'язковими умовами для його виробництва є присутність кисню або органічних пероксидів і температура становить від 200 до 260°C. Поліетилен високого тиску має наступні характеристики: волого- і морозостійкість, низька щільність, низька паро- та газопроникність, стійкість до механічних пошкоджень і до впливу лугів будь-якої концентрації, розчинів основних і нейтральних солей, органічних і неорганічних кислот, при охолодженні він твердне, при нагріванні (від 80°C) розм'якшується.

## СИРОВИНА

### *Етилен.*

Етилен - хімічна сполука, що описується формулою  $C_2H_4$ , безбарвний газ зі слабким запахом, є найпростішим алкеном (олефіном). Містить подвійний зв'язок і тому належить ненасиченим сполукам, має високу реакційну здатність. У природі етилен мало зустрічається. У незначних кількостях утворюється у тканинах рослин та тварин як проміжний продукт обміну речовин. Властивості етилену:

Хімічна формула  $H_2C=CH_2$ ;

Молекулярна маса – 28,05;

Агрегатний стан – газоподібний;

Температура плавлення – 103,8 К (-169,2 ° С);

Температура кипіння – 169,3 К (-103,7 ° С);

Густина за нормальних умов – 1,26 кг/м<sup>3</sup>;

Густина рідкого етилену при 163,2 К (-109,8 ° С) – 610 кг/м<sup>3</sup>;

### *Чистота етилену.*

Для полімеризації етилен має бути ретельно очищений від домішок. Домішки до етилену поділяються на дві основні групи – інертні та активні.

Інертна домішка, присутня у помітній кількості, наприклад 5-10 %, знижує концентрацію етилену на значну величину, якщо врахувати малу стисливість етилену.

Активні домішки до етилену, наприклад з'єднання вінільного типу, зазвичай кополімеризуються з етиленом, змінюють властивості полімеру, що утворюється, і впливають на швидкість полімеризації.

Залежно від вмісту домішок технічними умовами передбачається випуск трьох марок зрідженого етилену: А, Б та В. Етилен марки А та Б

використовується для виробництва поліетилену та окису етилену. Етилен марки В – для виробництва інших органічних продуктів. Етилен зріджений має відповідати вимогам та нормам.

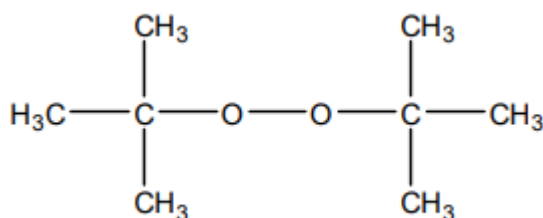
### *Ініціатори.*

Як ініціатор полімеризації етилену використовують головним чином молекулярний кисень і органічні пероксиди. Ефект дії ініціатора залежить від рівня й швидкості його розкладання за цієї температури і від можливості радикалів, що утворилися, вступати в реакції з мономером.

Іншим фактором, що характеризує ініціатор, є вміст активного кисню, тобто теоретичний відсоток активного кисню в чистому пероксиді. У сухому вигляді пероксиди вибухонебезпечні, розчині в органічних розчинниках більш стабільні і менш вибухонебезпечні.

Зберігання ініціаторів має проводитись у певних температурних умовах. Нижче описано основні властивості найпоширеніших пероксидних ініціаторів.

### **Пероксид трет-бутилу (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>O<sub>2</sub>)**



Температура застосування – 513 – 553К (240 – 280°C);

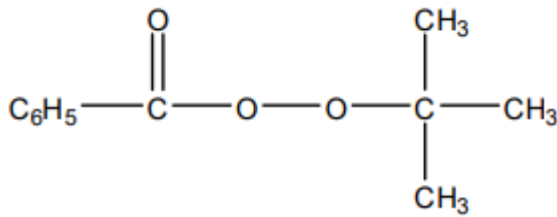
Молекулярна маса – 146,2;

Температура кипіння при 0,1 МПа – 463К (190°C);

Вміст активного кисню – 10,8%; Пероксид нерозчинний у воді, розчинний у більшості органічних розчинників;

Температура зберігання – 298К (20°C).

