

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

РОЗРАХУНОК ФОРМУЮЧОЇ ГОЛОВКИ ЕКСТРУДЕРА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІМЕРНОЇ ТРУБКИ

Рекомендації до виконання розрахункової роботи

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра,
за освітньою програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування
обладнання хімічної інженерії»
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»*

Укладачі: М.П. Швед, А.Р. Степанюк

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2024

УДК: 678.029(678.029)

Л 837

Укладачі: *Швед Микола Петрович*, канд. техн. наук, доцент *Степанюк Андрій Романович*, канд. техн. наук, доцент

Рецензент: *Сокольський Олександр Леонідович*, канд. техн. наук, доц.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ, кафедра ХПСМ

Відповідальний
редактор

Корнієнко Ярослав Микитович, д-р техн. наук, проф.
Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол N 5 від 06.03.2024 р.)
за поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету
протокол N 1 від 27.01.2025 р.)
Електронне мережне навчальне видання

Швед М.П., Степанюк А.Р.

Л 837 Розрахунок формуючої головки екструдера для виробництва полімерної трубки [Електронний ресурс]: : рек. до виконання розрахункової роботи: навч. посіб. для студ. ступеня бакалавра за освітн. програмою «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії» спец. 133 «Галузеве машинобудування» / М.П. Швед, А.Р. Степанюк; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 33.

У посібнику викладено мету, завдання та основні вимоги до виконання розрахункової роботи, склад, обсяг і структура, вимоги до оформлення, рекомендації щодо порядку захисту та критерії оцінювання розрахункової роботи. Наведена рекомендована література та перелік посилань, зразки титульного листа розрахункової роботи, змісту та приклад оформлення переліку скорочень, умовних позначень та термінів. Всі необхідні довідкові дані для виконання розрахункової роботи наведені в тексті посібника. Навчальний посібник призначений для здобувачів ступеня бакалавр за спеціальністю 133 Галузе машинобудування.

УДК: 678.029(678.029)

Реєстр. № НП 24/25-263. Обсяг 0,9 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© М.П. Швед, А.Р. Степанюк, 2024

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024

Зміст

Вступ	4
1 Опис процесу виробництва полімерних труб.....	5
2. Розрахунок трубної головки.....	16
3 Алгоритм розрахунку.....	21
4 Склад, обсяг і структура розрахункової роботи.....	22
5 Вимоги до оформлення розрахункової роботи	25
6 Рекомендації щодо порядку захисту розрахункової роботи.....	26
7 Рекомендована література	27
Перелік посилань	29
Додаток А Приклад оформлення титульного листа розрахункової роботи.....	30
Додаток Б . Приклад оформлення змісту розрахункової роботи	31
Додаток В. Приклад оформлення Переліку скорочень, умовних позначень та термінів	32
Додаток Г. Завдання до розрахункової роботи	33

Вступ

Освітній компонент «Процеси переробки високомолекулярних сполук» сприяє покращенню формування базових знань основних процесів та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв.

Силабус освітнього компоненту складено відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалавра «Комп'ютерно-інтегровані технології проектування обладнання хімічної інженерії», спеціальність 133 «Галузеве машинобудування».

В практиці переробки полімерних матеріалів у виробі широке розповсюдження отримали лінії на базі шнекових екструдерів. В лінію для виробництва труб, окрім шнекового екструдера з трубною голівкою, входять калібруючі, охолоджуючі, тягнучі, ріжучі та намотуючі пристрої. Потужність трубної лінії залежить від потужності шнекового преса і охолоджуючого пристрою і визначається, головним чином, процесом охолодження труби в охолоджуючому пристрої. Для того, щоб визначити геометричні розміри шнеку потрібно знати гідравлічний опір формуючої головки.

1 Опис процесу виробництва полімерних труб

Полімерні труби і галузі їх застосування

Матеріал викладено за авторами [1]. Полімерні труби набувають все більш широкого застосування у різних сферах життєдіяльності: в будівництві, легкій, харчовій та інших галузях промисловості, а також у комунальному і сільському господарствах. Труби з полімерних матеріалів з'явилися в 40-х роках ХХ століття. Перші труби були виготовлені з полівінілхлориду в 1935 році в Німеччині. Технологія їх виготовлення була складною, а військові дії в Європі загальмували її розвиток і поширення таких труб. Згодом з'явилися екструзійні агрегати, що дозволило організувати безперервний процес виготовлення труб і дало поштовх їх широкому застосуванню (таблиця 1).

Таблиця 1.1. Хронологія створення полімерних труб

Рік створення	Матеріал	Позначення		Країна
		ГОСТ	ISO	
1935	Полівінілхлорид	ПВХ	PVC	Німеччина
1952	Поліетилен низької густини	ПЕНГ	PELD	Англія, США
1955	Поліетилен високої густини	ПЕВГ	PEHD	Німеччина, США
1958-1959	Поліпропілен	ПП	PP	Італія, США
1972	Молекулярнозшитий поліетилен	ПЕКС	PEX	Швеція, Німеччина
1972	Полібутилен	ПБ	PB	США
1979	Металопластик	МП	PEX-AL-PEX	Англія
1997	Армований ПП	МП	PP-STABIL	Німеччина
2004	Металопластик, тип II	МП	PERT-ALPERT	Німеччина

Стійкість до гідролізу, кислот і лугів, низьке набухання в нафті і нафтопродуктах дають можливість застосовувати полімерні труби в хімічній промисловості при прокладанні нових трубопроводів або для футеровки існуючих сталевих трубопроводів. Полімерні труби мають низьку проникність по зрідженому і природному газу та одорантам, що разом з високими механічними властивостями дають їм можливість для широкого застосування під час транспортування природного газу.

Одним із шляхів утилізації полімерів є їх переробка у товстостінні багатошарові труби, що дає можливість безперервно переробляти промислові та побутові відходи при значній питомій продуктивності по вторинній сировині і одержувати вироби із задовільними споживчими та фізико-механічними властивостями. Крім того при застосуванні полімерних труб доволі легко виконати протипожежні заходи, що дозволяє забезпечити безпеку при прокладанні, наприклад, газопроводів з полімерних труб на рівні з металевим газопроводом.

Щоб оцінити перспективи та доцільність використання полімерних труб сформулюємо їх переваги та недоліки в порівнянні з традиційними.

