

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій

Кафедра хімічних технологій та ресурсозбереження

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (ПРОЄКТ)

на тему:

«Розробка технології виготовлення ненапірних труб
з поліолефінів»

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 161 Хімічні технологія та інженерія

Освітня програма Хімічні технології переробки полімерних і композиційних
матеріалів

Виконала: студентка групи МгПП-24

Корінець В.В.

Науковий керівник к.т.н., доц. Крюкова О.А.

Рецензент Павлій О.В.

Київ 2025

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Факультет хімічних та біофармацевтичних технологій

Кафедра хімічних технологій та ресурсозбереження

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія

Освітня програма Хімічні технології переробки полімерних і композиційних матеріалів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри ХТР

Вікторія ПЛАВАН

“___” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТУ

Корінець Валерії Вікторівні

1. Тема кваліфікаційної роботи (проєкту): «Розробка технології виготовлення ненапірних труб з поліолефінів»

Науковий керівник роботи Крюкова Олена Анатоліївна к.т.н., доцент
затверджені наказом КНУТД від “16” вересня 2025 р. № 209-уч.

2. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи (проєкту): матеріали з практики, зарубіжні та вітчизняні монографії та періодичні видання. Безнапірні одношарові поліетиленові труби. Річна програма цеху з випуску труб 800 т/рік.

3. Зміст кваліфікаційної роботи (проєкту) (перелік питань, які потрібно опрацювати): провести літературний огляд з даної тематики, обґрунтувати вибір вихідних матеріалів та обладнання, провести технологічні розрахунки, проєктувати цех промислового підприємства, запропонувати заходи з охорони праці та техніки безпеки.

4. Дата видачі завдання 18.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапу кваліфікаційної роботи (проєкту)	Орієнтовний термін виконання	Примітка про виконання
1	Вступ		
2	Розділ 1. Літературний огляд в напрямку існуючих технологій отримання ненапірних труб з поліолефінів		
3	Розділ 2. Технологічний розділ		
4	Розділ 3. Будівельний розділ		
5	Розділ 4. Екологічна безпека		
6	Висновки		
7	Оформлення (чистовий варіант)		
8	Подача кваліфікаційної роботи (проєкту) науковому керівнику для відгуку (за 14 днів до захисту)		
9	Подача кваліфікаційної роботи (проєкту) для рецензування (за 12 днів до захисту)		
10	Перевірка кваліфікаційної роботи (проєкту) на наявність ознак плагіату та текстових співпадінь (за 10 днів до захисту)		Коефіцієнт подібності ____% Коефіцієнт цитування ____%
11	Подання кваліфікаційної роботи (проєкту) на затвердження завідувачу кафедри (за 7 днів до захисту)		

З завданням ознайомлена:

Студентка _____

Валерія КОРІНЕЦЬ

Науковий керівник роботи _____

Олена КРЮКОВА

АНОТАЦІЯ

Корінець В.В. Розробка технології виготовлення ненапірних труб з поліолефінів.

Кваліфікаційна робота за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія. Київський національний університет технологій та дизайну, Київ 2025 рік, кількість сторінок - 73, таблиць - 8, рисунків - 11, схем - 3.

У кваліфікаційній роботі виконано комплексне дослідження, спрямоване на розробку технології виготовлення ненапірних труб із поліолефінів. Проведено детальний літературний огляд сучасних технологій переробки поліолефінових матеріалів та підходів до виробництва полімерних труб. На основі аналізу джерел здійснено вибір і обґрунтування оптимальних вихідних матеріалів та функціональних добавок, необхідних для забезпечення технологічності переробки та відповідності готових труб експлуатаційним вимогам. Було проаналізовано приміщення цеху з точки зору пожежної безпеки, запропоновано ряд протипожежних заходів, а також заходи на випадок виникнення надзвичайної ситуації.

У роботі обґрунтовано вибір обладнання для екструзійної лінії, встановлено раціональні технологічні режими процесу та визначено їх вплив на ефективність виготовлення ненапірних поліолефінових труб. Окрему увагу приділено проектуванню виробничої інфраструктури: розроблено план цеху та генеральний план підприємства відповідно до технологічних, логістичних та санітарно-технічних вимог. Також сформовано комплекс заходів з охорони праці та техніки безпеки, спрямованих на забезпечення безпечного функціонування проектного виробництва.

Ключові слова: поліолефінові ненапірні труби, технологія екструзії, технологічний процес, переробка полімерів, промислове виробництво.

ANNOTATION

Korinets V.V. Design and Development of Technology for Manufacturing Non-Pressure Polyolefin Pipes.

Qualification work in the specialty 161 Chemical technologies and engineering. Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv 2025, Qualification work, 2025, number of pages - 73, tables - 8, figures - 11, schemes - 3.

The qualification work presents a comprehensive study aimed at developing a technology for the production of non-pressure polyolefin pipes. A detailed literature review of modern polyolefin processing technologies and approaches to polymer pipe manufacturing was carried out. Based on the analysis of sources, the selection and justification of optimal raw materials and functional additives necessary to ensure processability and compliance of the finished pipes with operational requirements were performed. The workshop premises were analyzed from the perspective of fire safety, a set of fire prevention measures was proposed, as well as measures in case of emergencies.

The study substantiates the choice of equipment for the extrusion line, establishes rational technological process parameters, and determines their impact on the efficiency of non-pressure polyolefin pipe production. Special attention was paid to the design of the production infrastructure: a workshop layout and a general plan of the enterprise were developed in accordance with technological, logistical, and sanitary-technical requirements. In addition, a set of occupational health and safety measures was formulated to ensure the safe operation of the designed production facility.

Keywords: non-pressure polyolefin pipes, extrusion technology, technological process, polymer processing, industrial production.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1. Літературний огляд в напрямку існуючих технологій отримання ненапірних труб з поліолефінів.....	11
1.1. Загальні відомості про поліетилен.....	11
1.2. Характеристики різних видів поліетилену та способи їх отримання	13
1.3. Додатки та домішки для виробництва поліетиленових виробів	17
1.4 Антиоксиданти	19
1.5. Ковзні доданки.....	20
1.6 Сажа	23
РОЗДІЛ 2. Технологічний	26
2.1 Вимоги до готової продукції	26
2.2 Обґрунтування вибору сировини.....	30
2.3. Обґрунтування вибору обладнання	32
2.4 Опис технологічної схеми отримання труб.....	36
2.5. Дослідження покращених властивостей труб.....	41
2.6. Розрахункова частина.....	43
РОЗДІЛ 3. Будівельний	50
3.1. Проектування промислового підприємства.....	50
3.2 Об'ємно-планувальне рішення промислової будівлі	51
3.3. Конструктивне рішення промислової будівлі	53
3.4 Техніко-економічні показники.....	55
РОЗДІЛ 4 Екологічний	59
4.1. Екологічні аспекти	59
4.2. Охорона праці	60
Висновки.....	66
Список використаних джерел	67
Додатки	

ВСТУП

Сучасний розвиток будівельної та комунальної інфраструктури вимагає використання матеріалів, що поєднують високу експлуатаційну надійність, екологічність та економічну ефективність. Поліолефінові матеріали, зокрема поліетилен та поліпропілен, посідають провідне місце завдяки своїм фізико-механічним та хімічним властивостям. Зростання обсягів будівництва систем водовідведення, дренажу та інших безнапірних мереж підсилює інтерес до вдосконалення технологій виготовлення полімерних труб, здатних забезпечити довготривалу й безпечну експлуатацію.

Ненапірні труби з поліолефінів характеризуються корозійною стійкістю, низькою масою, простотою монтажу та тривалим терміном служби, що робить їх конкурентоспроможними порівняно з традиційними матеріалами. Проте досягнення стабільної якості таких труб значною мірою залежить від досконалості технологічного процесу їх виготовлення, включаючи підбір сировини, оптимізацію режимів екструзії та контроль параметрів готової продукції. Це зумовлює актуальність дослідження, спрямованого на розробку та удосконалення технології виготовлення ненапірних поліолефінових труб.

Актуальність теми. Розробка технології виготовлення ненапірних труб із поліолефінів є актуальною через стрімке зростання потреб у сучасних інженерних комунікаціях, зокрема системах каналізації, дренажу та технічного водовідведення. Поліолефінові матеріали — поліетилен і поліпропілен — завдяки своїй хімічній інертності, корозійній стійкості, довговічності та малій вазі стають основою для заміни традиційних матеріалів, таких як чавун чи бетон. Це зумовлює потребу в оптимізованих, енергоефективних і економічно вигідних технологіях їх виробництва.

Крім того, світові та національні тенденції у сфері екологічного будівництва вимагають застосування матеріалів, що забезпечують зниження енерговитрат, мінімальне технічне обслуговування та тривалий термін експлуатації. Розробка та

вдосконалення технології виготовлення поліолефінових ненапірних труб дозволить підвищити їх якість, надійність і відповідність сучасним стандартам, що важливо для інфраструктурного розвитку та модернізації комунальних систем.

Також актуальність теми підсилюється потребою у впровадженні інновацій у виробничі процеси, адаптації технологій до місцевих умов та зниженні собівартості продукції. Це створює науково-технічний потенціал для проведення досліджень і впровадження нових рішень, що мають практичну цінність для промисловості та містобудівного сектору.

Метою роботи є комплексне вивчення технологічних аспектів виробництва ненапірних труб із поліолефінів, аналіз факторів, що впливають на їх якість, та розробка рекомендацій щодо підвищення ефективності й стабільності технологічного процесу.

Завдання дослідження:

- провести літературний огляд в напрямку технологій виготовлення труб з поліолефінів;
- вибір та обґрунтування вихідних матеріалів та добавок для виготовлення труб;
- обґрунтування та вибір обладнання та технологічних режимів виготовлення труб;
- спроектувати план цеху та генеральний план промислового підприємства;
- розробити заходи з охорони праці та техніки безпеки на спроектованому підприємстві.

Предмет дослідження: удосконалення технології виготовлення труб з поліолефінів.

Практична цінність. У роботі запропоновано застосування двоступеневої системи охолодження, яка забезпечує формування контрольованої кристалічної структури ПЕ100 та зниження залишкових напружень, що забезпечує підвищення

довговічності труб в 1,2 рази та зростання стійкості до повільного росту тріщини на 25-35 %.

Встановлено технологічні режими екструзії (температурні зони 190-215°C, температура головки 210-220°C, швидкість 0,40-0,55 м/с), що дозволяють забезпечити нормативні значення показників зовнішнього вигляду, геометрії та механічних властивостей труб, зокрема, зменшення овальності та коливань товщини стінки на 4,5%, зниження кількості дефектів поверхні на 20-25 % та підвищення ударної в'язкості труб на 20-30 %.

Елементи наукової новизни. У роботі вперше для досліджуваних умов виробництва обґрунтовано раціональний склад полімерного компаунду на основі ПЕ100, що включає: антиоксиданти первинної дії марок Irganox 1010 і Irganox 1330 в кількості 0,05 - 0,4%, антиоксидант вторинної дії марки Irgafos 168 в кількості 0,1 - 1,0 %, модифікатори переробки марок PE Wax та Erucamide Slip Masterbatch в кількості 0,5 - 2,0 %, а також концентрат технічного вуглецю марки Black PE100 Masterbatch в кількості 40 %. Даний склад забезпечує термоокиснювальну стабільність поліетилену під час екструзії відповідно до вимог довготривалої міцності матеріалу, дозволяє знизити інтенсивність утворення гідропероксидів під час переробки поліетилену, сприяє стабілізації реологічних властивостей розплаву і відповідність геометричних параметрів труб допускам стандартів щодо товщини стінки та овальності, крім того, забезпечує стійкість труб до дії УФ-випромінювання.

Особистий внесок. Особистий внесок здобувача полягає в самостійному аналізі літератури з розв'язуваної проблеми, виконанні технологічних розрахунків, аналізі та математичній обробці одержаних результатів, формулюванні в співавторстві з науковим керівником мети, задач, основних теоретичних положень і висновків роботи.

Публікації. За результатами дипломної магістерської роботи було опубліковано одну наукову статтю та тези міжнародної науково-практичної конференції.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел.

Матеріали роботи викладені на 73 сторінках і містять 11 рисунків, 8 таблиць, 3 схеми та 51 посилання на роботи вітчизняних і зарубіжних авторів.

РОЗДІЛ 1.

Літературний огляд в напрямку існуючих технологій отримання ненапірних труб з поліолефінів

1.1. Загальні відомості про поліетилен

Поліетилен (ПЕ) – це полімер, утворений мономерами етилену, відноситься до поліолефінів. ПЕ практично біологічно неактивний, хімічно стійкий, не вступає у реакції з сольовими розчинами і слабкими кислотами. У органічних розчинниках при двадцяти градусах він нерозчинний, однак в ароматичних розчинниках іноді набухає. Розчинення можливе лише при нагріванні вище точки плавлення. Матеріал руйнується сильними окиснювачами, наприклад концентрованою азотною кислотою, а також під дією галогенів – фтору, хлору і броду [1].

Базовий структурний фрагмент поліетилену, етиленова ланка $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$ відрізняється простотою та регулярністю. Невеликі домішки ненасичених груп (вініліденові, вінільні, транс-вінільні), а також карбонільні та гідроксильні фрагменти, що виникають при синтезі, зазвичай не змінюють основних властивостей, але можуть брати участь у реакціях, які ведуть до деструкції або додаткового структурування [2].

Макромолекули формують технологічно при високому або низькому тиску з застосуванням відповідної каталітичної системи. Етилен часто кополімеризують з вищими α -олефінами — пропіленом, бутиленом, гексеном, октеном — що дає широкий спектр сополімерів. Властивості залежать від молекулярно-масового складу, від наявності коротких і довгих ланцюгів і від їх розподілу. При високому тиску отримують поліетилен з довголанцюговою розгалуженістю. При низькому — лінійні або слабкорозгалужені матеріали високої щільності (ПЕНТ) та їх сополімери з короткими боковими розгалуженнями. Лінійний ПЕНТ відрізняється більшою щільністю, жорсткістю та теплостійкістю в порівнянні з матеріалами, отриманими при високому тиску. Існують також бімодальні полімери, де

поєднуються фракції з різною молекулярною масою надмолекулярної структури, яка визначає молекулярні характеристики [3].