### Трет-бутилпероксибензоат (C<sub>11</sub>H<sub>14</sub>O<sub>3</sub>)



Температура застосування 453 – 513К (180 – 240°C);

Молекулярна маса – 194;

Температура кипіння при 0,1 МПа – 397 К (124°C);

Вміст активного кисню – 8,25%;

Температура зберігання – 293 К (20°C).

#### *Допоміжна сировина.*

Для надання відповідних властивостей пластичній масі до неї додають наповнювачі – переважно тверді неорганічні або органічні речовини, природного (мінерального та рослинного) та синтетичного походження. Це роблять для покращення властивостей поліетилену (фізико – механічних, теплофізичних, електрофізичних, оптичних, естетичних, технологічних та ін.). Дешеві наповнювачі знижують собівартість поліетилену, наприклад, під час утилізації полімерів і пластмас, які використовують як наповнювачі.

Ще одним прикладом є пластифікатори, що надають суміші підвищену пластичність, внаслідок чого полегшується формування виробів, запобігається поява крихкості матеріалу за низьких температур, збільшується його гнучкість і еластичність. За умови збільшення вмісту пластифікатора міцність полімеру на розтягування та стиск зменшується, проте різко збільшується міцність на удар і здатність до подовження. Найбільш поширеними пластифікаторами є бутилкаучук, дибутилфталат, трикрезилфосфат, камфора, стеарат алюмінію, олеїнова кислота, гліцерин та ін.

Затверджувачі (наприклад, уротропін, вапно, магнезія) вводять до складу пластичної маси для прискорення переходу полімеру в твердий неплавкий стан, в якому вони не плавляться і не розчиняються. За цих умов полімер утворює тривимірну структуру.

Стабілізатори сприяють уповільненню процесу старіння і, як наслідок – тривалого збереження поліетилену своїх первісних властивостей. Стабілізатори не впливають на початкові властивості поліетилену.

Пороутворювачі – для одержання піно – та порополіетиленів. Сполучні речовини пов'язують в монолітний матеріал інші компоненти суміші та зумовлюють основні властивості полімеру. Як сполучні речовини частіше застосовуються синтетичні смоли.

Змащувальні речовини дозволяють покращити фізико-механічні властивості поліетилену, а саме підвищити однорідність розплаву, збільшити його плинність та відносне подовження під час розриву розриві. У пластичну масу як змащувальні речовини додають стеаринову кислоту, окис цинку, стеарат барію та ін.

## ***Поліетилен***

Поліетилен – це найпоширеніший у світі полімер. Вперше поліетилен отримав німецький інженер Ганс фон Пехманн ще у 1899 році і саме він вважається винахідником цього полімеру. Але, як часто буває, важливе відкриття одразу не знайшло застосування.

### **Різновиди поліетилену.**

Поліетилен прийнято класифікувати за щільністю. Найвідомішими видами поліетилену є LDPE та HDPE:

- LDPE – це поліетилен низької щільності високого тиску (Low Density Polyethylene);
- HDPE – це поліетилен високої щільності низького тиску (High Density Polyethylene).

Також існує велика кількість кополімерів етилену з різними мономерами. Найбільш відомими з них є кополімери з пропіленом.

### **Загальні властивості поліетилену.**

**Фізичні характеристики.** Поліетилен – еластичний і досить жорсткий матеріал (LDPE – значно м'якше, HDPE – жорсткіше). Стійкий до низьких температур до  $-70^{\circ}\text{C}$ , ударостійкий, не ламається, з хорошими діелектричними властивостями. Водопоглинання у полімеру невисоке. З погляду фізіології та екології поліетилен є нейтральною інертною речовиною, без запаху та смаку.