Переваги полімерних труб:

- не вступають в електрохімічні реакції, тобто не відбувається корозія стінки труби, що підвищує строк експлуатації не тільки трубопроводу, але й сполучених з ним приладів та обладнання;

- поверхня стінки полімерних труб гладкі, що унеможливорює заростання, що у свою чергу дозволяє ефективно використовувати труби меншого діаметра;

- порівняно легкі, мають високу еластичність, пластичність і міцність на розрив, що полегшує їх транспортування та монтаж;

- мають низьку теплопровідність, що зменшує втрати теплоти; – заміна традиційного водопроводу на полімерний може проводитись методом проштовхування.

Заміна трубопроводу таким методом може здійснюватися без улаштування траншеї, а відповідно без зупинки роботи об'єктів, під якими прокладають трубопровід.

Недоліки полімерних труб:

- неможливість використання під дією ультрафіолетового випромінювання, тому при прокладанні просто неба необхідний їх захист;
- мають обмеження при використанні в системах опалення.

За призначенням полімерні труби можна поділити на напірні (для холодного та гарячого водопостачання, транспортування газу, систем опалення, тощо) і безнапірні (каналізація, дренаж).

Також полімерні труби поділяють за матеріалом.

Сучасні технології дозволяють виготовляти полімерні труби діаметром до 4000 мм. При транспортуванні води застосовують переважно труби діаметром від 20 до 630 мм із SDR (стандартне співвідношення діаметра і товщини стінки труби) від 26 до 7,6, при транспортуванні газу – діаметром від 20 до 315 мм із SDR від 17,6 до 7,6.

Труби більшого діаметра зазвичай застосовують для каналізації та дренажних систем.

Труби з полівінілхлориду (ПВХ) використовують у системах холодного водопостачання, в технологічних і каналізаційних системах. Порівняно з іншими полімерами ПВХ має понижену горючість, підвищену хімічну стійкість і є менш чутливим до ультрафіолетового випромінювання. ПВХ-труби з'єднуються методом «холодної зварки» або в розтруб на гумову манжету, через значну жорсткість таких труб, для їх з'єднання доводиться використовувати спеціальні фітинги. Напірні системи з ПВХ використовуються в основному для підземної прокладки. Оскільки ПВХ є одним з самих дешевих полімерів, вартість ПВХ-систем відповідно нижча аналогічних сталевих систем і систем з інших полімерів. Однак присутність хлору обмежує застосування таких труб для водопостачання і робить їх складними для вторинної переробки і утилізації, тому останнім часом від них намагаються відмовлятися.

Поліетилен (ПЕ) – найбільш використовуваний матеріал для виготовлення полімерних труб. Він хімічно стійкий, малотоксичний, має діелектричні властивості. Поліетилен зберігає експлуатаційні властивості при від'ємнім

температурах (до мінус 70 °С) і достатньо високу міцність при підвищених температурах (до плюс 60 °С). Під дією ультрафіолетового випромінювання ПЕ старіє, тому його стабілізують, наприклад, за допомогою сажі. Оскільки міцність поліетилену високого тиску (ПЕВТ) у 2–3 рази менша від міцності поліетилену низького тиску (ПЕНТ), то його застосування для напірних труб обмежується малими діаметрами і галузями застосування, що вимагають високої гнучкості труб.

Першим ПЕВГ, що використовувався для виробництва труб, був лінійний гомополімер, високомолекулярний ланцюг якого складався тільки з молекул етилену. При достатньо високій короткотривалій міцності гомополімер мав низьку стійкість до розтріскування і низькі міцнісні властивості при тривалій експлуатації. Значення MRS (мінімальна тривала міцність) складало 6,3 МПа.

З метою уникнення проблем, що присутні при використанні поліетилену марки ПЕ63, було розроблено поліетилен нового покоління. За рахунок введення в процесі синтезу співмономерів (бутен або гексен), що утворюють на макромолекулах поліетилену бокові відгалуження, різко підвищилась стійкість полімеру до розтріскування і підвищилось значення MRS до 8,0 МПа. Цим значенням характеризують поліетиленові труби з поліетилену марки ПЕ80. Однак, при цьому знизилась короткочасна міцність, модуль пружності і стійкість до швидкого поширення тріщин, що робить неможливим використання цього поліетилену для виробництва газопровідних труб на тиски вище 0,6 МПа.

Поєднання високої короткочасної міцності і високої стійкості до розтріскування вдалося отримати утворенням так званого бімодального поліетилену. Під час цілеспрямованого технологічного процесу синтезу отримують дві групи макромолекул – довго- та коротколанцюгові. При цьому співмономер вводиться в високомолекулярну частину полімеру, що забезпечує високу стійкість ПЕ до розтріскування. Низькомолекулярна частина полімеру утворює кристалічні області, за рахунок яких підвищується густина, короткочасна та тривала (MRS 10,0 МПа) міцність і збільшується модуль пружності. Такий поліетилен має високу стійкість до швидкого розповсюдження тріщин, що дозволило виготовляти труби на робочий тиск 1,2 МПа для газових трубопроводів і до 2,5 МПа для водопроводів. Крім того, поліетилен ПЕ100 має хороші технологічні властивості.

Незважаючи на високу в'язкість розплаву, наявність в розплаві низькомолекулярних фракції відіграє роль змазки, чим полегшує екструзію полімеру. Зшитий поліетилен (РЕХ) утворюється з'єднанням (зшиванням) по визначеній технології високомолекулярних лінійні ділянки макромолекул між собою поперечними зв'язками з утворенням тривимірної сітчастої структури. Після зшивання матеріал зберігає свої властивості пластика, однак для повторного використання стає непридатним.

Поліетилен – єдиний з термопластичних матеріалів здатний до зшивання молекулярних ланцюгів у сітчасту структуру. Зшивання поліетилену здійснюють декількома технологіями. Спосіб зшивання позначають в маркуванні труби першими буквами латинського алфавіту (а – пероксидний, b – силановий, с – радіаційний, d – зшивка азосполуками). Зшитий поліетилен, порівняно зі звичайним, є більш стійким до впливу високих температур і зберігає при цьому підвищені механічні властивості, характеризується гарною термоусадкою. Завдяки зшиванню покращуються такі показники, як тривала міцність, хімічна стійкість, стійкість до розтріскування, ударостійкість та морозостійкість.

Поліпропілен (ПП) має високу хімічну стійкість та антифрикційні властивості, має високу стійкість до тріщин від утомленості, підвищенні жорсткість та твердість. Діапазон температур використання під навантаженням від 13 мінус 5 до 100 °С. Для ПП характерні висока ударна в'язкість, стійкість до багаторазового згинання, задовільна зносостійкість. Значно покращити властивості ПП вдалося при створенні рандомспівполімеру (ППР, РРРС) додаванням до молекулярного ланцюга молекули етилену. Це дозволило підвищити в'язкість, еластичність, високотемпературну міцність поліпропілену. Завдяки високій еластичності матеріалу, вода в ППР трубах може замерзати, не руйнуючи їх.

