

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування

«На правах рукопису»

УДК 678.057

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О.В. Гондляр
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2018 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування

на тему: Екструзійно-інжекційне формування полімерних виробів

Виконав: студент курсу, групи ЛС-61м
(шифр групи)

Поліщук Олександр Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові) _____ (підпис)

Науковий керівник к.т.н., професор Сівецький Володимир Іванович
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Консультант Математичного моделювання
(назва розділу) _____

д.т.н., професор Карвацький Антон Янович
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Рецензент к.т.н., доцент Швед М.П.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) _____ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною (освітньо-науковою) програмою

Спеціальність (спеціалізація) 8.05050315 обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ О.В. Гондляр
(підпис) (ініціали, прізвище)

« ____ » _____ 2018 р

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Поліщуку Олександрю Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Екструзійно-інжекційне формування полімерних виробів
науковий керівник дисертації к.т.н., професор Сівецький Володимир Іванович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від «21»березня 2018 р. №979-С
2. Строк подання студентом дисертації 01 травня 2018 року
3. Об'єкт дослідження процес формування полімерних виробів з введенням інтелектуальних датчиків.
4. Предмет дослідження технологічні параметри процесів екструзійно-інжекційного формування полімерних виробів з позиціонованим введенням інтелектуальних датчиків
5. Перелік завдань, які потрібно розробити визначити об'єкт, предмет та мету дослідження, зокрема поставити задачу моделювання; обґрунтувати цілі дослідження; проаналізувати можливі методи і методики досліджень, здійснити обґрунтований вибір

методу дослідження; здійснити науковий аналіз та узагальнення фактичного матеріалу, який використовується в процесі дослідження, розробити та розв'язати за заданих умов математичну модель; порівняти результати числового моделювання з результатами інших дослідників та результатами експлуатації промислового обладнання; здійснити апробацію отриманих результатів.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу мета і завдання дослідження, обґрунтування напрямку дослідно-конструкторської розробки (1×A1); схема експериментальної установки (1×A1); черв'ячний прес ЧП 32х20 (1×A1); екструзійна головка (1×A1); математична модель процесу (1×A1); проведення експерименту (1×A1); методика обробки експериментальних даних (1×A1); результати експерименту (10×A1); висновки (1×A1).

7. Орієнтовний перелік публікацій 1 стаття в спеціалізованому журналі, 2 доповіді на науково-практичних конференціях та 1 патент на корисну модель.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Математичного моделювання	д.т.н., професор Карвацький А.Я.		

9. Дата видачі завдання 02 вересня 2016 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
Навчальна робота			
1	Виконання навчального плану підготовки магістра	01.09.16-31.01.18	
Дослідницька робота			
2	Аналіз літературних і патентних джерел з введенням у внутрішню структуру виробу інжекткованої порції суміші полімеру з макетами, які імітують інтелектуальний датчик.	31.03.17	
3	Розробка математичної моделі процесу введення твердих частинок у полімерний виріб.	01.04.17-30.06.17	
4	Вибір та обґрунтування програмного забезпечення для розв'язання сформульованої задачі у п. 2.	01.09.17-30.11.17	
5	Розробка алгоритму розрахунку.	01.12.17-28.02.17	
6	Проведення експериментальних досліджень.	01.03.18-15.03.18	
7	Аналіз отриманих результатів та підготовка статті до друку в фаховому журналі. Доповідь на кафедрі за результатами виконання магістерської дисертації.	16.03.18-28.04.18	
8	Розробка числової моделі опису процесу введення твердих частинок у полімерний виріб.	01.04.18-30.04.18	
9	Конструктивне оформлення результатів досліджень.	01.02.18-30.04.18	
10	Підготовка публікацій за результатами досліджень	01.04.18	
11	Оформлення роботи магістра та її підготовка до захисту	01.04.18-16.05.18	
Педагогічно-освітня робота			
12	Допомога у проведенні НДРС за навчальними планами кафедри	Протягом навчання	

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

УДК 678.057

Мета дослідження: отримання залежностей параметрів процесу введення суміші полімеру з мікродатчиками на певну глибину та задані координати готового виробу.

Об'єкт дослідження: процес екструзійного формування погонажних полімерних виробів з інжекційним позиціонованим введенням дозованої порції суміші полімеру з макетами, які імітують інтелектуальні датчики.

Предмет дослідження: технологічні параметри процесів екструзійно-інжекційного формування погонажних полімерних виробів з позиціонованим введенням суміші полімеру з мікрочастками.

Актуальність дослідження: аналіз властивостей інтелектуальних полімерних матеріалів та доцільності застосування інтелектуальних датчиків в промисловості при виготовленні полімерних виробів показав малу ступінь вивченості даного питання. Тут же відзначимо, що можливість вбудовування в структуру полімерних матеріалів елементів, здатних реагувати на зміну силових, температурних та інших параметрів навколишнього середовища, дозволяє моделювати широкий спектр інноваційних «розумних» матеріалів. «Розумні» матеріали здатні адекватно до нових навантажень змінювати свої характеристики і форму, а також самостійно регулювати ступінь своєї реакції на нові умови відповідно до рівня їх зміни.

Інтелектуальні датчики дозволяють контролювати процеси, що протікають під час формування виробів з «інтелектуальних» ПКМ, а також «моніторити» їх стан під час експлуатації та адекватно реагувати на зміни, що відбуваються в них, внаслідок впливу факторів навколишнього середовища.

Результати роботи: наявні в літературі дані по процесах руху твердих частинок у рідині в каналах технологічного обладнання не можливо

використовувати без додаткового аналізу і розрахунків в різних умовах технологічних процесів.

Для виконання завдання був використаний експериментально-теоретичний підхід та метод дослідження.

Отриманні параметричні залежності процесу формування екструзійних виробів із позиціонованим інжекційним введенням в них мікропорцій суміші полімеру з твердими мікрочастинками для матеріалів: поліетилен низького тиску марки 15313-003, поліетилен високого тиску марки 15803-020 та поліпропілен марки 2248-002.

Визначена достовірність отримання експериментальних даних. Відносна похибка не перевищує 10%.

Встановлені геометричні параметри каналів та кут нахилу інжекційного механізму, за яких максимально точно досягається введення полімерного розплаву з мікрочастинками на задану глибину занурення у виріб.

Дана магістерська дисертація може бути корисною при дослідженні, проектуванні та виробництві обладнання для переробки полімерних матеріалів та одержання виробів з полімерних і композиційних матеріалів.

ВВЕДЕННЯ, ІНЖЕКЦІЯ, ЕКСТРУЗІЯ, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ДАТЧИК, КАНАЛ, ГЛИБИНА ЗАНУРЕННЯ.

РЕФЕРАТ

УДК 678.057

Цель исследования: получение зависимостей параметров процесса введения смеси полимера с микродатчиками на определенную глубину и заданные координаты готового изделия.

Объект исследования: процесс экструзионного формования погонажных полимерных изделий с инжекционным позиционированием введением дозированной порции смеси полимера с макетами, которые имитируют интеллектуальные датчики.

Предмет исследования: технологические параметры процессов экструзионно-инжекционного формования полимерных изделий из позиционированием введением смеси полимера с микрочастицами.

Актуальность исследования: анализ свойств интеллектуальных полимерных материалов и целесообразности применения интеллектуальных датчиков в промышленности при изготовлении полимерных изделий показал малую степень изученности данного вопроса. Здесь же отметим, что возможность встраивания в структуру полимерных материалов элементов, способных реагировать на изменение силовых, температурных и других параметров окружающей среды, позволяет моделировать широкий спектр инновационных «умных» материалов. «Умные» материалы способны адекватно реагировать на новые нагрузки, изменять свои характеристики и форму, а также самостоятельно регулировать степень своей реакции на новые условия в соответствии с уровнем их изменения.

Интеллектуальные датчики позволяют контролировать процессы, протекающие при формировании изделий из «интеллектуальных» ПКМ, а также «мониторить» их состояние во время эксплуатации и адекватно реагировать на изменения, происходящие в них, вследствие воздействия факторов окружающей среды.

Результаты работы: имеющиеся в литературе данные по процессам движения твердых частиц в жидкости в каналах технологического оборудования невозможно использовать без дополнительного анализа и расчетов в различных условиях технологических процессов.

Для выполнения задания был использован экспериментально-теоретический подход и метод исследования.

Полученные параметрические зависимости процесса формирования экструзионных изделий из позиционированным инъекционным введением в них микропорций смеси полимера с твердыми микрочастицами для материалов: полиэтилен низкого давления марки 15313-003, полиэтилен высокого давления марки 15803-020 и полипропилен марки 2248-002.

Определенная достоверность получения экспериментальных данных. Относительная погрешность не превышает 10%.

Установлены геометрические параметры каналов и угол наклона инъекционного механизма, при которых максимально точно достигается введение полимерного расплава с микрочастицами на заданную глубину погружения в изделие.

Данная магистерская диссертация может быть полезной при исследовании, проектировании и производстве оборудования для переработки полимерных материалов и получения изделий из полимерных и композиционных материалов.

ВВЕДЕНИЕ, ИНЖЕКЦИЯ, ЭКСТРУЗИЯ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ДАТЧИК, КАНАЛ, ГЛУБИНА ПОГРУЖЕНИЯ.

ABSTRACT

UDC 678.057

Purpose of the study: obtaining dependencies of the parameters of the process of introducing a polymer mixture with micro sensors to a certain depth and given coordinates of the finished product.

Object of the study: the process of formation of polymer products with the introduction of intelligent sensors.

Research subject: technological parameters of processes of extrusion-injection molding of polymer products from the positioning of intelligent sensors.

The relevance of the study: analysis of the properties of intelligent polymer materials and the expediency of using intelligent sensors in the industry in the manufacture of polymer products showed a small degree of study of this issue. Here we note that the possibility of embedding in the structure of polymeric materials of elements capable of responding to changes in force, temperature and other environmental parameters allows modeling a wide range of innovative "intelligent" materials. "Intelligent" materials are able to adequately respond to new loads, change their characteristics and form, as well as independently regulate the degree of their response to new conditions in accordance with the level of their change.

Intelligent sensors allow you to monitor the processes that occur during the formation of products from "intelligent" PCMs, as well as "monitor" their condition during operation and adequately respond to changes occurring in them, due to environmental factors.

The results of the study: the data available in the literature on the motion of solid particles in the fluid in the channels of process equipment can not be used without additional analysis and calculations in different conditions of technological processes.

To fulfill the task, the experimental-theoretical approach and the method of investigation were used.

The obtained parametric dependences of the process of forming extrusion products from the positioned injection of microporations of a mixture of polymer with solid microparticles for materials: low pressure polyethylene of grade 15313-003, high-pressure polyethylene of mark 15803-020 and polypropylene of grade 2248-002.

Certain reliability of obtaining experimental data. The relative error does not exceed 10%.

The geometric parameters of the channels and the angle of inclination of the injection mechanism are established, at which the introduction of a polymer melt with microparticles at the specified depth of immersion in the article is achieved as precisely as possible.

This master's thesis can be useful in researching, designing and manufacturing equipment for the processing of polymeric materials and obtaining products from polymer and composite materials.

INTRODUCTION, INJECTION, EXTRUSION, INTELLIGENT SENSOR, CHANNEL, DEPTH OF IMMERSION.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	3
Вступ.....	5
1 Літературний огляд стану питання.....	9
1.1 Рух твердих тіл в рідині.....	9
1.1.1 Розподіл швидкостей при русі рідини та твердих включень	9
1.1.2 Рух твердих частинок у нев'язкій рідині.....	12
1.1.3 Рух твердих частинок у в'язкій рідині.....	13
1.1.4 Рівноприскорений рух тіла в рідині.....	14
1.1.5 Прискорений рух тіла в рідині	15
1.1.6 Рівномірний рух твердих частинок в рідині	16
1.2 Траєкторія руху твердих частинок в полімерному розплаві у програмному комплексі Ansys Fluent	17
1.2.1 Інтеграція рівняння руху частинок	17
1.2.2 Турбулентна дисперсія частинок	17
1.2.3 Теоретична модель Wall-Jet.....	20
1.3 Патентний огляд.....	21
2 Математична модель процесу.....	28
2.1 Математична модель ізотермічного змішування двох потоків не ньютонівської рідини.....	28
3 Методика числового моделювання	32
4 Методика проведення експерименту	41
4.1 Опис дослідного обладнання	41
4.2 Натурний експеримент	44
4.3 Розрахунок похибки дослідження.....	50
4.3.1 Методика розрахунку похибок прямих вимірювань.....	50
4.3.2 Методика розрахунку похибок непрямих вимірювань.....	51
4.3.3 Розрахунок похибки вимірювання температури	52
4.3.4 Розрахунок похибки вимірювання маси.....	54
4.3.5 Розрахунок похибки вимірювання часу	56
4.3.6 Розрахунок похибки вимірювання частоти обертання ротора електродвигуна	58
5 Аналіз результатів дослідження	60
5.1 Аналіз результатів натурального експерименту	60

					ПСБ 017216 01 Б0П2			
<i>Зм</i>	<i>Лис</i>	<i>№ док-м</i>	<i>Підри</i>	<i>Дз</i>	Екструзійно-інжекційне	<i>Лім</i>	<i>Док</i>	<i>Дкршніє</i>
<i>Возроб</i>	<i>Полішук</i>							
	<i>Сівонький</i>							
	<i>Сівонький</i>							
И						НТUV «КПІ»		
	<i>Сівонький</i>							

5.1.1	Результати експериментальних досліджень процесу введення суміші полімеру марки ПЕНТ 15313-003 з мікрочастинками в полімерний виріб	61
5.1.2	Результати експериментальних досліджень процесу введення суміші полімеру марки ПЕВТ 15803-020 з мікрочастинками в полімерний виріб	64
5.1.3	Результати експериментальних досліджень процесу введення суміші полімеру марки ПП 2248-002 з мікрочастинками в полімерний виріб	67
6	Охорона праці й навколишнього середовища.....	71
6.1	Повітря робочої зони	72
6.2	Небезпека ураження електричним струмом.....	73
6.3	Пожежна безпека.....	75
6.4	Виробниче освітлення	76
6.5	Засоби та заходи пожежогасіння	77
7	Нозробка статап поекту	80
7.1	Опис ідеї проекту	80
7.2	Загальна інформація про компанію.....	80
7.3	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	83
7.4	Розроблення ринкової стратегії проекту	87
7.5	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	89
7.6	Бюджет старт-ап проекту	90
7.7	Просування товару	92
	Висновки	94
	Список використаних джерел	96
	Додатки.....	99

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Умовні позначення:

$\vec{\Delta v}$	– різниця швидкостей;
η	– коефіцієнт внутрішнього тертя, або в'язкість рідини;
p_0	– початковий тиск;
\vec{v}_0	– постійна швидкість;
\vec{l}	– вектор дотичної до елементарної площі;
c_τ	– коефіцієнт місцевого тертя;
$\vec{c}R_p$	– коефіцієнт тиску;
$\vec{c}R_\tau$	– коефіцієнт тертя;
α	– прискорення тіла;
v	– швидкість тіла;
$F_D(u - u_p)$	– сила тяжіння на одиницю маси частинок;
u	– швидка фазова швидкість;
u_p	– швидкість частинки;
μ	– молекулярна в'язкість рідини;
ρ	– щільність рідини;
ρ_p	– щільність частинки;
d_p	– діаметр частинок;
β	– константа, визначена за збереженням маси та імпульсу;
P	– випадкове число;
F_c	– сила опору;

$\rho v_0^2 / 2$	– швидкісний напір;
τ	– дотичне напруження;
\vec{R}	– головний вектор гідродинамічних сил;
S_0	– деяка характерна площа;
t	– час експерименту;
g	– прискорення вільного падіння;

Основні скорочення:

PDF	–	функція щільності ймовірності
ІД	–	інтелектуальний датчик
ПКМ	–	інтелектуальний полімерний композитний матеріал
ІХФ	–	інженерно-хімічний факультет;
МСО	–	метод скінченних об'ємів
НТУУ «КПІ»	–	національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»;
ПЕВТ	–	поліетилен високого тиску;
ПЕНТ	–	поліетилен низького тиску;
ПКМ	–	полімерний композитний матеріал
ПМ	–	полімерний матеріал;
ПП	–	поліпропілен;
ХПСМ	–	кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»;
ЧП	–	черв'ячний прес

Інші символи:

\cdot	– оператор скалярного добутку векторів;
\times	– оператор векторного добутку векторів;
$:$	– оператор подвійного скалярного добутку.
∇	– оператор Гамільтона (“набла”);

ВСТУП

В світі встановився стійкий попит на вироби з полімерних матеріалів. Понад 70% з них складають погонажні вироби. В той же час відзначається, що для забезпечення внутрішнього ринку імпорту пластмасових виробів досяг 30%. Підвищується складність екструзійних виробів, вимоги до їх якості, точності розмірів, фізико-механічних показників тощо. Задоволення потреб у вітчизняних екструзійних виробах із вживленням в них інтелектуальних датчиків неможливе без використання сучасних чисельних методів моделювання та оптимізації конструктивних і технологічних параметрів устаткування та процесів екструзії, з урахуванням їх взаємного впливу та властивостей полімерного матеріалу.

Прогрес в різних областях техніки, і перш за все в авіакосмічній техніці, робототехніці, електроніці, медицині, пов'язаний з широким використанням наукоємних технологій і нових матеріалів. Одним з найважливіших напрямків розвитку цих сфер є розробка на основі досягнень наукомістких технологій матеріалів, здатних здійснювати моніторинг відповідальних деталей та вузлів, зокрема їх напружено-деформованого стану за допомогою введення у матеріал інтелектуальних датчиків, сигнали з яких у вигляді зміни електричного або магнітного поля змінюються під дією деформацій та напружень і зчитуються спеціальним обладнанням. При створенні таких матеріалів необхідно забезпечити позиціоноване введення в їх структуру датчиків, які можуть сигналізувати про зміни напружено-деформованого стану виробу, температури тощо. [1].

Теоретична частина досліджень процесів введення мікродатчиків у вироби полягає в моделюванні окремих стадій технологічного процесу формування екструзійних виробів із позиціонованим інжекційним введенням в них мікропорцій суміші полімеру з твердими мікрочастинками.

В силу складності і великого об'єму розрахунків при моделюванні процесів формування виробів складної геометрії нині виконуються розрахунки за допомогою обчислювальної техніки та унікального програмного забезпечення на

математичній базі методів скінченних елементів і контрольних об'ємів. Ці програмні продукти визначають пріоритет розробника в певній галузі і мають значну наукову і комерційну цінність.

Магістерська дисертація, темою якої є «Екструзійно-інжекційне формування полімерних виробів», а саме процес введення суміші полімеру з мікродатчиками в розплав полімерного матеріалу.

При позиціонованому введенні суміші полімеру з мікродатчиками важливо досягти високої точності введення на певну глибину та задані координати готового виробу. Експериментальний ітераційний підбір необхідних технологічних режимів для точного введення призводить до значного збільшення часу налаштування обладнання. Визначення технологічних параметрів при моделюванні дозволить значно зменшити час налаштування інжекційно-екструзійного обладнання та введення його в експлуатацію.

Мета дослідження: отримання залежностей параметрів процесу введення суміші полімеру з мікродатчиками на певну глибину та задані координати погонажного виробу.

Об'єкт дослідження: процес екструзійного формування погонажних полімерних виробів з інжекційним позиціонованим введенням дозованої порції суміші полімеру з макетами, які імітують інтелектуальні датчики.

Предмет дослідження: Технологічні параметри процесів екструзійно-інжекційного формування погонажних полімерних виробів з позиціонованим введенням суміші полімеру з мікрочастками.

Актуальність дослідження: у даний час «інтелектуальні» полімерні композиційні матеріали (ПКМ), про які йдеться у численних наукових публікаціях, переважно рекламного характеру, використовуються, головним чином, в конструкціях літальних апаратів та іншої техніки, від життєздатності якої залежать можливості виконання поставлених стратегічних завдань.

Можливість вбудовування в структуру ПКМ елементів, здатних реагувати на зміну силових, температурних та інших параметрів навколишнього середовища, дозволяє моделювати широкий спектр інноваційних

«інтелектуальних» матеріалів. Останні здатні адаптуватися до змінних умов для самозбереження, підтримання можливості виконувати свої функціональні властивості та забезпечення працездатності всієї конструкції у варіабельних умовах. В результаті створення «інтелектуальних» матеріалів у матеріалознавстві з'явилися поняття «навченості» матеріалів і «відчуття» ними граничних ситуацій.

«Інтелектуальні» матеріали здатні адекватно до нових навантажень змінювати свої характеристики і форму, а також самостійно регулювати ступінь своєї реакції на нові умови відповідно до рівня їх зміни.

Інтелектуальні датчики дозволяють контролювати процеси, що протікають під час формування виробів з «інтелектуальних» ПКМ, а також «моніторити» їх стан під час експлуатації та адекватно реагувати на зміни, що відбуваються в них, внаслідок впливу факторів навколишнього середовища.

Таким чином, створення «інтелектуальних матеріалів» на базі ПКМ відкриває принципово нові можливості розробки сучасної техніки. Це дозволяє експлуатувати цю техніку при критичних навантаженнях та в умовах, коли ніякі інші методи контролю стану полімерного матеріалу і коригуючого впливу на нього не можуть бути використані за конструктивно-технологічних причин.

Задачі дослідження:

- проаналізувати сучасний стан виготовлення полімерних виробів з введенням інтелектуальних датчиків, визначити основні тенденції розвитку;
- здійснити аналіз способів введення датчиків у полімерний виріб та порівняти їх;
- провести чисельне моделювання процесів інжекційного введення суміші частинок при інжекційному формуванні погонажних виробів;

Методологія та методи дослідження. Методологічною основою дослідження є систематичне опрацювання та аналіз теоретичного матеріалу, присвяченого вивченню процесу введення ІД у полімерні вироби. В процесі досліджень буде використано теоретичні та експериментальні методи. Теоретичні

дослідження ґрунтуються на достовірних гіпотезах і адекватних математичних моделях; зв'язаних системах рівнянь механіки суцільного середовища при взаємодії твердих, рідких та газоподібних тіл між собою та фізичними полями різної фізичної природи (гравітаційними, тепловими, електромагнітними, радіаційними); застосуванні апробованого математичного апарату числових методів скінчених об'ємів (МСО) розв'язання задач механіки суцільних середовищ; верифікації розроблених числових моделей та перевірки закономірностей, встановлених за допомогою числових експериментів. Експериментальні – проведення експерименту, спостереження та вимірювання параметрів процесу екструзійно-інжекційного формування полімерних виробів з позиціонованим введенням ІД.

1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ

Методика розв'язання задачі руху частинок в полімерному розплаві досі ніким не розглядалася, тому можна вважати, що задача може бути вирішена аналогічно задачі руху частинок в рідині, тільки з іншими граничними умовами.

1.1 Рух твердих тіл в рідині

1.1.1 Розподіл швидкостей при русі рідини та твердих включень (частинок)

У всіх реальних рідинах при переміщенні одних шарів відносно інших виникають більш-менш значні сили тертя. З боку шару, що рухається швидше, на шар, що рухається повільніше, діє сила прискорення. З боку ж шару, що рухається повільніше, на шар, що рухається швидше, діє гальмівна сила. Це внутрішнє тертя називається в'язкістю рідини чи газу. Ці сили спрямовані по дотичній до поверхні шарів. Нехай між двома площинами знаходиться шар рідини; верхня площина рухається щодо нижньої зі швидкістю \vec{v} . Розіб'ємо рідину на дуже тонкі шари паралельними площинами, віддаленими на відстані Δx один від одного. Шари рідини, що дотикаються до твердих тіл, прилипають до них. Проміжні шари мають розподіл швидкостей, зображений на рисунку. Нехай різниця швидкостей між сусідніми шарами $\Delta \vec{v}$. Величина $\frac{\Delta v}{\Delta x}$, яка показує, як швидко змінюється швидкість при переході від шару до шару, називається градієнтом швидкості [2].

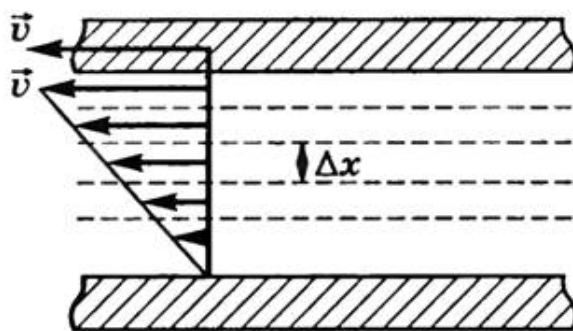


Рисунок 1.1 – Розподіл швидкостей проміжних слоїв

Сила внутрішнього тертя між сусідніми шарами рідини тим більша, чим більша площа поверхні зіткнення шарів, і залежить від швидкості зміни швидкості при переході від шару до шару в напрямку осі Ox , перпендикулярної до швидкості руху шарів:

$$F = \eta \left| \frac{\Delta v}{\Delta x} \right| S, \quad (1.1)$$

де S – площа зіткнення шарів, η - коефіцієнт внутрішнього тертя, або в'язкість рідини, $\frac{\Delta v}{\Delta x}$ – градієнт швидкості. В'язкість залежить від температури. Із збільшенням температури в'язкість рідини зменшується.

При русі твердого тіла в рідині або газі також виникає сила опору руху, яку називають силою в'язкого тертя. Але на відміну від сухого тертя в рідинах і газах відсутня сила тертя спокою. Наявність сили опору руху тіла в середовищі пояснюється існуванням внутрішнього тертя, обумовленого відносним рухом шарів рідини чи газу. Встановлено, що сила в'язкого тертя залежить від швидкості руху тіла [2].

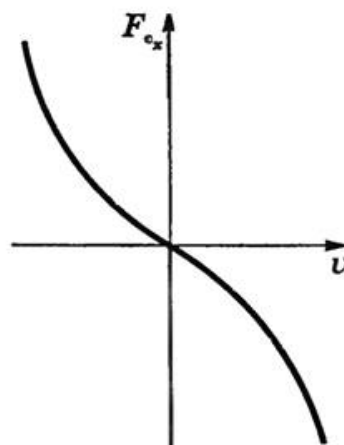


Рисунок 1.2 – Залежність проекції сили в'язкого тертя від швидкості

Якщо швидкість руху тіла невелика, то сила опору прямо пропорційна модулю швидкості: $F_c = kv$, де k – коефіцієнт пропорційності, який залежить від виду

в'язкого середовища, форми і розмірів тіла. Якщо швидкість руху тіла зростає, то зростає і сила опору:

$$F_c = kv^n, \quad (1.2)$$

де $n = 2, 3$

При збільшенні швидкості руху тіла в рідині або газі з'являються вихори, які гальмують рух: внаслідок в'язкості в області, прилеглій до поверхні тіла, утворюється проміжний шар частинок, що рухаються з меншими швидкостями. В результаті гальмуючої дії цього шару виникає обертання частинок, і рух рідини в проміжному шарі стає вихровим. Якщо тіло не має обтічної форми, то проміжний шар рідини відривається від поверхні тіла. За тілом виникає потік рідини, спрямований протилежно до набігаючого потоку. Проміжний шар, який відірвався слідує за цією течією, утворює вихори, що обертаються в протилежні сторони, (рис.1.3б). Рідина, що обертається у вихорі, рухається швидше ніж рідина в стаціонарному потоці (рис.1.3а). Тому в задній частині обтічного тіла, де утворилися вихори, тиск стає меншим, ніж у передній. Різниця тисків попереду і позаду рухомого тіла і створює опір руху тіла. У підсумку із збільшенням швидкості сила опору зростає нелінійно [2].