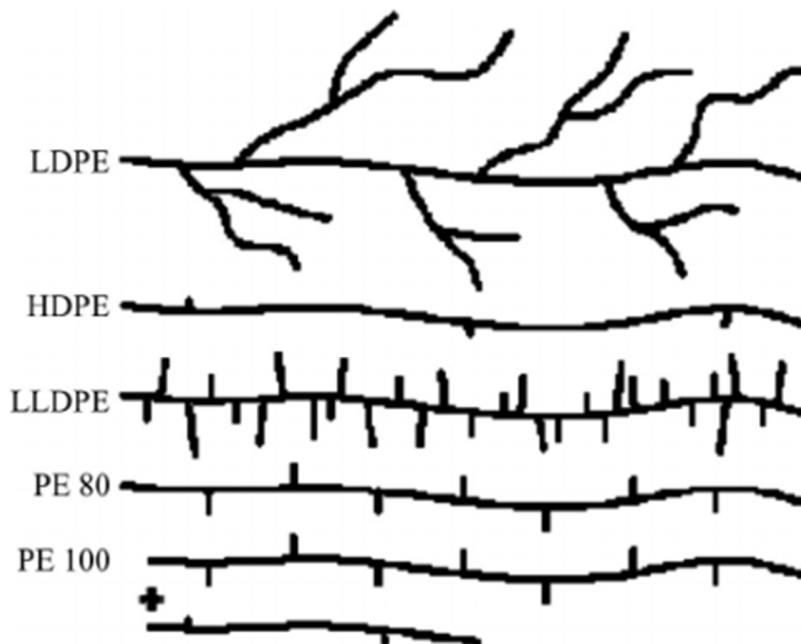


Рис. 1. Конфігурації розгалуженого поліетилену

Кристалічність визначає співвідношення і розміри кристалічних і аморфних областей, їх розташування і внесок у макровластивості. З ростом молекулярної маси та введенням розгалужень морфологія змінюється від сферолітів до стержнів, плівок і шаруватих структур. Бокові розгалуження концентруються в міжкристалічних зонах і знижують рухливість сегментів в аморфній фазі. Довгі розгалуження істотно зменшують ступінь кристалізації, тоді як короткі групи впливають головним чином на вдосконалення решітки

Молекулярна маса лінійного поліетилену помітно впливає на швидкість і граничний рівень кристалізації. При збільшенні молекулярної маси, зазвичай, падає відносне подовження при розриві, межа текучості розплаву в більшій мірі корелює зі ступенем кристалічності. На практиці кристалічність оцінюють за щільністю: для поліетиленів вона змінюється приблизно від 880 до 965 кг/м³ при кристалічності від ~30 до ~80 % [4].

Поліолефіни загалом цінуються за високу хімічну стійкість, хороші діелектричні властивості, низьку щільність та задовільну міцність. При цьому оптимізація технічних характеристик часто вимагає компромісів: висока кристалічність підвищує міцність та теплостійкість, але знижує стійкість до розтріскування

Виготовлені з поліетилену труби значно перевершують звичайні матеріали завдяки своїм експлуатаційним характеристикам, і за умови дотримання експлуатаційних стандартів їхній розрахунковий термін служби становить десятки або навіть сотні років [5]. У неналежних умовах експлуатації, таких як високі температури або завеликий тиск, можуть розвиватися передчасні тріщини, такі як квазікрихкість вздовж осі, в зонах зварювання або в місцях деформації ґрунту; однак при правильній експлуатації поліетиленові труби, як правило, не зазнають пластичних руйнувань. Експлуатаційні вимоги в залежності від матеріалу труб та способу їх виготовлення регулюються міжнародними та національними стандартами [6-23].

1.2. Характеристики різних видів поліетилену та способи їх отримання

Поліетилен - це термопластичний матеріал, який має низьку твердість і не має властивого йому смаку чи запаху. Вивчення фізичної кристалічності за допомогою мікроскопії та рентгенівських досліджень, а також за допомогою електронографії підтверджує, що поліетилен - це матеріал, кристалічна структура якого подібна до структури звичайних парафінів. Полімер, утворений з етилену, завжди частково кристалічний: окрім кристалічних областей завжди присутня аморфна фаза, а співвідношення цих двох фаз залежить від методу полімеризації та температури [1].

Макромолекулярна структура поліетилену являє собою послідовність метиленових ланок, яка також містить бічні розгалуження. Збільшення кількості цих бічних груп, а також збільшення їхньої довжини, призводить до зниження ступеня кристалічності полімеру. У поліетилені низької щільності зазвичай на кожні 30 атомів вуглецю в ланцюзі припадає приблизно одна метильна група, хоча можуть зустрічатися структури з частотою від однієї метильної групи на 10 атомів вуглецю до однієї на 1000 або більше. Структурні дослідження показують, що метильні групи найчастіше розташовані на кінцях бічних розгалужень, які складаються щонайменше з чотирьох атомів вуглецю. Невпорядковані частини молекул утворюють аморфні області, і їхня частка збільшується зі зростанням розгалуження макромолекулярних сполук. У розплавленому стані поліетилен повністю переходить в аморфну фазу; повністю аморфного стану неможливо досягти при охолодженні навіть за надзвичайно швидкого гартування [2].

Швидка кристалізація поліетилену пояснюється малою довжиною повторюваної ланки, високою симетрією ланцюгів та їх укладанням у структури, що складаються з багатьох паралельних ланцюгів, набагато довших за одну макромолекулу. Кристалізація починається в таких стопках, а потім розвивається або шляхом послідовного утворення ламелей, пелюсток та готових кристалів, або шляхом утворення ламелей, пелюсток та сферолітів. Швидкість охолодження розплаву впливає на розмір кристалітів та загальний ступінь кристалічності. Швидке гартування зменшує частку кристалічної фази та водночас призводить до збільшення розміру окремих кристалітів. Довжина кристалічних фрагментів у поліетилені сягає кількох сотень ангстрем, і кожна така область охоплює лише невелику частину окремої молекули, довжина якої може сягати 1000 Å. Тому одна макромолекула проходить через кілька кристалічних областей [24].

Поліетилен характеризується такими основними властивостями: широким температурним діапазоном експлуатації, відмінними діелектричними характеристиками, високою хімічною стійкістю, високою теплоємністю,

хорошими низькотемпературними властивостями, достатньою міцністю та низькою щільністю. Тим не менш, ті ж структурні характеристики, що сприяють таким позитивним властивостям, також можуть бути причиною обмежень. Висока кристалічність та впорядкована структура лінійного поліетилену призводять до низької еластичності та схильності до розтріскування під час тривалих навантажень [25].

Основною структурною характеристикою ПЕНТ є лінійне розташування макромолекул. Кристалічна фаза ПЕНТ може становити до 80 %, а морфологічна будова містить пучки, фібрили, ламелі та сфероліти. ПЕНТ належить до групи кристалізуючих полімерів. Оскільки ланцюги щільно пакуються в кристаліти, фізична щільність ПЕНТ може сягати 970 кг/м³. Як наслідок, це суттєво змінює його механічні характеристики: підвищуються значення міцності, жорсткості, модуля пружності, температури розм'якшення, температури кристалізації та температури плавлення [26].

HDPE - це полімер, що містить лише зв'язки C–C та C–H, що означає, що він практично не поглинає світло з довжиною хвилі більше 190 нм. Поліетилену не потрібні УФ-стабілізатори з точки зору власного спектра поглинання, але якщо їх не додавати, поліетилен швидко деградує через наявність слідових домішок (карбонільні та пероксидні групи), що утворюються під час синтезу і є світлопоглиначами та джерелами вільних радикалів [27].

Щоб підвищити стійкість поліетилену до розтріскування та надати йому стійкості у процесі експлуатації, були розроблені поліетиленові матеріали з мінімальною схильністю до росту тріщин. Наявність співмономерів, що розгалужуються збоку полімерного ланцюга, підвищила стійкість матеріалу до тріщин та збільшила його значення MRS до 8,0 МПа, що було характерно для трубних марок PE80. Тим не менш, це призвело до зниження короточасної міцності, модуля пружності та стійкості до швидкого поширення тріщин. Газопровід PE80 працював лише при тиску близько 6 атм [5].

Після цього був розроблений поліетилен третього покоління, який зберіг характеристику короткочасної високої міцності, але отримав чудову стійкість до тріщин. Цей матеріал має високий модуль пружності та MRS 10,0 МПа, що відповідає класу PE100. Труби, виготовлені з PE100, використовуються для постачання газу під тиском до 12 атм та транспортування води при тисках до 25 атм. PE100 також має додаткові переваги при обробці: навіть при високій в'язкості розплаву (MFR 0,2-0,6 г/10 хв) його легко екструдувати завдяки низькомолекулярній фракції, яка служить своєрідним мастилом [28].

Протягом терміну служби поліетиленових труб властивості зберігаються незмінними при температурах від -15 °С до +40 °С, за умови дотримання вимог стандартів і коректного проєктування системи [29].

Поліетилен низького тиску виробляють методом координаційно-іонної полімеризації етилену, використовуючи каталізатори Циглера-Натта або Філіпса. Ці системи дозволяють вести процес за значно м'якіших умов — температура 70-110°С і тиск 0,5-3 МПа — порівняно з радикальною полімеризацією, яка застосовується для поліетилену високого тиску [4].

Для полімеризації використовують очищений етилен, який перед подачею в реактор проходить глибоке осушення та видалення домішок — вологи, кисню, CO₂, сірковмісних сполук. Ці речовини можуть деактивувати каталізатор, тому їх усувають за допомогою адсорбції, абсорбції та каталітичної очистки [30].

Каталізатори Циглера-Натта — це комбінація хлоридів титану або ванадію з органоалюмінієвими сполуками, нанесеними на носії MgCl₂ або SiO₂. Вони створюють активні центри, які запускають полімеризацію етилену з утворенням переважно лінійних ланцюгів. Каталізатор Філіпса — це оксид хрому на силікагелі, який активується при високій температурі. Він забезпечує вузький розподіл розгалужень і стабільні фізико-механічні властивості, що особливо важливо для виробництва труб, резервуарів та інших конструкційних виробів [31].

Полімеризацію поліетилену низького тиску проводять у суспензійних, розчинних або газофазних реакторах. Найпоширеніший — суспензійний (slurry) процес, де полімер утворюється у вигляді твердих частинок, диспергованих в інертному розчиннику. Каталізатор працює на своїй поверхні. Найчастіше використовують петльові реактори з циркуляцією суспензії — вони забезпечують рівномірний тепломасообмін, стабільну температуру та однорідність продукту [1].

У розчинному процесі полімеризація проходить при вищій температурі, коли полімер і мономер утворюють однорідну рідку фазу. Це дозволяє точно регулювати молекулярно-масовий розподіл і густину полімеру через контроль концентрації водню та комономерів [2].

Газофазні процеси, навпаки, реалізуються у флюїдизованому шарі полімерних частинок і каталізатора, що знаходяться в потоці етилену з інертним газом. Такий підхід забезпечує високу продуктивність і дозволяє працювати без розчинника. Молекулярну масу та густину поліетилену регулюють за допомогою водню — агента ланцюго переносу — та введенням комономерів (бутен-1, гексен-1, октен-1), які впливають на ступінь розгалуження [25].

Застосування багатореакторних схем у slurry- або газофазних процесах дозволяє отримувати бімодальні поліетилену з поєднанням високої міцності та добрих переробних властивостей. Такі матеріали підходять для виробництва трубних марок ПЕ80 і ПЕ100 [24].

У результаті координаційної полімеризації при низькому тиску утворюється поліетилен з високою кристалічністю, щільністю 0,94-0,97 г/см³, низькою проникністю, високою жорсткістю та стійкістю до повільного росту тріщин. Це робить його придатним для інженерних комунікацій, зокрема для напірних трубопроводів [26].

1.3. Добавки та домішки для виробництва поліетиленових виробів

Під час компаундування бажаний набір властивостей формується шляхом додавання цільових добавок: наповнювачів, мастил, барвників та антиоксидантів. Як поглинач ультрафіолетового випромінювання зазвичай використовується щонайменше 2 % сажі (технічного вуглецю), оскільки вона дає синергетичний ефект разом з антиоксидантами; без сажі дозування антиоксидантів необхідно збільшувати у багато разів. Зазвичай застосовується дрібнодисперсна сажа (20–25 нм), яка повинна бути добре диспергована у ПЕНТ для досягнення бажаного ефекту. Небажані агломерати сажі стають місцями початку розтріскування та знижують довгострокові характеристики [32].

Фторовані полімери часто використовуються як технологічні мастила в екструзії труб і плівок для зниження тертя розплаву об стінки каналу та запобігання дефектам типу *melt fracture* [33–35].

Антиоксиданти дуже важливі для компаундів ПЕНТ під час обробки та експлуатації. Без антиоксидантів неможливо досягти необхідної довгострокової продуктивності. У промисловості зазвичай застосовують стерично утруднені феноли, такі як Irganox 1010, та їхні комбінації з фосфітами (Irgafos 168), які забезпечують синергію та одночасно захищають поліетилен при переробці й під час експлуатації [36–38].

Гідроксиламіни належать до високотемпературних стабілізаторів. Тіоестери є ефективними довготривалими стабілізаторами, які доповнюють фенольні антиоксиданти та підвищують термічну стабільність матеріалу при тривалому нагріванні. Тривале нагрівання під час екструзії та зварювання товстостінних труб вимагає високої ефективності стабілізаційних систем [39–41].

Для кольорових сполук застосовують різні УФ-стабілізатори, що виконують функції поглиначів, гасників та стабілізаторів кольору. Стерично утруднені аміни (HALS) також використовуються як ефективні світлостабілізатори, але їх

застосування обмежене в трубах, стабілізованих сажою, через взаємодію компонентів [42].

Пігменти додають для маркування труб за призначенням і попередження про небезпеку. Використання кольорових композицій створює ризик вицвітання, тому додають гідроксилами́ди та інші спеціальні стабілізатори [42, 39].

1.4. Антиоксиданти

Первинні антиоксиданти передбачають, головним чином, дуже швидко реакцію з пероксидним радикалом, тому їх часто називають поглиначами радикалів. Більшість первинних антиоксидантів, що використовуються в поліолефінах, є стерично утрудненими фенолами.

Вторинні антиоксиданти швидко реагують з гідропероксидами, утворюючи нерадикальні продукти, і тому їх називають розкладачами гідропероксидів. Зазвичай вторинні антиоксиданти використовуються в синергетичній суміші разом з первинними антиоксидантами. Під час обробки фосфіти та фосфоніти в першу чергу захищають як первинний антиоксидант, так і полімер, запобігаючи прискореному розвитку термоокиснювальної деструкції [36–38, 41].

Тому традиційні стабілізуючі системи, запропоновані для поліолефінів, — це або окремі антиоксиданти, або синергетичні суміші поглиначів радикалів та розкладачів гідропероксидів. Водночас поліетилен, за умов обмеженого доступу кисню при переробці, здатний зшиватися переважно алкільними радикалами. Тому до стабілізуючих пакетів екструзійного ПЕНТ рекомендується додавати акцептори алкільних радикалів, що додатково стабілізують реологічні властивості розплаву та гальмують розвиток деструкційних процесів у стінці труб [39, 40].

На рисунку 1 можна побачити, як типовий первинний антиоксидант впливає на характеристики поліетилену.