При переробці ППР та утилізації відходів не утворюються шкідливі речовини, з часом матеріал не виділяє токсичних речовин, що робить ППР труби значно безпечнішими для транспортування води.

Інша модифікація ПП – поліпропілен блочний співполімер (ППБ, РР-В, РР-2). У більшості випадків ППБ включає 20–30 % етиленових добавок, які надають йому у порівнянні з гомопріпіленом більшу гнучкість і міцність при температурах

до мінус 20 °С. При цьому він має порівняно низьку твердість та температурну стійкість (75–90 °С). Найбільшого застосування ПП труби набули в системах холодного та гарячого водопостачання, в системах опалення. Найбільший тиск, при якому застосовуються ПП труби, становить 2,5 МПа (труби марки PN 25).

Полібутилен (ПБ) менш твердий порівняно з ПП та ПЕНТ, зносостійкий, морозостійкий – мінус 25–20 °С, порівняно з іншими поліолефінами ПБ характеризується більш високою тривалою міцністю, хімічною стійкістю, вогнестійкістю. За рахунок порівняно низької теплопровідності при застосуванні ПБ-труб можна зменшити втрати теплоти в системах гарячого водопостачання та зменшити витрати на термоізоляцію.

Опис схеми одношнекового екструдера

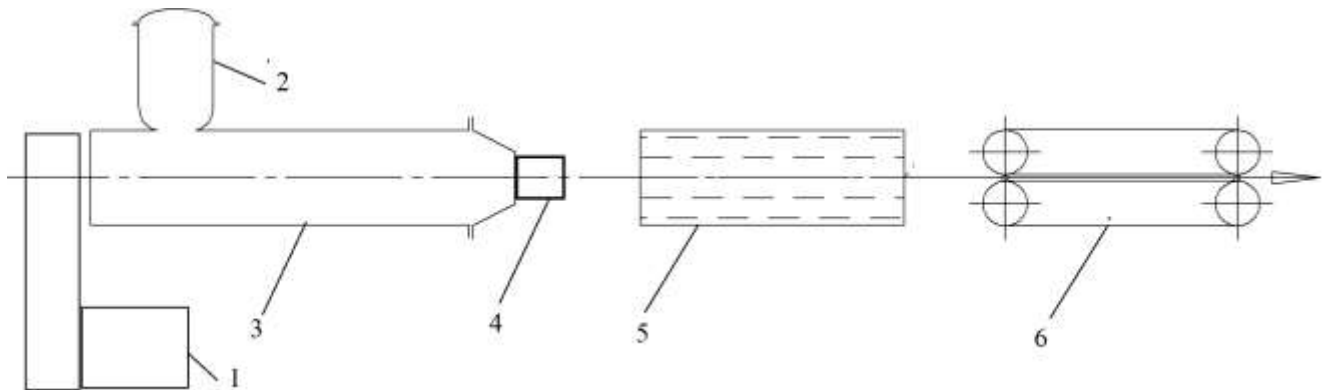
Матеріал викладено за авторами [2, 3].

Для виробництва полімерних труб використовуються екструдери.

Принципова схема одношнекового екструдера показана на рисунку 1. Твердий гранульований (рідше порошкоподібний) полімер надходить в завантажувальну воронку 2, підхоплюється шнеком 3, що отримує оберти від приводу 1 з електродвигуном постійного струму, і при переміщенні вздовж циліндра стискується, розігрівається за рахунок тепла, що підводиться від зовнішніх нагрівачів і тепла, яке виділяється внаслідок в'язкого тертя (тепла дисипації), плавиться, гомогенізується і надходить у вигляді розплаву у формуючу головку 5, де набирає форми готового виробу.

Полімер, що надходить в екструдер, має насипну густину порядку 500-600 кг/м³ та температуру, близьку до кімнатної. Тому задачею екструдера являється ущільнення матеріалу та його попередній нагрів, плавлення, гомогенізація розплаву і надання йому форми готового виробу. Виконання цих функцій забезпечується відповідною конструкцією шнека та циліндра. Найважливішими конструктивними параметрами шнека є відношення його довжини L до діаметру D , глибина гвинтового каналу H та крок шнека. Переважна більшість сучасних екструдерів має відношення L/D порядку 20/1...30/1. Оскільки густина полімеру по довжині збільшується від насипної густини до густини розплаву, об'єм каналу в

зоні гомогенізації повинен бути меншим ніж в зоні живлення. Це зменшення в більшості випадків забезпечується поступовим зменшенням глибини каналу H при постійному кроці витка, який найчастіше приймають рівним діаметру шнека D . При цьому повітря, що знаходиться в проміжках між гранулами, видавлюється через завантажувальну воронку в протиток полімеру що рухається, і це в деякій мірі утруднює процес живлення, особливо порошкоподібними матеріалами.



1 – привід; 2 – бункер; 3 – екструдер; 4 – формувальний пристрій (головка);
охолоджуючий пристрій; 6 – пристрій натягування виробу

Рисунок 1 – Схема виробництва труби.

Важливу роль в процесі переробки відіграє частота обертання шнека, яка коливається від 20 до 300 і більше об/хв, при чому зі збільшенням діаметра шнека частота обертів зменшується. Необхідність регулювання частоти обертів зумовлює застосування електродвигунів постійного струму, що являється одним із вагомих недоліків екструдерів.