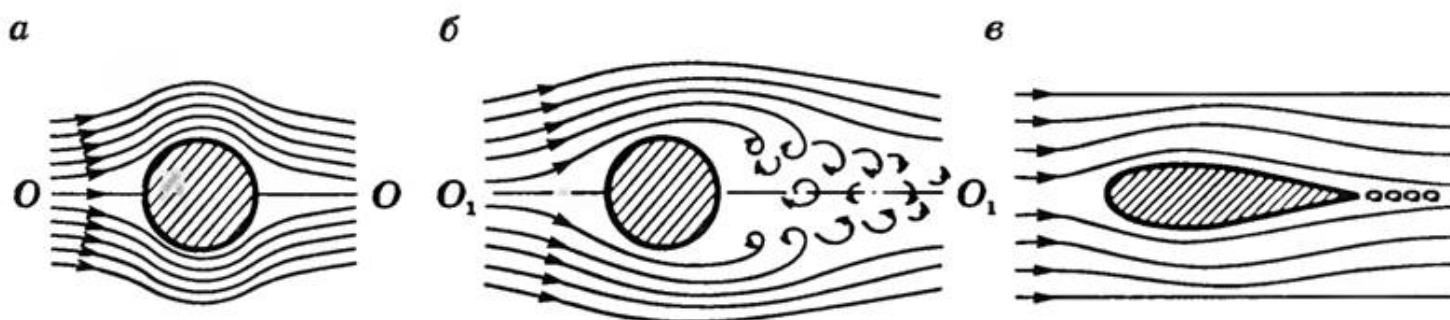


Рисунок 1.3 – Вихори, гальмуючі рух, які з'являються при збільшенні швидкості руху тіла в рідині

Сила опору залежить від форми тіла. Надання тілу спеціально розрахованої обтічної форми істотно зменшує силу опору, так як в цьому випадку рідина всюди прилягає до його поверхні і не завихрюється позаду нього (рис.1.3в) [2].

1.1.2 Рух твердих частинок у нев'язкій рідині

При русі твердих частинок у нев'язкій рідині на нього діють гідродинамічні сили тиску. Нехай тверде тіло рухається з постійною швидкістю \vec{v}_0 в нев'язкій безмежній рідині. Щоб спростити рішення задачі, слід використати принцип обернення руху. Тоді тіло буде представлятися нерухомим, а рідина - натікаючою на нього зі швидкістю \vec{v}_0 . У кожній точці потоку швидкість з часом змінюватиметься вже не буде, тобто рух рідини стане сталим. У силу умови плавного обтікання поверхнею тіла є поверхня потоку, що складається із сукупності ліній потоку, до кожної з яких можна застосувати інтеграл Бернуллі. Оскільки розглядаємо безмежну рідину, гідростатичним тиском цікавитися не будемо і розглянемо розподіл надлишкового тиску по відношенню до гідростатичного [2].

Тоді для точки, розміщеної далеко перед тілом, де на потік не впливає присутність тіла, швидкість рівна \vec{v}_0 , а тиск - p_0 , а для точки на поверхні тіла, де швидкість рівна \vec{v}_1 , а тиск - p_1 маємо:

$$p_0 + \frac{1}{2} \rho v_0^2 = p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 \quad (1.3)$$

Звідси тиск в довільній точці поверхні тіла:

$$p_1 = p_0 + \left(1 - \frac{v_1^2}{v_0^2}\right) \frac{\rho v_0^2}{2}; \text{ або } p_1 - p_0 = c_p \frac{\rho v_0^2}{2} \quad (1.4)$$

Величину $\rho v_0^2 / 2$ називають швидкісним напором. Величина c_p називають коефіцієнтом тиску. Зручність використання цього коефіцієнта полягає в тому, що він не залежить від виду рідини, а отже, епюра c_p визначається лише формою тіла. Це значить, що її можна отримати, моделюючи обтікання тіла водою обтіканням

його повітряним потоком в аеродинамічній трубі, що зазвичай технічно простіше і точніше [2].

1.1.3 Рух твердих частинок у в'язкій рідині

У в'язкій рідині до сили тиску додаються сили, які обумовлені дотичними напруженнями, які можна представити у вигляді:

$$\tau = \tau_0 / \vec{l}, \quad (1.5)$$

де \vec{l} – вектор дотичної до елементарної площі dS на поверхні тіла. Тоді головний вектор гідродинамічних сил, які діють на поверхню S тіла, яке рухається у в'язкій рідині:

$$\vec{R} = -\int sp\vec{n}dS + \int s\tau_0\vec{l}dS \quad (1.6)$$

Розподіл тиску по поверхні тіла зручно виражати через безрозмірний коефіцієнт тиску і швидкісний напір $\rho v_0^2 / 2$ відповідно до рівняння (1.4). Вводиться поняття коефіцієнта місцевого тертя, який також є безрозмірною величиною:

$$c_\tau = \frac{\tau_0}{\rho v_0^2 / 2} \quad (1.7)$$

Позначивши через S_0 деяку характерну площу, формулу (1.7) можна записати у вигляді:

$$\vec{R} = \frac{\rho v_0^2}{2} S_0 \left(-\int Sc_p \vec{n} \frac{dS}{S_0} + \int Sc_\tau \vec{l} \frac{dS}{S_0} \right), \quad (1.8)$$

де множник $\frac{1}{2} \rho v_0^2 S_0$ має розмірність сили, а безрозмірний векторний вираз в

дужках називається коефіцієнтом гідродинамічної сили:

$$\vec{c}R = -\int S c_p \vec{n} \frac{dS}{S_0} + \int S c_\tau \vec{l} \frac{dS}{S_0} = \vec{c}R_p + \vec{c}R_\tau, \quad (1.9)$$

де $\vec{c}R_p$ – коефіцієнт тиску, $\vec{c}R_\tau$ – коефіцієнт тертя.

В результаті структурний вираз для гідродинамічної сили, яка діє на тіло запишемо у вигляді:

$$\vec{R} = \vec{c}R \frac{\rho v_0^2}{2} S_0 \quad (1.10)$$

В більшості випадків гідродинамічний розрахунок або експеримент зводяться до визначення безрозмірного коефіцієнту $\vec{c}R$ [2].

1.1.4 Рівноприскорений рух тіла в рідині

Якщо період встановлення набагато більший часу експерименту $\tau \gg t$, відношення t/τ мало ($t/\tau \ll 1$), достатньо обмежитися розкладанням експонентів трьома першими членами:

$$x(t) \approx Ut - U\tau \left(1 - 1 + \frac{t}{\tau} - \frac{t^2}{2\tau^2} \right). \quad (1.11)$$

Підставивши $U = g_p \tau$ і привівши подібні, отримаємо:

$$x(t) \approx Ut - U\tau \left(\frac{t}{\tau} - \frac{t^2}{2\tau^2} \right) = \frac{Ut^2}{2\tau} = \frac{g_p t^2}{2} \Rightarrow x(t) \approx \frac{g_p t^2}{2}. \quad (1.12)$$

Тоді прискорення тіла:

$$a(t) = \frac{d^2 x}{dt^2} \approx g_p. \quad (1.13)$$

Тіло рухається рівноприскорено. Такий рух спостерігається, якщо період встановлення багато більше часу експерименту $\tau \gg t$. Із зв'язку періоду встановлення з в'язкістю і масою:

$$\tau = \frac{2\rho_T R^2}{9\eta} = \frac{1}{3 \cdot (6\pi^2)^{1/3}} \rho_T^{1/3} \frac{m^{2/3}}{\eta}. \quad (1.14)$$

Слід, що такий рух може бути реалізовано або в середовищі з малою в'язкістю ($\eta \rightarrow 0$), або для тіл великої маси. Тоді кажуть, що опором середовища можна знехтувати. Якщо $\rho_p \ll \rho_T$, то тіло рухається з прискоренням близьким до прискорення вільного падіння $g_p \rightarrow g$ (сила Архімеда досить мала) [2].

1.1.5 Прискорений рух тіла в рідині

Якщо період встановлення більший часу експерименту $\tau > t$, відношення t/τ мале, але $t/\tau < 1$, недостатньо взяти в розкладанні експоненти три члена:

$$x(t) \approx Ut - U\tau \left(1 - 1 + \frac{t}{\tau} - \frac{t^2}{2\tau^2} + \frac{t^3}{3!\tau^2} - \frac{t^4}{4!\tau^2} + \dots \right). \quad (1.15)$$

Підставивши $U = g_p \tau$ і привівши подібні, отримаємо:

$$\begin{aligned} x(t) &\approx Ut - U\tau \left(\frac{t}{\tau} - \frac{t^2}{2\tau^2} + \frac{t^3}{3!\tau^2} - \frac{t^4}{4!\tau^2} + \dots \right) = \frac{Ut^2}{2\tau} - \frac{Ut^3}{3!\tau} + \frac{Ut^4}{4!\tau} - \dots = \\ &= \frac{g_p t^2}{2} - \frac{g_p t^3}{3!\tau} + \frac{g_p t^4}{4!\tau^2} - \dots \Rightarrow x(t) = g_p \left(\frac{t^2}{2} - \frac{t^3}{3!\tau} + \frac{t^4}{4!\tau^2} - \dots \right). \end{aligned} \quad (1.16)$$

Тоді прискорення тіла:

$$a(t) = \frac{d^2 x}{dt^2} = g_p \left(1 - \frac{t}{\tau} + \frac{t^2}{2\tau^2} \dots \right). \quad (1.17)$$

Тіло рухається прискорено. Прискорення тіла залежить від часу. Так як період встановлення, хоча і не дуже великий, але більше часу експерименту $\tau > t$, прискорення тіла поступово зменшується. Швидкість зменшення прискорення залежить від відношення t/τ . У зв'язку з періодом встановлення з в'язкістю і масою слідує, що такий рух може бути реалізовано або в середовищі з середньою в'язкістю, або для тіл середньої маси. В цьому випадку опором середовища знехтувати не можна [2].

1.1.6 Рівномірний рух твердих частинок в рідині

Якщо період встановлення менший часу експерименту $\tau \ll t$, в розкладанні в ряд експоненти неможливо відкинути будь-які члени (так як t/τ не являється малою величиною: $t/\tau > 1$). Навпаки, при $\tau \ll t$, експонента $e^{-t/\tau}$ становиться малою у порівнянні з одиницею:

$$x(t) = Ut - U\tau(1 - e^{-t/\tau}) \approx Ut - U\tau. \quad (1.18)$$

Тоді швидкість тіла:

$$v(t) = \frac{dx}{dt} \approx U. \quad (1.19)$$

А прискорення:

$$\alpha(t) = \frac{d^2x}{dt^2} \approx 0. \quad (1.20)$$

Отримане рівняння описує рух тіла з постійною швидкістю U . Такий рух буде спостерігатися тільки через деякий час, порядку $5-10\tau$, коли швидкість тіла досягне U (кажуть, що рух «встановився»). Такий рух може бути реалізований або в середовищі з великою в'язкістю, або для тіл малої маси. Опір середовища дозволяє компенсувати дію сили тяжіння [3].

1.2 Траєкторія руху твердих частинок в полімерному розплаві у програмному комплексі Ansys Fluent

1.2.1 Інтеграція рівняння руху частинок

ANSYS FLUENT прогнозує траєкторію дискретної фазової частинки, інтегруючи силовий баланс на частинку, що записано в Лагранжевій системі відліку. Цей баланс сили прирівнює інерцію частки з силами, що діють на частинку, і може бути записана (для напрямку X у декартових координатах), як

$$\frac{du_p}{dt} = F_D (u - u_p) + \frac{g_x (\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_x, \quad (1.21)$$

де F_x є додатковим терміном прискорення (сила / одиниця частинок), $F_D (u - u_p)$ - сила тяжіння на одиницю маси частинок :

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2} (u - u_p) \cdot \frac{C_D \text{Re}}{24} \quad (1.22)$$

Тут u - швидка фазова швидкість, u_p - швидкість частинки, μ - молекулярна в'язкість рідини, ρ - щільність рідини, ρ_p - щільність частинки, а d_p - діаметр частинок. Re - відносний номер Рейнольдса, який визначається як:

$$\text{Re} \equiv \frac{\rho d_p |u_p - u|}{\mu} \quad (1.23)$$

1.2.2 Турбулентна дисперсія частинок

Дисперсія часток через турбулентність у рідкій фазі може бути передбачена за допомогою моделі стохастичного відстеження або моделі хмари частинок. Моделі

стохастичного стеження включають в себе ефект миттєвих флуктуацій турбулентної швидкості на траєкторіях часток за допомогою стохастичних методів.

Модель хмарності частинок відстежує статистичну еволюцію хмарних частинок про середню траєкторію. Концентрація частинок в середині хмари представлена функцією густини ймовірності гаусів про середню траєкторію. Для стохастичного відстеження існує модель для обліку генерації або розсіювання турбулентності у безперервній фазі [4].

Відстеження хмарності частинок. Турбулентна дисперсія частинок про середню траєкторію обчислюється статистичними методами. Концентрація частинок про середню траєкторію представлена функцією густини ймовірності Гаусу, дисперсія якої базується на ступені дисперсії частинок внаслідок турбулентних флуктуацій. Середня траєкторія отримується шляхом рішення усереднених рівнянь руху для всіх частинок, представлених хмарою [4].

Хмара надходить до домену або як точне джерело, або з початковим діаметром. Хмара розширюється через турбулентну дисперсію, оскільки вона транспортується через домен, поки вона не виходить. Як згадувалося раніше, розподіл частинок у хмарі визначається функцією щільності ймовірності (PDF), виходячи з положення відносно хмарного центру. Значення PDF представляємо вірність виявлення часток, представлених цією хмарою, з часом перебування t у місці x_i у полі потоку. Середня щільність чисел частинок може бути отримана шляхом загальної швидкості потоку частинок, що представлені тією хмарою, m , як:

$$\langle n(x_i) \rangle = mP(x_i, t) \quad (1.24)$$

Функції щільності ймовірності передбачаються багатовимірними Гаусса. Вони повністю описуються їх середнім, μ_i та дисперсією, σ_i^2 , і мають форму:

$$P(x_i, t) = \frac{1}{(2\pi)^{2/3} \prod_{i=1}^3 \sigma_i} e^{-s/2}, \quad (1.25)$$

де:

$$s = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{x_i - \mu_i}{\sigma_i} \right)^2 \quad (1.26)$$

Значення PDF або центру хмари в певний момент часу є найбільш імовірним місцем розташування частинок у хмарі. Середнє розташування отримано шляхом інтеграції швидкості частки, визначеної рівнянням руху для хмари частинок:

$$\mu_i(t) \equiv \langle x_i(t) \rangle = \int_0^t \langle V_i(t_1) \rangle dt_1 + \langle x(0) \rangle \quad (1.27)$$

Рівня траєкторії та будь-які допоміжні рівняння, що описують передачу маси до/з частки, вирішуються поетапною інтеграцією за дискретними етапами часу. Інтеграція часу в рівняння 1.21 дає швидкість частки в кожній точці уздовж траєкторії, з самою траєкторією, передбаченою:

$$\frac{dx}{dt} = U_p \quad (1.28)$$

Рівняння 1.21 та рівняння 1.28 являють собою набір пов'язаних звичайних диференціальних рівнянь, а рівняння 1.21 можна подати у наступну загальну форму:

$$\frac{dU_p}{dt} = \frac{1}{\tau_p} (u - u_p) + \alpha, \quad (1.29)$$

де термін α включає прискорення через всі інші сили, крім сили тяжіння.

Ці рівняння можна вирішити за постійних u , α та τ_p за допомогою аналітичної інтеграції. Для швидкості частинки в новому місці u_p^{n+1} ми отримуємо:

$$u_p^{n+1} = u^n + e^{-\frac{\Delta t}{\tau_p}} (u_p^n - u^n) - \alpha \tau_p \left(e^{-\frac{\Delta t}{\tau_p}} - 1 \right) \quad (1.30)$$

Нове розташування x_p^{n+1} можна обчислити з подібних відносин:

$$x_p^{n+1} = x_p^n + \Delta t (u^n + \alpha \tau_p) + \tau_p \left(1 - e^{-\frac{\Delta t}{\tau_p}} \right) (u_p^n - u^n - \alpha \tau_p) \quad (1.31)$$

У цих рівняннях u_p^n і u^n представляють швидкості частоти та швидкі потоки у старому розташуванні. Рівняння 1.30 та 1.31 застосовуються при використанні схеми аналітичної дискретизації [4].

1.2.3 Теоретична модель Wall-Jet

Напрямок і швидкість частинок задаються результуючою швидкістю потоку імпульсів, що є функцією кута падіння, φ і числа Вебера. Див. Рис. 1.4

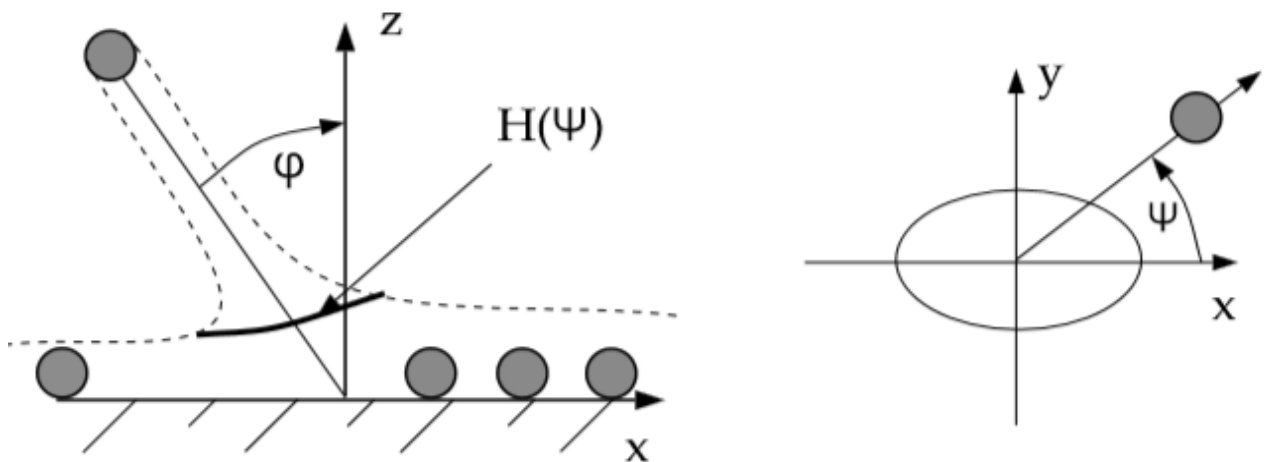


Рисунок 1.4 – Гранична умова для дискретної фази

Рівняння 1.32 показує аналітичний розв'язок для осесиметричного поглинання, припускаючи, що емпірична функція для висоти (H) залежить від кута, коли частинка залишає поглинання (Ψ) [4].

$$H(\psi) = H_{\pi} e^{\beta(1-\frac{\psi}{\pi})}, \quad (1.32)$$

де H_{π} - висота аркуша в $\psi = \pi$, а β - константа, визначена за збереженням маси та імпульсу. Імовірність того, що частинка залишає точку падіння під кутом між ψ та $\psi = \delta\psi$, дається шляхом інтегрування виразу для $H(\psi)$:

$$\psi = -\frac{\pi}{\beta} \ln \left[1 - P(1 - e^{-\beta}) \right], \quad (1.33)$$

де P - випадкове число від 0 до 1.

$$\sin(\varphi) = \frac{e^{\beta} + 1}{(e^{\beta} - 1) \left(1 + \left(\frac{\pi}{\beta} \right)^2 \right)} \quad (1.34)$$

Підсумовуючи, варто зазначити, що на основі вище переглянутих матеріалів можна створити математичну модель процесу руху твердих частинок в полімерному розплаві, що значно пришвидшить експериментально-моделювальний процес, на основі якого отримати порівняльний аналіз.

1.3 Патентний огляд

Найбільш повно питання створення, виготовлення та застосування інтелектуальних полімерних композиційних матеріалів розглянуто у праці [5]. В дослідному підручнику [6] проводиться загальне порівняння полімерних композицій без інтелектуальних датчиків та з ними, роблячи висновки про можливість їх застосування у різних сферах.

У дослідженнях [7,8] розглядається створення інтелектуальних полімерних систем на базі електроактивних датчиків, які дозволяють контролювати дію

зовнішніх факторів на виріб, зокрема тиску, деформації, температури, тощо. Це дозволяє здійснювати моніторинг відповідальних деталей та вузлів в режимі реального часу.

В роботах [9,10] розглядається можливість використання інтелектуальних полімерних матеріалів у медицині, зокрема, для таких високовідповідальних застосувань, як протезування суглобів, штучні кардіоклапани та ін.

Наукова книга [11] присвячена застосуванню інтелектуальних полімерних матеріалів у хімічній промисловості та медицині, розглядаються особливості їх використання та застосування. За допомогою інтелектуальних датчиків можна здійснювати неруйнівний контроль і за якістю деяких процесів формування, наприклад, термоусадки з'єднувальних муфт з пам'яттю форми [12]. Автор розглядає можливість застосування інтелектуальних полімерних композицій для космічних апаратів, що дозволять покращити їх експлуатаційні характеристики.

Проте, автори вищезгаданих робіт приділяють значну увагу лише особливостям застосування готових виробів зовсім не зупиняючись на технології виробництва таких виробів. Таким чином, питання технології введення інтелектуальних датчиків у розплав полімерного композиційного матеріалу є недостатньо вивченим.

В основу патенту [13] поставлена задача вдосконалення екструзійної головки шляхом утворення каналу подачі домішок, які забезпечують зменшення тертя між розплавом та поверхнями каналу і зменшення гідравлічного опору та енергоємності процесу формування полімерних виробів. Поставлена задача вирішується тим, що в екструзійній головці, що містить корпус з внутрішніми поверхнями, які утворюють канал для протікання розплаву, новим є те, що в корпусі додатково виконано принаймні один канал, що з'єднує його зовнішню поверхню з каналом для протікання розплаву.

Завдяки наявності додаткових каналів (рис. 1.5) на поверхню каналу для протікання розплаву можна подавати домішки, що зменшують тертя між розплавом та внутрішньою поверхнею корпусу. Це сприяє зменшенню гідравлічного опору головки і енергетичних витрат на продавлювання розплаву

крізь неї, запобігає утворенню застійних зон, нагару на поверхнях каналу та виникненню дефектів на поверхні виробів.

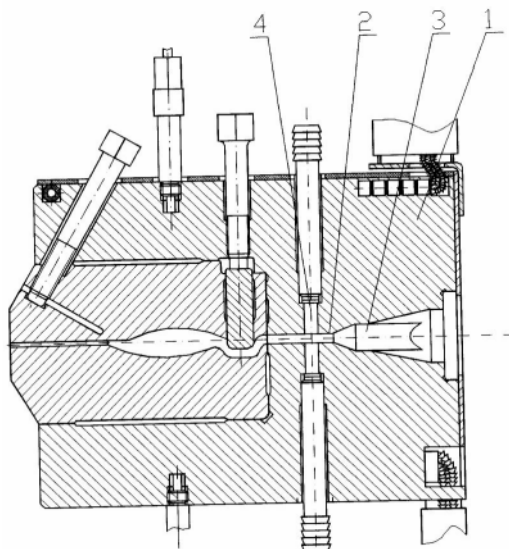


Рисунок 1.5 – Екструзійна головка

В основу корисної моделі [14] поставлена задача вдосконалення кільцевої головки шляхом введення у внутрішню частину стінки труби інтелектуальних датчиків, що дозволить при подальшій експлуатації труб контролювати їх напружено-деформований стан та цим самим своєчасно запобігати руйнуванню.

Поставлена задача вирішується тим, що в кільцевій екструзійній головці (рис. 1.6), що містить корпус та дорн, встановлений на дорнотримачі, утворюючи формуючий канал для протікання полімеру, новим є те, що принаймні один дорнотримач оснащено щонайменше одним пристроєм додаткового живлення з каналом, вихідний отвір якого направлений в напрямку вихідного формуючого каналу. Вихідний отвір каналу пристрою додаткового живлення може бути оснащено зворотним клапаном. Пристрій додаткового живлення може бути виконано з можливістю регулювання розміщення вихідного отвору по висоті формуючого каналу.

Перераховані вище ознаки складають суть корисної моделі.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями Фіг. 1, Фіг. 2, Фіг. 3 та Фіг. 4, на яких зображено приклад конструктивного виконання головки. На Фіг. 2 показано розріз А-А Фіг. 1, на Фіг. 3, вид Б - окремо винесено дорнотримач, який

дооснащено зворотним клапаном, а на Фіг. 4, вид Б', той же дорнотримач, оснащений зворотним клапаном, але вже із можливістю регулювання розміщення вихідного отвору по висоті формуючого каналу.

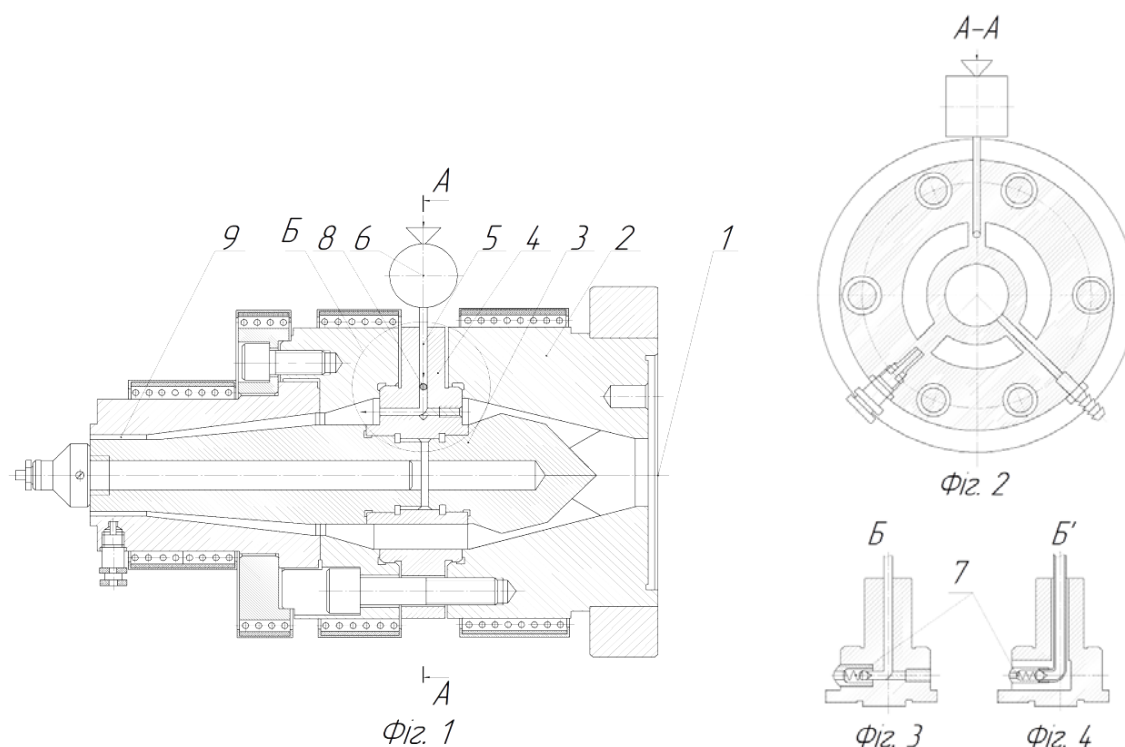


Рисунок 1.6 – Кільцева екструзійна головка

Екструзійна головка [15] містить канал для протікання розплаву з щонайменше одним додатковим каналом, який оснащено вузлом додаткового живлення з дозувально-завантажувальним пристроєм. Вузол додаткового живлення виконаний у вигляді черв'ячного пластикатора, а дозувально-завантажувальний пристрій виконаний у вигляді циліндра зі штоком, який виконаний з можливістю зворотно-поступального переміщення.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення конструкції екструзійної головки шляхом спорядження її пристроєм для автоматизованого введення ІД у внутрішню частину профільного полімерного виробу, що дозволить при подальшій їх експлуатації контролювати напружено-деформований стан виробу та цим самим своєчасно запобігати його руйнуванню. Поставлена задача вирішується тим, що в екструзійній головці (рис. 1.7), що містить канал для

протікання розплаву з щонайменше одним додатковим каналом, який оснащено вузлом додаткового живлення з дозувально-завантажувальним пристроєм, новим є те, що вузол додаткового живлення виконаний у вигляді черв'ячного пластикатора, а дозувально-завантажувальний пристрій виконаний у вигляді циліндра зі штоком, який виконаний з можливістю зворотно-поступального переміщення. Дозувально-завантажувальний пристрій містить пару гвинт-гайка і під'єднаний до валу двигуна.