**Хімічні властивості.** Поліетилен має низьку паро- і газопроникність. Його хімічна стійкість залежить від молекулярної маси та від щільності полімеру. Поліетилен стійкий до дії води, не реагує з лугами будь-якої концентрації, з розчинами нейтральних, кислих та основних солей, органічними та неорганічними кислотами, навіть з концентрованою сірчаною кислотою. Він не реагує з органічними розчинниками, оліями і мастилами. Поліетилен не стійкий до 50 – відсоткової азотної кислоти та галогенів, наприклад чистого

хлору та бромю. Причому бром та йод мають властивість дифузії крізь поліетилен.

**Експлуатаційні властивості.** Деструкція поліетилену в атмосфері починається з температури 80°C. Поліетилен без спеціальних добавок під дією сонячної радіації, особливо УФ променів, легко піддається фотостарінню. Для зменшення цього ефекту до поліетилену додають стабілізатори для світлостабілізації. Поліетилен не виділяє шкідливі для здоров'я та природи хімікати у навколишнє середовище, при цьому він самостійно розкладається дуже повільно. Поліетилен досить пожежонебезпечний та підтримує горіння, цей факт потрібно враховувати при його використанні.

Тож поліетилен пластичний, ударостійкий, фізіологічно нейтральний, має низьку водо- та газопроникність. Він міцний та еластичний, стійкий до агресивних речовин, легкий, стійкий до перепадів температур, має тривалий термін експлуатації, безпечний для здоров'я людини і відносно недорогий матеріал. Перераховувати всі його позитивні властивості можна ще довго, плюс, залежно від добавок та виробничого тиску, характеристики цього полімеру можна змінювати у великому діапазоні.

## ХІМІЗМ ОТРИМАННЯ ПОЛІЕТИЛЕНУ ВИСОКОГО ТИСКУ

На сьогодні існує три основних промислових способи отримання поліетилену:

1) полімеризація етилену при високому тиску (1000 – 3500 кг/см<sup>2</sup>) при температурі 200 – 300°C у розплаві за наявності ініціаторів (кисню, органічних пероксидів);

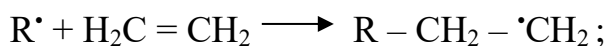
2) полімеризація етилену при низькому тиску (нижче 20 кг/см<sup>2</sup>) при температурі 80°C у суспензії у середовищі органічного розчинника з використанням металоорганічних каталізаторів;

3) полімеризація етилену при тиску 30 – 40 кг/см<sup>2</sup> і температурі 150°C у розчині з використанням як каталізаторів оксидів металів змінної валентності.

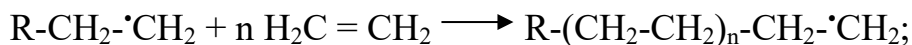
Основний технологічний елемент безперервної полімеризації етилену при високому тиску є хімічний реактор. Газ, який підлягає полімеризації, надходить в хімічний реактор з мішалкою при температурі 240°C. Як ініціатор використовують молекулярний кисень. В результаті реакції виділяється багато теплоти, тому максимальна температура процесу – 275°C. Ступінь перетворення етилену в реакторі близько 18 %. Час перебування реакційної суміші коливається в межах 30 – 300 секунд.

Загально процес постадійно зображують так:

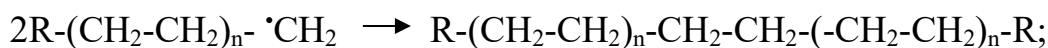
а) зародження ланцюга



б) зростання ланцюга



в) обрив ланцюга (рекомбінацією або диспропорціонуванням)



## ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ПРОЦЕСУ

На рисунку 1 приведена принципова технологічна схема установки синтезу поліетилену при високому тиску.