В більшості екструдерів для обігріву циліндра застосовуються електронагрівачі опору, рідше індукційні нагрівачі і паровий або рідинний обігрів. Зазвичай по довжині циліндра є декілька окремо регульованих по температурі зон обігріву. Температура циліндра по зонам залежить від виду перероблюваного полімеру і умов його переробки. Для плавлення і якісної гомогенізації полімеру необхідно затратити деяку кількість теплової енергії, яка може бути підведена від зовнішніх нагрівачів, а також у вигляді тепла, що виділилося в результаті в'язкого тертя (тепла дисипації) і тепла що підводиться приводом екструдера. Відношення

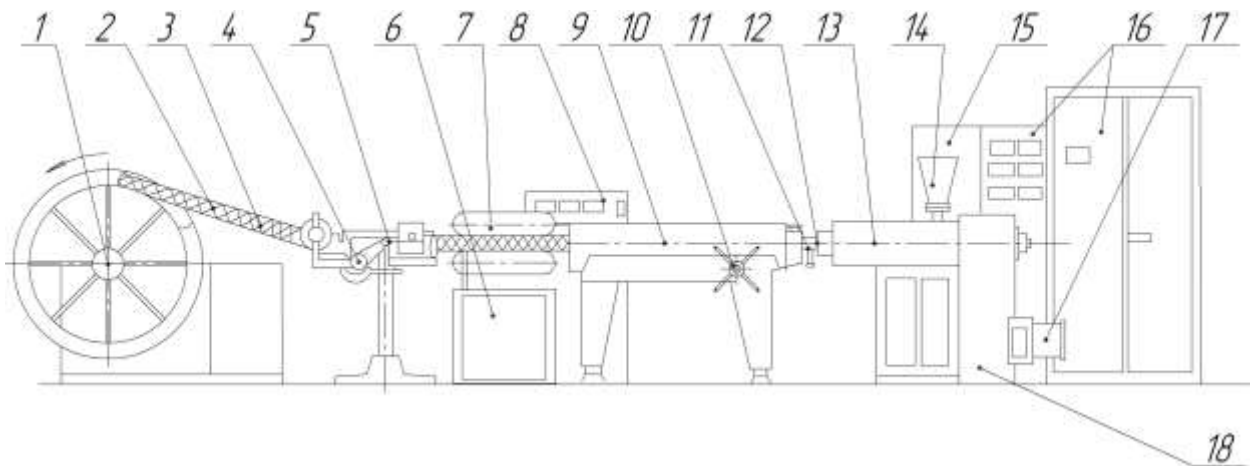
між цими частинами різне. Зі збільшенням частоти обертів частка тепла, що підводиться від зовнішніх нагрівачів, зменшиться. Це пов'язано з тим, що, не дивлячись на деякі поліпшення теплообміну в масі в зв'язку з більш інтенсивним перемішуванням, час перебування часток полімеру в екструдері зменшується, що і зумовлює при малій теплопровідності полімеру зменшення частки тепла, що підводиться від зовнішніх нагрівачів. В той же час зі збільшенням частоти обертів збільшується частка тепла дисипації. Тому, щоб уникнути можливого перегріву полімеру, циліндр екструдера має рідинну або повітряну систему охолодження, яка вмикається автоматично при перевищенні заданого значення температури циліндра. Як правило, охолоджується також зона живлення поблизу завантажувальної воронки задля уникнення утворення заторів.

За зразок візьмемо установку для виготовлення полімерних труб на основі промислової лінії ЛТ20-І/10. Лінія призначена для отримання труб з зовнішнім діаметром до 10 мм. із гранульованих термопластів. Схема установки показана на рисунку 2. До складу лінії входять:

- Прес шнековий Чп20х25 з електроприводом;
- Головка трубна ГТ 1:10;
- Обладнання охолоджуюче;
- Обладнання натяжне;
- Обладнання намотувальне;
- Пульт керування лініями;
- Шафа керування приводом;
- Шафа контролю і регулювання температур.

Гранульований матеріал, що служить сировиною для отримання труб, потрапляє до завантажувальної воронки шнекового пресу з шнеком діаметром $D=20$ мм і відношенням довжини шнека до діаметра $L/D=25/1$. (основні розміри шнеку показані на рисунку 3). Привід шнекового преса включає двигун постійного струму ПБСТ-42 потужністю $N_g = 2,9$ кВт і числом обертів $n_g = 2200$ об/хв. і спеціальний редуктор ЦСп=150 з передаточним числом $L=5,55$. Обігрів корпусу

шнеку здійснюється трьома електричними обігрівачами опору з сумарною потужністю $N_H=2,25$ кВт, корпус шнеку охолоджується конденсатом а завантажувальна воронка – водою з мережі. На шнековому пресі змонтована трубна головка, яка служить для формування труб з розплаву. Схема трубної головки показана на рисунку 4 розміри, на трубної головки показані рисунку 5. Головка обігрівається електричними нагрівачами опору $N_T=0,62$ кВт.



1- обладнання для намотування; 2 –обладнання для розкладання виробів;
 3- виріб (труба); 4- сельсин-датчик; 5- прилад натягування; 6- обладнання натягування; 7- механізм переміщення верхньої траверси; 8- пульт регулювання лінією; 9- обладнання охолодження; 10- механізм переміщення ванни; 11- трубна насадка; 12- трубна головка; 13- шнековий прес; 14- бункер; 15- шафа регулювання приводами ліній; 16- шафа контролю і регулювання температури; 17- електродвигун; 18- редуктор.

Рисунок 3 – Схема ліній для виготовлення полімерних труб

Охолодження і калібрування труби здійснюється в охолоджуючому пристрої. Охолоджувальний пристрій являє собою ванну, встановлену на зварену із листового металу і швелерів раму, яка в свою чергу, спирається на чотири башмака, що мають гвинтове регулювання висоти. При піднятих башмаках рама спирається на колеса, котрі мають змогу легко переміщувати її вздовж осі лінії. Ванна зварена із листового металу. В торцевих стінках ванни передбачені отвори зі