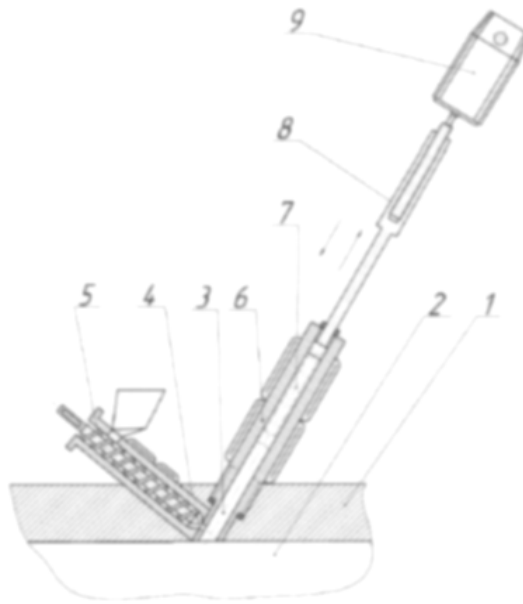


Рисунок 1.7 – Екструзійна головка

У патенті [16] описується спосіб виготовлення полімерних виробів пластмасових виробів із закладними деталями, переважно методом лиття під тиском, який включає замикання прес-форми, упорскування або інжекцію розплаву полімеру в формуючу порожнину прес-форми за допомогою інжекційного механізму, витримку розплаву полімеру під тиском, охолодження, розкриття прес-форми та виймання чи виштовхування полімерної відливки, при цьому прес-форму виконують у складі формоутворювальних елементів, пристроїв для введення закладних деталей у рідку полімерну матрицю, на базі якої формують пластмасовий виріб, а пристрої для введення закладних деталей виконують з можливістю забезпечення за допомогою привода зворотно-поступального руху відносно формоутворювальних елементів та з можливістю завантаження, закріплення та подальшого відокремлення закладної деталі, причому пристрої для введення

закладних деталей у рідку полімерну матрицю виконують у вигляді інжекційного механізму, який забезпечують зворотним клапаном, інжекцію суміші розплаву полімеру у формуючу порожнину прес-форми здійснюють разом із закладними деталями, а глибину проникнення суміші розплаву полімеру із закладними деталями в задану зону формуючої порожнини визначають, регулюючи швидкість переміщення плунжера і перепад тиску між робочою камерою плунжера та формуючою порожниною прес-форми.

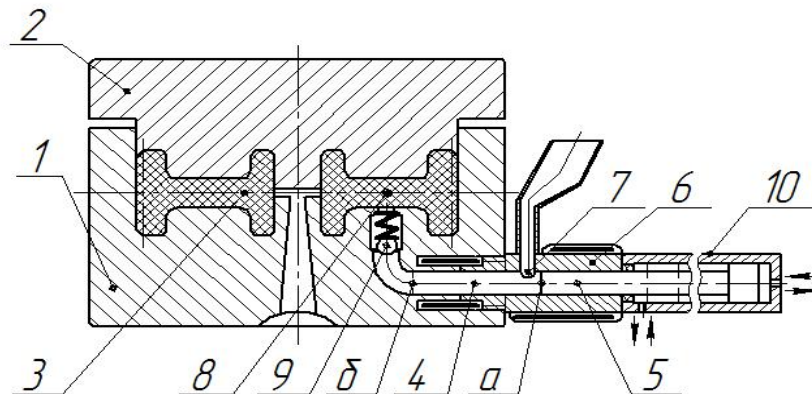


Рисунок 1.8 – Прес-форма для виготовлення пластмасових виробів із закладними деталями

Профільна екструзійна головка [17] містить формуючу ділянку з каналом для протікання розплаву. Формуючу ділянку оснащено щонайменше одним додатковим каналом, вихідний отвір якого направлений в напрямку формуючої ділянки, а вхідний отвір оснащено вузлом додаткового живлення з дозувально-завантажувальним пристроєм.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення профільної головки (рис. 1.9) шляхом спорядження її пристроєм для введення у внутрішню частину профілю інтелектуальних датчиків, що дозволить при подальшій їх експлуатації контролювати напружено-деформований стан та цим самим своєчасно запобігати руйнуванню. Поставлена задача вирішується тим, що в профільній екструзійній головці, яка містить формуючу ділянку з каналом для протікання розплаву, новим є те, що формуючу ділянку оснащено щонайменше одним додатковим каналом, вихідний отвір якого направлений в напрямку формуючої

ділянки, а вхідний отвір оснащено вузлом додаткового живлення з дозувально-завантажувальним пристроєм. Додатковий канал виконано під кутом меншим 90° до напрямку течії розплаву в формуючій ділянці.

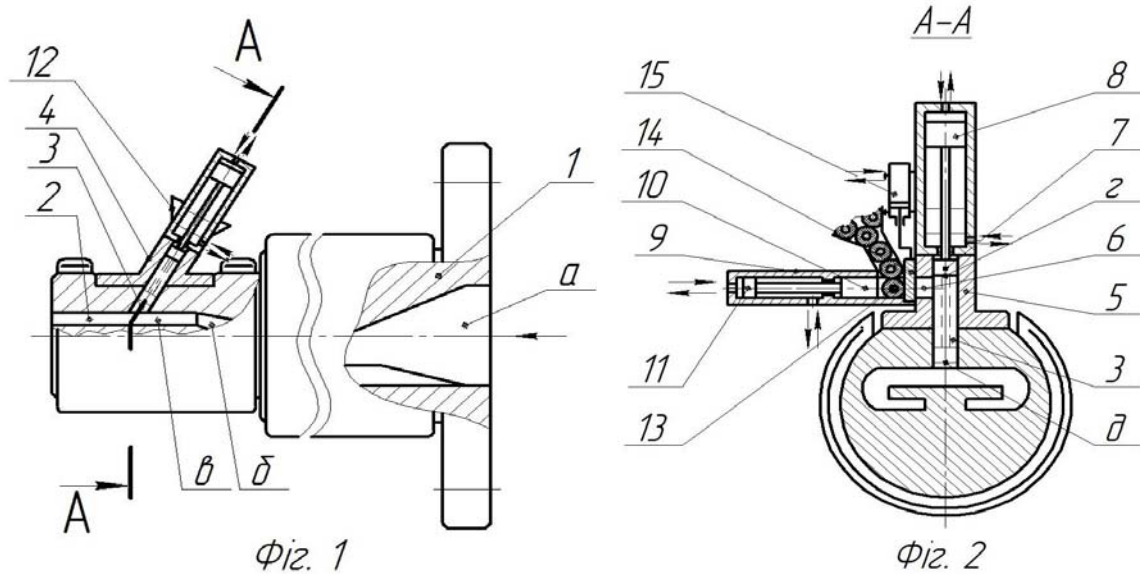


Рисунок 1.9 – Профільна екструзій на головка

Розглянуті технічні рішення дозволяють вдосконалити базову профільну головку. Формуючу ділянку оснастити додатковим каналом, вихідний отвір якого направлений в напрямку формуючої ділянки, що дозволить вводити полімерну суміш з інтелектуальними датчиками у виріб.

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ

2.1 Математична модель ізотермічного змішування двох потоків не ньютонівської рідини

Математичну модель ізотермічного змішування двох ламінарних потоків не ньютонівської рідини можна записати системою рівнянь, яка включає рівняння нерозривності, записаного для нестисливого середовища, нестационарне рівняння збереження кількості руху [18]:

$$\begin{cases} \nabla \cdot \mathbf{v} = 0; \\ \rho \left[\frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v} \right] = -\nabla p + \nabla \cdot \bar{\bar{\tau}}, \end{cases} \quad (2.1)$$

де ∇ – оператор Гамільтона, м^{-1} ; \mathbf{v} – вектор швидкості, м/с ; t – час, с ; ρ – густина, кг/м^3 ; p – зовнішній гідростатичний тиск, Па ; $\bar{\bar{\tau}} = 2\eta(\dot{\gamma})\dot{D}$ – тензором в'язких напружень другого рангу, Па ; $\dot{D} = \frac{1}{2}(\nabla\mathbf{v} + \mathbf{v}\nabla)$ – тензор швидкості деформації, с^{-1} ; $\eta(\dot{\gamma})$ – в'язкість рідини як функція другого інваріанта $\dot{\gamma}$ від \dot{D} , $\text{Па}\cdot\text{с}$; $\dot{\gamma} = \sqrt{\frac{1}{2}\dot{D}:\dot{D}}$ – другий інваріант від \dot{D} , с^{-1} ; $\bar{\bar{\tau}}:\nabla\mathbf{v}$ – член, що відповідає дисипації механічної енергії, Вт/м^3 ; $(:)$ – оператор подвійного скалярного добутку.

Енергетичний закон для в'язкості неньютонівської рідини має вигляд:

$$\eta(\dot{\gamma}) = K(\dot{\gamma})^{n-1} \exp\left(\frac{T_0}{T}\right) \quad (2.2)$$

де K – величина середньої в'язкості рідини, $\text{Па}\cdot\text{с}$; $\dot{\gamma}$ – другий інваріант \dot{D} , с^{-1} ; n – показник ступеня, який визначає клас рідини; T – поточна абсолютна температура рідини, К ; T_0 – абсолютна температура відліку, К .

Траєкторії руху твердих частинок визначаються інтегруванням за псевдо-часовими кроками рівняння балансу сил, що діють на частинку, записаного у Лагранжевій системі відліку.

$$\frac{du_p}{dt} = F_D (u - u_p) + \frac{g(\rho - \rho_p)}{\rho_p} \quad (2.3)$$

де u – вектор швидкості рідкого середовища, м/с; u_p – вектор швидкості твердих частинок м/с; $F_D = \frac{18\mu C_D \text{Re}}{\rho_p d_p^2 24}$ – сила гідравлічного опору, віднесена до одиниці маси частинки, 1/с; C_D – безрозмірний коефіцієнт гідравлічного опору; ρ_p – густина твердих частинок кг/м³, d_p – усереднений діаметр твердих частинок, м; $\text{Re} = \frac{\rho d_p |u_p - u|}{\mu}$ – число Рейнольдса.

За початкові умови системи рівнянь (2.1) приймаються розподіл полів компонент вектора швидкості v_0 і тиску p_0 в момент часу $t = 0$:

$$\begin{cases} v(x, y, z) = v_0; \\ p(x, y, z) = p_0, \end{cases} \quad (2.4)$$

де $(x, y, z) \in \Omega$ – декартові координати, м; Ω – розрахункова область.

Граничні умови для (2.1) включають:

- у вхідному січенні каналів задаються нормальні компоненти швидкості або масові витрати матеріалу:

$$n \cdot v = v_{inlet}(t); \quad \forall G = G_{inlet}(t), \quad (2.5)$$

де n – вектор зовнішньої нормалі до поверхні вхідного січення каналу; v_{inlet}, G_{inlet} – швидкість (м/с) та масова витрата (кг/с) у вхідному січенні каналу, відповідно; \forall – логічне «або»;

- у вихідному січенні каналу – нульовий градієнт тиску

$$n \cdot \nabla p = 0; \quad (2.6)$$

- на поверхнях контакту рідини зі стінками каналу задаються, або пристінні зсувні напруження у формі узагальненого закону Нав'є (граничних умов Нав'є [19], що являють собою рівняння рівноваги сил, які діють на поверхні контакту між двома середовищами), або умови прилипання:

$$\tau_{w \text{ sh str}} = -F_{slip} (v_{wt} - v_{tt}) \forall \mathbf{v} = 0 \quad (2.7)$$

де $\tau_{w \text{ sh str.}} = (\bar{\tau} \cdot n) \cdot t$ – компонента тангенціального напруження у пристінному шарі, Па; n, t – одиничні нормальний і тангенціальний вектори до поверхні каналу; v_w, v_t – вектори результуючої та тангенціальної швидкості на поверхні каналу, м/с; v_{wt}, v_{tt} – тангенціальні компоненти векторів результуючої та тангенціальної швидкості на поверхні каналу, м/с; F_{slip} – коефіцієнт ковзання (тертя) на поверхні каналу, кг/(м²·с).

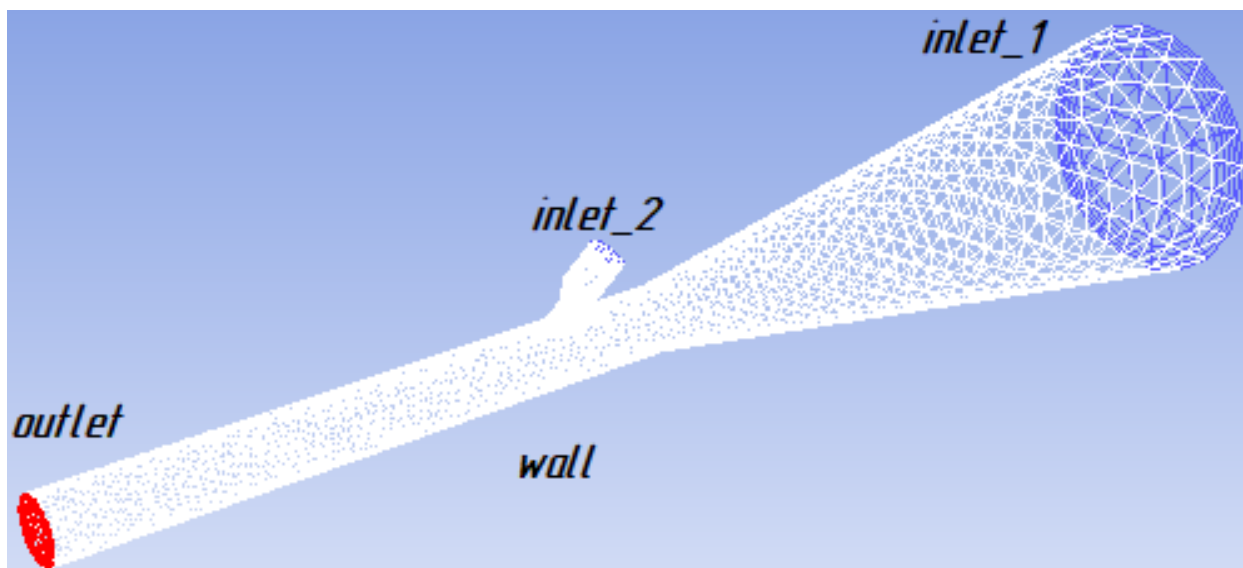


Рисунок 2.1 – Схема задання граничних умов

Граничні умови для руху твердих частинок:

Стінка каналу – умова ковзання;

Вхід у канал – швидкість, яка дорівнює швидкості інжекційного потоку;

Відносно полімеру – прилипання до потоку.

Для числової реалізації сформульованої задачі використано програмний продукт ANSYS Fluent [4], який побудовано на базі методу скінченних об'ємів.

Умови проведення розрахунків

Матеріал – поліетилен низького тиску, поліетилен високого тиску, поліпропілен. Приклад фізичних властивостей для ПЕНТ (для задання у Fluent):

густина 950 кг/м³;

динамічна в'язкість не ньютонівської рідини за енергетичним законом

$$\eta_{\min} < \eta(\dot{\gamma}) = \eta_c \dot{\gamma}^{n-1} < \eta_{\max},$$

де $n = -0,3$; $\eta_c = 40600$ Па·с – середнє значення в'язкості; $\eta_{\min} = 322,5$ Па·с – мінімальне значення в'язкості; $\eta_{\max} = 43707,5$ Па·с – мінімальне значення в'язкості.

У вхідних січеннях каналів задані нормальні швидкості (ГУ (2.5), рис. 2.1). Канал великого перерізу (inlet_1) $v_1 = 0,01$ м/с, канал малого перерізу (inlet_2) $v_1 = 0,5$ м/с.

У вихідному січенні (outlet) задано нульовий градієнт тиску (ГУ (2.6))

На твердих стінках (wall) задано пристінні зсувні напруження (ГУ (2.7)), $\tau_{w \text{ sh str.}} = 5000$ Па.

Підсумовуючи даний розділ можна зробити наступні висновки:

1. Сформульовано граничні та початкові умови для розгляду процесу позиціонованого введення суміші полімеру з ІД.
2. Розглянуто математичні моделі ізотермічного змішування двох ламінарних потоків не ньютонівської рідини; енергетичний закон для в'язкості неньютонівської рідини; траєкторія руху твердих частинок, які визначаються інтегруванням за псевдо-часовими кроками рівняння балансу сил, що діють на частинку, записаного у Лагранжевій системі відліку, проведена їх адаптація для моделювання процесу вживлення частинки у виріб.
3. Встановлено, що представлена математична модель точніше описує процес введення та траєкторію руху твердих частинок в полімерному розплаві, проте її параметри важче піддаються експериментальному визначенню, але моделювання є більш точним.

3 МЕТОДИКА ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Числове моделювання процесу руху частинок у полімерному розплаві було виконано у програмному комплексі «ANSYS» за допомогою програми «Polyflow».

Моделювання проводилося у внутрішньому каналі формуючої головки, у який за допомогою інжекційного механізму вводилися суміш частинок з досліджуваним матеріалом в основний потік, з метою регулювання глибини занурення та відстеження частинок в полімерному розплаві.

Числові експерименти здійснювались при різних кутах нахилу інжекційного механізму, а саме: від 10° до 90° , при цьому змінювались швидкості основного екструзійного потоку і, відповідно, швидкості впорскування суміші частинок з досліджуваним матеріалом, змінювались при цьому і марки полімерних матеріалів.

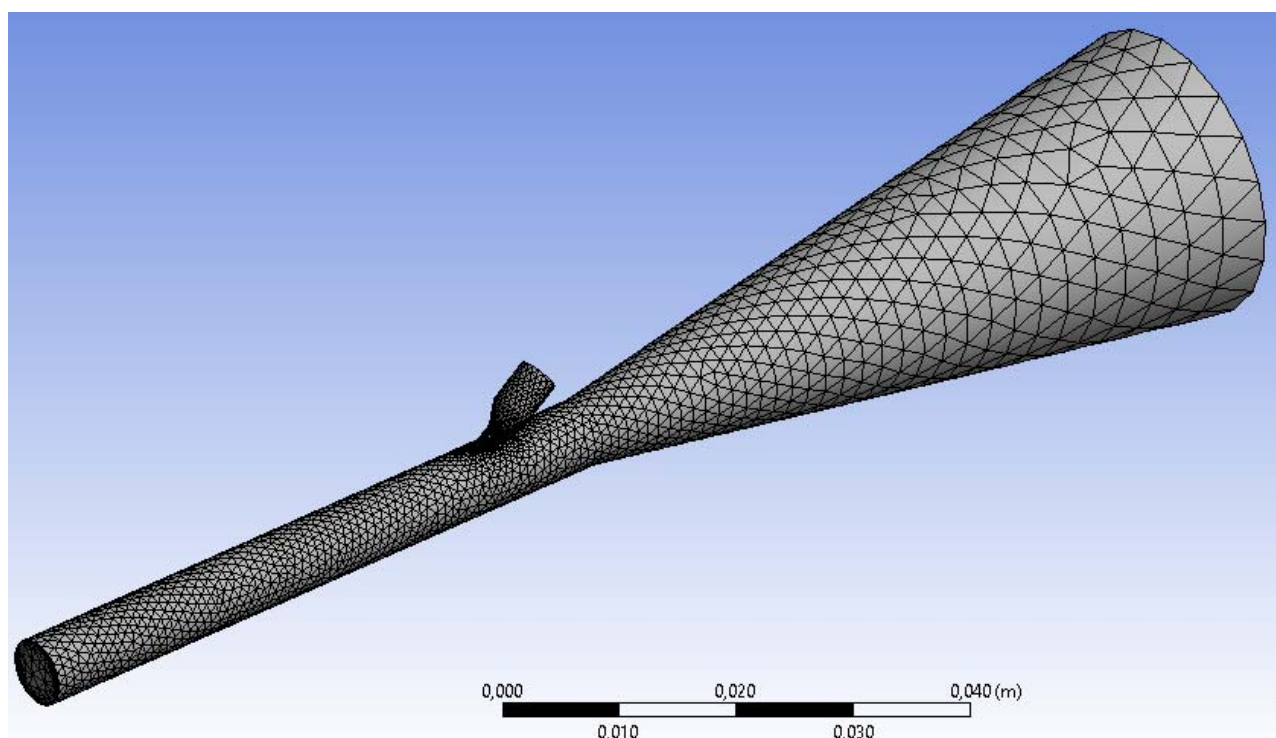


Рисунок 3.1 – Скінченно-елементна модель формуючого каналу

Кількість скінченних елементів, на які необхідно розбити дослідні об'єкти, визначалась порівнянням розрахункових швидкостей полімеру при розрахунках з

різною густиною сітки. Достатньою вважалася кількість скінченних елементів, за якої величини швидкостей відрізнялись від отриманих на сітці меншої густини, не більш ніж на 1%.

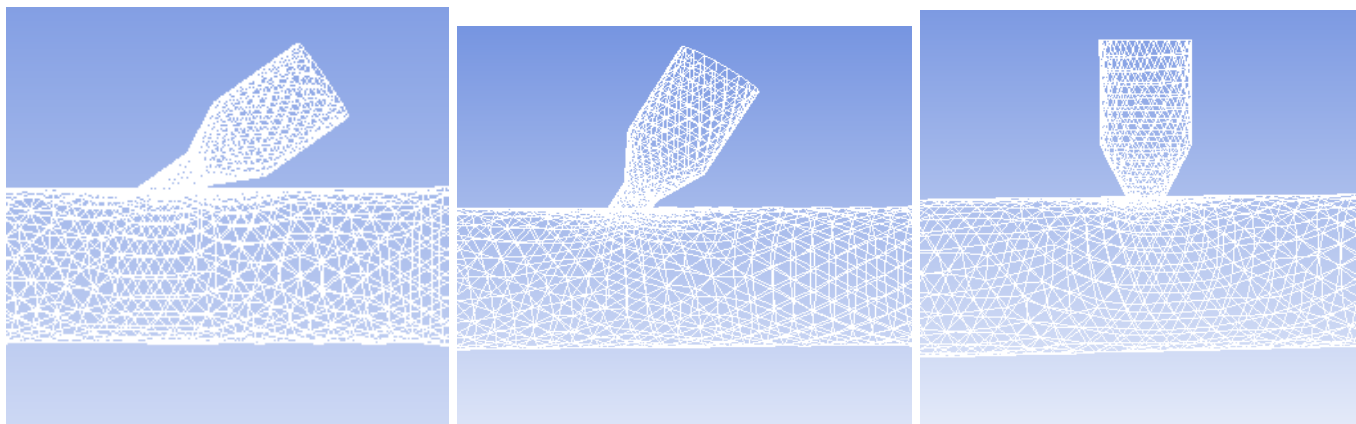


Рисунок 3.2 – Приклад побудови сітки для різних кутів нахилу інжекційного каналу

Під час моделювання встановлено, що найдоцільніший кут нахилу інжекційного механізму становить 35° , оскільки впорскування під більшим кутом нахилу більше, ніж 35° не досягається потрібна глибина занурення частинок.

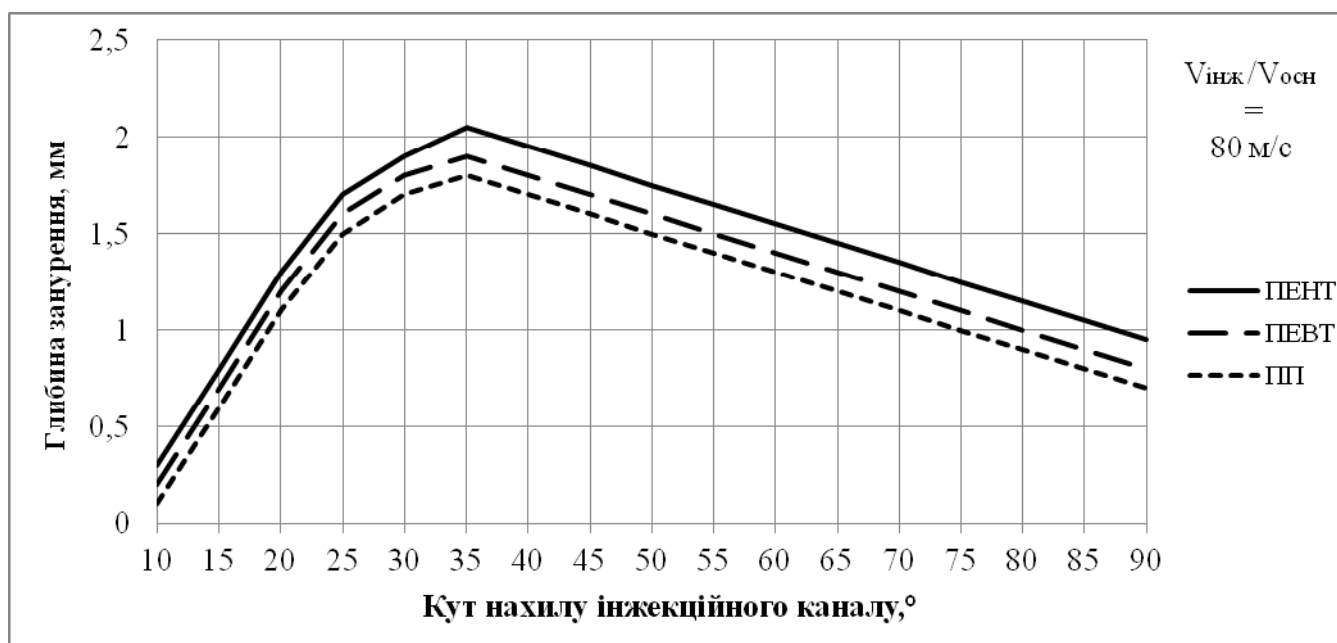


Рисунок 3.3 – Графік усередненої глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу за різних кутів нахилу інжекційного каналу

Знаючи в'язкість або густину полімерних матеріалів, можливо передбачити усереднене занурення частинок вздовж осі. При використанні матеріалів з більшою густиною глибина занурення частинок вздовж осі полімерного матеріалу зменшується лінійно.