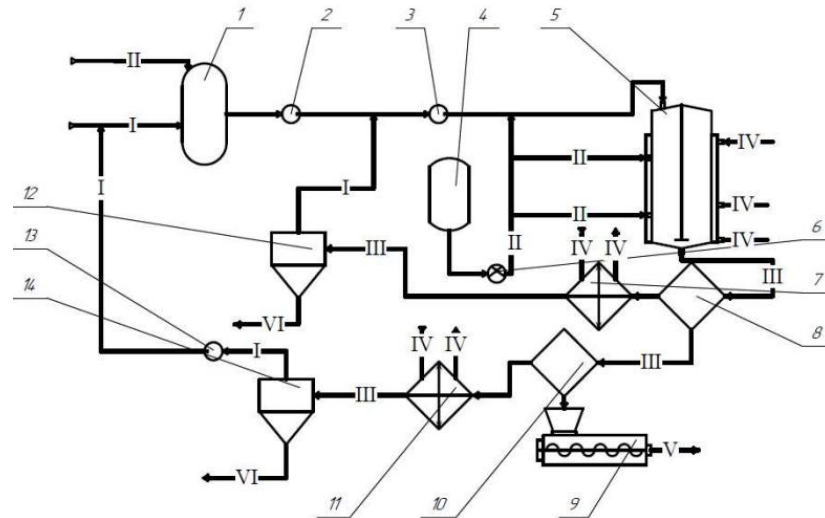


Рис.1. Принципова технологічна схема установки синтезу поліетилену при високому тиску.

1 - ресивер; 2 - компресор проміжного тиску; 3 - компресор реакційного тиску; 4 - ємність для ініціатора; 5 - автоклавний реактор; 6 – дозувальний насос; 7, 11 - холодильник; 8 - віддільник проміжного тиску; 9 - екструдер; 10 - віддільник низького тиску; 12, 14 – циклон; 15 - компресор для рециркулюючого етилену. I – етилен; II – кисень; III – суміш етилену та поліетилену; IV – вода; V – поліетилен; VI – низькомолекулярний поліетилен.

Етилен з установки газорозділення під тиском 1 – 2 МПа і при температурі 10 – 40°C подається в ресивер 1, де в нього вводиться зворотний етилен низького тиску і кисень, який використовується як ініціатор. Суміш стискується компресором проміжного тиску 2 до 25 – 30 МПа, з'єднується з потоком зворотного етилену проміжного тиску, стискується компресором реакційного тиску 3 до 150-300 МПа і направляється в автоклавний реактор 5.

У реакторі відбувається полімеризація етилену при температурі 200 – 275°C. Поліетилен, який утворився в реакторі, розплавлений з етиленом, що не прореагував (конверсія етилену в полімер 18%), безперервно виводиться з реактора через дроселюючий клапан і надходить у віддільник низького тиску 10.

Етилен зворотного проміжного тиску з віддільника 8 проходить апарати охолодження 7 і сепарації 12, де охолоджується до 30 – 40°C і де відділяється низькомолекулярний поліетилен, і потім подається на всмоктування компресора 3.

У відділювача низького тиску 10 при тиску 0,1 – 0,5 МПа і температурі 200 – 250°C з поліетилену виділяється розчинений етилен (зворотній газ низького тиску), який через апарати охолодження 11 і сепарації 14 надходить у компресор 13 і далі на змішання зі свіжим етиленом. Розплавлений поліетилен з віддільника низького тиску 10 надходить в екструдер 9, а з нього у вигляді гранул на забарвлення і додаткову обробку. Таким чином у реакції беруть участь дві речовини – етилен  $C_2H_4$  та кисень  $O_2$ .

Метою функціонування будь – якої виробничої системи є отримання продуктів у необхідній кількості та необхідної якості при оптимальному використанні ресурсів.