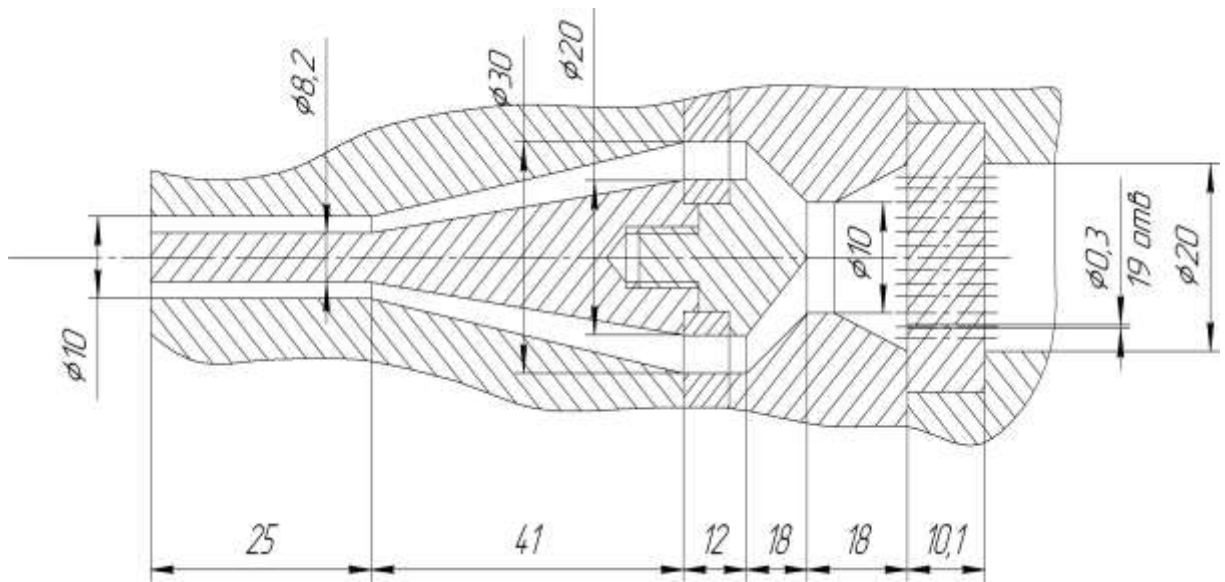


Рисунок 5 – Розміри трубної головки

2. Розрахунок трубної головки

Матеріал викладено за авторами [2-3]. Для розрахунку опору головки канал, по якому рухається розплав, розбивається на ділянки звичайної геометричної форми. Потужність на кожній ділянці визначається за формулою:

$$G = \rho \cdot k \cdot \frac{\Delta P}{\mu} \quad (1)$$

де k -коефіцієнт геометричної форми розглядуваної ділянки, ΔP - перепад тиску і μ – в'язкість розплаву на даній ділянці. Приблизно можна вважати температуру розплаву рівною температурі на виході з екструдера, нехтуючи деякими її підвищенням в головці. Тоді в'язкість знаходиться за градієнтом швидкості, розрахованої для даної ділянки.

На рисунку 6 приведена схема трубної головки яку можна представити як суму наступних ділянок: решітки довжиною L_1 , кільцевих конічних розхідної (L_2) і східної (L_4) ділянок, а також двох кільцевих циліндричних ділянок довжиною L_3 та L_5 .

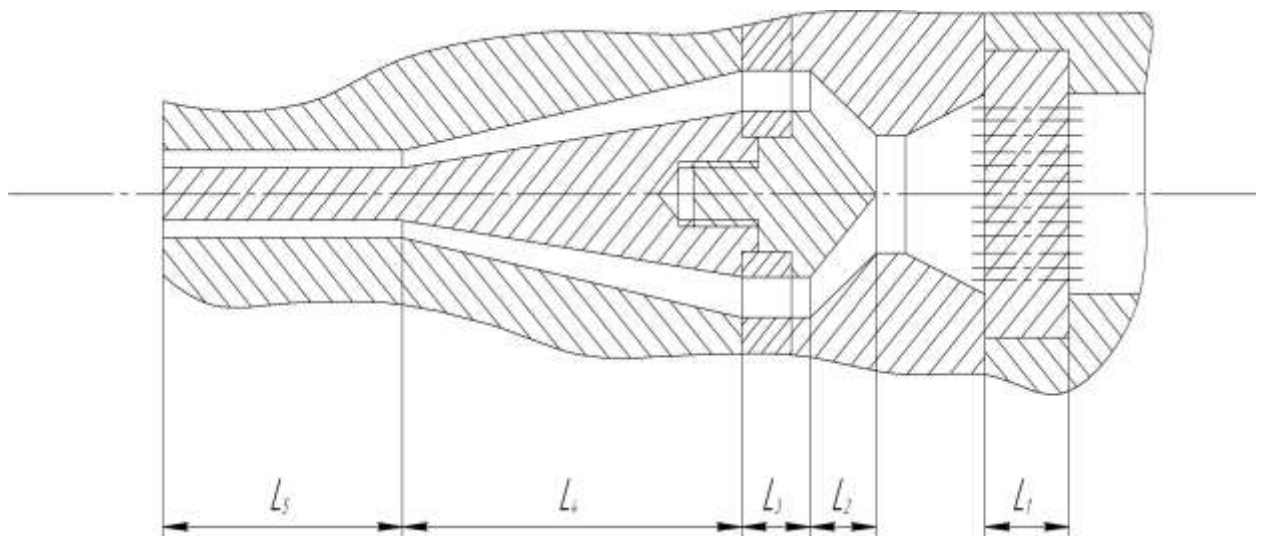


Рисунок 6– Схема трубної головки

Для розрахунку k канал каналу, що має складну форму, розбивається на геометрично прості елементи, такі, як циліндр, плоска щілина, кільцевий зазор, для кожного з яких розраховується k , після чого загальний коефіцієнт геометричної форми каналу визначається за формулою:

$$\Sigma k = \frac{1}{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4} + \frac{1}{k_5}} \quad (1)$$

Розрахункові формули для визначення коефіцієнта геометричної форми k , m^3 та градієнта швидкості j , s^{-1} наступні.

I. Сітка з діаметром отворів d , числом отворів z та довжиною L (Рисунок 7).

Розміри сітки $L_1 = 8 + 0,1N_{\text{вар}}$ мм; $d = 1$ мм, $z = 100$.

$$k = z \cdot \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot L} \quad (2)$$

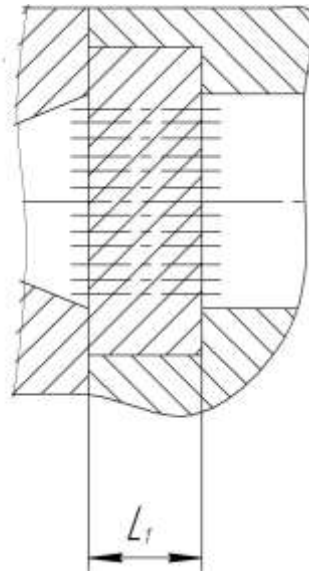


Рисунок 7 – Схема сітки з отворами

2. Кільцевий циліндричний канал довжиною L , радіусом зовнішнього кола R і внутрішнього r (Рисунок 8). Ширина каналу меншого діаметра δ_1 , більшого діаметра δ_2 .