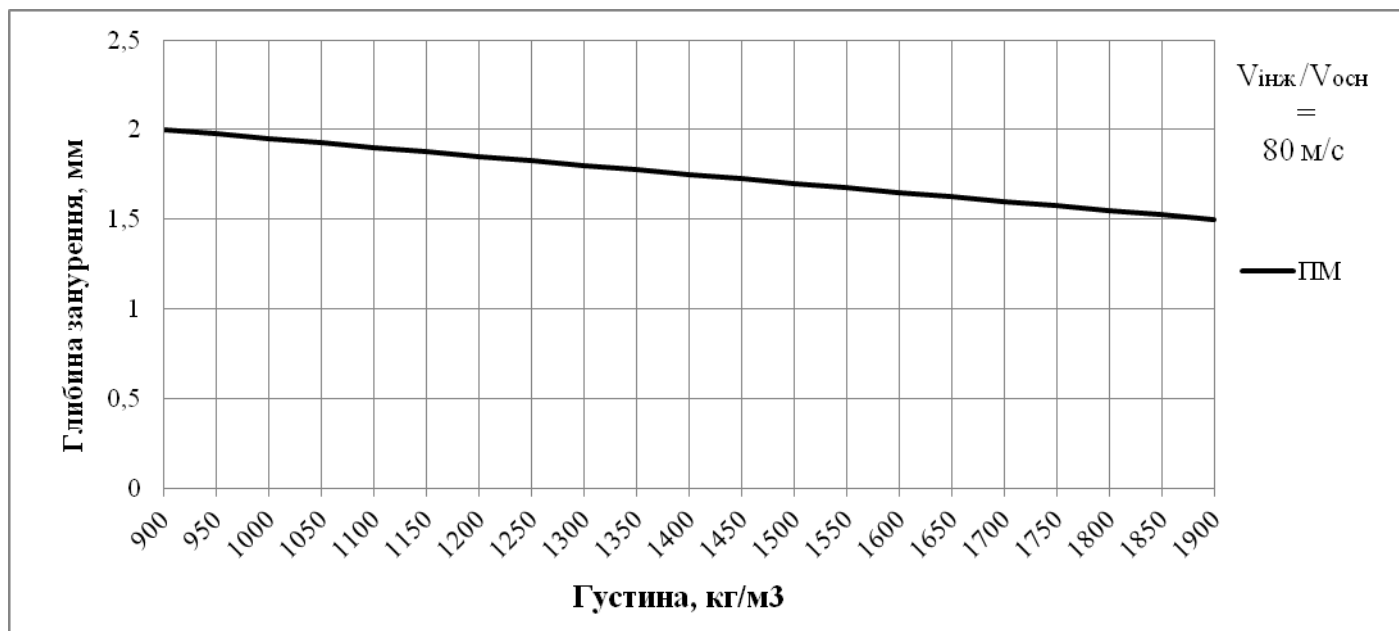


Рисунок 3.4 – Графік усередненої глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу за різної густини ПМ

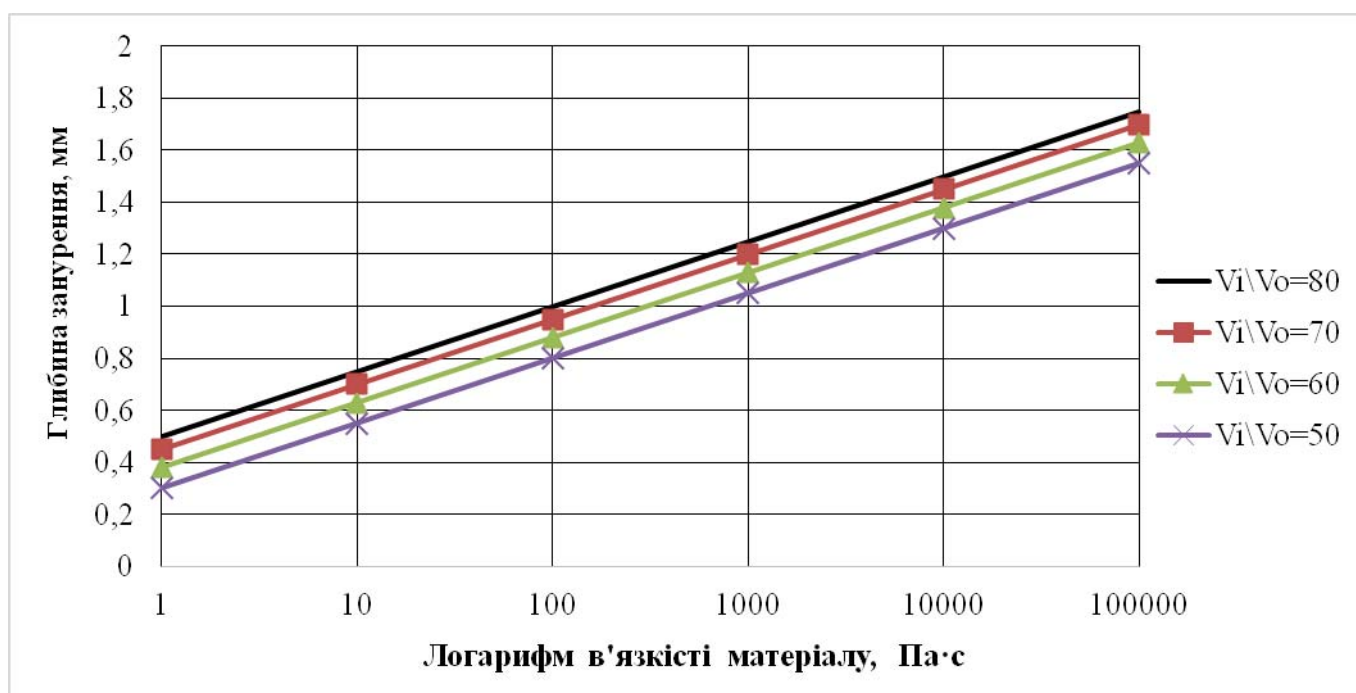


Рисунок 3.5 – Графік усередненої глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу за різної в'язкості ПМ

Як видно з рис. 3.5 використання матеріалів з більшою в'язкістю впливає на глибину занурення частинок вздовж осі формуючого каналу, а саме – глибина занурення ІД лінійно збільшується.

Змінюючи швидкість подачі ПМ в інжекційному каналі або відношення швидкості інжекційного потоку до основного, можливо регулювати глибину занурення частинок для різних видів ПМ в основний потік екструзії.

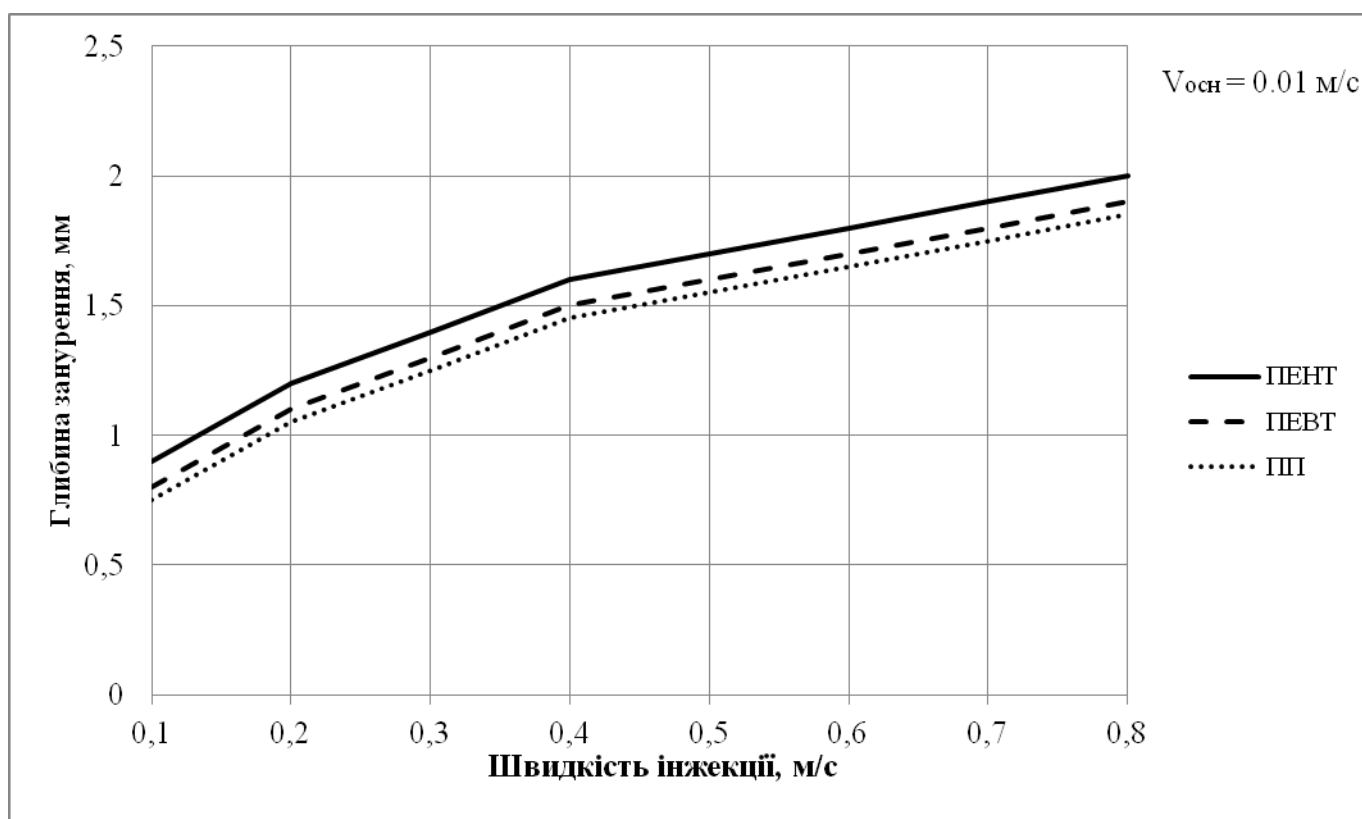


Рисунок 3.6 – Графік усередненої глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу за різних швидкостей подачі ПМ в інжекційному каналі

З рис. 3.6 випливає, що зі збільшенням швидкості подачі ПМ в інжекційному каналі, глибина занурення частинок вздовж осі формуючого каналу збільшується поетапно.

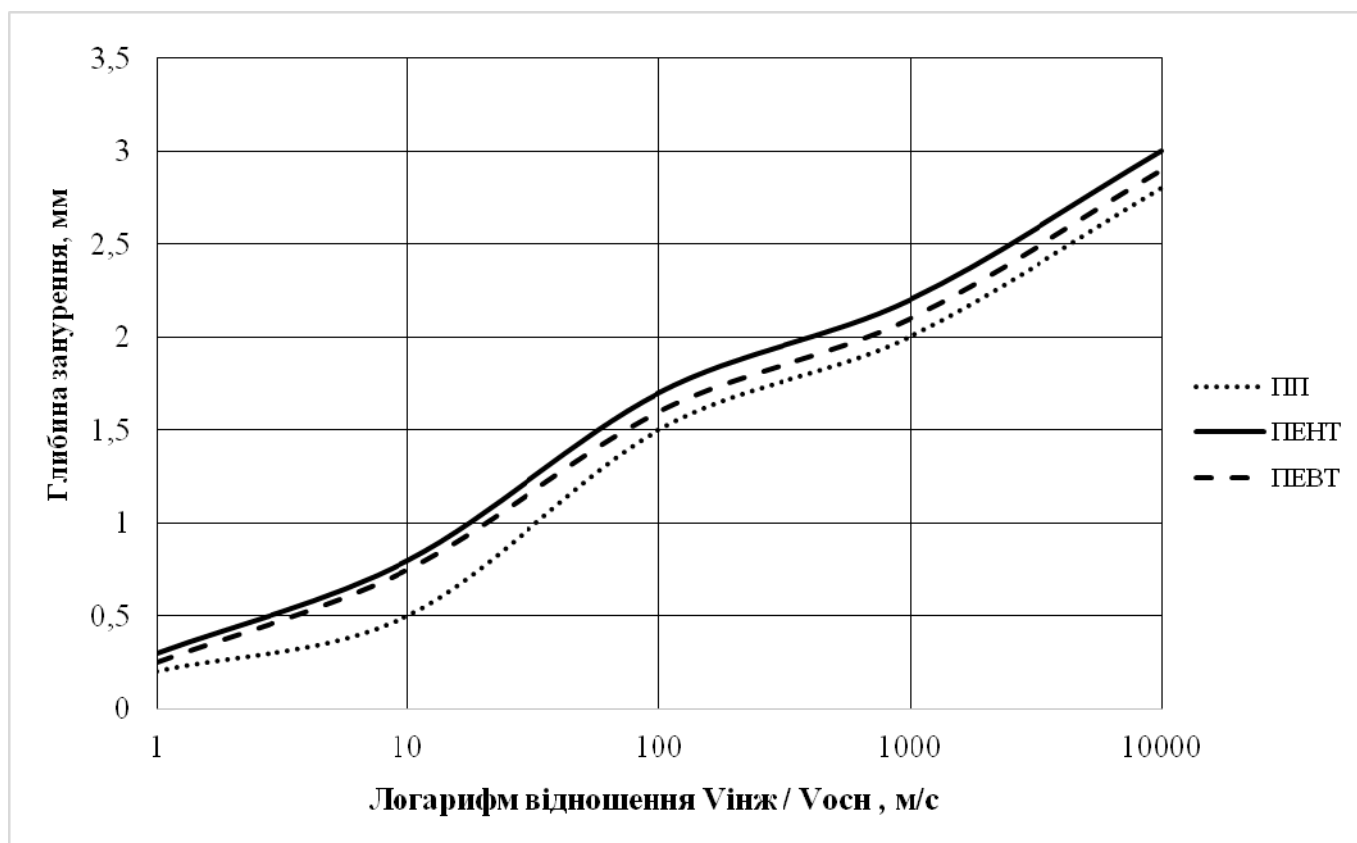


Рисунок 3.7 – Графік усередненої глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу при різних відношеннях швидкості інжекційного потоку до основного

При різних відношеннях швидкості інжекційного потоку до основного, а саме при їх збільшенні спостерігається поступове збільшення глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу, в даному випадку для матеріалів марки ПЕНТ, ПЕВТ, ПП, рис. 3.7.

Приклад розподілу напружень всередині основного екструзійного та інжекційного каналів при різних вхідних швидкостях потоку в інжекційному каналі показано на рис. 3.8.

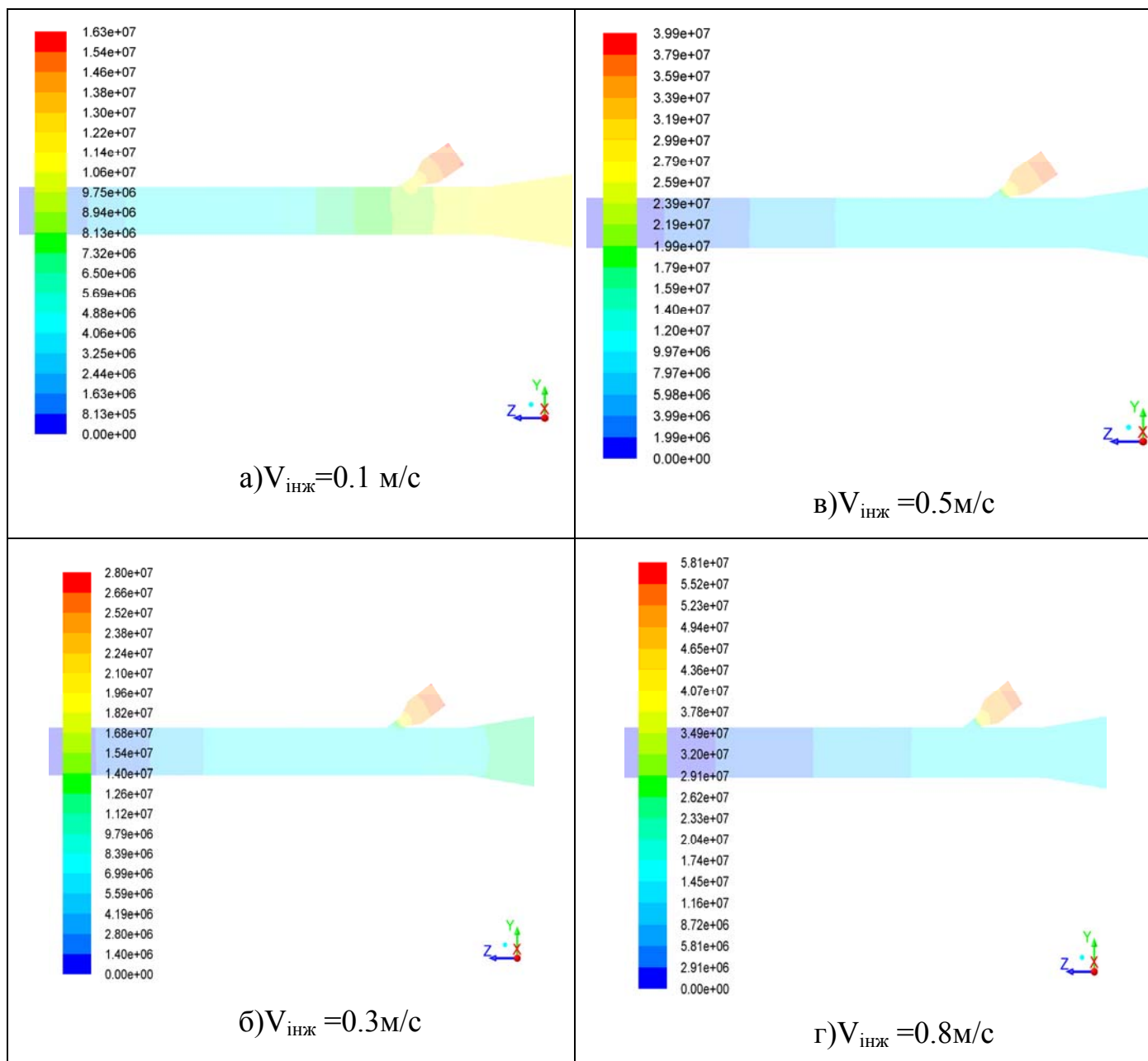


Рисунок 3.8 – Розподіл напружень всередині основного екструзійного та інжекційного каналів при різних входніх швидкостях потоку в інжекційному каналі

Як видно з рис. 3.8 зі збільшенням швидкості в інжекційному механізмі напруження всередині основного екструзійного та інжекційного каналів змінюються, а саме, в екструзійному напруження зменшуються, а в інжекційному напруження збільшуються.

Приклад розподілу швидкостей руху матеріалу при різних вхідних швидкостях потоку в інжекційному каналі показано на рис. 3.9.

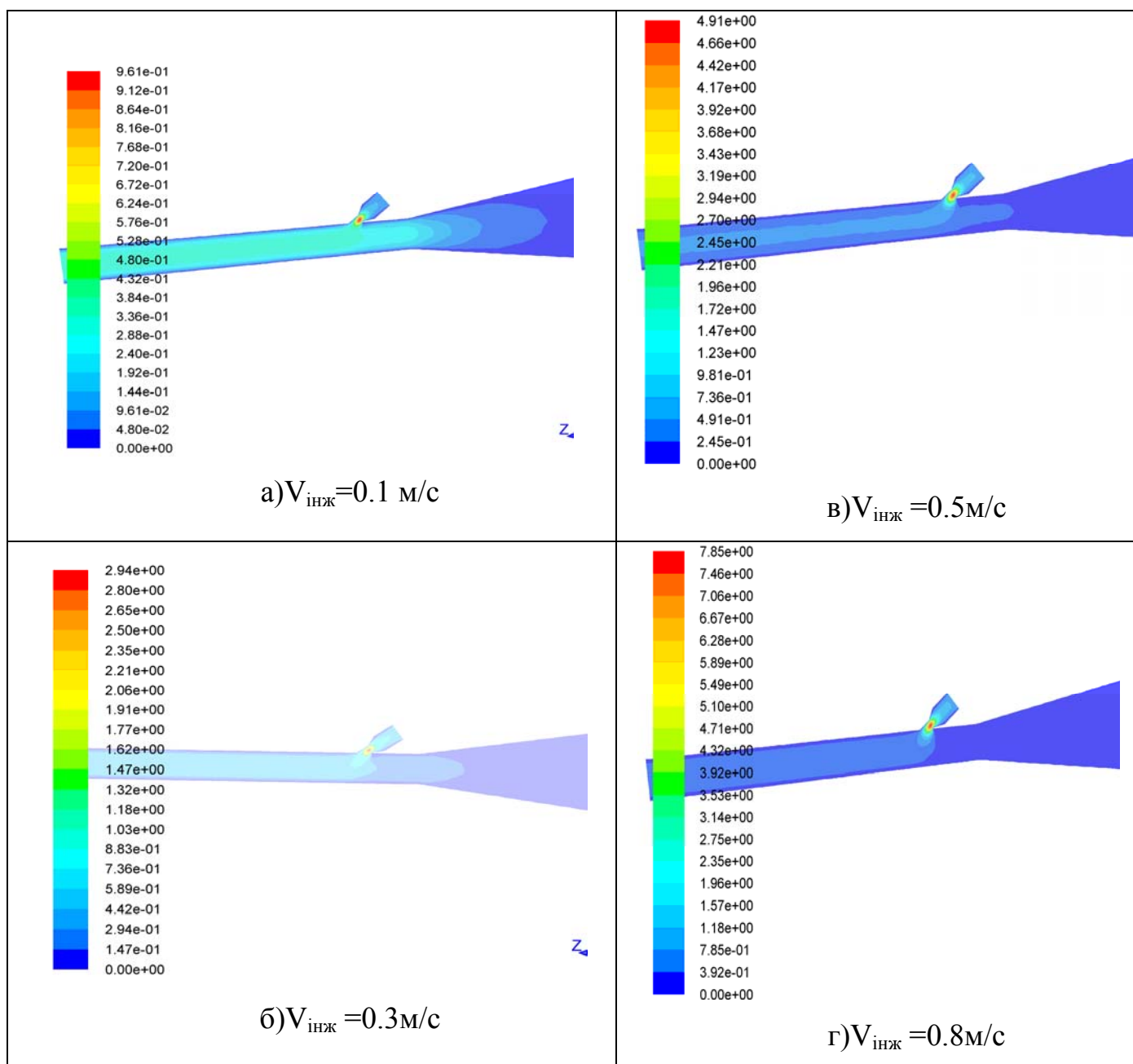


Рисунок 3.9 – Розподіл швидкостей руху матеріалу при різних вхідних швидкостях потоку в інжекційному каналі

При зростанні швидкості в інжекційному каналі формуючої головки спостерігається більш виражений та чіткий потік матеріалу в основному екструзійному каналі, що видно на рис. 3.9.

Приклад візуального зображення глибини занурення та траєкторія руху частинок у полімерному матеріалі показано на рис. 3.10.

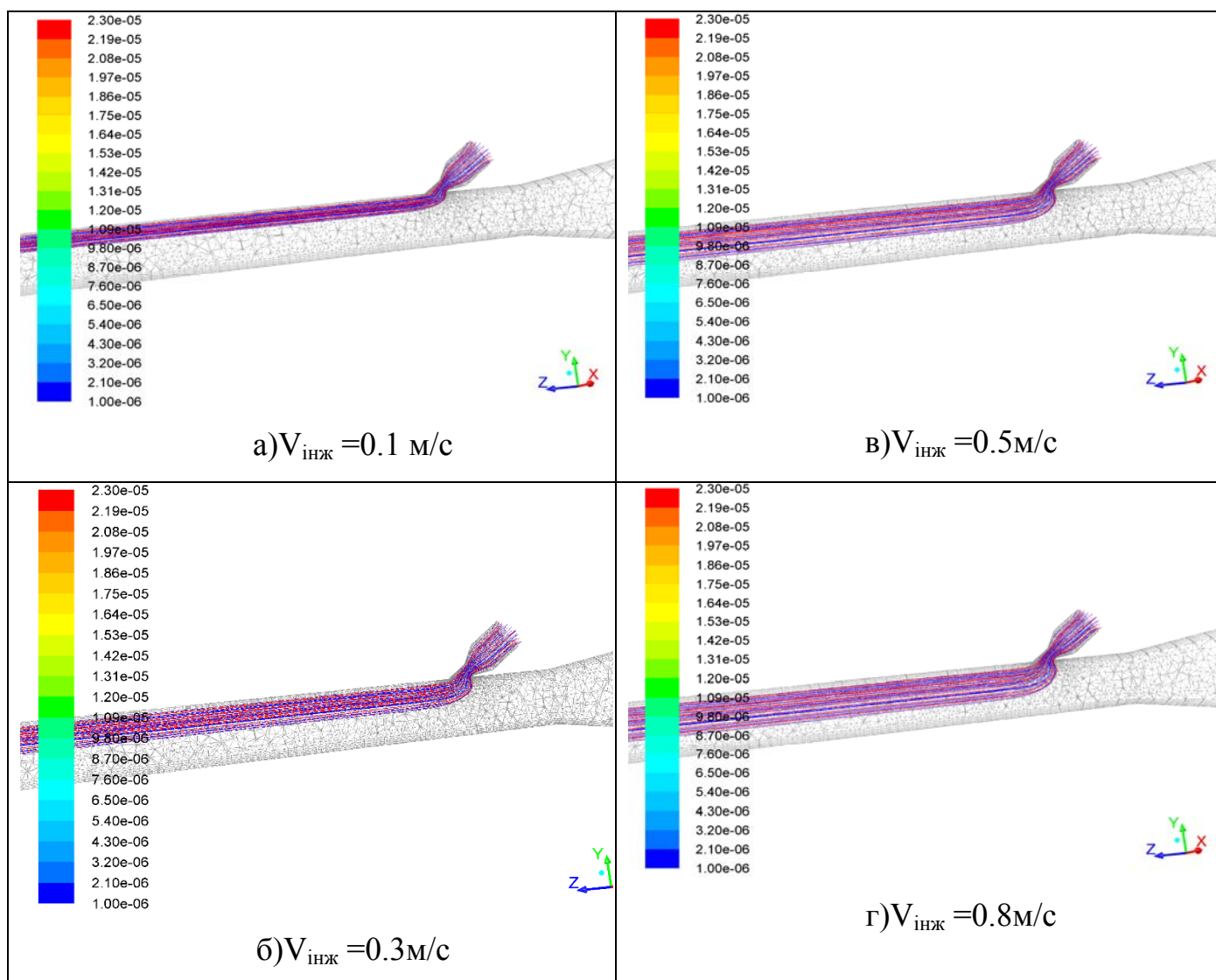


Рисунок 3.10 – Візуальне зображення глибини занурення та траєкторія руху частинок у полімерному матеріалі

Глибина занурення частинок у полімерний матеріал суттєво залежить від швидкості інжекції, рис. 3.10. При збільшенні швидкості в інжекційному каналі глибина занурення інжектваного «струменю» в основний екструзійний потік збільшується.