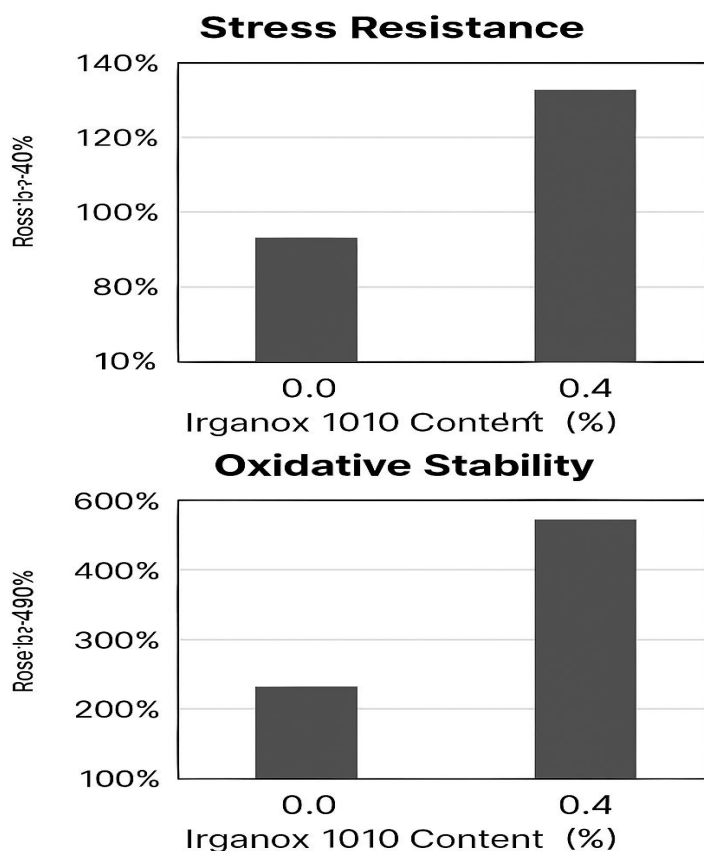


Рис2. Вплив Irganox 1010 на характеристики поліетилену.

1.5. Ковзні добавки

Ковзні добавки в поліетилені — це малі молекули амідів, які після охолодження мігрують до поверхні та формують змащувальну плівку. Така дія корисна для плівок та пакування, але протилежна вимогам до труб. У ПЕНТ кристалічна матриця виштовхує молекули амідів в аморфні області, звідки вони мігрують до поверхні та до зон зварних швів, що може послабити з'єднання [43].

У місцях зварювання може формуватися прикордонний шар, який знижує довговічність та стійкість до тиску. У середині стінки труби локальні накопичення

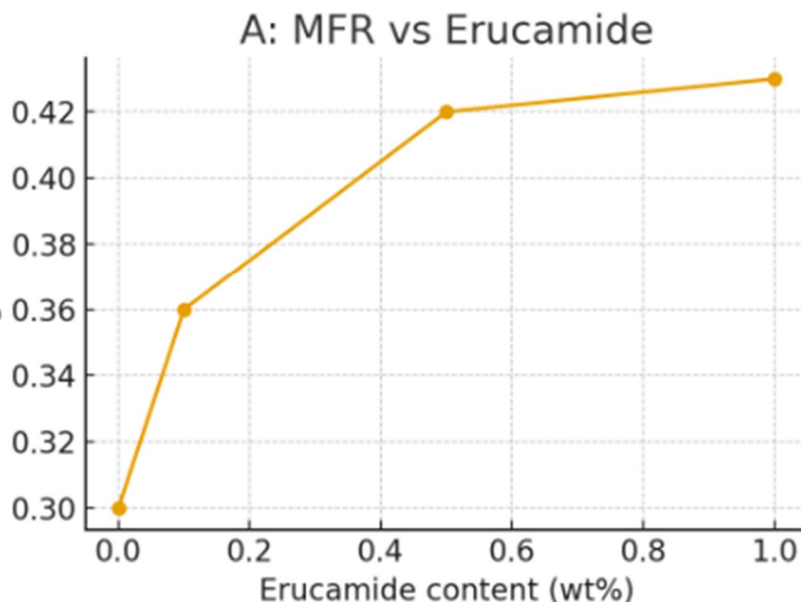
амідних молекул змінюють розподіл напружень і сприяють утворенню та зростанню тріщин [44].

Для конструкційних труб PE80, PE100 і PE100-RC ковзні добавки не використовуються. Коли необхідно знизити тертя (наприклад, при безтраншейному протягуванні), виробники застосовують багатошарові труби з модифікованою зовнішньою оболонкою, яка містить мінімальну кількість амиду. Несуча серцевина не містить мігруючих добавок, тому зберігає міцність та довговічність [35].

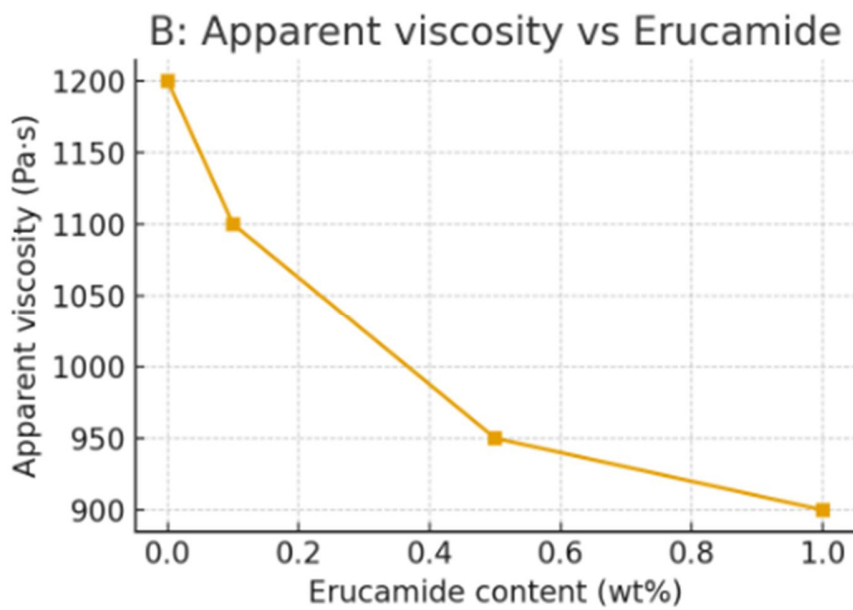
Таке розділення забезпечує стабільність зварних швів і не погіршує стійкість до повільного росту тріщин. Тобто, ковзаючі добавки сприяють ковзанню, але вони підривають структурну цілісність, необхідну для несучих труб з поліетилену.

Вплив добавки Erucamide показаний на графіках нижче.

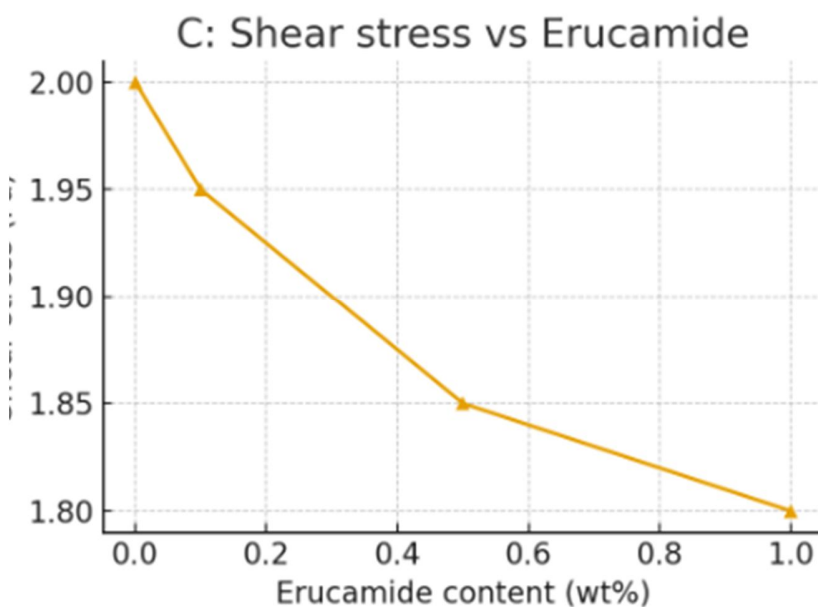
Графік А : MFR (g/10 min) помірно зростає при $0 \rightarrow 0.1 \rightarrow 0.5$ wt% erucamide і далі майже стабілізується до 1.0 wt%.



Графік В: Apparent viscosity (Pa·s) плавно зменшується зі зростанням вмісту erucamide



Графік С: Shear stress (Pa) при фіксованій швидкості зсуву трохи знижується з концентрацією добавки.



Добавки, що покращують ковзання, практично не використовуються для труб з PE80, PE100 та PE100-RC [19, 21, 22, 47]. Будь-які тимчасові плюси тертя

під час монтажу переважається ризиками для механічної цілісності. Вони можуть зашкодити довгостроковій гідростатичній міцності. Коли потрібне зниження тертя для безтраншейного прокладання або протягування кабелю, виробники застосовують інший підхід. Вони виготовляють багатошарові труби з тонкою зовнішньою оболонкою. Ця оболонка модифікована невеликою кількістю довголанцюгового амідю, наприклад, ерукамідю [44]. Зовнішній шар забезпечує короткочасну змащувальну здатність поверхні. Несуча серцевина залишається вільною від мігруючих добавок. Це забезпечує міцність з'єднання та характеристики тиску. Таке розділення запобігає послабленню зварних швів або стінки поверхневими агентами. Це також запобігає зниженню стійкості до повільного росту тріщин. На практиці така конструкція спрощує монтаж, не зменшуючи термін служби на десятиліття [35].

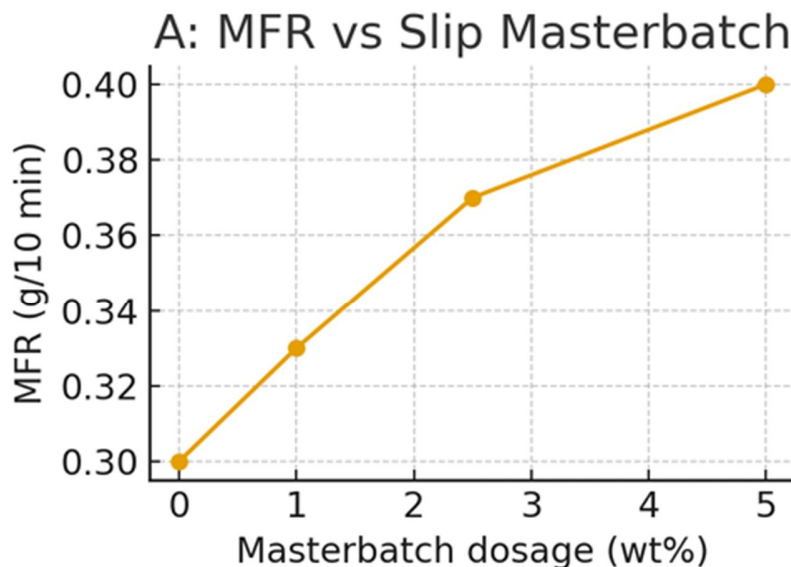
1.6. Сажа

Сажа - основний захисник матеріалу від ультрафіолету у поліетиленових трубах. Її характеристики залежать від хімічного складу та від того, наскільки добре вона диспергована. Для труб використовуються сажі з первинними частинками розміром близько 20-30 нм. Ці частинки поглинають ультрафіолет і перетворюють його на нешкідливе тепло, що підтверджується сучасними дослідженнями впливу мастербатчів на УФ-стабільність трубних компаундів [27]. Це зупиняє окислення до утворення вільних радикалів. В результаті стінка труби протягом десятиліть залишається стабільною на відкритому повітрі, що узгоджується з результатами довгострокових випробувань трубних матеріалів [5].

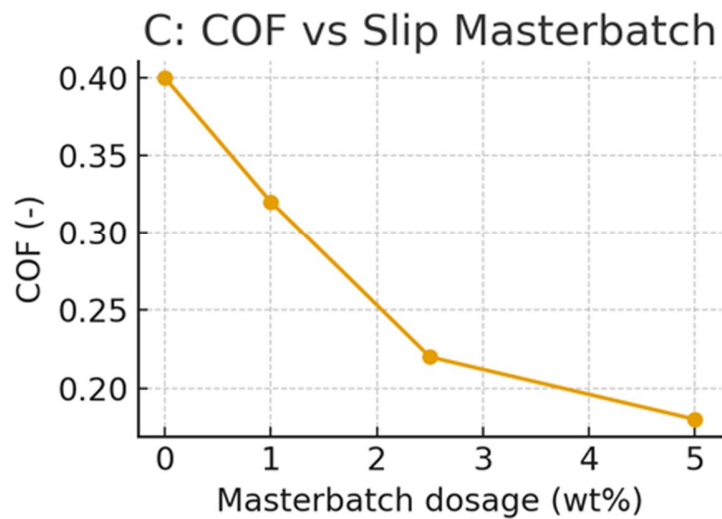
Сажа не розчиняється в поліетилені. Вона залишається у вигляді дрібних частинок всередині напівкристалічної матриці. Під час обробки розплав захоплює їх в аморфних зонах між ламелями. У цьому дуже важлива гарна дисперсія:

дослідження показують, що рівномірний розподіл частинок суттєво впливає на реологічні та міцнісні властивості ПЕ100 [32]. Великі агломерати вуглецю діють як дефекти та концентрують напруження у зонах їх скупчення. Це знижує стійкість до повільного росту тріщин. Труби з ПЕНТ особливо чутливі до таких дефектів, тому що їхня міцність залежить від рівномірного розподілу напружень по кристалічній та аморфній фазах.

Для отримання дрібної дисперсії сажу додають у вигляді мастербатчу, а не сирого порошку. Мастербатчі часто містять до 40 % сажі в концентраті, носій — поліетиленова смола, що відповідає щільності та молекулярній структурі ПЕ трубних марок. Оскільки в екструдері остаточно зруйнувати агломерати сажі неможливо, у компаунд вводяться мастербатчі, що сприяють рівномірному її розподілу. Додаткові дослідження показують, що навіть за умов дії агресивних середовищ, наприклад розчинів діоксиду хлору, стабільність трубного ПЕ з наповненням сажою значною мірою залежить від морфології та дисперсності частинок [49]. Вплив дозування мастербатчу на MFR проілюстровано графіком нижче.



Наступний графік показує залежність коефіцієнта тертя (COF) від дозування МВ.



Висновки до розділу. Виробництво полімерних труб в основному базується на використанні композитів, які являють собою сполуки полімерів з твердими частинками. Вони розроблені з урахуванням макромолекулярної конструкції та різноманітних функціональних добавок: сажа для захисту від фотодеградації, барвники та поглиначі ультрафіолетового випромінювання, багатокомпонентні стабілізуючі системи, мастила для покращення обробки та інші наповнювачі. Концентрати виготовляються на основі низьков'язкого поліетилену з додаванням компонентів. Компаундування відбувається на заводі або інтегрується в екструзійну лінію.

У підсумку можна сказати, що характеристики поліетилену та виробів з нього залежать від молекулярної структури, молекулярної маси, схеми розгалуження та надмолекулярної організації. Правильний вибір матеріалів, добавок та умов обробки забезпечує належний баланс між міцністю, довговічністю, стійкістю до впливу навколишнього середовища та технологічністю.