Розміри каналу $L = 41 + 0,1N_{\text{вар}}$ мм; $R_1 = 25$ мм; $R_2 = 30$ мм; $\delta_1 = 20$ мм; $\delta_2 = 5$ мм/

$$\omega = \left(\frac{R_1 - R_2}{R_1 \cdot \delta_2 - R_2 \cdot \delta_1} \right)^2 \cdot Ln \left(\frac{R_1 \cdot \delta_2}{R_2 \cdot \delta_1} \right) - \frac{(R_1 - R_2) \cdot (\delta_1 - \delta_2)}{(R_1 \cdot \delta_2 - R_2 \cdot \delta_1) \cdot (\delta_1 \cdot \delta_2)} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2\delta_1^2 \cdot \delta_2^2}$$

$$k = \frac{\pi \cdot (R_1 \cdot \delta_2 - R_2 \cdot \delta_1)}{6 \cdot L \cdot \omega} \quad (3)$$

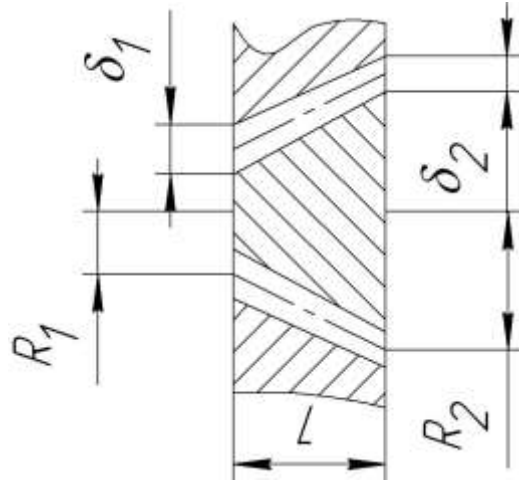


Рисунок 8 – Схема кільцевого конічного каналу

$$k = \frac{\pi \cdot (R_1 \cdot \delta_2 - R_2 \cdot \delta_1)^2}{6 \cdot L \cdot m} \quad (4)$$

де

$$m = \frac{(R_1 - R_2)^2}{(R_1 \cdot \delta_2 - R_2 \cdot \delta_1)} \ln \frac{R_1 \cdot \delta_2}{R_2 \cdot \delta_1} - \frac{2 \cdot (\delta_1 - \delta_2) \cdot (R_1 - R_2)}{\delta_1 \cdot \delta_2} + \frac{(\delta_1 - \delta_2)^2 \cdot (R_1 \delta_2 - R_2 \delta_1)}{2 \cdot \delta_1^2 \cdot \delta_2^2}$$

4. Круглий кільцевий циліндричний канал довжиною L , радіусом зовнішнього кола R і внутрішнього r (Рисунок 9).

Розміри каналу $L = 30 + 0,1N_{\text{вар}}$ мм; $R_1 = 10$ мм; $R_2 = 30$ мм

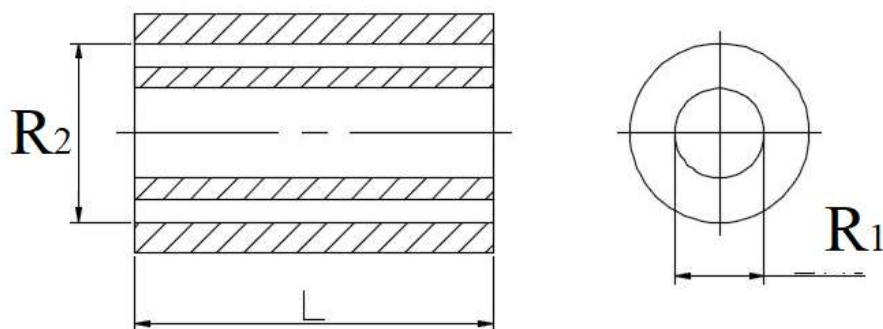


Рисунок 9 – Схема кільцевого циліндричного каналу

$$k = \frac{\pi(R_2 + R_1)(R_2 - R_1)^2}{12L} \quad (5)$$

5. Круглий циліндричний канал довжиною L , радіусом R (Рисунок 10).
Розміри каналу $L = 28 \pm 0,1 N_{\text{вар}}$ мм; $R = 5$ мм,

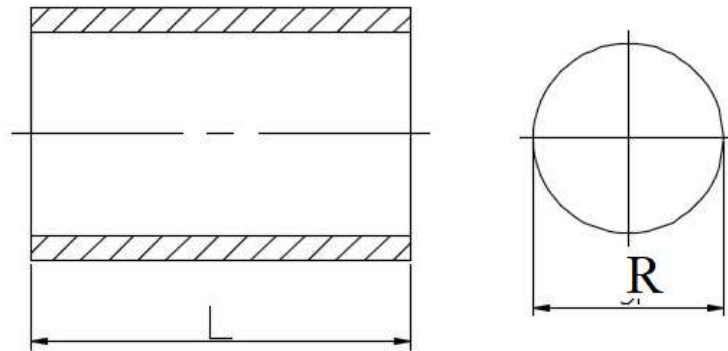


Рисунок 10 – Схема круглого циліндричного каналу

$$k = \frac{\pi(2R)^4}{128L} \quad (6)$$

Перепад тиску на ділянці може бути визначений з рівняння:

$$\Delta P = \frac{G \cdot \mu}{\rho \cdot k}$$

Сумарний опір головки визначається як сума опорів всіх ділянок.

Перепад тиску головки можна розрахувати за такою формулою:

$$\Delta P = \frac{V \cdot \mu}{\rho \cdot \Sigma k} = \frac{V \cdot \eta}{\Sigma k} \quad (7)$$

ΔP – перепад тиску на ділянці каналу головки, Па

Σk – сумарний коефіцієнт геометричної форми формуючої головки

η – динамічна в'язкість розплаву полімеру на цій ділянці, $\eta = 2300$ Па · с

μ – кінематична в'язкість розплаву полімеру на цій ділянці, $\text{м}^2/\text{с}$

ρ – густина розплаву полімеру на цій ділянці, $\rho = 915$ $\text{кг}/\text{м}^3$

V – об'ємні секундні витрати полімеру, $\text{мм}^3/\text{с}$, $V=10000+100N_{\text{вар}} \text{ мм}^3/\text{с}$

3 Алгоритм розрахунку

1. Визначається коефіцієнта геометричної форми k сітки з діаметром отворів d , числом отворів z та довжиною L за залежністю 2.
2. Визначається коефіцієнта геометричної форми k кільцевого циліндричного каналу довжиною L , радіусом зовнішнього кола R і внутрішнього r за залежністю 3.
3. Визначається коефіцієнта геометричної форми k кільцевого циліндричного каналу довжиною L , радіусом зовнішнього кола R і внутрішнього r : за залежністю 4.
4. Визначається коефіцієнта геометричної форми k круглого кільцевого циліндричного каналу довжиною L , радіусом зовнішнього кола R і внутрішнього r за залежністю 5.
5. Визначається коефіцієнта геометричної форми k круглого циліндричний канал довжиною L , радіусом R за залежністю 6.
6. Визначається загальний коефіцієнт геометричної форми каналу визначається за формулою 1.
7. Визначається перепад тиску головки за формулою 7.