Підсумовуючи даний розділ можна зробити наступні висновки:

1. При чисельному моделювання процесу руху частинок у полімерному розплаві встановлено, що найдоцільніший кут нахилу інжекційного механізму становить 35° .
2. Моделювання показало, що завдяки зміні параметрів процесу вдалося регулювати глибину занурення та відстеження частинок в полімерному розплаві.
3. Знаючи в'язкість або густину полімерних матеріалів, можливо передбачити усереднене занурення частинок вздовж осі.
4. Змінюючи швидкість позиціонованої подачі полімерної суміші з інтелектуальними датчиками в інжекційному каналі або відношення швидкості інжекційного потоку до основного, можливо регулювати глибину занурення частинок для різних видів ПМ в основний потік екструзії.
5. Наведено приклади візуальних зображень глибини занурення та траєкторій руху частинок у полімерному матеріалі.

4 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

4.1 Опис дослідного обладнання

Для проведення експерименту була застосована лабораторна установка на базі черв'ячного преса ЧП 32x20. До складу лінії (рис. 4.1), окрім черв'ячного преса 1 також входять: інжекційний пристрій 2, ванна охолодження 3, тягнучий 4 та відрізний пристрої 5.

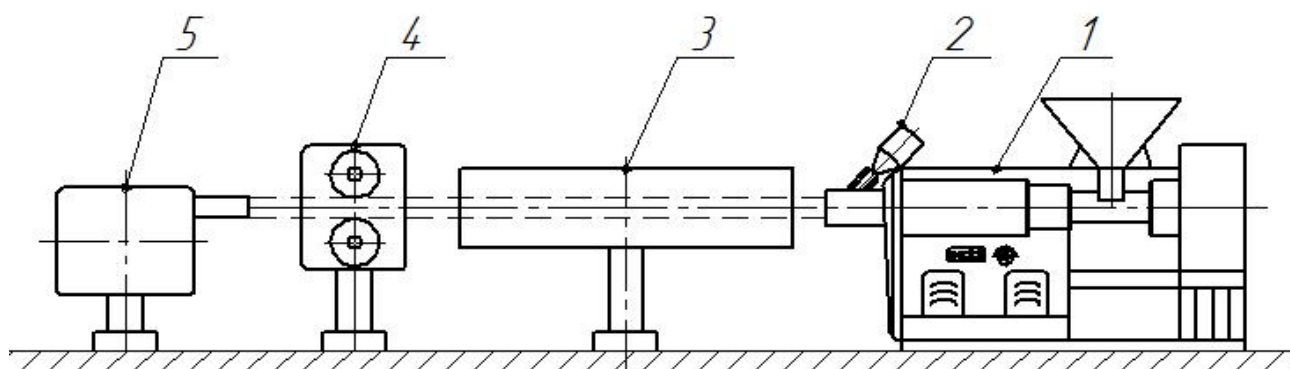


Рисунок 4.1 – Технологічна лінія формування виробів типу «Стренга»

Конструкція черв'ячного преса ЧП 32x20 з інжекційним пристроєм представлена на рис. 4.2. ЧП 32x20 призначений для гомогенізації гранульованих термопластів у однорідний розплав та рівномірного його вичавлювання під заданим тиском та продуктивністю у формуючу головку. Прес складається з наступних вузлів та агрегатів: циліндричного товстостінного корпусу 1, всередині якого обертається черв'як 2 від циліндричного редуктора 3 і електродвигуна постійного струму (на рис. не розкрито) та клинопасової передачі, яка закрита захисним кожухом 4. Привід забезпечує можливість регулювання частоти обертання черв'яка від 20 до 100 об/хв. Завантаження полімерного матеріалу в корпус 1 здійснюється крізь основний живильний бункер 5.

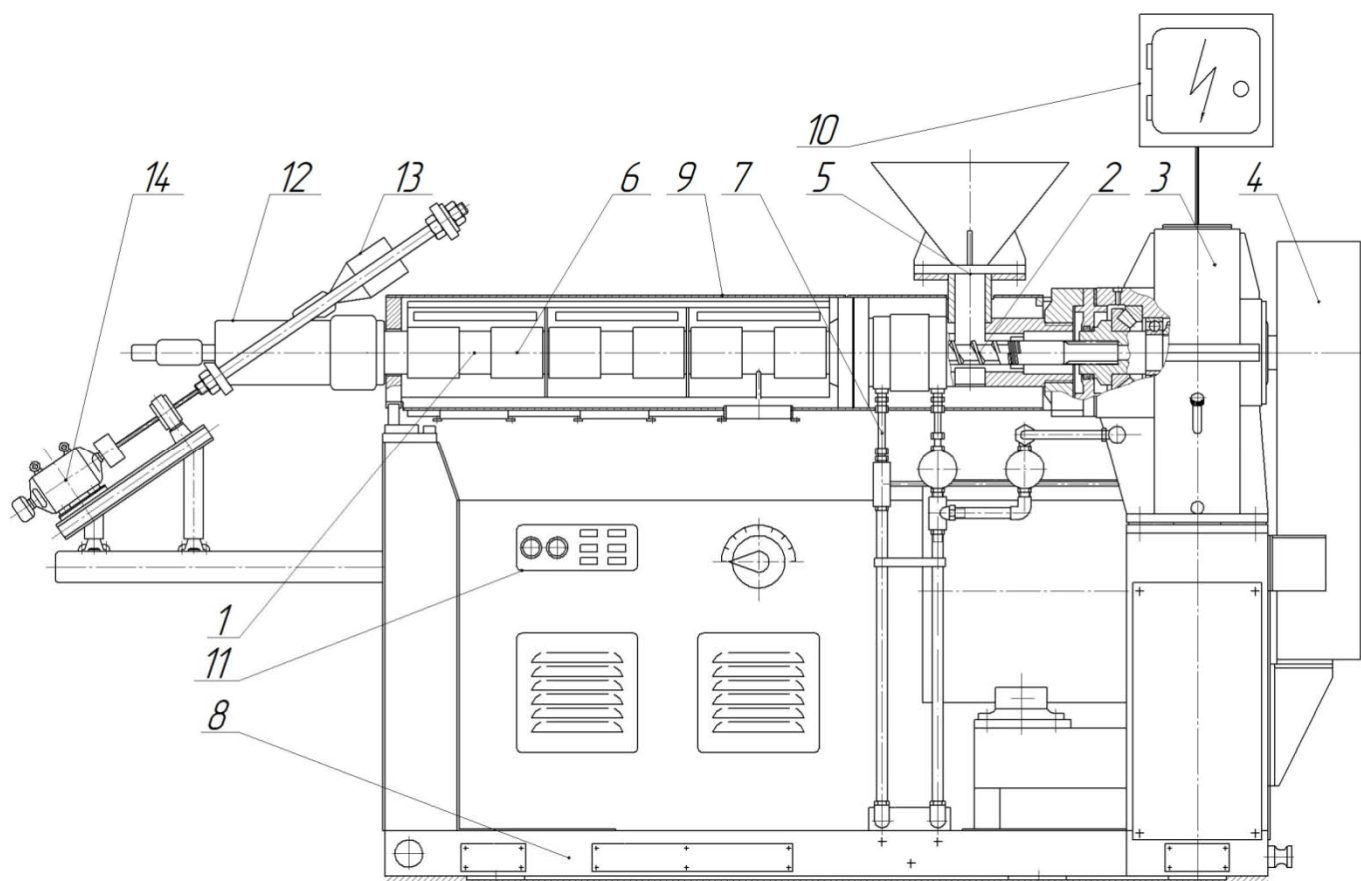


Рисунок 4.2 – Черв'ячний прес ЧП32x20

До корпусу 1 черв'ячного преса кріпиться за допомогою різьбового з'єднання екструзійна головка 12. Екструзійна головка оснащена інжекційним механізмом 13 з незалежним приводом 14 для введення суміші інтелектуальних датчиків спільно з додатковою порцією розплаву полімеру безпосередньо у формуючий канал.

Тепловий режим підтримується електронагрівачами та системою водяного охолодження корпусу 7 в зоні завантаження за допомогою терморпар та контролююче-регулюючих приладів. Всі складальні одиниці пресу змонтовані на зварній рамі 8. Для запобігання контакту з нагрівачами корпусу преса він закритий кожухом 9.

Додатково установка містить щит електричного живлення 10, пульт управління 11, ванну охолодження, тягнучий та гранулюючий пристрої.

Ванна охолодження призначена для охолодження отримуваних циліндричних стренгових зразків. Ванна охолодження оснащена роликівими

вузлами важільного типу, які регулюють глибину занурення у ванну. Корпус ванни має можливість вертикального та поперечного переміщення для центрування його вісі з віссю головки, а його торцеві стінки оснащені гумовими ущільненнями для герметизації «стренги».

Тягнучий пристрій у вигляді двох, які обертаються назустріч одне одному з можливістю регулювання числа обертів та зусилля притискання. Завдяки зустрічному обертанню коліс із заданим зусиллям притискання «стренги», вони рівномірно транспортують полімерну «стренгу» в напрямку відрізного пристрою.

Гранулюючий пристрій забезпечує різку стренг $\varnothing 2\div 6$ мм полімерних матеріалів на відрізки заданої довжини.

Конструктивне оформлення екструзійної головки 1 з інжекційним пристроєм представлено на рис. 4.3. Корпус головки містить в собі перехідний конічний 1 та формуючий циліндричний канал 2, який призначений для отримання зразків типу «стренга». Головка має прямоточну конструкцію. Обігрів головки здійснюється електронагрівачем опору 3. Інжекційний пристрій 4 для дозованого введення інтелектуальних датчиків розміщується на циліндричному корпусі головки під кутом 30° до вісі формуючого каналу. Інжекційний пристрій 4 обладнаний додатковим живильним бункером 5, який завантажується сумішшю інтелектуальних датчиків з полімером. Під час дозування суміш проштовхується в інжекційну камеру 6 плунжером 7, де забезпечується прогрів полімеру до заданої температури. Обігрів інжекційної камери 6 здійснюється електронагрівачем опору 8. Плунжер 7 оснащено механізмом зворотно-поступального руху 11, який складається з електродвигуна, пари гвинт-гайка 12, тяг 13 і траверси 14 на якій кріпиться плунжер. За рахунок дії механізму зворотно-поступального руху відбувається процес інжекції під заданим тиском суміші інтелектуальних датчиків з досліджуваним матеріалом безпосередньо в формуючий канал 2 головки із заданими періодичністю та тиском інжекції. Під час інжекції тиск в гідроциліндрі інжекції регулюється приводом 11 і може значно перевищувати тиск в формуючому каналі, що дозволяє занурювати датчики на задану глибину. Для погашення збурюючих коливань, які виникають в формуючому каналі 2 під час

інжекції порції суміші інтелектуальних датчиків з досліджуваним матеріалом, він може бути дообладнаний додатковою ділянкою 9, яка має свій окремий обігрів від нагрівача 10. Збільшивши довжину формуючого каналу, тим самим запобігається утворення дефектів поверхні на екструдованих стренгових виробках.

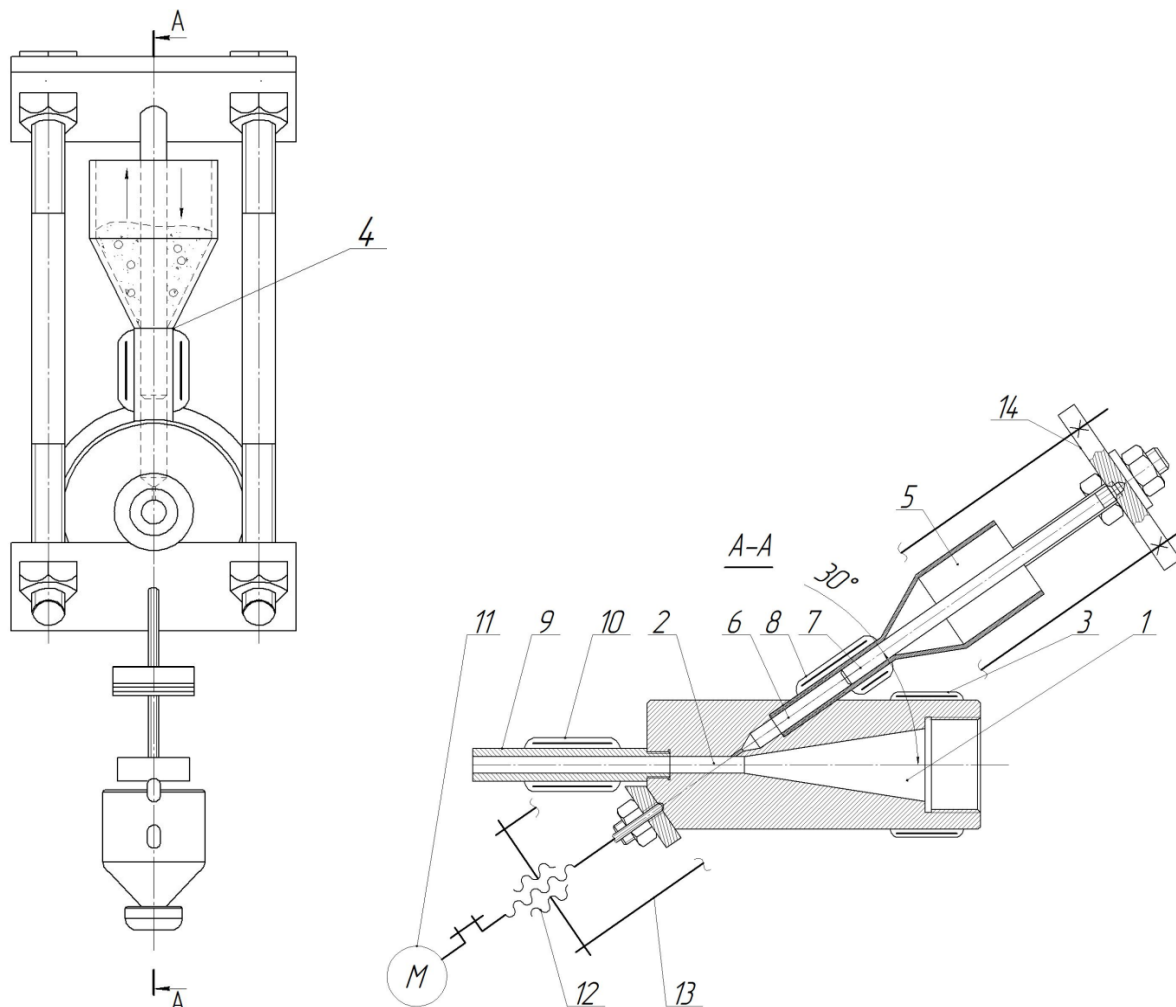


Рисунок 4.3 – Екструзійна головка

4.2 Натурний експеримент

Методика проведення досліджень

1. Попередньо підготувати експериментальну установку для проведення дослідів. Зібрати всі необхідні матеріали відповідно до технологічних вимог, а потім завантажити їх в завантажувальний бункер екструдера та інжекційного пристрою. Додатково разом із полімерними гранулами в бункер інжекційного

механізму завантажити інтелектуальні датчики. У той же час запуснути систему водяного охолодження і підключити екструдер до джерела живлення.

2. Увімкнути джерело живлення для кожної нагрівальної секції і відрегулювати температуру для початку нагріву. Уважно стежити за підтриманням температурного режиму. Коли температура пристрою нагріву досягне необхідної позначки, підтримувати цей режим ще протягом години. Під час запуску переконатися, що всі індикатори в робочому стані. Протягом всього процесу, перевіряти, щоб параметри відповідали технічним вимогам.

3. Увімкнути екструдер і дати обладнанню попрацювати на низькій швидкості. Повільно відкрити заслінку подачі матеріалу і тримати її в наполовину відкритому положенні до тих пір, поки розплав, який видавлюється з циліндра не стане чистим. Далі поступово збільшити швидкість і дозволити заслінці подачі матеріалу розкритися повністю, постійно спостерігати за тиском, температурою, і вібрацією системи. Налаштувати швидкість роботи обладнання таким чином, щоб тиск вийшов на розрахунковий рівень.

4. Стренгу, яка виходить з вихідного отвору головки пропустити крізь ущільнення та ролики ванни охолодження і зафіксувати між колесами тягнучого пристрою в напрямку відрізного.

5. Увімкнути привід інжекційного механізму та із заданою періодичністю інжектувати суміш інтелектуальних датчиків з досліджуваним матеріалом в основний потік розплаву.

6. Відрізним пристроєм відсікати зразки стренги заданої довжини, які у своїй внутрішній структурі містять введені інжекційним пристроєм інтелектуальні датчики.

7. Тип полімерного матеріалу, температури кожної зони обігріву T , число обертів черв'яка n , зусилля тягнучого пристрою F , значення продуктивності екструдера Q , тиск на виході з формуючої головки та в інжекційному механізмі P занести в журнал досліду.

8. Перекрити заслінку завантажувального бункера інжекційного механізму та вимкнути його привід. Перекрити заслінку завантажувального

бункера екструдера та видавити з нього весь розплавлений матеріал і висипати сировину з завантажувального бункера, а потім зупинити привід.

9. Досліди повторити (за пп. 3...8) при різних полімерних матеріалах та різних кутах нахилу інжекційного механізму.

10. Очистити експериментальну установку від залишків полімеру.

Експериментальні дослідження були проведені з такими полімерними матеріалами:

а) поліетилен низького тиску марки 15313-003 (ГОСТ 16337-77);

б) поліетилен високого тиску (ПЕВТ 15803-020) за ГОСТ 16337;

в) поліпропілен (ПП марки 2248-002) за ГОСТ 26996 – 86.

Основні прилади для вимірювання експериментальних показників

На приладі ПІД-регулятора температури МікРа 600 (рис. 4.4) задається необхідна температура обігріву для кожної зони і за допомогою хомутових нагрівальних елементів опору і хромель-алюмелевими термопарами, починається нагрів установки до виходу на необхідні температурні параметри. Таким чином, схема керування температурними режимами забезпечує підтримання заданої температури з похибкою 2%.

Температура підтримується за допомогою одноканального ПІД-регулятора температури МікРа 600. Технічні характеристики приладу наведені в табл. 4.1. Діапазон регульованих температур в залежності від типу термопари наведений у табл. 4.2. Для зворотного зв'язку була використана хромель-алюмелева термопара.



Рисунок 4.4 – Одноканальний ПІД-регулятор температур МікРа 600

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики регулятора

Параметр	Значення
Дискретність завдання температури, °С	1,0
Закон регулювання каналу нагріву	ПІД
Закон регулювання каналу охолодження	Двопозиційний або ПІД
Вихідний сигнал керування для нагріву	ШІМ
Вихідний сигнал керування для охолодження	Двопозиційний або ШІМ
Точність підтримання температури у встановленому режимі	±0,5
Максимальний струм виходу управління, А	0,5
Напруга живлення	110-250 В, 50-60 Гц
Температура навколишнього середовища, °С	5-50
Розміри, мм	48 x 48 x 120
Маса, грам	170

Таблиця 4.2 – Діапазон регулювання Мікра-600

Тип ТП	ТХК (L)	ТХА (K)	ТЖК (J)	ТПП (S)	ТПП (R)	ТПР (B)	ТВР (A-2)	ТСМ - 50	ТСП - 50	ТСМ- 100	ТСП- 100
Темп., °С	-50- 550	-50- 1300	-50- 800	0- 1700	0- 1700	600- 1700	0- 1700	-50- 200	-50- 800	-50- 200	-50- 250

Час, за який матеріал видавлювався крізь формуючу головку вимірювався за допомогою секундоміра "Extech HW30" (рис. 4.5). Характеристики приладу наведені у табл. 4.3.



Рисунок 4.5 – Секундомір електронний "Extech HW30" з повіркою

Таблиця 4.3 – Технічні характеристики секундоміра "Extech HW30"

Параметр	Значення	Од. виміру
Ідентифікація	«годинник», «хвилини», «секунди», «десяті» і «соті» частки секунди	—
Дискретність відліку часу	0,01	с
Максимальний обсяг рахунку	9 год. 59 хв. 59,99 с	—
Запам'ятовується проміжних результатів	30	—
Габаритні розміри	79 x 66 x 21	мм
Вага	85	г

Межа допустимої додаткової абсолютної похибки секундоміра, викликаної відхиленням температури навколишнього середовища від нормальних умов в інтервалі робочих температур від $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ відхилення температури не повинен перевищувати величини $\Delta 1 = (9,6 \times 10^{-6} \times T_x + 0,01)$, $\Delta 2 = 2,2 \times 10^{-6} \times T_x$.

Відрізані шматки полімеру зважувались на електронних лабораторних вагах марки ТВЕ-0,3-0,005 (техноваги), рис. 4.6. Характеристики приладу наведені у табл. 4.4.



Рисунок 4.6 – Ваги електронні лабораторні ТВЕ-0,3-0,005 (Техноваги)

Таблиця 4.4 – Технічні характеристики ТВЕ-0,3-0,005 (Техноваги)

Параметр	Значення	Од. виміру
Дискретність	0,005	г
Найменша границя зважування	0,1	г
Найбільша границя зважування	300	г
Діаметр платформи	145	мм
Клас точності	4	—

4.3 Розрахунок похибки дослідження

4.3.1 Методика розрахунку похибок прямих вимірювань

Визначення похибки середнього результату вимірювань (як прямих, так і непрямих) фізичних величин здійснюється за методикою, наведеною в праці [20].

Так, похибку середнього результату прямих вимірювань фізичних величин виконується в такій послідовності.

Дослідно-інструментальну помилку середнього результату вимірювань фізичної величини \bar{x} визначають за залежністю

$$\sigma_{\text{дп}}(\bar{x}) = \sqrt{\sigma_{\text{пвп}}^2 + \sigma_{\text{пр}}^2 + \sigma_{\text{окр}}^2} \quad (4.1)$$

де $\sigma_{\text{пвп}}$, $\sigma_{\text{пр}}$, $\sigma_{\text{окр}}$ – похибки первинного вимірювального перетворювача, приладу та округлення, відповідно:

$$\sigma_{\text{пвп}} = \frac{\Delta_{\text{дпп}}}{3} \quad (4.2)$$

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma_0}{100} D_{\text{вим}} \right) \quad (4.3)$$

$$\sigma_{\text{окр}} = \frac{C}{\sqrt{12}} \quad (4.4)$$

де $\Delta_{\text{дпп}}$ – довідникова похибка приладу;

γ_0 – клас точності приладу;

$D_{\text{вим}}$ – діапазон вимірювання приладу;

C – ціна поділки шкали (ступінь дискретизації цифрового відліку) приладу.

Випадкова помилка середнього результату становить

$$\theta(\bar{x}) = \xi \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \quad (4.5)$$

де x_i – i -й результат вимірювання; ξ – коефіцієнт Стюдента, який залежить від довірчої імовірності P_d і кількості вимірювань n .

Повна похибка прямого вимірювання фізичної величини обчислюється за формулою

$$\sigma(\bar{x}) = \sqrt{\sigma_{\text{дин}}^2(\bar{x}) + \theta^2(\bar{x})} \quad (4.6)$$

а значення фізичної величини для довірчої імовірності 0,6826 становитиме

$$x = \bar{x} \pm \sigma(\bar{x}) \quad (4.7)$$

4.3.2 Методика розрахунку похибок непрямих вимірювань

Похибку середнього результату непрямих вимірювань фізичних величин виконуємо в такій послідовності.

Дослідно-інструментальну помилку середнього результату непрямих вимірювань фізичної величини \bar{x} визначають за формулою

$$\sigma_{\text{дин}}(\bar{x}) = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x_1}\right)^2 \sigma_{\text{дин}}^2(x_1) + \left(\frac{\partial F}{\partial x_2}\right)^2 \sigma_{\text{дин}}^2(x_2) + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial x_k}\right)^2 \sigma_{\text{дин}}^2(x_k)} \quad (4.8)$$

де $x = F(x_1, x_2, \dots, x_k)$ – залежність шуканої величини x від величин x_i ($i = \overline{1, n}$), що вимірюють безпосередньо.

Випадкова помилка середнього результату в цьому разі становить

$$\theta(\bar{x}) = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x_1}\right)^2 \theta^2(x_1) + \left(\frac{\partial F}{\partial x_2}\right)^2 \theta^2(x_2) + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial x_k}\right)^2 \theta^2(x_k)} \quad (4.9)$$

Остаточно повну похибку непрямого вимірювання фізичної величини з урахуванням (4.8) і (4.9) визначають за залежністю (4.6), а значення фізичної величини для довірчої імовірності 0,6826 – за залежністю (4.7).

4.3.3 Розрахунок похибки вимірювання температури

Похибка первинного вимірювального перетворювача згідно з (4.2) дорівнює:

$$\sigma_{\text{пвп}} = \frac{\Delta_{\text{дпп}}}{3} = \pm \frac{1,5}{3} = \pm 0,5 \text{ } ^\circ\text{C},$$

де $\Delta_{\text{дпп}}$ – довідникова похибка хромель-алюмінієвої термопари:

$$\Delta_{\text{дпп}} = \pm 1,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Похибка приладу згідно з (4.3) дорівнює:

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma_{\circ}}{100} D_{\text{вим}} \right) = \frac{1}{3} \left(\frac{0,5}{100} \cdot (1300 - (-50)) \right) = 2,25^{\circ}\text{C}.$$

Похибка округлення згідно з (4.4) становить:

$$\sigma_{\text{окр}} = \frac{C}{\sqrt{12}} = \frac{1}{\sqrt{12}} = 0,289^{\circ}\text{C}.$$

Значення дослідно-інструментальної помилки визначаємо згідно з (4.1):

$$\sigma_{\text{дін}}(\bar{T}) = \sqrt{\sigma_{\text{пвп}}^2 + \sigma_{\text{пр}}^2 + \sigma_{\text{окр}}^2} = \sqrt{0,5^2 + 2,25^2 + 0,289^2} = 2,323^{\circ}\text{C}.$$

Тепер визначимо величину випадкової помилки середнього результату вимірювання температури. Для визначення випадкової похибки проводили п'ять вимірювання температури, які становили 189;190;190;189;190 °C.

Середнє арифметичне температури становить

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i = \frac{1}{5} (189 + 190 + 190 + 189 + 190) = 189,6^{\circ}\text{C}$$

Тоді випадкова помилка середнього результату становить

$$\begin{aligned} \theta(\bar{T}) &= \xi \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{T} - T_i)^2} = \\ &= 5,8 \sqrt{\frac{1}{5(5-1)} \left[(189 - 189,6)^2 + (190 - 189,6)^2 + (190 - 189,6)^2 + (189 - 189,6)^2 + (190 - 189,6)^2 \right]} = \\ &= 0,245^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

де $\xi=5,8$ – значення коефіцієнта Стюдента для $P_{\text{д}} = 0,99$ і $n = 5$ [20].