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Вимоги до готової продукції

Кінцевий виріб - труби одношарові без розтрубів, з фаскою або без фаски з первинного ПЕ з розмірами, граничними відхилами розмірів та номінальною кільцевою жорсткістю SN не менше 2 кН/м² згідно з EN 13244-2 та ДСТУ Б В.2.5-32:2007.

Безнапірні поліетиленові труби призначені для будівництва зовнішніх мереж каналізації, дренажних систем, кабельної каналізації та інших трубопроводів, у яких транспортування рідин або середовищ здійснюється без внутрішнього надлишкового тиску. Основні вимоги до таких труб регламентуються національним стандартом ДСТУ Б В.2.5-32:2007 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Труби поліетиленові для безнапірних трубопроводів. Технічні умови».

Безнапірні поліетиленові труби повинні виготовлятися методом екструзії. Конструкція та товщина стінки вибираються залежно від потрібної кільцевої жорсткості SN, умов монтажу та глибини залягання трубопроводу.

Основною ознакою класифікації безнапірних ПЕ-труб відповідно до ДСТУ є кільцева жорсткість (SN), що характеризує здатність труби протистояти діям зовнішнього навантаження ґрунту, транспорту та інших чинників.

Стандарт визначає такі класи SN для поліетилену:

Таблиця 1

Загальні позначення для ненапірних ПЕ труб

Клас жорсткості	Позначення	Мінімальна кільцева жорсткість, кН/м^2	Типові області застосування
SN2	Легкі	≥ 2	Кабельні канали, неглибокі мережі
SN4	Середні	≥ 4	Побутова каналізація, дренаж
SN8	Високі	≥ 8	Зовнішні мережі з високим навантаженням
SN16	Посилені	≥ 16	Глибоке залягання, промислові навантаження

Стандарт допускає виготовлення:

Гладких одношарових труб - однорідна структура стінки, мінімальна жорсткість. Гофрованих двошарових труб - гладка внутрішня стінка + зовнішній профіль (гофра) для збільшення жорсткості. Багатошарових труб - можливе поєднання різних марок поліетилену й конструкцій для досягнення потрібної SN.

Таблиця 2

Основні параметри труб (без розтруба) та гладкої частини труб розтрубних

d, мм	Граничні відхили, мм	Номінальна кільцева жорсткість, SN, кН/м ²					
		SN2		SN4		SN8	
	ПЕ, ПП	Вихідна сировина / SDR					
		ПЕ/ SDR 33		ПЕ/ SDR 26		ПЕ/ SDR 21	
		ен, мм	Граничні відхили, мм	ен, мм	Граничні відхили, мм	ен, мм	Граничні відхили, мм
50	+0,3	-	-	-	-	2,4	+0,50
63	+0,3	-	--	2,5	+0,50	3,0	+0,60
75	+0,4	-	-	2,9	+0,50	3,6	+0,60
90	+0,4	--	-	3,5	+0,50	4,3	+0,60
110	+0,4	-	-	4,2	+0,60	5,3	+0,80
123	+0,4	-	-	4,8	+0,70	6,0	+0,90

160	+0,50	-	-	6,2	+0,60	7,7	+1,00
200	+0,60	-	-	7,7	+1,00	9,6	+1,10
250	+0,80	-	-	9,6	+1,20	11,9	+1,30
315	+1,0	9,7	+12,0	12,1	+1,50	15,0	+1,60
400	+3,60	12,3	+15,0	15,3	+1,80	19,1	+2,10
500	+4,50	15,3	+1,80	19,1	+2,20	23,9	+2,50
630	+5,70	19,3	+1,80	24,1	+2,70	30,0	+3,10
800	+7,20	24,5*	+2,7 0	30,6*	+3,3 0	38,2*	+4,0 0
1000	+9,0	30,6*	+3,30	38,2*	+4,70	47,7*	+4,90
1200	+10,0	30,7*	+3,90	45,9*	+4,70	57,2*	+5,90
* Розміри для труб розтрубних тип В та труб без розтрубу всіх типів.							

Труби за цим стандартом виготовляють відрізками з мірною будівельною довжиною l рівною $(6,0 \pm 0,1)$ м. За бажанням споживача можна виготовляти труб іншої довжини та з іншими граничними відхилами довжини труб.

Внутрішні і зовнішні поверхні труб та фасонних виробів не повинні мати тріщин, пухлин та інших дефектів та ушкоджень, які погіршують експлуатаційні властивості. На зовнішній поверхні допускаються незначні сліди формуючого інструмента та механічної обробки за умов, якщо мінімальний зовнішній діаметр труби та фасонного виробу та мінімальні товщини стінок труби, фасонного виробу та розтруба будуть не менше наведених у таблицях. Колір труб та фасонних виробів для зовнішньої каналізації та дренажу - оранжево-коричневий, відтінки не регламентуються. За узгодженням із замовником припустимо використання труб та фасонних виробів інших кольорів. Колір труб для кабельної каналізації - чорний з червоними повздовжніми смугами в кількості не менше чотирьох рівномірно розташованими по окружності труби. Колір фасонних виробів для кабельної каналізації - чорний.

Вимоги до граничної овальності

Таблиця 3

d_n (DN/ID)	Граничні показники овальності труб у відрізках	Граничні показники овальності труб у бухтах
50	1.4	3.0
63	1.6	3.8
75	1.6	4.5
90	1.8	5.0
110	2.2	6.0
125	2.5	-
140	2.8	-
160	3.2	-
180	3.6	-
200	4.0	-
225	4.5	-
250	5.0	-
280	9.8	-
315	11.1	-
355	12.5	-
400	14.0	-
450	15.8	-
500	17.5	-
560	19.6	-
630	22.1	-
710	24.9	-
800	28.0	-
1000	25.0	-
1200	42.0	-

Маркування: Згідно з ДСТУ Б В.2.5-32:2007 маркування має включати:

- найменування або товарний знак виробника;
- номінальний діаметр;
- клас кільцевої жорсткості SN;
- тип конструкції (гладка/гофрована);
- матеріал (PE80, PE100 тощо);

- дату виготовлення;
- номер партії.

2.2 Обґрунтування вибору сировини

Виходячи з вимог до сировини, описаних у ДСТУ Б В.2.5-32:2007, в якості основного матеріалу для цього проекту обираємо поліетилен марки DOW лінійний.

Таблиця 4

Технологічні та експлуатаційні властивості поліетилену

Показник	Значення
Молекулярна маса	50000-200 000
Показник плину розплаву, $\frac{g}{10\text{хв}}$	0,1-20
Щільність, $\frac{кг}{м^3}$	945-955
Температура плавлення, °С	120-125
Температура крихкості, °С	-150 -130
Морозостійкість, °С	-70
Температура деструкції, °С	320
Руйнуюча напруга, мПа на розтяг на згин	22-32 20-35
Відносне подовження на розрив, %	400-800

Максимум текучості на розрив, МПа	10-30
Твердість за Брінеллем, МПа	45-60
Ударна в'язкість з надрізом, $\frac{\kappa Дж}{м^2}$	2-150
Електрична міцність, $\frac{\kappa Вт}{мм}$	45-55
Теплоємність, $\frac{Дж}{г \times K}$	1,68-1,88
Коефіцієнт лінійного розширення, K^{-1}	0,00021-0,00055
Теплопровідність, $\frac{Вт}{м \times K}$	0,41-0,44
Теплостійкість по Віка, $^{\circ}C$	110-120
Водостійкість через 30 діб, %	0,03
Стійкість до термоокисного старіння, г	6
Стійкість до розтріскування, г	500
Насипна щільність для гранул 2-4 мм х 8 мм, $\frac{\kappa г}{м^3}$	500-550
Газопроникність, $м^2 \cdot с \cdot Па$ H ₂ CO ₂ O ₂	$19,9 \cdot 10^{-10}$ $21,4 \cdot 10^{-10}$ $6,9 \cdot 10^{-10}$

2.3 Обґрунтування вибору обладнання

Головна причина поширення екструзії в полімерному продукті - це висока продуктивність процесу.

Найнадійнішим пристроєм серед різних типів у переробці поліолефінів є одношнековий екструдер який являє собою компактну конструкцію з машиною та приводом, об'єднані в єдиний модуль.

Розплав поліетилену готується на одношнековому екструдері типу ЧП 63×30, який забезпечує транспортування матеріалу в циліндрі, нагрівання, пластифікацію, гомогенізацію та встановлення потрібного гідростатичного тиску. Конструктивно екструдер складається з бункера, циліндра, шнека, опорного підшипникового вузла, приводу, систем нагрівання, охолодження та контролю температури.

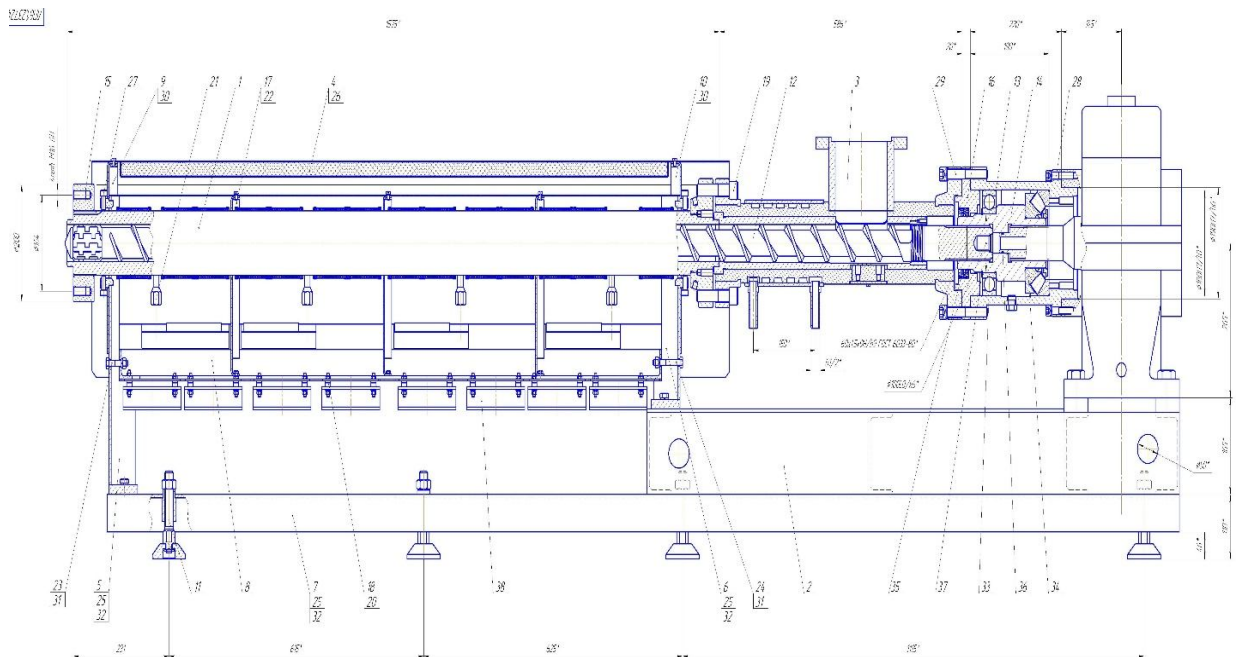


Рис.8. Схема черв'ячного екструдера ЧП 63*30.

Привід - двигун постійного струму, який дозволяє плавно змінювати частоту обертання шнека без різких переходів. Циліндр екструдера розділений на чотири зони нагріву з зовнішнім нагріванням, а в трьох з них передбачено додаткове охолодження. Температурні режими у всіх зонах стабілізуються автоматично електронними системами керування.

Екструдери цієї категорії оснащені пристроями для дегазації матеріалу в циліндрі. Для видалення летких та шкідливих домішок використовується водокільцевий вакуумний насос, який має вбудований фільтр очищення. Панель керування має елементи керування роботою дозаторів, тягових механізмів та електродвигунів. Швидкість приводу встановлюємо шляхом регулювання значення керуючого сигналу.

За допомогою шнекового живильника за допомогою крокового двигуна, підключеного до регулятора швидкості, що дозволяє її змінювати, екструдер отримує матеріал. Подача з регулюванням швидкості унеможливорює утворення повітряних кишень під час заповнення шнека екструдера гранульованим або порошкоподібним ПЕ.

Формуюча головка сполучена з екструдером через спеціальний адаптер.

Конструкція головки включає в себе кілька зон нагріву, де встановлені затискні нагрівачі що забезпечують рівномірний тепловий режим. У внутрішній

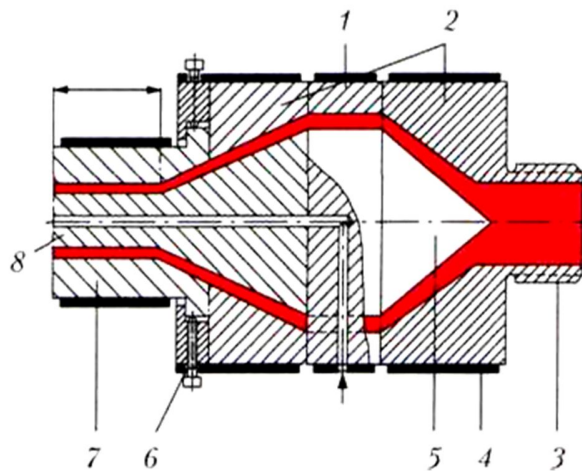


Рис.9. Екструзійна головка для виробництва труб: 1- тримач дорна; 2- корпус; 3- кріплення; 4- нагрівач; 5- наконечник дорна; 6- центруючий елемент; 7-фільєра; 8- дорн.

частині головки між її входом та роздільником розплаву знаходиться канал подачі, який спрямовує матеріал до формувального каналу. Цей канал утворено з матриці та дорна, а його форма відповідає поперечному перерізу виробу. Матриця утворює зовнішню поверхню труби, а дорн - внутрішню.

Дорнотримач - це елемент, який утримує дорн на місці всередині корпусу головки. Канал, що проходить уздовж краю дорнотримача відповідно подає калібрувальне повітря у внутрішню порожнину заготовки труби. Температура нагрівання головки контролюється та вимірюється відповідним обладнанням. Розробка формотворчих компонентів обладнання - досить складне завдання, оскільки необхідно враховувати серед іншого розширення екструдата на виході, а потім охолодження корпусу в калібруючій насадці.

Калібруюча насадка - це втулка, яка має внутрішню та зовнішню водяні сорочки. Вхідний діаметр насадки відповідає розміру труби плюс допуск на усадку, яка виникає під час остаточного охолодження. Внутрішню сторону ПЕНТ-труб, виготовлених під час виробничого процесу, необхідно дуже ретельно полірувати, оскільки цей вид матеріалу дуже легко прилипає до інших поверхонь. Ця насадка в основному використовується для відведення тепла від гарячої заготовки та таким чином для забезпечення стабільного формування зовнішнього діаметра труби.