4 Склад, обсяг і структура розрахункової роботи

Аналітичний огляд складається з розділів, наведених у зразку змісту (Додаток Б). Орієнтовний обсяг 15...25 аркушів формату А4.

Розрахункова робота включає:

- титульний аркуш (Додаток А);
- зміст (Додаток Б);
- перелік умовних позначень, символів, одиниць скорочень і термінів (за необхідності) (Додаток В);
- вступ;
- основна частина;
- висновки;
- перелік посилань;
- додатки (за необхідності).

Зміст аналітичного огляду подається безпосередньо після титульного аркуша, починаючи з нової сторінки (додаток Б). Зміст містить назву та номери початкових сторінок усіх структурних частин роботи.

«ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ»

Перелік умовних позначень, символів, одиниць скорочень і термінів складається за умови повторення таких елементів більше трьох разів у тексті та вміщується безпосередньо після змісту, починаючи з нової сторінки. Інакше – їх розшифрування наводяться у тексті при першому згадуванні. Якщо у роботі вжита специфічна термінологія чи використано маловідомі скорочення, нові символи, позначення і таке інше, то їх перелік може бути поданий у вигляді окремого списку, який розміщують перед вступом [4].

Перелік треба друкувати двома колонками, в яких зліва за абеткою наводять скорочення, справа — їх детальне розшифрування.

«ВСТУП»

У вступі коротко надається інформація про призначення та актуальність обладнання. Далі у відповідності до змісту роботи ставляться мета та задачі роботи. В кінці вступу вказується, коли було видано завдання на аналітичний огляд.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

«РОЗРАХУНОК РЕАКТОРА»

Наводиться розрахунок реактора. Наводиться схема екструдера, основні технічні характеристики. Зразок оформлення наведено у прикладі 1.

Приблизний обсяг розділу – 3-4 аркуші.

«ВИСНОВКИ»

У висновку наводяться аналіз результатів роботи.

Приблизний обсяг розділу – 1 аркуш.

«ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ»

Перелік посилань – елемент бібліографічного апарату, котрий містить бібліографічні описи використаних джерел. Порядкові номери джерел у переліку є посиланнями у тексті (номерні посилання). Список використаних джерел складають у тому порядку, за яким джерела вперше згадуються у тексті або в алфавітному порядку. Відомості про джерела, включені до списку, необхідно

давати відповідно до вимог ДСТУ 7.1:2006. Заборонено включати в бібліографічний список ті роботи, на які немає посилань у тексті роботи і які фактично не були використані.

Зразок оформлення наведено у Прикладі 3.

Приклад 3.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Інноваційні технології глибокої переробки органічних матеріал: конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 Галузеве машинобудування, спеціалізації «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: М.П. Швед, А.Р. Степанюк, Д.М. Швед – Електронні текстові данні (1 файл: 29,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 221 с. (Повний текст, pdf, 5.9 Mb)

2. Патент 98758 Україна, МПК В29С 47/38 (2006.01). Черв'ячна машина для перероблення матеріалів з використанням високомолекулярних сполук/ Мікульонок І.О., Сокольський О.Л., Сівецький В.І., Куриленко В. М. – u201411336; заявл. 17.10.2014; опубл. 12.05.2015, Бюл.№ 9.

3. ...

4.

5 Вимоги до оформлення розрахункової роботи

Аналітичний огляд є текстовим науковим документом і виконується відповідно ДСТУ 3008:2015 (на зміну 3008-95). Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання [4].

Вимоги до форматування розрахункової роботи

Текст аналітичного огляду розділяють на розділи, відповідно до змісту.

Розділи повинні мати порядкові номери в межах усього документа (частини), позначені арабськими цифрами. Підрозділи повинні мати нумерацію в межах кожного розділу. Номери підрозділів складаються з номерів розділів або підрозділу, розділених крапкою. Наприкінці номера розділу або підрозділу крапка не ставиться. Розділи, як і підрозділи, можуть складатися з декількох пунктів.

Найменування розділів повинні бути короткими. Найменування розділів і підрозділів записують у вигляді заголовків з абзацу напівжирним форматом літер (Приклад 1). Використання форматування курсивом, підкреслення та переноси слів у заголовках не допускаються. Крапку наприкінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох речень, їх розділяють крапкою. Розташовувати назву розділу, підрозділу та тексту на різних сторінках забороняється.

Відстань між заголовками розділу і підрозділу – 1,5 інтервали. Кожен розділ пояснювальної записки починають з нового листа (сторінки).

Нумерація сторінок повинна бути наскрізна для всього аналітичного огляду, включаючи додатки.

6 Рекомендації щодо порядку захисту розрахункової роботи

Процедура та порядок захисту розрахункової роботи відбувається за наступною схемою:

- перевірка відповідності зазначеної теми розрахункової роботи, темі вказаній у завданні,
- перевірка викладачем розрахункової роботи, про що свідчить підпис викладача на титульному аркуші розрахункової роботи;
- доповідь по темі розрахункової роботи.

7 Рекомендована література

1. Інноваційні технології глибокої переробки органічних матеріал: конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 Галузеве машинобудування, спеціалізації «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: М.П. Швед, А.Р. Степанюк, Д.М. Швед – Електронні текстові данні (1 файл: 29,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 221 с. (Повний текст, pdf, 5.9 Mb)

2. Вступ до хімії полімерів : навч. посіб. / А. М. Скляр. – Суми : Видавництво СумДПУ ім. А. С. Макаренка, 2010. – 80 с.

3. "Промислові полімери та Основи технології виробництва полімерних матеріалів" : навчальний посібник до дисципліни та практикумів для студентів хімічного факультету / упорядн. І. О. Савченко, В. Г. Сиромятніков. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2012. – 112 с.

4. Радченко Л.Б. Переробка термопластів методом екструзії: Наук. посібник. – К.: ІЗМН, 1999. – 220с.

5. Дослідження лінії для виробництва рукавної полімерної плівки. Методичні вказівки до лабораторної роботи / Радченко Л.Б., Ружинська Л.І., Швед М.П., Степанюк А.Р. - К.: НТУУ “КПІ”, 1998. - 44 с.