Повна похибка прямого вимірювання температури (4.6):

$$\sigma(\bar{T}) = \sqrt{2,323^2 + 0,245^2} = 2,335^\circ\text{C}$$

Значення температури відповідно до (4.7) становить

$$T = \bar{T} \pm \sigma(\bar{T}) = \bar{T} \pm 2,235^\circ\text{C}.$$

4.3.4 Розрахунок похибки вимірювання маси

Похибка зважування згідно з (4.2) дорівнює:

$$\sigma_{\text{пвп}} = \frac{\Delta_{\text{дпп}}}{3} = \pm \frac{0,0004}{3} = \pm 0,00013 \text{ г},$$

де довідникова похибка приладу ТВЕ-0,3-0,005 становить:

$$\Delta_{\text{дпп}} = \pm 0,0004 \text{ г},$$

Похибка приладу згідно з (4.3) дорівнює

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma_{\circ}}{100} D_{\text{вим}} \right) = \frac{1}{3} \left(\frac{0,004}{100} \cdot (300 - 0,1) \right) = 0,004 \text{ г},$$

Похибка округлення згідно з (4.4) становить:

$$\sigma_{\text{окр}} = \frac{C}{\sqrt{12}} = \frac{0,005}{\sqrt{12}} = 0,0014 \text{ г}.$$

Значення дослідно-інструментальної помилки визначаємо згідно з (4.1):

$$\sigma_{\text{дін}}(\bar{T}) = \sqrt{\sigma_{\text{пвп}}^2 + \sigma_{\text{пр}}^2 + \sigma_{\text{окр}}^2} = \sqrt{0,00013^2 + 0,004^2 + 0,0014^2} = 0,0042 \text{ г.}$$

Тепер визначимо величину випадкової помилки середнього результату вимірювання ваги. Для визначення випадкової похибки проводили чотири вимірювання ваги, які становили 1,000; 0,995; 0,995; 1,000; 1,000 г.

Середнє арифметичне ваги становить:

$$\bar{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n m_i = \frac{1}{5} (1,000 + 0,995 + 0,995 + 1,000 + 1,000) = 0,998 \text{ г.}$$

Тоді випадкова помилка середнього результату становить

$$\begin{aligned} \theta(\bar{m}) &= \xi \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (\bar{m} - m_i)^2} = \\ &= 5,8 \sqrt{\frac{1}{5(5-1)} [(1-0,998)^2 + (0,995-0,998)^2 + (0,995-0,998)^2 + (1-0,998)^2 + (1-0,998)^2]} = \\ &= 0,0071 \text{ г} \end{aligned}$$

де $\xi=5,8$ – значення коефіцієнта Стьюдента для $P_d = 0,99$ і $n = 5$ [Ошибка!
Источник ссылки не найден.].

Повна похибка прямого вимірювання ваги (4.6):

$$\sigma(\bar{m}) = \sqrt{0,0042^2 + 0,0071^2} = 0,0082 \text{ г.}$$

Значення ваги відповідно до (4.7) становить:

$$m = \bar{m} \pm \sigma(\bar{m}) = \bar{m} \pm 0,0082 \text{ г.}$$

У більшості вимірювань фізичних величин значення випадкової помилки їх середнього результату значно менше від значення дослідно-інструментальної помилки, тому надалі для визначення повної похибки прямого вимірювання фізичних величин братимемо до уваги тільки дослідно-інструментальну помилку, тобто приймаємо, що $\sigma(\bar{x}) = \sigma_{\text{дип}}(\bar{x})$.

4.3.5 Розрахунок похибки вимірювання часу

Похибка вимірювання часу згідно з (4.2) дорівнює:

$$\sigma_{\text{пвп}} = \frac{\Delta_{\text{дип}}}{3} = \pm \frac{1 \cdot 10^{-5}}{3} = \pm 3,33 \cdot 10^{-6} \text{ с,}$$

де довідникова похибка приладу "Extech HW30" становить:

$$\Delta_{\text{дип}} = \pm 1 \cdot 10^{-5} \text{ с}$$

Похибка приладу згідно з (4.3) дорівнює:

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma_{\circ}}{100} D_{\text{вим}} \right) = \frac{1}{3} \left(\frac{10^{-3}}{100} \cdot 1 \right) = 3,33 \cdot 10^{-6} \text{ с,}$$

Похибка округлення згідно з (4.4) становить:

$$\sigma_{\text{окр}} = \frac{C}{\sqrt{12}} = \frac{0,01}{\sqrt{12}} = 0,0029 \text{ с.}$$

Значення дослідно-інструментальної помилки визначаємо згідно з (4.1):

$$\sigma_{\text{дін}}(\bar{t}) = \sqrt{\sigma_{\text{пвп}}^2 + \sigma_{\text{пр}}^2 + \sigma_{\text{окр}}^2} = \sqrt{0,00000333^2 + 0,00000333^2 + 0,0029^2} = 0,0029 \text{ с.}$$

Тепер визначимо величину суб'єктивної похибки. Середній час реакції людини на зоровий подразник близько 0,2 с (враховуючи час запуску і зупинки секундоміру, суб'єктивна похибка складає – $\sigma_{\text{суб}} = 0,4 \text{ с.}$)

Повна похибка прямого вимірювання ваги (4.6):

$$\sigma(\bar{t}) = \sqrt{0,4^2 + 0,0029^2} = 0,4 \text{ с}$$

Значення ваги відповідно до (4.7) становить:

$$t = \bar{t} \pm \sigma(\bar{t}) = \bar{t} \pm 0,4 \text{ с.}$$

4.3.6 Розрахунок похибки вимірювання частоти обертання ротора електродвигуна

Похибка первинного вимірювального перетворювача згідно з (4.2) дорівнює:

$$\sigma_{\text{пвп}} = \frac{\Delta_{\text{дип}}}{3} = \pm \frac{0,499}{3} = \pm 0,166 \text{ об/хв},$$

де довідникова похибка приладу становить

$$\Delta_{\text{дип}} = \delta \cdot D_{\text{вим}} = \pm 0,0005 \cdot (999,9 - 2,5) = \pm 0,499 \text{ об/хв},$$

де δ – відносна похибка приладу.

Похибка приладу згідно з (4.3) дорівнює

$$\sigma_{\text{пр}} = \frac{1}{3} \left(\frac{\gamma_{\circ}}{100} D_{\text{вим}} \right) = \frac{1}{3} \left(\frac{0,1}{100} \cdot (999,9 - 2,5) \right) = 0,332 \text{ об/хв},$$

Похибка округлення згідно з (4.4) становить

$$\sigma_{\text{окр}} = \frac{C}{\sqrt{12}} = \frac{0,1}{\sqrt{12}} = 0,029 \text{ об/хв}.$$

Значення дослідно-інструментальної помилки визначаємо згідно з (4.1):

$$\sigma_{\text{дип}}(\bar{n}) = \sqrt{\sigma_{\text{пвп}}^2 + \sigma_{\text{пр}}^2 + \sigma_{\text{окр}}^2} = \sqrt{0,166^2 + 0,332^2 + 0,029^2} = 0,372 \text{ об/хв}.$$

Тепер визначимо величину випадкової помилки середнього результату вимірювання частоти обертання. Для визначення випадкової похибки проводили три вимірювання частоти обертання при однаковій потужності, які становили 30,5; 30,9; 29,4 об/хв.

Середнє арифметичне потужності становить:

$$\bar{N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i = \frac{1}{3} (29,4 + 30,5 + 30,9) = 30,27 \text{ об/хв}.$$

Тоді випадкова помилка середнього результату становить:

$$\theta(\bar{n}) = \xi \sqrt{\frac{1}{m(m-1)} \sum_{i=1}^m (\bar{n} - n_i)^2} =$$

$$= 1,3 \sqrt{\frac{1}{3(3-1)} \left[(30,27 - 30,5)^2 + (30,27 - 30,9)^2 + (30,27 - 29,4)^2 \right]} = 0,493 \text{ об/хв},$$

де $\xi=1,3$ – значення коефіцієнта Стьюдента для $P_d = 0,6826$ і $n = 3$.

Повна похибка прямого вимірювання частоти обертання:

$$\sigma(\bar{N}) = \sqrt{\sigma_{\text{дир}}^2(\bar{N}) + \theta^2(\bar{N})} = \sqrt{0,372^2 + 0,493^2} = 0,617 \text{ об/хв}.$$

Значення частоти обертів становить:

$$n = \bar{n} \pm \sigma(\bar{n}) = \bar{n} \pm 0,617 \text{ об/хв}.$$

Підсумовуючи даний розділ можна зробити наступні висновки:

1. Розроблено методику проведення досліджень та опис дослідного обладнання.
2. Наведено основні прилади для вимірювання експериментальних показників.
3. Визначено похибки прямих та непрямих вимірювань.
4. Визначено похибки вимірювання температури та маси.
5. Розраховано похибки вимірювання часу.
6. Розрахунок похибки вимірювання частоти обертання ротора електродвигуна.

5 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою досліджень являється порівняльний аналіз отриманих результатів методом моделювання з експериментальними даними, щоб підтвердити адекватність обраної математичної моделі.

5.1 Аналіз результатів натурального експерименту

В ході експерименту було проведено ряд дослідів з різними полімерними матеріалами при різних швидкостях інжекційного та основного потоку.

Процес являється стаціонарним та ізотермічним. Було використано такі матеріали:

- а) поліетилен низького тиску марки 15313-003 (ГОСТ 16337-77);
- б) поліетилен високого тиску марки 15803-020 (ГОСТ 16337);
- в) поліпропілен марки 2248-002 (ГОСТ 26996 – 86).

Оскільки інтелектуальні датчики коштовні, для експериментів було обрано частинки сферичної форми $\varnothing 1\text{мм}$, що повністю відповідають геометричним параметрам ІД.

Під час експерименту виявлено, що кут нахилу інжекційного механізму більший за 35° спричиняє розрив стренги.

Також встановлено, що після впорскування в основний екструзійний канал полімерний розплав з ІД, стренга на виході з формуючого каналу починає деформуватися. З метою усунення цього недоліку було прийнято рішення збільшити довжину формуючого каналу, на довжину 100 мм. Це компенсує деформації у вихідній стренги. Таким чином виріб виходить гладким, не деформованим та каліброваним.

5.1.1 Результати експериментальних досліджень процесу введення суміші полімеру марки ПЕНТ 15313-003 з мікрочастинками в полімерний виріб

Отримані зразки полімерного виробу типу стренга з введенням у внутрішню структуру виробу інжектваної порції суміші полімеру (ПЕНТ марки 15313-003) з барвником (а) та барвником з макетами, які імітують інтелектуальний датчик (б), рис. 5.1.

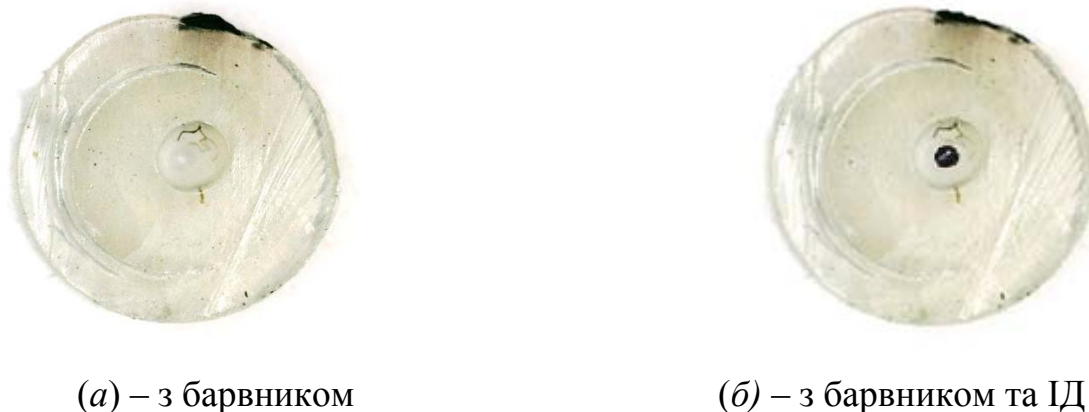


Рисунок 5.1 – Отримані зразки полімерної стренги з матеріалом ПЕНТ марки 15313-003

Виходячи з даних, отриманих шляхом дослідження швидкості подачі ПЕНТ марки 15313-003 в інжекційному каналі, побудовано графік залежності глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу від різних швидкостей подачі ПМ в інжекційному каналі, рис. 5.2.

Змінюючи швидкість подачі ПМ в інжекційному каналі або відношення швидкості інжекційного потоку до основного, можливо регулювати глибину занурення частинок, для різних видів ПМ, в основний потік екструзії.

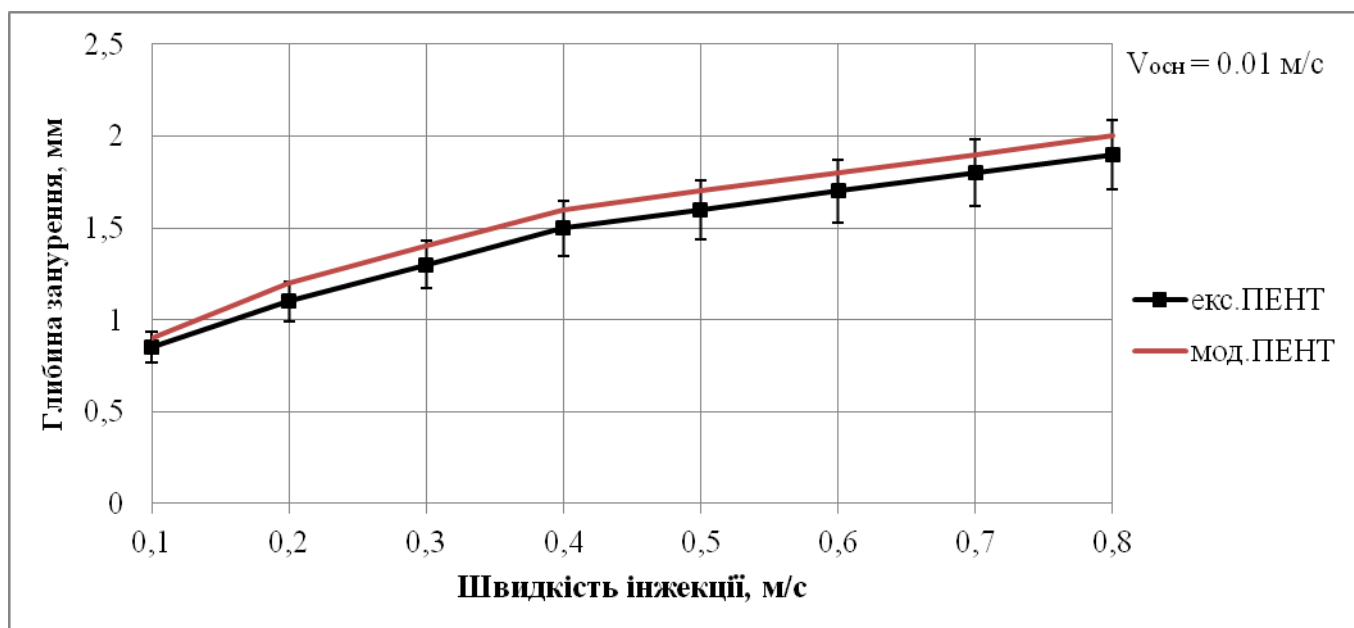


Рисунок 5.2 – Графік усередненої глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу за різних швидкостей подачі ПЕНТ марки 15313-003 в інжекційному каналі

Зі збільшенням швидкості подачі ПМ (ПЕНТ марки 15313-003) в інжекційному каналі, глибина занурення частинок вздовж осі формуючого каналу збільшується поетапно, а саме вхідна ділянка при швидкості інжекції від 0,1 м/с до 0,4 м/с занурення частинок за малий проміжок часу досягає 1,5 мм, далі глибина занурення поступово падає, досягаючи відмітки 2 мм, виходячи з експериментальних даних.

Звідси ж встановлено, що глибина занурення датчиків у виріб зростає від 0,7 мм до 1,8 мм при збільшенні швидкості подачі (від 0,1 м/с до 0,8 м/с) матеріалу ПЕНТ марки 15313-003 в інжекційному каналі.

При чисельному моделюванні глибина занурення твердих частинок у полімерний розплав зростає від 0,8 мм до 2 мм при збільшенні швидкості подачі ПМ в інжекційному каналі від 0,1 м/с до 0,8 м/с.

Як видно з рис. 5.2 дані з використанням матеріалу ПЕНТ марки 15313-003, отримані при моделюванні відрізняються від експериментальних на 8,4%.

При різних відношеннях швидкості інжекційного потоку до основного, а саме при їх збільшенні спостерігається поступове збільшення глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу, рис. 5.3.

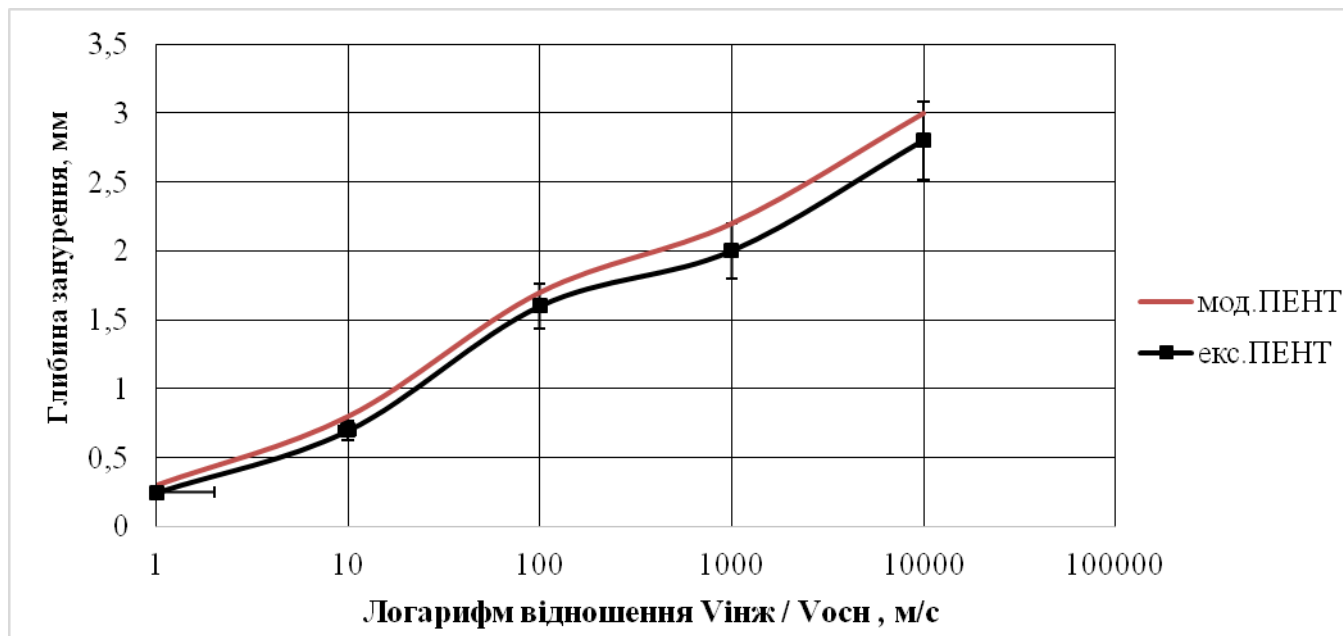


Рисунок 5.3 – Графік усередненої глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу при різних відношеннях швидкості інжекційного потоку до основного

При різних відношеннях швидкості інжекційного потоку до основного, а саме при їх збільшенні спостерігається поступове збільшення глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу, рис. 5.3.

Експериментальні дані з використанням ПЕНТ марки 15313-003 показали, що якщо провести апроксимуючу лінію для рис. 5.3 глибина занурення частинок в полімерний матеріал лінійно зростає від 0,25 мм до 2,8 мм при різних відношеннях швидкості інжекційного потоку до основного від 1 м/с до 10^4 м/с.

Виходячи з чисельного моделювання встановлено, що при використанні матеріалу ПЕНТ марки 15313-003 глибина занурення частинок в полімерний матеріал також лінійно зростає від 0,3 мм до 3 мм при різних відношеннях швидкості інжекційного потоку до основного, а саме від 1 м/с до 10^4 м/с.

З графіка на рис. 5.3 видно, що дані, отримані при моделюванні відрізняються від експериментальних на 9,2%.

5.1.2 Результати експериментальних досліджень процесу введення суміші полімеру марки ПЕВТ 15803-020 з мікрочастинками в полімерний виріб

Отримані зразки полімерного виробу типу стренга з введенням у внутрішню структуру виробу інжектваної порції суміші полімеру (ПЕВТ марки 15803-020) з барвником (а) та барвником з макетами, які імітують інтелектуальний датчик (б), рис. 5.4.



(а) – з барвником



(б) – з барвником та ІД

Рисунок 5.4 – Отримані зразки полімерної стренги з матеріалом ПЕВТ марки 15803-020

Виходячи з даних, отриманих шляхом дослідження швидкості подачі ПЕВТ марки 15803-020 в інжекційному каналі, побудовано графік залежності глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу від різних швидкостей подачі ПМ в інжекційному каналі, рис. 5.5.

З експериментальних даних встановлено, що глибина занурення датчиків у виріб зростає від 0,7 мм до 1,7 мм при збільшенні швидкості подачі (від 0,1 м/с до 0,8 м/с) матеріалу ПЕВТ марки 15803-020 в інжекційному каналі, що видно з рис. 5.5

При чисельному моделюванні глибина занурення твердих частинок у полімерний розплав зростає від 0,7 мм до 1,75 мм при збільшенні швидкості подачі ПМ в інжекційному каналі від 0,1 м/с до 0,8 м/с, рис. 5.5.

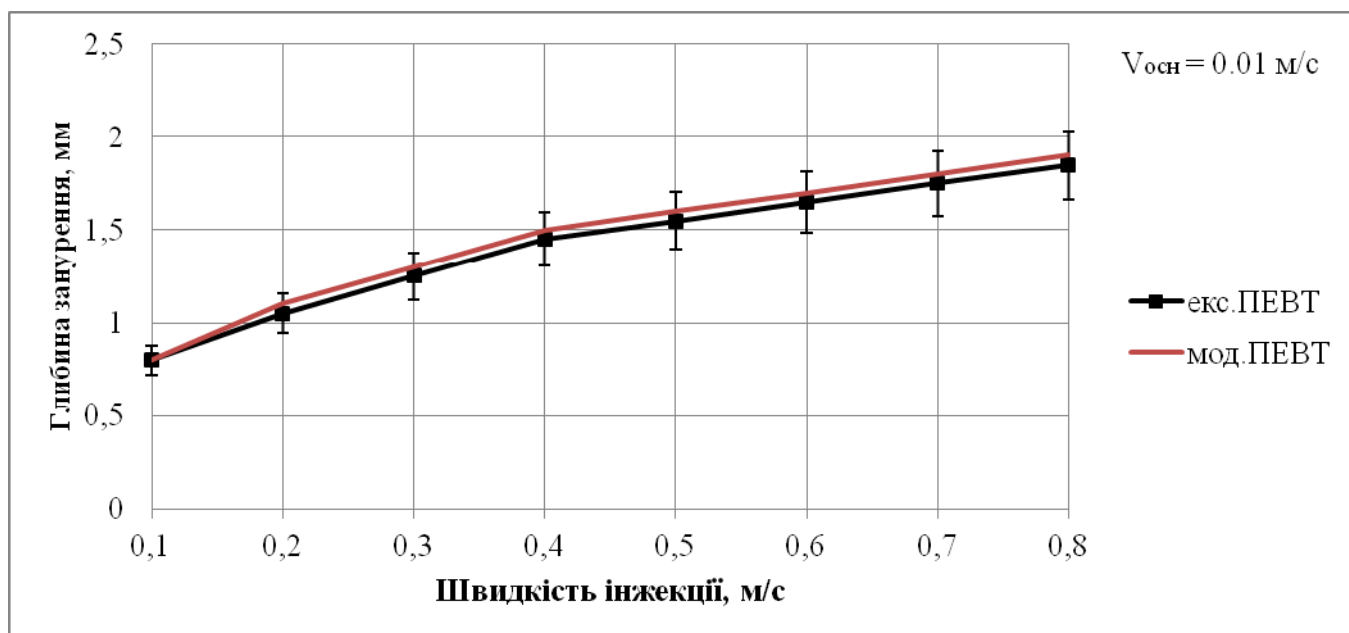


Рисунок 5.5 – Графік усередненої глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу за різних швидкостей подачі ПЕВТ марки 15803-020 в інжекційному каналі

Зі збільшенням швидкості подачі ПМ (ПЕВТ марки 15803-020) в інжекційному каналі, глибина занурення частинок вздовж осі формуючого каналу збільшується поетапно, а саме вхідна ділянка при швидкості інжекції від 0,1 м/с до 0,4 м/с занурення частинок за малий проміжок часу досягає 1,45 мм, а далі глибина занурення поступово падає, досягаючи відмітки 1,7 мм, виходячи з експериментальних даних.

Як видно з рис. 5.5 дані, отримані при моделюванні відрізняються від експериментальних на 4%.

При різних відношеннях швидкості інжекційного потоку до основного, а саме при їх збільшенні спостерігається поступове збільшення глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу, рис. 5.6.

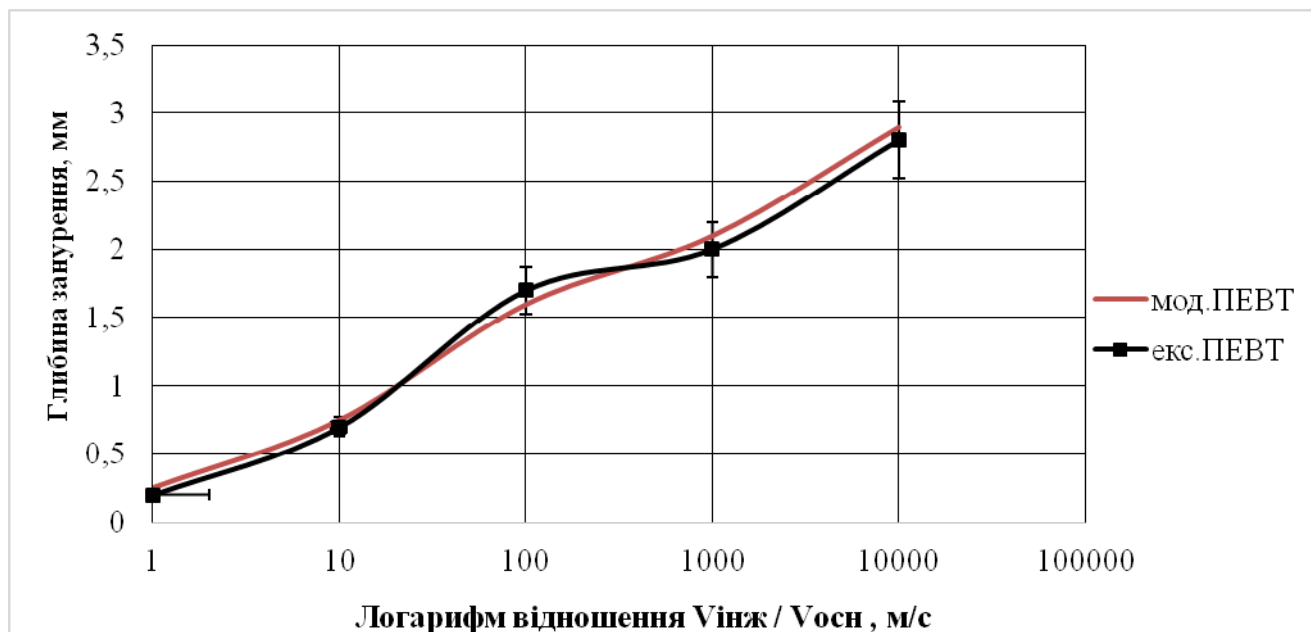


Рисунок 5.6 – Графік усередненої глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу при різних відношеннях швидкості інжекційного потоку до основного

Експериментальні дані з використанням ПЕВТ марки 15803-020 показали, що якщо провести апроксимуючу лінію для рис. 5.6 глибина занурення частинок в полімерний матеріал лінійно зростає від 0,2 мм до 2,7 мм при різних відношеннях швидкості інжекційного потоку до основного від 1 м/с до 10^4 м/с.