Розрахунок матеріальних балансів передбачає знаходження параметрів стану потоку в технологічній схемі: загальних і покомпонентних витрат, складу потоків, температур і ентальпій, аналіз можливості розв'язку задачі розрахунку МТБ технологічної схеми, розрахунок параметрів потоків технологічної схеми, визначення та розрахунок витратних коефіцієнтів з сировини, напівпродуктів, допоміжних матеріалів та енергетичних носіїв. Розрахунок МТБ узагальнюють у вигляді таблиць, що складаються із приходу (вихідна сировина, яка задіяна в ході технологічного процесу або його стадії) і витрат (готова продукція, відходи виробництва, втрати) та таблиць теплового балансу, що містять прихід і витрати теплоти. При складанні таблиць в основу розрахунку покладено закон збереження маси і енергії.

Таблиця 1

## Загальний енергетичний баланс процесу

Загальний енергетичний баланс	Вхід	Вихід
	МДж/год	
Вхідний потік	1907,5	0
Продукт	0	-3113,41
Охолодження	-5023,1	0
Сума	-3115,6	-3113,41

Таблиця 2

## Загальний матеріальний баланс процесу

Компонент	кмоль/год		кг/год	
	Вхід	Вихід	Вхід	Вихід
Етилен	36,7	1	1030	29,4
Оксиген	0,3	0,3	10	10
Поліетилен	0	35,7	0	1000,6
Сума	37	37	1040	1040

## ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІЕТИЛЕНУ ВИСОКОГО ТИСКУ

Поліетилен високого тиску (ПЕВТ) є твердою еластичною речовиною матового або перламутрового білого кольору, на дотик нагадує парафін; він не має запаху, не отруйний, горючий (продовжує горіти за умови винесення з полум'я). Поліетилен, що виготовляється за високого тиску, має розгалужену структуру та низьку щільність. Поліетилен відноситься до групи термопластичних полімерів.

Поліетилен використовується для накладання поліетиленової ізоляції та оболонки на електричні кабелі. Можливе випресовування поліетилену в суміші з порошкоподібними речовинами для одержання пористого поліетилену. Завдяки його інертності, легкості та міцності, у пляшках, флаконах з поліетилену можна зберігати сильнодіючі хімічні речовини (сірчану кислоту, плавикову кислоту тощо), і навіть харчові продукти (молоко, жири, соки), парфумерні вироби, ліки.

Трубопроводи з поліетилену значно легші та дешевші. Труби виготовляють діаметром від 0,012 – 0,15 м і до 1 – 1,5 м. Довжина труб може досягатися 120 м. Гнучкість та еластичність труб дозволяє намотувати їх на барабани, що дуже зручно за умови їх транспортуванні та прокладці. Труби з поліетилену зовсім не схильні до корозії, не лопаються під час замерзання в них води. У хімічній промисловості використовуються для транспортування корозійних рідин. Фітинги, засувки, вентилі, підкладки та інша сполучна арматура також виготовляються із поліетилену.

Поліетиленом покривають дерево, папір, картон. Він наноситься з гарячих розплавів поліетилену на папір і надає їй глянець, блиск друку, гарну гнучкість за низької температури. З поліетилену виробляються волокна, з яких можуть виготовлятися морські канати, факультативні сітки, полотна, оббивні тканини для автомобілів. У текстильній промисловості поліетилен використовується для просочення тканин з метою створення водовідштовхувального матеріалу, покращення опору розриву, підвищення міцності швів.

З поліетилену виготовляють медичні інструменти, він застосовується у пластичній хірургії та протезній техніці.

Значна частина виробленого поліетилену (близько 50 %) переробляється в плівки товщиною 0,01 – 0,1 мм, які використовуються як пакувальний матеріал, для зберігання речовин, що легко зволожуються або, навпаки, висихають, наприклад добрив, бавовни, силікагелю, харчових продуктів (м'яса, риби, хліба, солі, борошна, кави, овочів, фруктів тощо), а також різних виробів, апаратів, інструментів з метою захисту їх від корозії.