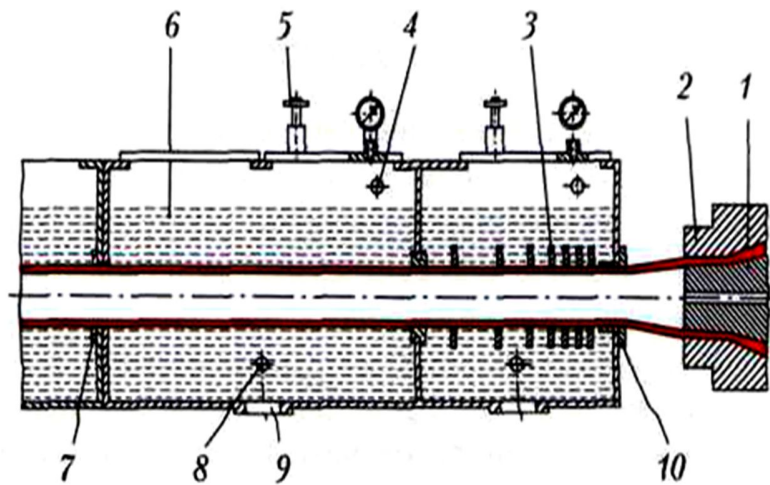


Рис.10. Зовнішнє калібрування труби за допомогою вакууму: 1- дорн; 2- форсунка; 3- калібруючі кільця; 4 - вакуум-з'єднання; 5- гвинт; 6- охолоджуюча ванна; 7- ущільнення; 8 - подача води; 9 - калібруюча втулка; 10 - стік води.

Охолоджувальні ванни служать для остаточного охолодження продукту. Конструкції можуть мати або систему безперервного водопостачання, або систему охолодження розпилювального типу. Усередині ванни є опорні або притискні ролики, які забезпечують плавний рух труби. Балки прямокутного перерізу оснащені гумовими діафрагмами, що обмежують виливання води. Ванна має трубу для переливу, яка контролює верхній рівень води, забезпечуючи таким чином регулярний надходження води у ванну. Конструкція ванн секційна, це дозволяє змінювати їх довжину залежно від товщини стінки труби та вимоги до режиму охолодження.

Маркувальний пристрій являє собою барабан довжиною кола 1 м. До барабана кріпиться нагрівальна металева пластина з тисненим текстом маркування. Його підводять до труби. Рух труби змушує барабан обертатися. При натисканні нагрітої пластини рухомою трубою маркування таврується автоматично через кожен метр.

Тягнучий пристрій гусеничного типу потрібен для руху труби з постійною необхідною швидкістю. Він має два нескінченні ремені з м'якими гумовими траками, які щільно охоплюють трубу та забезпечують рівномірне затягування і протягування. Привід дозволяє плавне регулювання швидкості без різких змін в широкому діапазоні. Робота гусениць контролюється як з пульта дистанційного керування екструдера, так і з пульта дистанційного керування тягнучого пристроєм. Він також використовується для виконання потовщення стінки в зоні майбутнього розтруба: на перекидному жолобі встановлені кінцеві вимикачі, які змінюють швидкість тяги на початку та в кінці процесу потовщення.

Різальний пристрій являє собою автоматичну установку, в якій труба розділяється обертовим ножом. Він складається з двох частин - планетарного вузла та різального вузла, кожен з яких приводиться в рух окремим електродвигуном змінного струму. Всі елементи встановлені на каретці, яка рухається синхронно з трубою. Після завершення різки виконується зняття фаски, після чого затискачі розмикаються, і каретка повертається у початкове положення. Захисний кожух пилки обладнаний фіксатором для безпечної роботи.

Муфельна піч підвішена на верхніх напрямних транспортного вузла. Вона являє собою циліндричний корпус що теплоізований зовні та оснащений кільцевим нагрівачем всередині навколо отвору, через який проходить труба. Піч переміщується трубою під час її подачі, а температура контролюється термopарою з електронним регулятором.

2.4. Опис технологічної схеми отримання труб

Після прибуття полімерна сировина розкривається та проходить вхідний контроль, щоб визначити відповідність її характеристик заданим параметрам. Потім вона електротранспортом транспортується на склад підприємства. Формувальний цех отримує гранули ПЕНТ зі складу кожні кілька днів для безперервної роботи. Перед завантаженням у бункер поліетилен повинен

витримуватися у виробничих умовах не менше 24 годин, щоб досягти температурної рівноваги з навколишнім середовищем. Пневматичний навантажувач транспортує сировину до екструдера після її підготовки.

Система подачі почне працювати, коли всмоктувальна труба буде вставлена в бункер відсмоктування на потрібну глибину, потім агрегат автоматично активує завантаження композиції та контролює її рівень у бункерах. Якщо сигналізація рівня наповнення показує «Порожньо», запускається всмоктуючий компресор. Кожен агрегат калібрується з часом заповнення: якщо сигнал «Порожній» спрацьовує протягом 10 хвилин, його індикатор починає блимати. Перед запуском екструдера необхідно перевірити чи всі бункери заповнені матеріалом. Матеріал надходить з бункера накопичувача до дозувальних ваг VF-300 які рівномірно подають композицію PENT у шнеки екструдера. Робочий діапазон цих ваг становить 20-1000 кг/год. Після дозування композиція надходить до матеріального циліндра екструдера, який розділений на різні зони нагріву. Для нагріву цих зон використовуються електричні пластинчасті нагрівачі, а електронний контролер відповідає за підтримку необхідної температури. Теплообмінник відповідає за охолодження шнекового осердя. Під час руху вздовж циліндра матеріал, який був у порошкоподібному стані, піддається плавленню, пластифікації та гомогенізації і нарешті безперервно виходить через кільцеву щілину. Голівка має форму трубної заготовки.

Таблиця 5

Технічна характеристика голівки ГТ - 63.

Найменування параметра	Одиниця виміру	Норма
Діаметр отвору мундштука	мм	19,63
Величина її форми	мм	3
Діапазони регульованих температур	° С	50-250
Число зон обігріву		2

Розміри:		
- Довжина	мм	362
- Діаметр	мм	310
- Маса	кг	116,2

Далі заготовка труби вводиться в калібрувальну насадку, де вона формується до потрібного діаметра за допомогою стисненого повітря або вакуумного обладнання. Потрібний тиск у трубі підтримується за допомогою «плаваючої заглушки», з'єднаної з тросом, яка прикріплена у дорні головки. Калібруючий пристрій має бути сконструйованим так, щоб труба під час калібрування безпосередньо контактувала з його металевою поверхнею і таким чином охолоджувалася швидко та рівномірно. Повітряний зазор розділяє гарячу головку та холодну насадку. Після цього труба потрапляє у водяну ванну (СМ-80, СМ-55, СМ-4/125), де вона остаточно охолоджується зануренням у воду або розпиленням. Час охолодження залежить від товщини стінки. Ванна має ролики для підтримки і переміщення труби, переливну трубу для підтримки рівня води та діафрагми з гуми з отвором діаметром, що дорівнює діаметру труби по краям ванни для усунення витоку води з неї.

Труба відводиться тягнучим пристроєм зі стабільною швидкістю. Швидкість відведення, яка трохи вища за швидкість виходу розплаву з головки екструдера, дозволяє регулювати товщину стінки. Після гусеничного тягнучого пристрою труба потрапляє на різальний пристрій та маркувальний апарат. Автоматичний різальний пристрій рухається по напрямним та розрізає її на частини заданої довжини за допомогою різаків або спеціальних фрез. Швидкість візка узгоджується зі швидкістю труби.

На каркасі розтрубної машини закріплено чотири форсунки для розпилення води для охолодження труби, після чого труба з розтрубом автоматично переміщується на приймальний лоток.

Візуальний контроль якості здійснюється власне на лотку, де труби порівнюються з контрольним зразком. Якщо вони не відповідають вимогам до готового виробу, наприклад мають негомogenous включення, здуття, бульбашки, то бракуються. Труби діаметром 90 мм і більше упаковуються в пакети, зв'язані дротом згідно з ДСТУ 3282:2014 та закріплені у 2-3 місцях згідно з ДСТУ 21650:2014 вагою від 250 кг до 1044 кг. Кожен пакет має прикріплену етикетку згідно з ТУ 6-19-231-87, і його можна поміщати в поліетиленові мішки розміром 200×220 мм та товщиною 0,05-0,06 мм.

Пакети труб піднімаються і переміщуються кран балками вантажопідйомністю 1-2 тони та складаються на стелажі в цеху. Максимальна висота штабеля становить три метри, а проходи між стелажми не повинні перевищувати 2 м. Різні партії та розміри упаковки не змішуються до отримання результатів випробувань на фізико-механічні характеристики. Крім того, між пакетами необхідно розміщувати відповідні дерев'яні бруски розміром 100×100 мм.

Труби часто перевозяться автомобільним транспортом, а під час доставки до залізничних вагонів та платформ використовуються мостові крани. Труби завантажуються в криті вагони вручну. Протягом відвантаження труби оснащуються гумовими кільцями (ТУ 38-105376-82, ТУ 38-105895-75) та чавунними з'єднаннями (ТУ 6-19-223-85, ТУ 6-221-85). Кількість ущільнювальних кілець повинна дорівнювати кількості труб.

Принципова технологічна схема показана на рис. 11

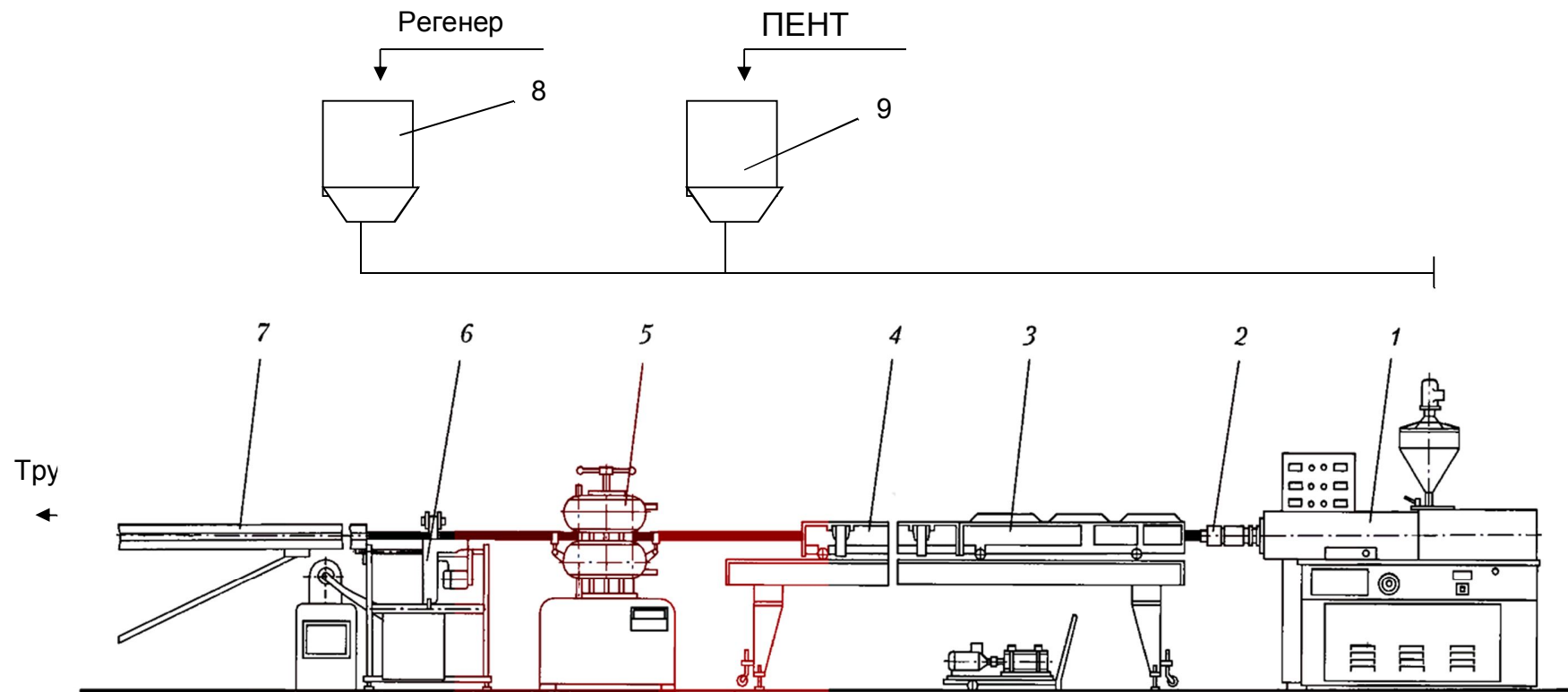


Рис. 11. Принципова технологічна схема отримання ненапірних труб з ПЕНТ: 1- екструдер; 2- головка; 3- калібруючий пристрій; 4- водяна ванна; 5- тягнучий гусеничний пристрій; 6- відрізна пила; 7- рухомий жолоб; 8, 9- завантажувальні бункери.

2.5. Дослідження покращених властивостей труб

Формування стабільної та довготривалої композиції на основі ПЕ100 вимагає збалансованого набору стабілізаторів і технологічних добавок. Склад повинен захищати поліетилен від термоокиснювальної деструкції під час екструзії, зберігати потрібну реологію розплаву і гарантувати стабільність геометрії труби, а також забезпечувати надійний захист від УФ старіння протягом багатьох років експлуатації [11; 13; 49]. У запропонованій рецептурі використано комбінацію первинних і вторинних антиоксидантів, модифікаторів переробки та спеціалізований концентрат технічного вуглецю — Black PE100 Masterbatch з вмістом сажі 40 %. Кожна добавка виконує свою роль, а їх поєднання дає потрібний баланс властивостей відповідно до вимог стандартів для поліетиленових труб [19; 21; 22].

Серед ключових компонентів — первинні фенольні антиоксиданти Irganox 1010 і Irganox 1330 у концентрації 0,05–0,4 %. Вони переривають радикальні ланцюги окиснення, що інтенсивно утворюються при нагріванні поліетилену під час переробки [48; 50; 54]. Irganox 1010, як високомолекулярний фенол з низькою леткістю, мало мігрує і зберігає активність довгий час. Irganox 1330 підсилює довготривалу термоокиснювальну стабільність, що важливо для товстостінних виробів і великих діаметрів труб. Разом вони працюють синергічно і підвищують довготривалу міцність матеріалу [50; 51].

Другий важливий елемент — вторинний антиоксидант Irgafos 168 у кількості 0,1–1,0 %. Він нейтралізує гідропероксида, що з'являються на ранніх стадіях термічної деструкції, і захищає фенольні антиоксиданти від передчасного окиснення. Це знижує інтенсивність деградації під час екструзії і допомагає зберегти молекулярну масу та реологічні властивості, що критично для труб класу ПЕ100 [48; 51; 54].

Для стабільної геометрії виробу важлива керована реологія розплаву. У рецептурі застосовано модифікатор переробки PE Wax, сумісний з поліолефіновою матрицею. Він зменшує в'язкість у зонах високого зсуву, стабілізує тиск і температуру в екструдері та мінімізує ризик «melt fracture» [25; 31]. На відміну від мінеральних або стеаратових мастил, PE Wax не викликає небажаної міграції і не погіршує якість зварних швів [57].