Виходячи з чисельного моделювання встановлено, що при використанні матеріалу ПЕВТ марки 15803-020 глибина занурення частинок в полімерний матеріал також лінійно зростає від 0,22 мм до 2,75 мм при різних відношеннях швидкості інжекційного потоку до основного, а саме від 1 м/с до 10^4 м/с.

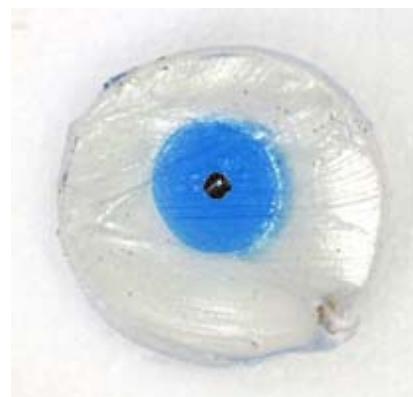
З графіка на рис. 5.6 видно, що дані, отримані при моделюванні відрізняються від експериментальних на 6,25%.

5.1.3 Результати експериментальних досліджень процесу введення суміші полімеру марки ПП 2248-002 з мікрочастинками в полімерний виріб

Отримані зразки полімерного виробу типу стренга з введенням у внутрішню структуру виробу інжектваної порції суміші полімеру (ПП марки 2248-002) з барвником (а) та барвником з макетами, які імітують інтелектуальний датчик (б), рис. 5.7.



(а) – з барвником



(б) – з барвником та ІД

Рисунок 5.7 – Отримані зразки полімерної стренги з матеріалом ПП марки 2248-002

Виходячи з даних, отриманих шляхом дослідження швидкості подачі ПП марки 2248-002 в інжекційному каналі, побудовано графік залежності глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу від різних швидкостей подачі ПМ в інжекційному каналі, рис. 5.8.

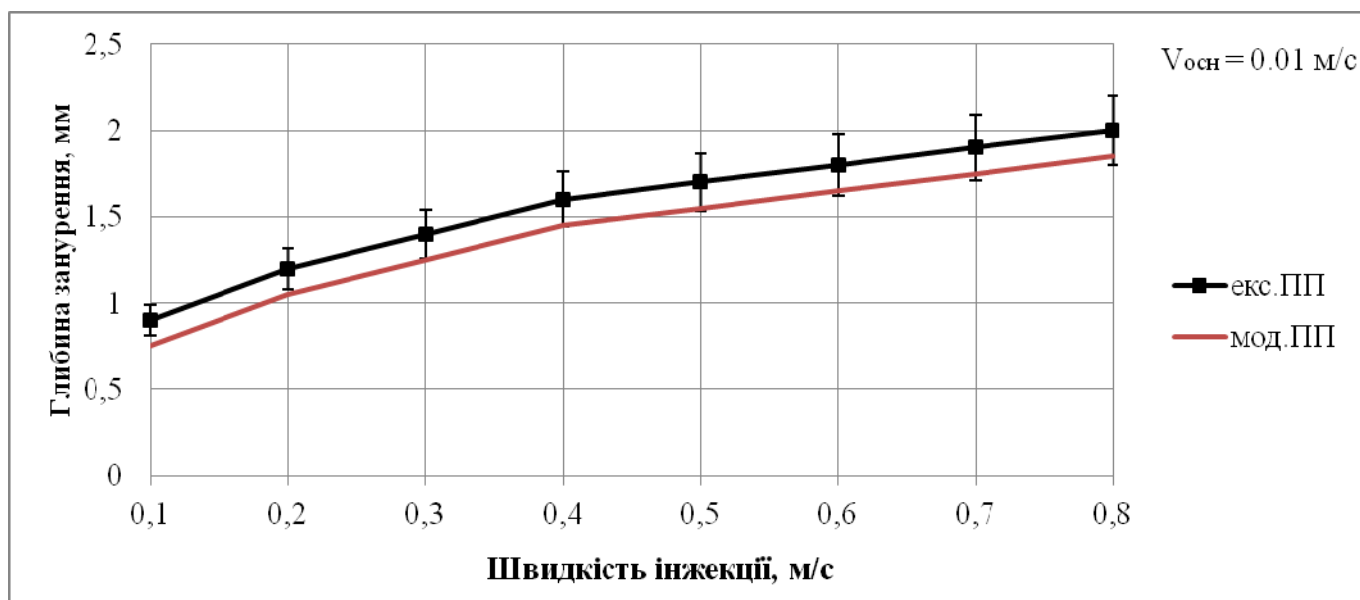


Рисунок 5.8 – Графік усередненої глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу за різних швидкостей подачі ПП марки 2248-002 в інжекційному каналі

Зі збільшенням швидкості подачі ПМ (ПП марки 2248-002) в інжекційному каналі, глибина занурення частинок вздовж осі формуючого каналу збільшується поетапно, а саме вхідна ділянка при швидкості інжекції від 0,1 м/с до 0,4 м/с занурення частинок за малий проміжок часу досягає 1,6 мм, а далі глибина занурення поступово падає, досягаючи відмітки 2 мм, виходячи з експериментальних даних.

З експериментальних даних встановлено, що глибина занурення датчиків у виріб зростає від 0,9 мм до 2 мм при збільшенні швидкості подачі (від 0,1 м/с до 0,8 м/с) матеріалу ПП марки 2248-002 в інжекційному каналі.

При чисельному моделюванні глибина занурення твердих частинок у полімерний розплав зростає від 0,7 мм до 1,8 мм при збільшенні швидкості подачі ПМ в інжекційному каналі від 0,1 м/с до 0,8 м/с.

Як видно з рис. 5.8 дані, отримані при моделюванні відрізняються від експериментальних на 10%.

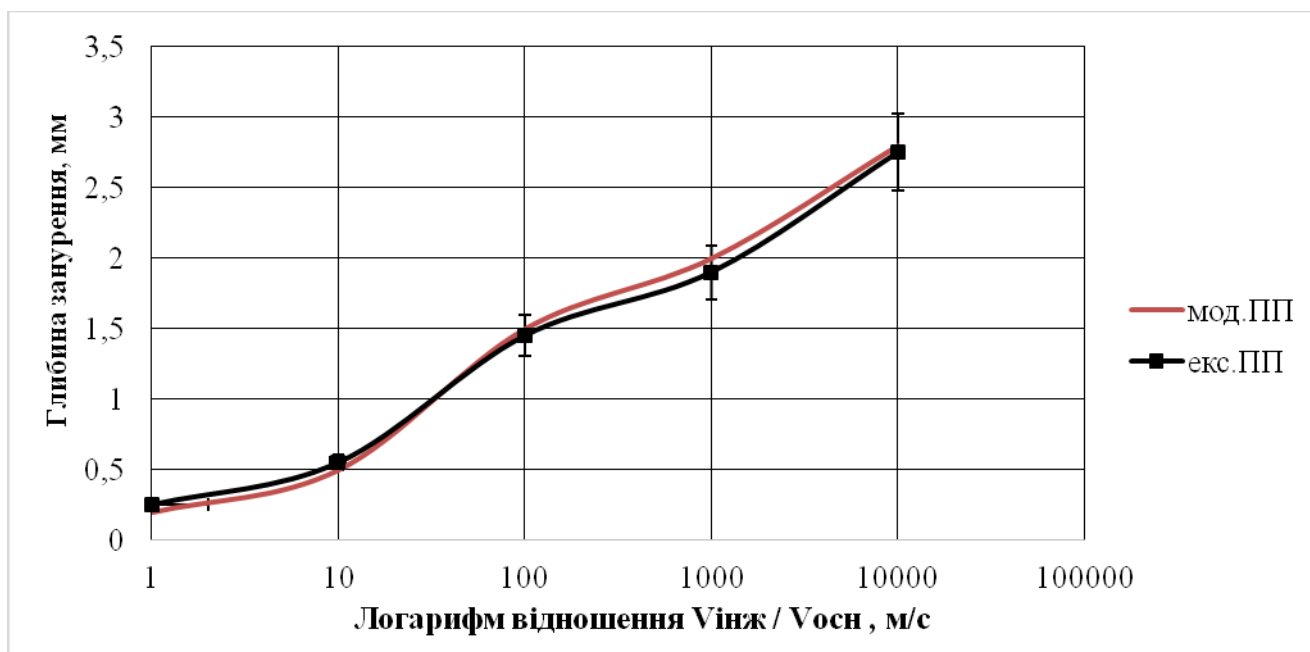


Рисунок 5.9 – Графік усередненої глибини занурення частинок вздовж осі формуючого каналу при різних відношеннях швидкості інжекційного потоку до
ОСНОВНОГО

Експериментальні дані з використанням ПП марки 2248-002 показали, що якщо провести апроксимуючу лінію для рис. 5.9 глибина занурення частинок в полімерний матеріал лінійно зростає від 0,25 мм до 2,65 мм при різних відношеннях швидкості інжекційного потоку до основного від 1 м/с до 10^4 м/с.

Виходячи з чисельного моделювання встановлено, що при використанні матеріалу ПЕВТ марки 15803-020 глибина занурення частинок в полімерний матеріал також лінійно зростає від 0,22 мм до 2,6 мм при різних відношеннях швидкості інжекційного потоку до основного, а саме від 1 м/с до 10^4 м/с.

З графіка на рис. 5.9 видно, що дані, отримані при моделюванні відрізняються від експериментальних на 9%.

Підсумовуючи розділ можна зробити наступні висновки:

1. Визначена достовірність отримання експериментальних даних. Відносна похибка не перевищує 10%.
2. Експерименти показали, що при різних відношеннях швидкості інжекційного потоку до основного, а саме при збільшенні інжекційного

спостерігається поступове збільшення глибини занурення частинок вздовж осі полімерного матеріалу, в даному випадку для полімерних матеріалів ПЕНТ, ПЕВТ, ПП.

3. Найбільше значення заглиблення досягається при використанні в інжекційному механізмі матеріалу з більшою в'язкістю, відносно матеріалу, який знаходиться в основному формуючому каналі.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ Й НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

В процесі трудової діяльності організм людини піддається впливу різноманітних шкідливих факторів, що виникають в процесі виробництва скляної тари та експлуатації обладнання. Особливу небезпеку для робітників становлять виробничі приміщення. Реальні умови праці несуть в собі одразу декілька небезпечних факторів, котрим піддається організм під час роботи.

Тому при розробці технологічних процесів на виробництві необхідно враховувати вимоги щодо охорони праці, засобів індивідуального захисту та виробничої санітарії.

Відповідно до теми магістерської дисертації «Процес екструзійно-інжекційного формування полімерних виробів» розробляється розділ охорони праці.

Процес виготовлення труб, стренги та деталей з прес-форм виконується одним оператором на кожній лінії, які знаходяться біля установки та одним технологом, який контролює технологічні процеси виробничих ліній.

Розміри виробничого приміщення складають: довжина $L = 50$ м, ширина $B = 20$ м, висота $H = 10$ м; загальний об'єм приміщення становить $V = 10\,000$ м³.

При роботі оператора, на його робочому місці можуть виникати наступні шкідливі і небезпечні виробничі фактори:

- виділення в повітря робочої зони шкідливих речовин, які утворюються в процесі експлуатації устаткування;
- електричний струм;
- пожежна безпека;
- виробниче освітлення;
- засоби та заходи пожежогасіння.

6.1 Повітря робочої зони

Мікроклімат виробничих приміщень – це умови внутрішнього середовища цих приміщень, що впливають на тепловий обмін працюючих з оточенням. Як фактор виробничого середовища, мікроклімат впливає на теплообмін організму людини з цим середовищем і визначає тепловий стан організму людини в процесі праці.

Мікрокліматичні умови виробничих приміщень характеризуються такими показниками:

- температура повітря (°C);
- відносна вологість повітря (%);
- швидкість руху повітря (м/с).

Оптимальні і фактичні параметри температури [21], відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні наведені у табл. 6.1, а виділення шкідливих речовин в робочу зону – у табл. 6.2.

Таблиця 6.1 – Параметри метеорологічних умов

Пора року	Категорія робіт	Температура, °C	Відносна волога, %	Швидкість руху повітря, м/с
		Фактична	Фактична	Фактична
Холодний і перехідний періоди року	Середньої тяжкості	21-24	40-65	0,1-0,12
Теплий період року	Середньої тяжкості	26-30	40-55	0,15-0,2

Таблиця 6.2 – Концентрації шкідливих речовин

Речовина	ГДК	Концентрація
		Фактична, мг/м
Co	20	16

CO_2	0,3	0.01-0.02
---------------	-----	-----------

Керування якістю повітряного середовища на підприємстві виконується за допомогою:

- технологічних методів;
- вибору устаткування та рівню його обслуговування;
- автоматизації технологічних процесів;
- придушення шкідливих речовин у зоні утворення;
- герметизації устаткування;
- уловлювання забрудненого повітря й ефективного очищення його;
- вентиляції;
- контролю якості повітряного середовища.

Параметри повітря робочої зони і усунення шкідливих речовин що виділяються при експлуатації устаткування забезпечується відповідними пристроями та засобами, що передбачені при проектуванні виробничих приміщень.

В області робочої зони механіка підвищується температура повітря, тому за допомогою механічної вентиляції тепле та забруднене повітря видаляється з приміщення, а на його місце подається свіже.

За рахунок встановлених в приміщенні витяжок концентрація шкідливих речовин відповідає нормам, зазначеним в ГОСТ 12.1.005–98 і СНиП 2 04.05-84, а параметри метеорологічних умов відповідають ДСН 3.3.6.042–99.

6.2 Небезпека ураження електричним струмом

Для живлення елементів установок використовується трифазна напруга 220/380 В з частотою 50 Гц з ізольованою нейтраллю.

Причинами електротравм на виробництві є:

- випадкове доторкання до струмопровідних частин, що перебувають під напругою;

- несправність захисних засобів, якими потерпілий доторкається до струмопровідних частин;
- поява напруги на металевих частинах електрообладнання (огорожах, кожухах) у результаті пошкодження ізоляції струмопровідних частин електрообладнання;
- поява напруги на відключених частинах електрообладнання в результаті помилкового включення обладнання, замикання струмопровідних частин, розряд блискавки та ін.;
- виникнення крокової напруги на поверхні землі або підлоги, на якій стоїть людина, в результаті замикання проводу на землю, несправності заземлення;
- дотик до частин установки, які можуть опинитися під напругою у разі короткого замикання.

Основними заходами захисту від поразки електричним струмом на ділянці експлуатації лінії є:

1. Забезпечення недоступності токопровідних частин, що знаходяться під напругою для випадкового дотику.
2. Використання щитків, спеціальних знаків небезпеки, які попереджують людей про можливість поразки електричним струмом.
3. Для безпечної роботи перед початком експлуатації установки її перевіряють фахівці.
4. Усунення небезпеки при появі напруги на корпусах, кожухах і інших частинах електроустаткування, що досягається використанням захисного занулення або подвійною ізоляцією.

Недоступність токопровідних частин на ділянці забезпечується огороженням і ізоляцією токопровідних частин. Також елементарна мережа орієнтована (забарвленням фаз в різні кольори, різне забарвлення силового і допоміжного устаткування, маркування, покажчики небезпечних для життя місць) і на ділянці застосовуються захисні засоби.

Для запобігання травматизму необхідно дотримуватися таких запобіжних заходів:

- рубильник включення установки необхідно помістити в спеціальну шафу;
- у разі попадання робочого під напругу, необхідно передбачити спеціальне аварійне відключення електродвигунів, вентиляторів;
- на панелі управління установки вивести сигнальні лампи індикації включення електроустаткування;
- заземлення установки виконується відповідно до ГОСТ 12.1.030-81. Біля затисків заземлення нанести фарбою, що не змивається, знаки "земля", відповідно до ГОСТ 12.4.026-76.

Електрична міцність ізоляції перевіряється на випробувальну напругу 200 В частотою 50 Гц протягом 1 хв.

Контроль захисту ЕОМ всередині операторської кімнати проводиться відповідно до норм, викладених в ГОСТ 14254-80.

6.3 Пожежна безпека

Виробничі лінії призначені для експлуатації в протипожежних зонах класу П-Па по ПУЕ. Вогнестійкість будівлі по СНиП 2.01.02-85 відповідає ступеню вогнестійкості II, згідно ОНТП 2486, категорія приміщення В.

Фактори, що можуть викликати пожежу:

- несправність електроустаткування;
- коротке замикання;
- спалах ізоляції електропроводів;
- використання вогню в недозволеному місці.

Також джерелом запалення можуть служити порушення норм і правил зберігання вогнезаймистих матеріалів, необережне поводження з вогнем, використання відкритого вогню факелів, паяльних ламп, куріння у заборонених

місцях, невиконання протипожежних заходів щодо пожежної сигналізації, забезпечення первинними засобами пожежогасіння та ін.

Щоб запобігти спалаху вогню, необхідно дотримуватися таких заходів [22]:

- дотримання правил експлуатації установки;
- відвести окремі місця для куріння персоналу;
- проведення інструктажів з пожежної безпеки для робітників;
- застосування засобів виявлення пожежі та пожежогасіння, у тому числі автоматичних установок пожежогасіння;
- улаштуванням аварійного відключення та перемикання установок і комунікацій;
- використання вогнеперешкоджуючих пристроїв в устаткуванні;
- наявність засобів пожежогасіння (пісок, вогнегасник) недалеко від установки.

Для гасіння невеликих ділянок спалаху при відключеному електроустаткуванні застосовують вуглекислі вогнегасники ОУ-5 (6 шт.) і пінні вогнегасники ОВП-10 (3 шт.). Для гасіння включених електромереж застосовують порошкові вогнегасники ОП-10 (3 шт.). Легко-пінний вогнегасник призначений для гасіння загоряння легкозаймистих рідин, горючих рідин, твердих матеріалів.

6.4 Виробниче освітлення

Майже 90% інформації людина одержує через органи зору. Світло робить позитивний вплив на обмін речовин, серцево-судинну систему, нервово-психічну сферу. Рациональне освітлення сприяє підвищенню продуктивності праці та безпеки під роботи.

При недостатньому освітленні і поганій його якості відбувається швидке стомлення зорових аналізаторів, підвищується травматичність. Занадто висока яскравість викликає явище осліплення, порушення функції ока.

Для штучного освітлення використовуються люмінесцентні лампи АД-1,5, які вмонтовані в пилогазоохоронні світильники типу ПВМ-1-2х40. Напруга мережі 220 В.

Передбачено аварійне освітлення, яке забезпечує 5% робочого освітлення. Для цього використовують лампи незалежного джерела. Кольорове оформлення лабораторії і обладнання відповідає нормам відносно СН 18140. Стеля, стіни пофарбовані в світлі кольори. Для контролю освітленості використовують люксметр моделі Ю-116, вимірюють її один раз в рік і для вимірювання яскравості фотометри [23].

6.5 Засоби та заходи пожежогасіння

Пожежу, яка виникла, можна ліквідувати, якщо забрати один з трьох факторів необхідних для горіння: горючу речовину, окиснювач, джерело тепла. Існують 2 способи гасіння пожеж: фізичний та хімічний.

До фізичних способів припинення горіння відносяться:

- охолодження зони горіння або горючих речовин;
- розбавлення реагуючих речовин в зоні горіння негорючими речовинами;
- ізоляція реагуючих речовин від зони горіння.

Хімічний спосіб припинення пожежі – хімічне гальмування реакції горіння.

До основних засобів гасіння пожежі відносяться:

- вода (у вигляді струменя або у розпиленому стані);
- інертні гази (вуглекислий газ, азот);
- піни хімічні та повітряномеханічні;
- порошкові суміші;
- покривала з брезенту та азбесту.

Первинні засоби гасіння пожежі:

- внутрішні пожежні крани;
- відра, лопати, пісок, вогнегасники.

Для гасіння пожеж передбачені ручні вогнегасники ВП-4(6) – робочий тиск у корпусі 1,3 МПа, температури експлуатації -20...+50, термін придатності – 10 років [24].

7 РОЗРОБКА СТАТАП ПРОЕКТУ

7.1 Опис ідеї проекту

Основна ідея проекту полягає в створенні підприємства з виробництва полімерних труб, профілів та різних видів деталей виготовлених в прес-формах з введенням у полімерні вироби інтелектуальних датчиків.

Можливі напрямки застосування: авіабудівництво, машинобудування, будівництво житлових комплексів, заводів, комунальних будівель, транспортних шляхів, суднобудівництво, виробництво космічної та військової техніки.

Створення «інтелектуальних матеріалів» на базі ПКМ відкриває принципово нові можливості розробки сучасної техніки. Це дозволяє експлуатувати цю техніку при критичних навантаженнях та в умовах, коли ніякі інші методи контролю стану полімерного матеріалу і корегуючого впливу на нього не можуть бути використані за конструктивно-технологічних причин [25].

Основні вигоди, що може отримати користувач від заміни традиційних описаних видів товарів на товари із введеними інтелектуальними датчиками, які дозволяють:

- контролювати процеси, що протікають під час формування виробів з «інтелектуальних» ПКМ
- «моніторити» їх стан під час експлуатації
- адекватно реагувати на зміни, що відбуваються в них, внаслідок впливу факторів навколишнього середовища.

7.2 Загальна інформація про компанію

Назва: PolIntel

Логотип:



Основні товари підприємства можна розділити на три категорії:

№ п/п	Назва	Сильна сторона	Слабка сторона
1	Стренга	Не вбирає вологу, не потребує обробки антисептиками, пластичний, не крихкий, не тріскається	Ведення інтелектуальних датчиків значно підвищить їх ціну
2	Труба	Простота монтажу, навантаженні і перевезенні, дешевші за залізни на 15%	Ведення інтелектуальних датчиків значно підвищить їх ціну
3	Деталі	Поділ на реактопласти і термопласти в залежності від призначення деталі	Ведення інтелектуальних датчиків значно підвищить їх ціну

Полімерний профіль успішно застосовується в якості будівельного матеріалу для благоустрою прибудинкових територій, дитячих та спортивних майданчиків, дворів, дачних і садових ділянок, тваринницьких ферм, для виготовлення парканів, огорож, дорожніх стовпчиків, лавок, столів, урн тощо [25].

На сьогоднішній день пластикові труби успішно використовуються в усіх видах інженерних комунікацій, як житлово-комунального, побутового, так і промислового призначення - це водопостачання та водовідведення, системи теплофікації, зрошення та дренаж, системи газифікації, нафтовидобуток, шламо- і пульпопроводи, трубопроводи харчової промисловості, кабельні системи зв'язку, медицина та багато іншого [25].

У машинобудуванні найбільш поширені вироби з реактопластів і термопластів. Такий поділ пластмас пов'язаний з їх різною поведінкою при нагріванні. Реактопласти при нагріванні стають в'язкими, а потім в результаті хімічної реакції

переходять в твердий стан. Цей процес є незворотнім. Термопласти при нагріванні розм'якшуються і плавляться, а при охолодженні тверднуть; причому процес може повторюватися неодноразово без зміни хімічного складу. В даний час практично неможливо знайти галузь техніки, де б не застосовувалися вироби з пластмас. Як хороші діелектрики пластмаси застосовують у виробках електротехніки в якості корпусів, ізоляторів, деталей арматури. У машинобудуванні, авіабудуванні, автомобільній і тракторній промисловості з пластмас виготовляють такі деталі, як рукоятки, маховики, важелі, панелі, облицювальні накладки і багато інших. Зростає виробництво пластмасових зубчастих коліс, підшипників ковзання, сепараторів, підшипників кочення. У прес-формах для пластмас виготовляють вироби з зовнішнім і внутрішнім різьбленням, з арматурою складної конфігурації, значних розмірів і маси. З кожним роком промисловість освоює нові марки пластичних мас, що володіють новими надзвичайно цінними властивостями. Тому обсяг виробництва виробів з цих матеріалів і надалі буде збільшуватися [25].

Всі вище описані товари, окрім заявлених характеристик, мають додаткові властивості, які притаманні «інтелектуальним» матеріалам:

- здатні адекватно підлаштовуватись до нових навантажень
- змінювати свої характеристики і форму
- самостійно регулювати ступінь своєї реакції на нові умови відповідно до рівня їх зміни.

Можливість вбудовування в структуру ПКМ елементів, здатних реагувати на зміну параметрів навколишнього середовища, дозволяє моделювати широкий спектр інноваційних «інтелектуальних» матеріалів. Останні здатні адаптуватися до змінних умов для самозбереження, підтримання можливості виконувати свої функціональні властивості та забезпечення працездатності всієї конструкції у варіабельних умовах. В результаті створення «інтелектуальних» матеріалів у матеріалознавстві з'явилися поняття «навченості» матеріалів і «відчуття» ними граничних ситуацій.

7.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 7.1 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільові сегменти ринку
1	Контроль процесів всередині механізмів, будівель, виробів	Авіабудівництво, машинобудування, будівництво житлових комплексів, заводів, комунальних будівель, транспортних шляхів, будівництво військової техніки
2	Віддалений моніторинг без зупинки виробничих процесів	Суднобудівництво, виробництво космічної техніки
3	Завчасне усунення проблеми і економія на процесі ремонтних робіт	Авіабудівництво, машинобудування, будівництво житлових комплексів, заводів, комунальних будівель, транспортних шляхів, будівництво військової техніки, суднобудівництво, виробництво космічної техніки.

Таблиця 7.2 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Спад виробництва в галузях	Відсутність потреби в товарах, адже вони мають високу ціну	Створення додаткових можливостей та умов заключення контрактів
2	Зростання інфляції	Падіння платоспроможності в тому числі і підприємств, з якими співпрацюватиме наш проект	Гнучке ціно утворення, створення кредитних умов

Таблиця 7.3 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Унікальність технології виробництва	Вихід на європейський ринок	Відкриття філій, представництв, розширення виробництва
2	Стимулювання розвитку інноваційного підприємництва	Зменшення податкового тиску на стартапи	Масштабування стартапу
3	Економічне відкриття кордонів	Залучення інвестицій та спонсорів з-за кордону	Патентування власної технології і отримання коштів від її використання

Таблиця 7.4 Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
Тип конкуренції	Олігополія	Диференціація у маркетингових підходах у взаємодії із споживачами
Рівень конкурентної боротьби	Національний рівень конкурентної боротьби	Відповідність технології та якості продукту вимогам міжнародного та українського законодавства
За галузевою ознакою	Міжгалузева	Урахування особливостей конкурентного середовища у

		кожній галузі з якою взаємодіє стартап
Конкуренція за видами товарів	Товарно-видова конкуренція	Відстеження тенденцій на ринку з можливістю появи на ринку продуктів-замінників
За характером конкурентних переваг	Цінова / нецінова	1. Гнучке ціноутворення з урахуванням динаміки попиту 2. Удосконалення технології, що спрямована на підвищення базових переваг
За інтенсивністю	Не марочна інтенсивність	Забезпечення масштабованості стартапу в найближчій перспективі для створення стійкого сприйняття стартапу як окремої бізнес одиниці

Переваги SWOT-аналізу полягають у систематизації знань про внутрішні та зовнішні фактори, котрі мають безпосередній вплив на процес стратегічного управління, визначення конкурентних переваг, діагностику ринку тощо [26].