6. Реологічні властивості неньютонівських рідин: лабораторний практикум з дисципліни Моделювання процесів та обладнання підготовки середовищ та отримання біотехнологічних матеріалів [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», спеціалізації «Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: А.Р. Степанюк, Г.К. Іваницький – Електронні текстові данні (1 файл: 1,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 38 с. (Повний текст, pdf, 1.43 Mb)

7. Дослідження реологічних властивостей розплавів полімерів. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи студентів спеціальності: 133 Галузеве

машинобудування, спеціалізація: Інжиніринг, обладнання та технології хімічних та нафтопереробних виробництв, освітньо-кваліфікаційного рівня спеціаліст з дисципліни “Обладнання для синтезу і переробки полімерних матеріалів”: [Електронний ресурс] / „КПІ ім. Ігоря Сікорського”; уклад. М. П. Швед, А. Р. Степанюк. – Київ: НТУУ „КПІ”, 2017. 23с. Повний текст, pdf, 1,12 Мб

8. Радченко Л.Б. Сівецький В.І. Основи моделювання і конструювання черв'ячних екструдерів: Наук. посібник. – К.: Політехніка, 2002. – 152с.

Перелік посилань

1 Вознюк В. Т., Мікульонок І. О. Інтенсифікація процесу виготовлення екструдованих полімерних труб [Текст] : монографія. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 142 с.: іл. – Бібліогр.: с. 131–141. – 300 прим.

2 Дослідження лінії для виробництва рукавної полімерної плівки. Методичні вказівки / Укл.: Л.Б. Радченко, М.П. Швед, А.Р. Степанюк, І.О. Мікульонок. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 44с. <https://ci.kpi.ua/uk/educational-process-new/educational-and-methodical-editions-department/>

3 Інноваційні технології глибокої переробки органічних матеріал: конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 133 Галузеве машинобудування, спеціалізації «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: М.П. Швед, А.Р. Степанюк, Д.М. Швед – Електронні текстові данні (1 файл: 29,8 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 221 с. (Повний текст, pdf, 5.9 Mb).

4 ДСТУ 3008:2015 (на зміну 3008-95). Звіти у сфері науки і техніки.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ

ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

РОЗРАХУНКОВА РОБОТА

з дисципліни

ПРОЦЕСИ ВИРОБЛЕННЯ ПЕРЕРОБЛЕННЯ СПОЛУК

на тему: **Визначення гідравлічного опору формуючої головки**

Виконав студент IV курсу, групи ЛН-01

_____ Іван ІВАНОВ

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 133 «Галузеве машинобудування»

Освітня програма: Комп'ютерно-інтегровані технології
проекування обладнання хімічної інженерії

Перевірив доцент, к.т.н.,

_____ Андрій СТЕПАНЮК

Кількість балів: _____

Київ 2024

Додаток Б . Приклад оформлення змісту розрахункової роботи

Зміст

Перелік умовних позначень, символів, одиниць скорочень і термінів	2
Вступ	3
1 Розрахунок гідравлічного опору формуючої головки	10
Висновки	19
Перелік посилань	20

					ЛМ21.066641.001.ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>				
<i>Розроб.</i>	Поковба				Визначення гідравлічного опору формууючої головки	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрюшів</i>
<i>Перевір.</i>	Степанюк						1	
<i>Н. Контр.</i>					Пояснювальна записка	КПІ ім. Ігоря Сікорського		
<i>Затверд.</i>								

Додаток В. Приклад оформлення Переліку скорочень, умовних позначень та термінів

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

Умовні позначення

V – об’ємна продуктивність, м³/с;

G – масова продуктивність, кг/с;

P – тиск, Па.

Δp – втрати тиску, Па.

n – число ходів, шт.

m – число рядів, шт.

f – питома поверхня

n – частота обертання валу, с⁻¹.

N – потужність, Вт.

Критерії.

Re – число (критерій) Рейнольдса

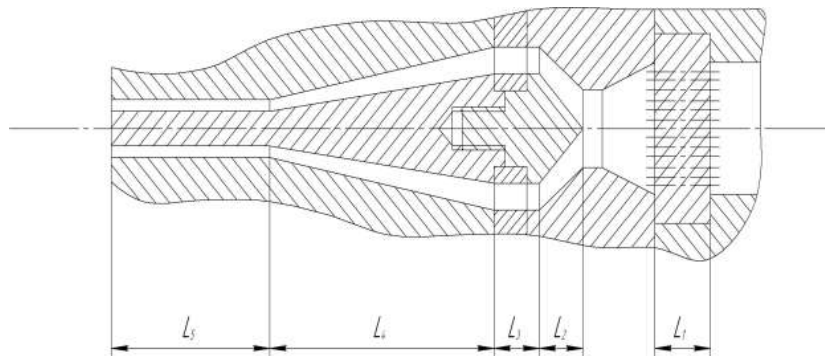
Ar – критерій Архімеда.

					ЛІМ21. 066641.001.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		332

Додаток Г. Завдання до розрахункової роботи

Завдання до розрахункової роботи

Визначити гідравлічний опір формуючої головки, схема якої наведена у завданні. Головка складається з решітки довжиною L_1 , кільцевих конічних розхідної (L_2) і східної (L_4) ділянок, а також двох кільцевих циліндричних ділянок довжиною L_3 та L_5 .



1. Сітка з діаметром отворів d , числом отворів z та довжиною L . Розміри сітки $L_1 = 8 + 0,1N_{\text{вар}}$ мм; $d = 1$ мм, $z = 100$.

2. Кільцевий циліндричний канал довжиною L , радіусом зовнішнього кола R і внутрішнього r . Ширина каналу меншого діаметра δ_1 , більшого діаметра δ_2 . Розміри каналу $L = 41 + 0,1N_{\text{вар}}$ мм; $R_1 = 25$ мм; $R_2 = 30$ мм; $\delta_1 = 20$ мм; $\delta_2 = 5$ мм.

4. Круглий кільцевий циліндричний канал довжиною L , радіусом зовнішнього кола R і внутрішнього r . Розміри каналу Розміри каналу $L = 30 + 0,1N_{\text{вар}}$ мм; $R_1 = 10$ мм; $R_2 = 30$ мм.

5. Круглий циліндричний канал довжиною L , радіусом R . Розміри каналу $L = 28 + 0,1N_{\text{вар}}$ мм; $R = 5$ мм.

6. V – об'ємні секундні витрати полімеру, $\text{мм}^3/\text{с}$, $V = 10000 + 100N_{\text{вар}}$ $\text{мм}^3/\text{с}$.

Група	Дата видачі	Студент	Варіант	Завдання видав