Ще один технологічний компонент — Eucamide Slip Masterbatch. Він поступово мігрує до поверхні і створює низькоенергетичний шар, що знижує тертя між гарячою трубою і калібрувальними елементами. Це допомагає рівномірно формувати трубу, зменшує залишкові напруження і стабілізує такі параметри, як товщина стінки і овальність. Eucamide дає контрольований і тривалий ефект без негативного впливу на зварювання або маркування труб [24; 25; 57].

Головний захист від УФ випромінювання забезпечує концентрат технічного вуглецю Black PE100 Masterbatch (40 % сажі). Частинки технічного вуглецю ефективно поглинають ультрафіолет і перешкоджають проникненню енергії в полімерну матрицю, що запобігає фотоокиснювальній деструкції [13; 14; 16]. Дослідження показують: рівномірний розподіл сажі і правильний вибір носія для masterbatch істотно впливають на тріщиностійкість, реологію і довготривалу міцність PE100 [13; 15; 49]. На відміну від органічних УФ абсорберів або HALS, частинки технічного вуглецю не руйнуються і не мігрують під час експлуатації, тому вони найбільш придатні для труб з розрахунковим строком служби понад 50 років [13; 14; 16; 53].

Отже, запропонована рецептура компаунду на основі PE100 має наукове і технологічне обґрунтування. Поєднання фенольних і фосфітних антиоксидантів дає високий рівень термоокиснювальної стабільності під час переробки і експлуатації [48–52; 54]. Модифікатори переробки забезпечують стабільне формування труби, а технічний вуглець гарантує надійний УФ захист і підвищену

довготривалу міцність [11; 13–16; 49]. Така композиція відповідає сучасним нормативним вимогам і підтверджується результатами останніх досліджень [19; 21; 22; 48–54].

2.6. Розрахункова частина

Матеріальний баланс складено на основі діючих норм з урахуванням зворотних відходів і неповоротних втрат на кожній стадії виробництва.

Видаткова норма (Н) - це величина витрат сировини на виготовлення одного виробу з урахуванням зворотних відходів і безповоротних втрат

$$H = m K_{\text{заг}},$$

де m - маса виробу;

$K_{\text{заг}}$ - коефіцієнт, що враховує поворотні відходи і безповоротні втрати;

$$K_{\text{заг}} = a_{\text{п}} + a_{\text{вз}} (1 - k),$$

де k - коефіцієнт використання зворотних відходів;

$a_{\text{п}}$ - коефіцієнт, що враховує безповоротні втрати;

$a_{\text{вз}}$ - коефіцієнт, що враховує поворотні відходи.

Таблиця 6

Матеріальний баланс

Вид відходів	Кількість на 1000 кг	
	$g_{\text{от}}, \text{ кг}$	$a_{\text{вз}}, \%$
Поворотні відходи на стадіях виробництва		
В основному технологічному процесі	10	1
При переналадці виробництва	10	1
При механічній обробці	2	0,2

Всього	22	2,2
Безповоротні втрати по стадіях виробництва		
При зберіганні і транспортуванні	1,5	0,15
У підготовчих операцій	0,8	0,08
В основному технологічному процесі	1	0,1
При механічній обробці	1,5	0,15
При дробленні відходів	1,2	0,12
При переналадці виробництва	2	0,2
Всього	8	0,8

$$m = 2,2 \text{ кг}$$

$$\text{до} = 0,9$$

$$\text{ап} = 0,8 \%$$

$$\text{авз} = 202 \%$$

Коефіцієнт, що враховує поворотні і безповоротні втрати

$$K_{\text{заг}} = 0,8 + 2,2 (1 - 0,9) = 1,02$$

Видаткова норма

$$H = 202 \cdot 1,02 = 2,244 \text{ кг}$$

Коефіцієнт використання вихідного матеріалу в даному виробництві

$$K_{\text{заг}} = m / H$$

$$K_{\text{заг}} = 2,2 / 2,244 = 0,98.$$

Розрахунок продуктивності екструдера

Продуктивність екструдера (q) виражається кількістю видавлюваного на виході матеріалу в кг /год.

$$q = \frac{\pi (D^2 - Lg^2) (H - l) \cdot n\gamma \cdot 60}{4 \cdot 10^3} \cdot \left(\frac{\cos^2 L_1}{4 \cos^2 L_2} + \frac{\cos^2 L_2}{4} \right) \cdot \left(1 - \frac{P_2}{Z_{\text{max}}} \right)$$

Вихідні дані для розрахунку

D - діаметр шнека - 6,3;

L / D - відношення довжини до його діаметра - 30;

Lg - діаметр сердечника;

Lg = D - 2h₂; Lg = 5,7 см;

L₁ - глибина каналу шнека в зоні дозування; L₁ = 0,3;

$$h = 0,5 \left(D - \sqrt{D^2 - \frac{4 L_1 (D - L_1)}{L_1}} \right);$$

H - крок нарізки шнека - 6,3 см;

H ≈ (0,7 ÷ 1,5) D;

l - ширина гребеня шнека - 0,63 см;

l ≈ (0,8 ÷ 1,2) D;

n - швидкість обертання шнека - 90 об / хв;

γ - щільність розплаву - 0,96 г/см³;

m - ефективна в'язкість розплаву - 0,023 кг • с/см²;

l - довжина зони дозування, l = δD = 37,8 см

ΣP_{max} - сумарний максимальний тиск, що створюється всіма витками черв'яка при однаковій висоті h й в'язкості μ.

$$\Sigma P_{\max} = \frac{\pi^2 D^2 n \mu l}{60 h^2 H}$$

$$P_{\max} = \frac{9,36 \cdot 39,7 \cdot 90 \cdot 0,023 \cdot 37,8}{60 \cdot (0,3)^2 \cdot 6,3} = 900,3 \text{ кг/см}^2 = 90 \text{ МПа};$$

$$P_2 = 50 \div 100 \text{ кг/см}^2 = 10 \text{ МПа};$$

$$L_1 = \arctg \frac{H}{\pi d g} = \frac{6,3}{3,14 \cdot 6,3};$$

$$L_2 = \arctg \frac{H}{\pi d g} = \frac{6,3}{3,14 \cdot 5,7};$$

$$Q = \frac{3,14 \cdot (6,3^2 - 5,7^2) \cdot (6,3 - 0,63) \cdot 60 \cdot 90 \cdot 0,96}{4 \cdot 10^3}.$$

$$\cdot \left(\frac{\cos^2 17^\circ 64'}{4 - \cos^2 19^\circ 29'} + \frac{\cos^2 19^\circ 29'}{4} \right) \cdot \left(1 - \frac{10}{90} \right) = 81,62 \text{ кг/год.}$$

Розрахунок ефективного фонду часу роботи обладнання

$$T_{\text{ЕФ}} = (T_{\text{кал.}} - T_{\text{рем.}} - T_{\text{нал.}}) \cdot 24,$$

де $T_{\text{кал.}}$ - Календарний фонд часу, 365 днів;

$T_{\text{рем.}}$ - Середньорічний час простою обладнання через ремонту обладнання, 20 днів;

$T_{\text{нал.}}$ - Втрати часу на налагодження, технологічний простій, 5 днів;

Кількість змін - 2; тривалість зміни - 8 годин.

$$T_{\text{ЕФ}} = (365 \cdot 20 - 5) \cdot 16 = 5440 \text{ год / рік.}$$

Розрахунок кількості основного обладнання, необхідного для виконання річної програми.

Річна продуктивність однієї екструзійної лінії дорівнює

$$81,62 \text{ кг / год} \cdot 5440 = 444 \text{ т / рік.}$$

Річна програма цеху з випуску труб на основі ПЕНД - 800 т / рік.

Розрахункова кількість одиниць обладнання виробничої програми $n = 1600/444 \approx 3,6$ лін.

Таким чином, для виконання програми цеху з виробництва труб необхідно встановити 4 лінії на базі ЧП 63 х 30.

Розрахунок енергетичного балансу екструдера ЧП 63 х 30.

Складаємо енергетичний баланс процесу:

$$N_{\text{мех.}} + N_{\text{нагр.}} = N_{\text{ц}} + N_{\text{пот.}} + N_{\text{охл.}},$$

де $N_{\text{мех.}}$ - енергія, що надходить за рахунок механічної роботи шнека;

$N_{\text{нагр.}}$ - потужність електронагрівачів на матеріальному циліндрі машини;

$N_{\text{ц}}$ - потужність, необхідна для нагрівання полімеру в циліндрі;

$N_{\text{пот.}}$ - втрати потужностей з поверхні циліндра в навколишнє середовище;

$N_{\text{охл.}}$ - втрати потужності на нагрівання охолоджуючої води обладнання,

$N_{\text{охл.}}$ мало, тому приймаємо $N_{\text{охл.}} = 0$.

$$1. N_{\text{ц}} = Q \cdot C_p (T_2 - T_1) / 3600,$$

де Q - продуктивність екструдера, 81,6 кг / год;

C_p - питома теплоємність полімеру, 2,5 кДж / кг • град.;

T_2 і T_1 - температура полімеру в зоні завантаження і в зоні дозування, відповідно, ° С;

$$T_1 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}; T_2 = 170 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$2. N_{\text{пот.}} = F \cdot \alpha \cdot \Delta T,$$

де F - площа зовнішньої поверхні циліндра по теплоізоляції, м²;

α - коефіцієнт теплопередачі, 12 Вт/м² град;

ΔT - різниця температур зовнішньої поверхні циліндра і навколишнього повітря, 45 °С;

$$F = \pi \cdot 2D \cdot \alpha,$$

$$\text{де } 2D = 0,063 \cdot 2 = 0,126 \text{ м,}$$

$$\alpha = 0,063 \cdot 30 = 1,89 \text{ м}$$

$$F = 3,14 \cdot 0,126 \cdot 1,89 = 0,748 \text{ м}^2;$$

$$N_{\text{пот.}} = 0,748 \cdot 12 \cdot 45 = 0,404 \text{ кВт};$$

3. Фактична потужність електродвигунів дорівнює:

$$N_{\text{факт. ел.дв.}} = \frac{N_{\text{ц}}}{\eta_{\text{дв.}} \cdot \eta_{\text{тр.}} \cdot \eta_{\text{ред.}}},$$

де $\eta_{\text{ел.дв.}}$ - КПД електродвигуна, $\eta_{\text{ел.дв.}} = 0,75$;

$\eta_{\text{тр.}}$ - ККД тертьових пар, $\eta_{\text{тр.}} = 0,8$;

$\eta_{\text{ред.}}$ - ККД редуктора, $\eta_{\text{ред.}} = 0,95$;

$$N_{\text{факт. ел.дв.}} = \frac{8,5}{0,75 \cdot 0,8 \cdot 0,95},$$

Потужність нагрівачів становить 20% від фактичної потужності електродвигуна:

$$N_{\text{нагр.}} = N_{\text{факт. ел.дв.}} \cdot 0,2 = 14,91 \cdot 0,2 \approx 3 \text{ кВт.}$$

Потім обчислюємо потужність, що надходить за рахунок механічної роботи шнека:

$$N_{\text{мех.}} = N_{\text{ц}} + N_{\text{пот.}} - N_{\text{нагр.}};$$

$$N_{\text{мех.}} = 8,5 + 0,404 - 3 = 5,9 \text{ кВт.}$$

Розрахунок енергетичних витрат

Вихідні дані для розрахунку:

Загальна встановлена потужність електронагрівачів $N_{\text{Н}} = 28 \text{ кВт.}$

Загальна встановлена потужність електродвигунів $N_{\text{Н}} = 28 \text{ кВт.}$

ККД електронагрівачів $\eta_2 = 0,5 \div 0,8$.

Коефіцієнт завантаження електродвигуна $\eta = 0,7 \div 0,9$.

Річну витрату електроенергії дорівнює:

$$Q_{\text{год.}} = T_{\text{еф.}} (N_{\text{ел.}} \cdot \eta_1 + N_{\text{Н.}} \cdot \eta_2),$$

де $T_{\text{еф.}}$ - Ефективний фонд часу роботи обладнання, 5440 год.

$$Q_{\text{год.}} = 5440 \cdot (50 \cdot 0,8 + 28 \cdot 0,7) = 324\,224 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік.}$$

Електроенергії, що витрачається 4 машинами, становить:

$$Q_{\text{год.}} = Q_{\text{год.}} \cdot 4 = 324\,224 \text{ кВт} \cdot 4 = 1\,296\,896 \text{ год} / \text{рік.}$$

Розрахунок кількості води, використовуваної на технологічні потреби

У проєктованому виробництві вода витрачається на охолодження зон завантаження, упорного підшипника і готової продукції.

Розрахунок витрат води здійснюється за формулою:

$$W = D \cdot T_{\text{еф.}} \cdot N,$$

де D - витрата води відповідно до технологічних норм, $1,5 \text{ м}^3/\text{год}$;

$T_{\text{еф.}}$ - Ефективний фонд часу роботи обладнання, 5440 год;

N - кількість одиниць обладнання, 4 шт.;

$$W = 1,5 \cdot 5440 \cdot 4 = 32\,640 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Розрахунок стисненого повітря ($W_{\text{с.п.}}$) провадиться за формулою:

$$W_{\text{с.п.}} = V \cdot T_{\text{еф.}} \cdot N,$$

де V - обсяг стисненого повітря згідно з технологічним регламентом, $3,8 \text{ м}^3/\text{год}$;

$T_{\text{еф.}}$ - Ефективний час роботи обладнання, 5440 год;

N - кількість одиниць обладнання, 4 шт.;

$$W_{\text{с.п.}} = 3,8 \cdot 5440 \cdot 4 = 82\,688, \text{ м}^3/\text{рік.}$$

Висновки до розділу. У розділі обґрунтовано вибір вихідних матеріалів, та обладнання. Запропонована технологічна схема виготовлення труб, розрахована продуктивність роботи екструдера, кількість основного обладнання та проведений розрахунок енергетичних витрат.

РОЗДІЛ 3

Будівельний

3.1. Проектування промислового підприємства

Даний розділ дипломного проекту, темою якого є проект виробництва ненапірних труб з поліоефінів методом екструзії, представлений генеральним планом підприємства, що проектується, і розрізом основного виробничого корпусу.

Генеральний план – одна з важливих частин проекту промислового підприємства, яка містить комплексні рішення питань планування і благоустрою території, розміщення будівель, споруд, транспортних комунікацій, інженерних сіток, організації систем господарчого і побутового обслуговування, а також розташування заводу в промисловому районі.

Основна ціль планування – економічно доцільне і взаємопов'язане розміщення всіх будівель та споруд, транспортних шляхів для створення найбільш благополучних умов для виробничого процесу і праці на підприємстві, раціонального використання земельних ділянок і найбільшої ефективності капітальних вкладень.

Правильне взаємне розташування зон і групування будівель дозволяє досягнути найбільш раціональних рішень планування промислового підприємства, як по умовам чіткої організації виробничого процесу, так і по санітарно-гігієнічним, екологічним і протипожежним вимогам.