Завдяки відмінним електроізоляційним властивостям поліетилен став незамінним матеріалом для ізоляції телевізійних, телефонних і телеграфних кабелів.

Додавання низькомолекулярного поліетилену до чорнил, лаків та фарб надає їм підвищену стійкість до стирання. У гумовій промисловості поліетилен широко застосовується як мастила, що добре поєднуються з каучуками різних типів.

Поліетилен, як товарний продукт, випускається в чистому вигляді та з добавками (різного роду термо- та світлостабілізатори, добавками проти злипання плівки та ін.). Вони вводяться в поліетилен у процесі переробки у невеликих кількостях (десяті частки відсотка). Добавки покращують якості готового поліетилену. Так, у кабельній промисловості застосовується поліетилен, що містить 0,5 та 2% сажі. Поліетилен, що використовується для виготовлення труб питного та господарського водопостачання, містить 2% сажі (технічного вуглецю), а для дренажних труб до 35% сажі. Поліетилен за умови наповнення його тальком, крейдою, каоліном та іншими речовинами (до 30 – 40% за масою) використовуються як конструктивні матеріали для виробництва каналізаційних та дренажних труб, некорозійної та вогнестійкої арматури, а також для виробів культурно-побутового призначення, іграшок, посуду тощо.

Залежно від властивостей та призначення поліетилен випускається різних марок, позначення базових марок складається з назви матеріалу «поліетилену»

та восьми цифр. Перша цифра «1» вказує на те, що процес полімеризації етилену протікає за високого тиску в трубчастих реакторах і реакторах з пристроєм, що перемішує в присутності каталізатора. Дві наступні цифри позначають порядковий номер базової марки. П'ята цифра умовно визначає групу густини марки поліетилену. Наступні три цифри, написані через дефіс, вказують десятикратне значення показника плинності розплаву. Після марки поліетилену вказується сорт.

## ВИСНОВКИ

Поліетилен високого тиску (ПЕВТ), є одним із найважливіших синтетичних полімерів, що широко застосовується в промисловості та побуті завдяки своїм унікальним властивостям — гнучкості, прозорості, хімічній стійкості та електроізоляційним характеристикам. Його отримують шляхом радикальної полімеризації етилену за умов високого тиску (від 100 до 300 МПа) і температури (до 300 °С) у присутності ініціаторів.

У процесі виробництва важливу роль відіграють параметри реакції, тип ініціаторів та конструкція реакторів, адже саме вони впливають на молекулярну масу полімеру та ступінь розгалуження ланцюгів, що в кінцевому результаті визначає експлуатаційні характеристики матеріалу.

Сучасні технології виробництва ПЕВТ постійно вдосконалюються з метою підвищення енергоефективності процесу, зниження шкідливих викидів та покращення якості кінцевого продукту. Перспективним напрямом є також розвиток методів вторинної переробки поліетилену для зменшення навантаження на довкілля.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Суберляк, О.В., Яковенко Т.Т., Бабаханова Т. Г. та ін. Атлас технологічних схем виробництва полімерів та пластичних мас на їх основі / Суберляк О.В., Яковенко Т.Т., Бабаханова Т. Г., Тхір І. Г. – Л., 2002. – 239 с.
2. Піліховський, Ян Я., Пушинський Анджей А. Технологія пластичних мас / Піліховський Ян Я., Пушинський Анджей А. – К. : ІСДО, 1995. – 312 с.
3. Гетьманчук, Ю.П., Братичак М. М. Хімія та технологія полімерів / Гетьманчук Ю. П., Братичак М. М. – Л. : "Бескид Біт", 2006. – 495 с.
4. Братичак, М., Бжоновський З., Буковський А. Лабораторний практикум з хімії та технології полімерів / Братичак, М.Бжоновський З., Буковський А. – Варшава : ВВП, 1999. – 244 с.