Типи виробничих будівель вибрали у відповідності з існуючими уніфікованими схемами, затвердженими для галузі, і встановленими вимогами міжгалузевої уніфікації.

Будівлі, споруди, транспортні шляхи, підземні і надземні інженерні мережі на промисловій площі підприємства розташовані відповідно до умов

забезпечення найкращої організації виробничого процесу, застосування прогресивних видів транспорту та індивідуальних методів будівництва, раціонального використання території і виконання вимог санітарних та протипожежних норм.

В даному дипломному проєкті виробництва пластикової вагонки із вторинного ПВХ основний виробничий корпус розташований під кутом 45° до напрямку пануючого вітру.

Переважаючий напрямок вітрів приймається по середній фазі вітрів літнього періоду року, побудованої на основі багатолітніх спостережень метеорологічних станцій.

Будівлі і споруди розміщені на площі за технологічним потоком з короткими транспортними зв'язками з урахуванням прямолінійності руху основних вантажів і робочих без їх повернення і взаємного перетину.

Сучасне будівництво передбачає створення великих промислових вузлів, а на їх території – виробничих об'єднань з урахуванням їх перспективного розширення і максимальної кооперації підсобних, допоміжних і обслуговуючих господарств, об'єднання зовнішніх інженерних сіток і споруд, максимальне блокування будівель. Для покращення екології передбачено створення очисних споруд, в які входять: знезараження стічних водойм відбувається на спорудах механічної і біологічної очистки. Концентрація шкідливих речовин у викидах вентиляційних систем незначна і розсіюється повітряним потоком, не забруднюючи повітряного басейну за межами санітарної зони.

3.2. Об'ємно-планувальне рішення промислової будівлі

При розробці рішень об'ємно-планувальної структури і виборі конструктивної схеми в даному проєкті враховані технологічні, технічні, економічні, архітектурно-художні вимоги і вимоги до будівництва будівель індустріальними методами.

Промислова будівля проектується в суворій відповідності з вимогами санітарних норм по охороні праці і техніці безпеки. Раціонально спроектовані промислові будівлі підвищують продуктивність праці, знижують травматизм і професійні захворювання.

В цеху, що проектується, передбачені евакуаційні виходи для евакуації людей з приміщень у випадку виникнення пожежі або інших небезпек. Розроблені схеми евакуації людей і транспорту (АБ5, ВГ1, ВГ5, АБ5, БВ1, БВ5).

Промислова будівля має зручний доступ засобів транспорту до всіх комунікацій та об'єктів на підприємстві.

Обладнання цеху, що проектується, розміщене у відповідності з технологічним процесом.

Ширина проїздів всередині цеху визначена габаритними розмірами вантажних транспортних засобів.

При проектуванні допоміжних приміщень приділено увагу санітарно-побутовим приміщенням для робочих, інженерно-технічних робітників і обслуговуючого персоналу, зайятих безпосередньо на виробництві. Склад санітарно-побутових приміщень встановлений у відповідності з санітарними нормами.

3.3. Конструктивне рішення промислової будівлі

Конструкція будівлі складається з окремих елементів, зв'язаних між собою в єдину просторову систему. Маючи просторову жорсткість, всі будівлі надійно чинять опір дії всіх видів вертикальних і горизонтальних навантажень. В повздовжньому напрямку стійкість будівлі забезпечується стальними зв'язками, встановленими по кожному повздовжньому ряду колон і допоміжними повздовжніми монолітними і збірними ригелями.

Для хімічних цехів використовується сітка колон 6х6 метрів.

Фундаменти передають навантаження на ґрунти основи від колони або стін, розміщуючи їх таким чином, щоб тиск під подошвою фундаменту не був великим і не спричиняв недопустимих осадків основи. Фундаменти виготовляють з бетону, а також із зовнішніх залізобетонних блоків. Фундаменти на підприємстві складаються із збірних стандартних блоків, які встановлюють на відстані 6 м один від іншого. Глибина закладки фундаменту в ґрунт – 2 м

В будівлі, що проєктується, стіни встановлені на фундаментальні балки, які передають навантаження на фундамент. Стіни складаються із цегли і залізобетонних блоків. Є зовнішні та внутрішні стіни. Товщина внутрішніх стін – 0,3 м, зовнішніх – 0,5 м.

В будівельній конструкції, виготовленої із залізобетону – це колони, арочні та стельові перекриття.

Всі технологічні переходи розділені між собою брандмауерами (стіни і перекриття виконані у відповідності до вимог протипожежної безпеки). В даному проєкті в передзаводській зоні розташовані: адміністрація, санчасть, заводська їдальня. Ці об'єкти мають загальнозаводське призначення і розташовані зі сторони головного людського потоку. Далі йде виробнича зона. В межах цієї зони в технологічній послідовності розташовані всі виробничі будівлі та обслуговуючі їх будівлі і споруди. Так як виробництво ламінованої двошарової плівки відноситься до матеріалоемних, то складські приміщення не виділяються в окрему зону: вони розташовані в одній зоні з головним виробничим корпусом. В цій зоні розташовані також блок РМЦ, цех КВПіА, ЦЗЛ, інші будівлі та споруди.

Всі побутові та адміністративні приміщення відділені від виробничих цехів пожежобезпечними стінами і коридорами. Ширина коридору – 3 м. Дах будівлі виготовлений з антикорозійним захистом та покритий металом з антикорозійним покриттям. В будівлі передбачена система вентиляції. На технологічних кресленнях зображені виїзди та аварійні виходи, необхідні для

ввезення та вивезення обладнання, сировини, готової продукції та евакуації персоналу.

Згідно протипожежних вимог, будівлі та споруди, в залежності від матеріалів, з яких вони виготовлені, підрозділяються на 5 ступенів.

При будівництві головного виробничого корпусу використовуються негорючі будівельні матеріали (залізобетон, цегла тощо). Ступінь вогнестійкості – I.

Довговічність споруд залежить від довговічності будівельних матеріалів, з яких виготовлені їх конструктивні елементи. Основна частина будівель заводу, який розроблюється в даному проєкті, відноситься до II ступеня довговічності. Термін служби таких будівель від 50 до 100 років.

За межами території заводу розташовані водоймища та пожежне депо, стоянка для автомобілів. До склад благоустрою входять:

озеленення території – газони, кущі вздовж пішохідних доріжок, клумб.

План цеху можна побачити на рисунку.

3.4. Техніко-економічні показники

Коефіцієнт забудови:

S всіх будівель = 5960 м²;

S території = 9857 м²;

$$K_z = \frac{5960}{9857} \cdot 100 \% = 60 \%$$

Коефіцієнт використання площі:

S будівель + S споруд = 5960 + 1610 = 7570 м²;

S території = 9857 м²;

$$K_{\text{вик}} = \frac{7570}{9857} \cdot 100 \% = 76 \%$$

Коефіцієнт озеленення:

$$S_{\text{оз}} = 1287 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{території}} = 9857 \text{ м}^2;$$

$$K_{\text{оз}} = \frac{1287}{9857} \cdot 100 \% = 13 \%$$

Висновки до розділу.

У розділі спроектовано промислове виробництво ненапірних труб з поліоефінів методом екструзії, представлений генеральний план підприємства, і розріз основного виробничого корпусу. Розраховано техніко-економічні показники: коефіцієнт забудови, коефіцієнт використання площі та коефіцієнт озеленення.

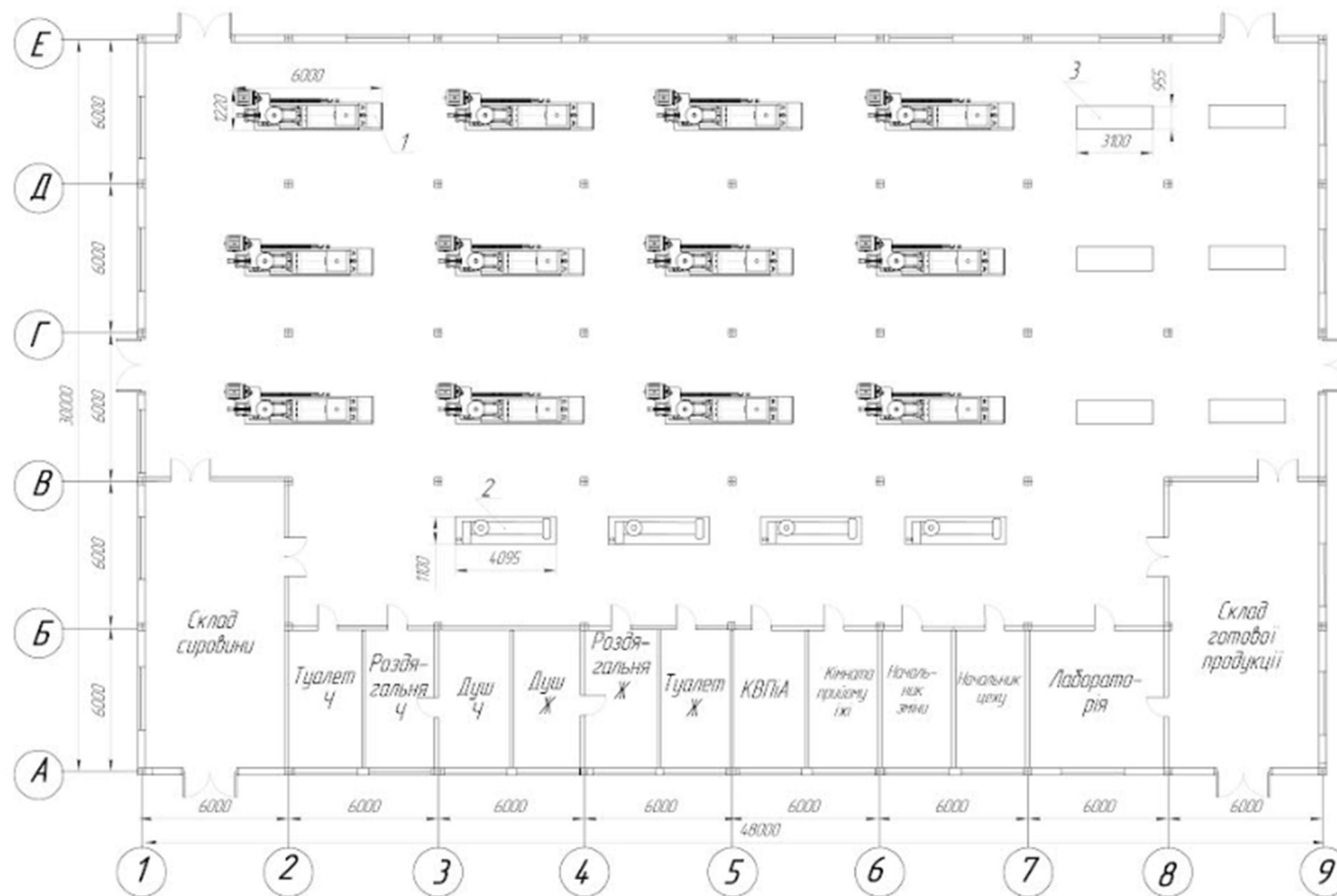


Рис. Поетажний план цеху з виготовлення трубних виробів

РОЗДІЛ 4

Екологічна безпека

4.1. Екологічні аспекти

Екструзія поліетиленових труб належить до маловідходних технологій, проте супроводжується деякими викидами летких органічних сполук та утворенням полімерного пилу. Викиди регулюються ДСП 201-97, згідно з якими їхній рівень не повинен перевищувати граничнодопустимих концентрацій. Пил утворюється переважно при роботі з вторинною сировиною або під час завантаження гранулята. Завдяки локальній аспірації концентрація пилу залишається в межах норм, визначених ДСТУ 12.1.005-98.

4.1.1. Система очищення повітря

Повітря, яке надходить у вентиляційну систему, очищується за допомогою фільтрів та циклонів, що забезпечують ефективне уловлення дрібних частинок поліетилену. Леткі органічні речовини затримуються фільтрами з активованим вугіллям. Система працює відповідно до вимог ДБН В.2.5-67:2013 і забезпечує необхідний рівень очищення.

4.1.2. Переробка твердих відходів

Тверді відходи — обрізки труб та дефектні деталі — повністю переробляються. Вони подрібнюються та можуть використовуватися як вторинна сировина згідно з ДСТУ 4462:2005. Завдяки цьому виробництво не створює полімерних відходів, що потребують захоронення.

Екологічний вплив екструзійної дільниці мінімальний і повністю контрольований. Виробництво відповідає вимогам чинних законодавчих актів,

включно із Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища», ДСП 201-97, ДБН В.2.5-67:2013 та іншими нормативами.

4.2. Охорона праці

4.2.1. Характеристика умов праці

Умови праці на екструзійній лінії поліетиленових труб формуються впливом теплоти, шуму, можливого виділення продуктів термічного розкладу поліетилену, а також небезпеками, пов'язаними з рухомими частинами обладнання. Оператор працює безпосередньо біля циліндра, філь'єри та вакуумної ванни, температура яких під час технологічного процесу може становити від 180 до 220 °С [49]. Це створює суттєве теплове навантаження і можливість отримання термічних опіків, тому контроль мікроклімату має відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99. У повітрі приміщення інколи можуть з'являтися незначні кількості летких органічних речовин — альдегідів та кетонів, що виникають при перегріванні поліетилену. Їх концентрації незначні, проте вони вимагають витяжної вентиляції відповідно до ДСП 201-97.

Таблиця 7

Основні небезпечні та шкідливі фактори

№	Фактор	Джерело	Наслідки	Норматив
1	Підвищена температура	Нагрівачі, головка	Опіки, перегрів	ДСН 3.3.6.042-99
2	Леткі органічні сполуки	Перегрів ПЕ	Подразнення	ДСП 201-97
3	Полімерний пил	Завантаження ПЕ	Подразнення	ДСП 201-97

4	Шум 80–85 дБА	Редуктор, двигун	Втома, погіршення слуху	ДСН 3.3.6.037-99
5	Рухомі частини	Тягнучий, ніж	Травми	ДБН В.1.1-7
6	Електричний струм	Живлення двигуна	Ураження	ПУЕ

Значним фактором є шум. Його джерелами є електродвигун, редуктор, вентилятори охолодження, тягнучі ролики та вакуумна система. Рівень шуму становить близько 80–85 дБА, що перевищує гранично допустимі рівні, встановлені ДСН 3.3.6.037-99, тому потребує заходів із шумозниження [50]. Рухомі елементи екструзійної лінії, особливо тягнучий пристрій і ріжучий вузол, становлять механічну небезпеку. Вимоги до захисту від механічних травм регулюються ДСТУ 12.2.003-91.

4.2.2. Забезпечення безпеки виробничого процесу

Безпечні умови праці забезпечуються шляхом встановлення теплоізоляційних кожухів на нагрітих частинах корпусу екструдера, застосування захисних кожухів на всіх рухомих вузлах, а також блокуючих пристроїв, що унеможливають запуск обладнання при відкритих огорожах. Локальна витяжна вентиляція організовується над зоною філь'єри та завантаження гранулята, оскільки саме там ймовірно утворення летких речовин. Загальнообмінна вентиляція виконується відповідно до ДБН В.2.5-67:2013 і призначена для підтримання нормованої температури повітря.

Система керування екструдером включає автоматичні вимикачі та аварійні кнопки, виконані згідно з ДСТУ 12.1.019-99. Усі електричні частини обладнання повинні бути заземлені відповідно до ДСТУ 12.1.030-95.

4.2.3. Розрахунок параметрів мікроклімату та вентиляції

Повні тепловиділення в приміщенні складаються з тепла, що виділяється електродвигуном, та тепла, яке передається від нагрівачів екструдера. Потужність електродвигуна становить 37 кВт, а сумарна теплова потужність нагрівачів — 18 кВт. Частина цієї енергії переходить у теплоту, яка передається в повітря. Коефіцієнт тепловіддачі для електродвигуна становить приблизно 0,8, а для нагрівачів — 0,6.

Повні тепловиділення розраховуються за формулою:

$$Q_{\text{п}} = P \times \eta_1 + Q \times \eta_2.$$

Після підстановки числових значень отримаємо:

$$Q_{\text{п}} = 37 \times 0,8 + 18 \times 0,6 = 29,6 + 10,8 = 40,4 \text{ кВт}.$$

Щоб визначити необхідний повітрообмін для відведення цього тепла, використовується формула:

$$L = Q_{\text{п}} / (1,2 \times \Delta t),$$

де 1,2 — теплоємність 1 м³ повітря в кДж/м³·°С, а Δt — різниця між температурою всередині цеху та зовнішнім повітрям. За прийнятої внутрішньої температури 24 °С та зовнішньої близько 0 °С у зимовий період різниця становить 24 °С. Після підстановки отримаємо:

$$L = 40\,400 / (1,2 \times 24) = 40\,400 / 28,8 \approx 1403 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Таким чином, мінімальна необхідна продуктивність вентиляції становить близько 1500 м³/год. З урахуванням запасу приймається система вентиляції на 2000 м³/год. Це забезпечує відповідність вимогам ДСН 3.3.6.042-99 щодо мікроклімату [51].

4.2.4 Розрахунок освітлення

Розрахунок освітлення базується на вимогах СНіП II-4-79, за якими освітленість у робочій зоні повинна становити 300–400 лк. Площа приміщення, у якому розташовано екструзійну лінію, дорівнює $14 \times 8 = 112$ м². Для розрахунку необхідного світлового потоку використовується формула:

$$\Phi = (E \times S) / (\eta \times K),$$

де E — нормована освітленість 350 лк, η — коефіцієнт корисної дії світильників 0,6, а K — коефіцієнт запасу, що дорівнює 1,4. Після підстановки значень:

$$\Phi = (350 \times 112) / (0,6 \times 1,4) = 39200 / 0,84 \approx 46666 \text{ лм.}$$

Отриманий світловий потік забезпечується встановленням близько десяти LED-світильників, кожен із яких має світловий потік 4800 лм.

4.2.5 Розрахунок шуму

Для визначення сумарного рівня шуму застосовується логарифмічна формула додавання, рекомендована ДСН 3.3.6.037-99. Джерела шуму мають такі рівні: електродвигун — 78 дБА, редуктор — 82 дБА, вентилятори — 75 дБА, тягнучий пристрій — 80 дБА. Після розрахунку отримуємо:

$$L \approx 85,5 \text{ дБА.}$$

Це перевищує допустиму норму 80 дБА, що встановлена ДСН 3.3.6.037-99, тому необхідно застосовувати шумопоглинальні кожухи та засоби індивідуального захисту органів слуху.

4.2.6. Пожежна безпека

Таблиця 8

Пожежне навантаження

Параметр	Значення
Маса ПЕ	600 кг
Теплотворна здатність	40 МДж/кг
Пожежне навантаження	24000 МДж
Категорія	Г

Пожежне навантаження визначалося за формулою:

$$Q = M \times q,$$

де M — маса поліетилену в приміщенні, q — питома тепловиділення поліетилену. Для маси 600 кг і теплоти згоряння 40 МДж/кг отримаємо:

$$Q = 600 \times 40 = 24000 \text{ МДж.}$$

Категорія приміщення визначається відповідно до ДБН В.1.1-7:2016, і за цим значенням виробництво належить до категорії Г. Необхідне застосування порошкових та вуглекислотних вогнегасників відповідно до ДСТУ EN 3-7.

4.2.7. Електробезпека

Електробезпека забезпечується відповідно до вимог ПУЕ. Переріз кабелю визначається за формулою:

$$S = I / J.$$

При струмі 65 А і допустимій густині струму 6 А/мм² отримаємо:

$$S = 65 / 6 \approx 10,8 \text{ мм}^2.$$

Таким чином, вибирається кабель перерізом 16 мм² із запасом. Усе обладнання заземлюється згідно з ДСТУ 12.1.030-95.

Висновок до розділу. Розрахунки мікроклімату, шуму, освітлення, вентиляції, пожежного навантаження та електропостачання свідчать про необхідність застосування комплексу технічних і організаційних заходів, що забезпечують безпечні умови праці. Всі заходи відповідають чинним нормам і стандартам.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведений літературний огляд в напрямку існуючих технологій отримання ненапірних труб з поліолефінів та встановлено, що характеристики поліетилену та виробів з нього залежать від молекулярної структури, молекулярної маси, схеми розгалуження та надмолекулярної організації. Правильний вибір матеріалів, добавок та умов обробки забезпечує належний баланс між міцністю, довговічністю, стійкістю до впливу навколишнього середовища та технологічністю.

Обґрунтовано вибір вихідних матеріалів, та обладнання. Встановлено технологічні режими екструзії (температурні зони 190-215⁰С, температура головки 210-220⁰С, швидкість 0,40-0,55 м/с), що дозволяють забезпечити нормативні значення показників зовнішнього вигляду, геометрії та механічних властивостей труб, зокрема, зменшення овальності та коливань товщини стінки на 4,5%, зниження кількості дефектів поверхні на 20-25 % та підвищення ударної в'язкості труб на 20-30 %.

Спроектовано промислове виробництво ненапірних труб з поліолефінів методом екструзії, представлений генеральний план підприємства, і розріз основного виробничого корпусу. Розраховано техніко-економічні показники: коефіцієнт забудови, коефіцієнт використання площі та коефіцієнт озеленення.

Проведені розрахунки мікроклімату, шуму, освітлення, вентиляції, пожежного навантаження та електропостачання свідчать про необхідність застосування комплексу технічних і організаційних заходів, що забезпечують безпечні умови праці. Всі заходи відповідають чинним нормам і стандартам.

Список використаних джерел

1. Мікульонок І. О., Поліщук Л. М., Іваницький Я. С. Технологія переробки пластичних мас : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 532 с.
2. Суберляк О. В., Баштанник П. І. Технологія переробки полімерних та композиційних матеріалів : підручник. Львів : Растр-7, 2016. 456 с.
3. Юрженко М. В. Аналіз виробництва та використання поліетиленових труб для будівництва трубопроводів різного призначення. Науковий вісник НЛТУ України. 2019. Т. 29, № 9. С. 58-65.
4. Дейнеко П. І. Синтез поліетилену та поліпропілену координаційними методами : монографія. Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2020. 282 с.
5. Freudenthaler P. J. et al. Short- and Long-Term Performance of Pipe Compounds Containing Polyethylene Post-Consumer Recyclates from Packaging Waste. *Polymers*. 2022. Vol. 14. 1581.
6. ДСТУ Б В.2.5-32:2007 Інженерне обладнання будівель і споруд. Зовнішні мережі та споруди водопостачання та каналізації. Поліетиленові труби. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. 36 с.
7. ДСТУ Б В.2.7-144:2007 Будівельні матеріали. Труби та фасонні вироби поліетиленові для зовнішніх мереж каналізації. Технічні умови. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. 28 с.
8. ДСТУ Б В.2.7-151:2008 Труби поліетиленові для зовнішніх мереж водопостачання. Технічні умови. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 24 с.
9. ДСТУ EN 12201-2:2017 Пластикові трубопровідні системи для водопостачання. Поліетилен (PE). Частина 2. Труби. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 40 с.
10. ДСТУ EN 13476-1:2022 Системи пластикових труб для підземного дренажу та каналізації без тиску. Структуровані труби з термопластів. Частина 1. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 34 с.

11. ДСТУ-Н Б В.2.5-40:2009 Настанова з проєктування та улаштування зовнішніх мереж і споруд водопостачання з поліетиленових труб. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 72 с.
12. ДБН В.2.5-75:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Київ : Мінрегіонбуд України, 2014. 192 с.
13. ASTM D3350-23 Standard Specification for Polyethylene Plastics Pipe and Fittings Materials. 2023.
14. ASTM D2239-23 Standard Specification for PE Plastic Pipe (SIDR-PR). 2023.
15. ASTM F714-23 Standard Specification for PE Plastic Pipe (SDR-PR). 2023.
16. EN 13476:2023 Plastics piping systems for non-pressure underground drainage — Structured-wall pipes. Brussels : CEN, 2023. 58 p.
17. EN 1401-1:2019 Plastics piping systems — PVC-U — Part 1: Specifications for pipes and fittings. Brussels : CEN, 2019. 52 p.
18. ISO 4427-1:2019 Plastics piping systems — Polyethylene (PE) pipes and fittings for water supply — Part 1: General. Geneva : ISO, 2019. 22 p.
19. ISO 4427-2:2019 Plastics piping systems — Polyethylene (PE) pipes for water supply — Part 2: Pipes. Geneva : ISO, 2019. 28 p.
20. ISO 21225-2:2018 Plastics piping systems for trenchless replacement — Part 2: Pipes made of polyethylene (PE). Geneva : ISO, 2018. 26 p.
21. ISO 8772:2006 Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage — Polyethylene (PE). Geneva : ISO, 2006. 28 p.
22. ISO 21138-1:2020 Plastics piping systems for non-pressure underground drainage and sewerage — Structured-wall pipes — Part 1. Geneva : ISO, 2020. 32 p.
23. ISO 21138-3:2020 Plastics piping systems... — Structured-wall pipes — Part 3: Specifications for PVC-U, PP and PE. Geneva : ISO, 2020. 40 p.

24. Спорягін Е. О., Варлан К. Є. Теоретичні основи та технологія виробництва полімерних композиційних матеріалів : навч. посіб. Дніпро : ДНУ, 2012. 188с.
25. Авраменко В. Л., Підгорна Л. П., Черкашина Г. М., Близнюк О. В. Технологія виробництва та переробки полімерів медико-біологічного призначення : навч. посіб. Харків : Технологічний Центр, 2018. 356 с.
26. Лукашова В. В. Екструзія пінополімерів : монографія. Київ : НТУУ «КПІ», 2011. 180 с.
27. Davand R., Garmabi H., Esmizadeh E. et al. UV stability of polyethylene pipes with different comonomer content: Effect of carbon black masterbatch. *Polymer Engineering & Science*. 2022. Vol. 62(10). P. 3194-3205.
28. Zhang D., Li Y., Wang Q. Effect of rotation extrusion and molecular weight on ductile failure behaviour of polyethylene pipes. *Plastics, Rubber and Composites*. 2019. Vol. 48, Iss. 4. P. 141-148.
29. Мельник Л. І., Шнирук О. М. Технологія переробки полімерних композиційних матеріалів медичного призначення : навч. прогн. та силабус. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024.
30. Ma Y.-J., Wang H., Zhao Z. Preparation and Characterization of Multilayered High-Density Polyethylene Pipes. *Polymer Bulletin*. 2025.
31. Kharmoudi H., Benyoucef B., Mohdeb A. et al. Effect of Additives on Thermal Degradation and Crack Propagation Properties of Recycled Polyethylene Blends. *Polymers*. 2024. Vol. 16(14). Art. 2060.
32. Kim T., Kwak J., Kim S., Lee S. Rheological and Mechanical Correlation of Black PE100 Compounds - Effect of Carbon Black Masterbatch // *Polymers*. 2022. Vol. 14.
33. Гроховецький В. С. Процес екструзії полімер-каучукових сумішей // Матеріали наук.-техн. конф. НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського. 2020. С. 121-126.

34. Pacific Northwest National Laboratory. Shear Assisted Processing and Extrusion (ShAPE) of Plastics : technical report. Richland, WA : PNNL, 2023.
35. Mobile Extrusion Technology — A Case Study Using Innovative Means of Assuring HDPE Pipe Supply in Both the Permian Basin of West Texas and the Mining Region of Central Florida // PE100+ Association / PPCA Conference Proceedings. 2018.
36. Al-Mulla R. Antioxidants used in polymers: Mechanisms and industrial relevance // Polymer Degradation and Stability. 2023.
37. Bhagat S., Singh N. Hindered phenolic antioxidants in polyolefins: performance and limitations // Macromolecular Materials and Engineering. 2023.
38. Zhou W., Xiong S., Chen J., Li Z. Synergistic stabilization of polyolefins by phosphite and phenolic antioxidants // Journal of Applied Polymer Science. 2024.
39. Negrin A., Cser F., Berta M., Pukánszky B. Thioesters as secondary antioxidants in high-performance polyethylene // Polymer Engineering & Science. 2022.
40. Laot R., Dupuis F., Margaillan A. Antioxidant depletion in polyethylene used in chlorinated seawater: from accelerated ageing to modelling // Polymer Testing. 2025. Vol. 241. 110329.
41. Reaction kinetics of antioxidants for polyolefins : SAMPO report. Energiforsk. Stockholm, 2022. 62 p.
42. Zhang L., Wang Y., Li J., Zhao X. Stabilization of polyethylene against UV and thermal degradation: role of HALS // Polymer Degradation and Stability. 2022.
43. Зворикін К. О., Зворикін Л. О. Зварювання пластмас : навч. посіб. Київ : Компанія «Медіа майстер», 2013. 184 с.
44. Гурін Р. С., Гондляр О. В., Сокольський О. Л. Дослідження процесу співекструзії двошарових полімерних труб // Mechanics and Advanced Technologies. 2025. Т. 9, № 1. С. 64–72.
45. Сапронова Г. М., Коваленко Л. О. Методичні вказівки з технології одержання листів та труб методом екструзії. Дніпро : УДХТУ, 2017. 42 с.

46. Корнієнко Я. М., Подиман Г. С., Двойнос Я. Г. Калібрування труб з поліпропілену : монографія. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 101 с.
47. Кононенко Б. О. Лінія для виробництва труб з поліетилену з розробкою черв'ячного преса ЧП-45. — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. — 87 с.
48. EN ISO 12100:2014 Safety of machinery — General principles for design — Risk assessment and risk reduction. Brussels : CEN, 2014.
49. ДСТУ EN 60204-1:2018 Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1. Загальні вимоги. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
50. ДСТУ EN 61140:2014 Захист від ураження електричним струмом. Загальні аспекти техніки безпеки. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015.
51. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 Інженерне обладнання будівель і споруд. Зовнішні теплові мережі. Труби поліетиленові для теплопостачання. Київ : Мінрегіон України, 2016.