Таблиця 7.5 SWOT-аналіз стартап проекту

	Сильні сторони (S)	Слабкі сторони (W)
Внутрішнє середовище	1) нова технологія на ринку України та Європи 2) висока якість продукту 3) унікальні можливості «інтелектуальних» матеріалів 4) широка сфера застосування	1) висока вартість продукту 2) складність технології введення продукту 3) довготривалий процес введення продукту на ринок
Зовнішнє	Можливості (O)	Загрози (T)

середовище	<p>S1-O1 – патентування технології виробництва і «оренда» патенту іншими фірмами-виробниками, в тому числі закордонними</p> <p>S1-O2 – захоплення ринку, створення власної монополії</p> <p>S3-O3 – використання товарів в технологіях майбутнього</p> <p>S4-O4 – витіснення аналогічних товарів без інтелектуальних датчиків</p>	<p>S1-T1 – поява товарів-заміників</p> <p>W1-T2 – низький попит на товари</p> <p>W3-T3 – великі витрати для виведення проекту на ринок</p>
-------------------	---	--

Таблиця 7.6 Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Ресурсний	аявність доступу до дешевої і якісної сировини; налагоджена система ефективного використання ресурсів; контракти з основними постачальниками
2	Географічний	зручне розташування (15 км від столиці), близькість до транспортних шляхів та каналів розподілу
3	Технологічний	наявність сучасного європейського обладнання, що ефективно впливає на продуктивність і якість товарів
4	Інтелектуальний	висококваліфіковані працівники
5	Інноваційний	застосування у виробничій діяльності унікальної і абсолютно нової для України

		технології введення інтелектуальних датчиків
6	Конструктивний	технічні характеристики продукції на високому рівні, так само як і якісні
7	Сервісний	рівень та якість послуг високі за рахунок передового європейського обладнання, 3D проектування, професійної освіти колективу

7.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Вибір цільових груп потенційних споживачів. Бізнес для бізнесу (B2B) - діяльність компанії, орієнтована на отримання вигоди від надання послуг, продажу товару не приватним кінцевим споживачам, а іншим компаніям, які споживають ці товари і послуги для власного бізнесу [26].

Бізнес для бізнесу виробничих компаній - діяльність компаній-постачальників щодо забезпечення виробничих компаній послугами, засобами виробництва, а також товарами, призначеними для виробництва інших товарів.

Компанія-покупець використовує продане їй не з метою перепродажу, а для цілей:

- власного споживання, необхідних для ведення бізнесу;
- кастомізації або модінга конкурсних торгів;
- докорінної модернізації, в результаті якої з'являються принципово нові товари.

Таблиця 7.7 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Сфера застосування	Цільові групи
1	Авіабудівництво	На 2018 рік в Україні зареєстровано 78 авіакомпаній. ТОВ «Авіакомпанія «СКАЙАП», ТОВ «ЄВРОПА ЕЙР», ТОВ «Авіакомпанія Ютейр-Україна» тощо.

2	Машинобудування	Підприємства автомобілебудування, вугільне, транспортне, залізничне, тракторне, хімічне і нафтохімічне, електротехнічне, сільськогосподарське, побутове машинобудування
3	Будівництво	Будівельні компанії, які налічують 2110 підприємств і включають будівництво : житлових і нежитлових будівель, споруд, доріг і залізниць, автострад, мостів, залізниць і метрополітену, комунікацій, трубопроводів, розвідувальне буріння, електромонтажні, водопровідні та ін. будівельно-монтажні роботи
4	Суднобудування	Чорноморський суднобудівний завод, Миколаївський суднобудівний завод, суднобудівний завод «Океан» , дослідно-проектний центр кораблебудування, Центральне конструкторське бюро «ізмруд»
5	Виробництво космічної техніки	Ракетно-космічну галузь України складають близько 30 підприємств різних форм власності. Більша частина – державні підприємства, решта – акціонерні товариства.
6	Виробництво військової техніки	Український ОПК задовольняє всі основні потреби вітчизняної армії, Національної гвардії, СБУ, прикордонників, Національної поліції та інших силових структур.

Таблиця 7.8 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Потреба в інвести-	Використання	Використання унікальної

	ціях для проведення досліджень	«інтелектуальних» матеріалів	запатентованої технології
2	Потреба в досвідчених спеціалістах	Надійність і тривале використання матеріалів без заміни	Відсутність аналогів
3	Нові можливості товарів	Нові характеристики товарів на теренах України та Європи	Можливість стати монополістами та захопити велику частину ринку

7.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 7.9 Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування
1	Співпраця на основі юридично завірених контрактів.	Сайт, електронна пошта, телефонні комунікації, зразки та моделі продукції на спеціалізованих виставках, каталоги продукції, презентації при зустрічі потенційного клієнта та комівояжера	Нарощування виробничих потужностей для збільшення кількості технологічних ліній; диференціювання технологічних ліній починаючи з раннього етапу виробництва; інвестування прибутків у власні наукові розробки

7.6 Бюджет старт-ап проекту

Таблиця 7.10 Лінії для виробництва

Назва	Ціна, грн	Додатково
Лінія №1 для виготовлення профілю	1 000 000	Ванна охолодження: 10 000 грн Тягнучий пристрій: 20 000 грн Відрізний пристрій: 20 000грн
Лінія №2 для виготовлення труб	1 000 000	Ванна охолодження: 10 000 грн Тягнучий пристрій: 20 000 грн Відрізний пристрій: 20 000грн
Лінія №3 для виготовлення деталей у прес-формі	1 000 000	Прес-форми: 500 000 грн
Загальна сума: 3 600 000 грн		

Таблиця 7.11 Сировина

Назва	Ціна на 6 міс, грн	Додаткові витрати, грн
Сировина для труб: ПВХ, ПЕНГ, ПП, датчики	100 000	Доставка: 1 000
Сировина для профілю: ПЕВГ, ПС, Севілен, датчики	60 000	Доставка: 1 000
Сировина для деталей: ПВХ, ПС, ПП, ПЕНГ, датчики	100 000	Доставка: 1 000
Загальна сума: 263 000 грн		

Таблиця 7.12 Оренда приміщення

Назва	Ціна, грн. / міс	Додаткові витрати, грн
Цех 10 000 м ³	30 000	
Піддони, полиці для зберігання	5000 / одноразово	Доставка: 500
Упаковка товару	2000	
Загальна сума: 37 500 грн		

Таблиця 7.13 Робоча сила

Спеціаліст	Зарплата/ міс, грн	Додаткові витрати, грн
Менеджер по продажу і роботі з клієнтами	10 000	Робоча форма 3 000
Бухгалтер	10 000	Бабіни 50 000
Робочі на лінії: 3 робочих на лінії	24 000	Інструменти для обслуговування 30 000
Технолог	9 000	Транспортувальник палет 150 000
Водій	7 000	Вантажний фургон 200 000
Рекламист - фрілансер	3 000	
2 вантажники	16 000	
Складальник	5 000	
Загальна сума: 517 000 грн		

7.7 Просування товару

Основними методами просування товарів у форматі B2B є поширення продукції серед спеціалізованих виставок, аудиторія яких, зазвичай, оптові та роздрібні підприємства міжнародного ринку [27]. Саме тому були обрані такі засоби просування товару, наведені у таблиці:

Таблиця 7.14 Просування товару

№ п/п	Назва	Ціна / 6 міс
1	Участь в профільних виставках	30 000
2	Розробка та просування сайту	30 000
3	Контекстна, банерна реклама	15 000
4	Розсилка e-mail	0
5	Телефонні дзвінки	2 000
6	Створення каталогу та моделей зразків + послуги фотографа	5 000
Загальна сума: 82 000 грн		

В останні роки великого поширення серед організацій-початківців і різних об'єднань молодих вчених набули startup-проекти (стартапи). Стартап – це тільки-но створена компанія, яка знаходиться на стадії розвитку і будує свій бізнес або на основі нових інноваційних ідей, або на основі технологій, які щойно з'явилися.

Тож, нами було описано ідею стартап-проекту, яка полягає в введенні інтелектуальних датчиків у три види товарів: деталі виготовлені в прес-формах, стренги, труби.

Було описано основні переваги і недоліки зазначених товарів. Основним недоліком є висока ціна на готовий продукт. Перевагою — унікальні функції продукту. Новизна проекту - у створенні принципово нових “розумних” матеріалів, які дозволяють контролювати процеси всередині механізмів віддалено та не

зупиняючи робочі процеси.

Згідно результатів SWOT-аналізу, основними напрямками щодо підвищення рівня фінансово-економічної безпеки стартап-проекту можна вважати: захоплення ринку, створення власної монополії, витіснення аналогічних товарів без інтелектуальних датчиків.

Визначено потенційну цільову аудиторію та її основні потреби. Основний формат ділових відносин між нашим проектом та клієнтами B2B. Цільова аудиторія досить широка — від невеликих господарств до компаній-виробників космічної техніки.

Стартап-проект має шанси стати монополістом на ринку України та налагодити систему збуту закордон. Проте бар'єри виходу на ринок досить високі через високу вартість як самої технології виготовлення, так і готових товарів. Саме тому стратегія розвитку маркетингових комунікацій найперше направлена на пошук спонсорів для проекту.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської дисертації на тему «Екструзійно-інжекційне формування полімерних виробів», можна зробити наступні висновки:

1. Літературний огляд підтвердив актуальність теми роботи, показав невелику кількість досліджень та недостатню теоретичну обґрунтованість процесу позиціонованого введення полімерної суміші з мікрочастками у виріб.
2. Для виконання завдання був використаний експериментально-теоретичний підхід та метод дослідження.
3. Розроблено математичну модель процесу введення суміші полімеру з мікрочастками на певну глибину та задані координати готового виробу, встановлено початкові та граничні умови, що визначають даний процес.
4. Шляхом числових експериментів встановлено взаємозалежність між відношенням швидкості інжекційного потоку до основного екструзійного; визначено залежність між в'язкістю полімерного матеріалу та кутом нахилу інжекційного отвору до формуючого каналу, в діапазоні від 10° до 90° , та геометричними параметрами каналів.
5. Теоретично та експериментально визначено оптимальну величину кута введення датчика, що становить 35° .
6. Визначена достовірність отримання експериментальних даних. Відносна похибка не перевищує 10%.
7. Запропоновано вдосконалену конструкцію формуючого пристрою для введення інтелектуальних датчиків. На вказану конструкцію отримано патент на корисну модель №118513U МПК В 29 С 47/14 «Профільна екструзійна головка» заявл. 09.03.17; опубл. 10.08.17, Бюл. №15.
8. Опубліковано: Тези доповідей IV Всеукраїнська науково-практична конференція «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки». – Київ, 2016. — С. 48-49. Тема доповіді: «Пристрої для введення датчиків у погонажні полімерні вироби».

Тези доповідей VIII міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». – Чернігів, 2018. Тема доповіді: «Екструзійно-інжекційний спосіб формування погонажних виробів з введенням інтелектуальних датчиків».

9. Подана стаття у фаховий науковий журнал.

10. Завдяки використанню даної установки з'явилася можливість отримувати полімерний виріб методом екструзії із одночасною інжекцією додаткової суміші полімеру з концентратом барвника або ІД в отримані вироби з заданим кроком і глибиною. Розроблений спосіб введення інтелектуальних датчиків у внутрішню структуру полімерного виробу дозволяє у подальшому в on-line режимі отримувати інформацію про напружено-деформований стан виробів, тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Михайлин Ю. А. Специальные полимерные композиционные материалы / Юрий Анатольевич Михайлин. – СПб: Научные основы и технологии, 2008. – 660 с.
2. Аксенович Л. А. Физика в средней школе: Теория. Задания. Тесты: Учеб. пособие для учреждений, обеспечивающих получение общ. сред. образования / Л. А. Аксенович, Н.Н. Ракина, К. С. Фарино; Под ред. К. С. Фарино. — Мн.: Адукацыя и обучение, 2004. — С. 108-110.
3. О.Г. Ревинская Движение тела в вязкой среде / О.Г. Ревинская, Н.С. Кравченко. — Учебно-методическое пособие по изучению моделей физических процессов и явлений на компьютере с помощью лабораторной работы № МодТ–02 для студентов всех специальностей
4. Сайт: ANSYS. ANSYS Fluent Tutorial Guide // Режим доступа : www.ansys.com/.
5. Wallace, G. G. Intelligent polymer systems-concepts, approaches present uses and potential applications [Text] / G. G. Wallace // Material Forum. — 1992. — Vol. 16, № 2. — P. 111–115.
6. Wallace, G. G. Conductive Electroactive Polymers: Intelligent Polymer Systems [Text] / G. G. Wallace, P. R. Teasdale, G. M. Spinks, L. A. Kane-Maguire. — Ed. 3. — Northwest: CRC Press, 2008. — 263 p. doi:10.1201/9781420067156
7. Barisci, J. N. Conducting polymer sensors [Text] / J. N. Barisci, C. Conn, G. G. Wallace // Trends in Polymer Science. — 1996. — Vol. 4, № 9. — P. 307–311.
8. Carpi, F. Biomedical Applications of Electroactive Polymer Actuators [Text] / F. Carpi, E. Smela. — Chichester: Wiley, 2009. — 496 p. doi:10.1002/9780470744697
9. Hoffman, A. S. «Intelligent» polymers in medicine and biotechnology [Text] / A. S. Hoffman // Macromolecular Symposia. — 1995. — Vol. 98, № 1. — P. 645–664. doi:10.1002/masy.19950980156
10. Honeychurch, K. C. Nanosensors for Chemical and Biological Applications [Text] / K. C. Honeychurch. — Birmingham: Woodhead Publishing, 2014. — 372 p. doi:10.1016/b978-0-85709-660-9.50014-x

11. Kolosov A. E. Effective hardware for connection and repair of polyethylene pipelines using ultrasonic modification and heat shrinkage. Part 2. Production bases for molding of epoxy repair couplings with shape memory [Text] / A. E. Kolosov, O. S. Sakharov, V. I. Sivetskii, D. E. Sidorov, S. O. Pristailov // Chemical and Petroleum Engineering. — 2011. — Vol. 47, № 3–4. — P. 210–215. doi:10.1007/s10556-011-9448-4
12. Лихачев, А. Н. Особенности создания «интеллектуальных» конструкций формо- и размеростабильных систем космических аппаратов на основе диэлектрических полимерных материалов [Текст] / А. Н. Лихачев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. — 2013. — № 1 (47). — С. 114–118.
13. Пат. № 25417 Оpubл. 10.08.2007 Бюл. №12 МПК В29С 47/14. Сівецький В.І., Сокольський О.Л., Півненко С.В. Екструзійна головка.
14. Пат. № 112311 Оpubл. 12.12.2016 Бюл. №23 МПК В29С 47/14. Сівецький В.І., Сокольський О.Л., Куриленко В.М., Івіцький І.І., Гарашук В.І. Кільцева екструзійна головка.
15. Пат. № 123458 Оpubл. 26.02.2018 Бюл. №4 МПК В29С 47/14. Сівецький В.І., Колосов О.Є., Халімовський О.М. Екструзійна головка.
16. Пат. № 123469 Оpubл. 26.02.2018 Бюл. №4 МПК В30В 15/02 В29С 39/00. Сівецький В.І., Колосов О.Є., Куриленко В.М., Івіцький І.І. Спосіб виготовлення пластмасових виробів із закладними деталями.
17. Пат. № 118513 Оpubл. 10.08.2017 Бюл. №15 МПК В29С 47/14. Сівецький В.І., Сокольський О.Л., Куриленко В.М., Колосов О.Є., Поліщук О.В. Профільна екструзійна головка
18. Карвацький А.Я. Механіка суцільних середовищ [Електронний ресурс]: навч. посіб. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 290 с.
19. Generalized navier boundary condition and geometric conservation law for surface tension / J.F. Gerbeau, T. Lelièvre // computer methods in applied mechanics and engineering. — 2009. — vol. 198, issues 5–8. — p. 644—656.

20. Босый В. В. Инженерные методы расчета погрешностей при выполнении лабораторных работ по курсам «Тепломассообмен» и «Техническая термодинамика» / В. В. Босый, Г. Н. Васильченко, Е. Н. Панов. — Киев, 1985. — 72 с.
21. Ткачук К.Н. Основи охорони праці / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно, О.І. Полукаров, В.С. Коз'яков, Л.О. Мітюк. — К.: Основа, 2006 — 448 с.
22. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці [Текст]: підруч. / В.Ц. Жидецький. — 3-тє вид., перероб. і доп. — Львів : Укр. акад. друкарства, 2006. — 336 с.
23. Описано про виробниче освітлення [Електроний ресурс] / «Охорона праці». — Режим доступу: http://pidruchniki.ws/12090613/bzhd/virobniche_osvitlennya.
24. Описана способи і засоби пожежогасіння [Електроний ресурс] / «StudentBooks.com.ua». — Режим доступу: <http://content/view/1345/76/1/2/>.
25. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. — Київ : НТУУ «КПІ», 2016. — 28 с.
26. Бланк, С. Стартап. Настольная книга основателя / С. Бланк, Б. Дорф ; пер. с англ. Т. Гутман, И. Окунькова, Е. Бакушева. — 2-е изд. — Москва : Альпина Паблишер, 2014. — 614 с.
27. Зозулев А.В. Промышленный маркетинг: рыночная стратегия / А.В. Зозулев. — К.: Центр учебной литературы, 2010. — 576 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А
ПАТЕНТИ УКРАЇНИ НА КОРИСНІ МОДЕЛІ



МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA (11) 118513 (13) U
(51) МПК
B29C 47/14 (2006.01)

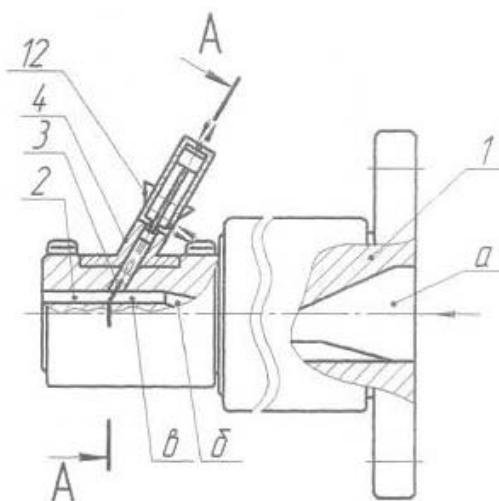
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки	u 2017 02190	(72) Винахідник(и): Сівецький Володимир Іванович (UA), Куриленко Валерій Миколайович (UA), Соколюський Олександр Леонідович (UA), Колосов Олександр Євгенович (UA), Поліщук Олександр Вікторович (UA)
(22) Дата подання заявки:	09.03.2017	(73) Власник(и): Соколюський Олександр Леонідович, просп. Маяковського, 23, кв. 109, м. Київ- 225, 02225 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	10.08.2017	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.08.2017, Бюл. № 15	

(54) ПРОФІЛЬНА ЕКСТРУЗІЙНА ГОЛОВКА

(57) Реферат:

Профільна екструзійна головка містить формуючу ділянку з каналом для протікання розплаву. Формуючу ділянку оснащено щонайменше одним додатковим каналом, вихідний отвір якого направлений в напрямку формуючої ділянки, а вхідний отвір оснащено вузлом додаткового живлення з дозувально-завантажувальним пристроєм.



Фіг. 1

UA 118513 U

UA 118513 U

Корисна модель належить до області переробки термопластичних полімерів та композицій на їх основі, зокрема до екструзійного обладнання. Корисна модель може бути використана у технологічних лініях по виготовленню профільних виробів різноманітної конфігурації.

Відомі різноманітні варіанти конструктивного оформлення профільних головок [Басов Н.И. Расчет и конструирование формующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов /Н.И. Басов, В.А. Брагинский, Ю.В. Казанков. - М.: "Химия", 1991. - С. 282, рис. 43].

Недоліком відомих конструкцій є неможливість введення в фіксовану точку перерізу погонажного виробу додаткових компонентів, наприклад домішок, наповнювачів або частинок, які можуть слугувати інтелектуальними датчиками.

10 Як найближчий аналог (прототип) вибрана екструзійна головка, що містить корпус та дорн встановлений на дорнотримачі, утворюючи формуючий канал для протікання полімеру, причому принаймні один дорнотримач оснащено щонайменше одним пристроєм додаткового живлення з каналом, вихідний отвір якого направлений в напрямку вихідного формуючого каналу [патент України № 112311 У, МПК В29С 47/14, заявл. 13.06.2016, опубл. 12.12.2016].

15 Наведена конструкція май той недолік, що вона передбачає обов'язкову наявність такого елемента як дорн, це, в свою чергу, значно звужує коло застосування даного рішення.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалення профільної головки шляхом спорядження її пристроєм для введення у внутрішню частину профілю інтелектуальних датчиків, що дозволить при подальшій їх експлуатації контролювати напружено-деформований стан та цим самим своєчасно запобігати руйнуванню.

20 Поставлена задача вирішується тим, що в профільній екструзійній головці, яка містить формуючу ділянку з каналом для протікання розплаву, новим є те, що формуючу ділянку оснащено щонайменше одним додатковим каналом, вихідний отвір якого направлений в напрямку формуючої ділянки, а вхідний отвір оснащено вузлом додаткового живлення з дозувально-завантажувальним пристроєм. Додатковий канал виконано під кутом меншим 90° до напрямку течії розплаву в формуючій ділянці.

Суть корисної моделі пояснюють креслення.

На фіг. 1 зображено приклад конструктивного виконання головки. На Фіг. 2 представлено переріз по А-А з Фіг. 1.

30 Профільна екструзійна головка містить корпус 1 з виконаними в ньому каналом 2 для течії розплаву, який складається з вхідної а, розподільчої б і формуючої в ділянок. В тілі корпуса 1 виконано щонайменше один додатковий канал 3, який з'єднує канал 2 з вузлом додаткового живлення 4. В найбільш прийнятному варіанті додатковий канал 3 з'єднує вузол додаткового живлення 4 з формуючою ділянкою в каналу 2. Вузол додаткового живлення 4 включає в себе матеріальний циліндр 5 з завантажувальним отвором 6, плунжер 7 і його привід 8. Вузол додаткового живлення 4 також може бути оснащено дозувально-завантажувальним пристроєм 9, наприклад, у вигляді циліндра, оснащеного поршнем 10 з приводом 11, бункером 12, в якому знаходяться, наприклад, полімерні капсули 13, які містять інтелектуальні датчики, і заслінкою 14 з приводом 15.

40 Корисна модель працює в такий спосіб.

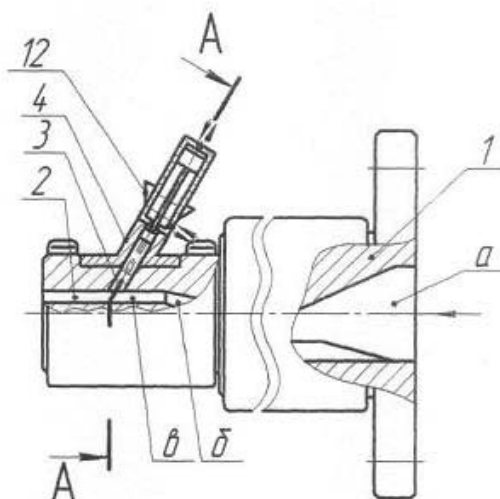
45 Розплав полімеру, підготовлений черв'ячним екструдером, рухається по каналу 2 під заданим тиском, заповнюючи додатковий канал 3 вузла додаткового живлення 4, виштовхуючи по додатковому каналу 3 плунжер 7 матеріального циліндра 5 у вихідне положення г. Далі під дією гідроциліндра 15 відкривається заслінка 14 дозувально-завантажувального пристрою 9 і поршень 10 виштовхує полімерну капсулу 13, яка містить інтелектуальний датчик у порожнину матеріального циліндра 5, герметизуючи завантажувальний отвір 6 і порожнину матеріального циліндра 5. В цей час полімер, що рухається по каналу 2, заповнює додатковий канал 3, оплавляючи капсулу 13, і змішується з інтелектуальним датчиком. Після чого плунжер 7 виштовхує отриману суміш полімеру під заданим тиском з одним або декількома інтелектуальними датчиками на певну глибину каналу 2, положення д. В результаті на виході з головки одержуємо полімерний профіль в стінці якого вмонтовано інтелектуальний датчик. Плунжер 7 повертається у вихідне положення г. Цикл повторюється.

55 Отже, завдяки використанню даної корисної моделі з'явилася можливість вводити інтелектуальні датчики безпосередньо у формуючий канал головки на прикладі головки для виробництва полімерних профілів, що дасть змогу при подальшій експлуатації контролювати напружено-деформований стан та інші важливі параметри. Таким чином, можна модернізувати значну частину формуючих головок для виробництва різних типів виробів.

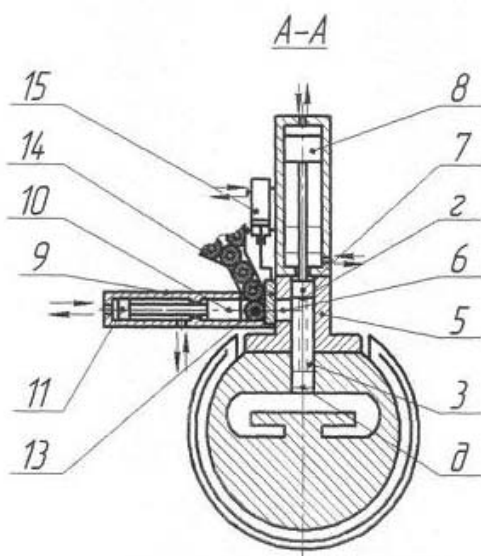
UA 118513 U

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Профільна екструзійна головка, що містить формуючу ділянку з каналом для протікання розплаву, яка **відрізняється** тим, що формуючу ділянку оснащено щонайменше одним додатковим каналом, вихідний отвір якого направлений в напрямку формуючої ділянки, а вхідний отвір оснащено вузлом додаткового живлення з дозувально-завантажувальним пристроєм.
- 5 2. Профільна екструзійна головка за п. 1, яка **відрізняється** тим, що додатковий канал виконано під кутом менше 90° до напрямку течії розплаву в формуючій ділянці.



Фиг. 1



Фиг. 2

ДОДАТОК Б
КОПІЇ НАУКОВИХ СТАТЕЙ



НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРНЕТ ПРОЕКТ
SCIENTIFIC WORLD "SWORLD"
www.sworld.education

+7 (499) 350-80-55
+380 (48) 737-6-234 +380 (66) 790-12-05 SWORLD_ORGCOM ORGCOM@SWORLD.EDUCATION

В сотрудничестве с:

eLIBRARY.RU

INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

Crossref

Google
scholar

При научной поддержке:

ВУЗов и Научно-исследовательских институтов:

Белорусско-Российский университет

Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ)

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта

Научно-исследовательский проектно-конструкторский институт морского флота

Институт морехозяйства и предпринимательства

Луганский государственный медицинский университет

Харьковская медицинская академия последипломного образования

Бельцкий Государственный Университет «Алеку Руссо»

Институт водных проблем и мелиорации Национальной академии аграрных наук

Одесский научно-исследовательский институт связи

Исх. by418-045 от 16.05.2018 г.

СПРАВКА

Дана авторам *Сивецкий В.І., Івіцький І.І., Поліщук О.В.* (Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут") в том, что подготовленная научная работа «*ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО КУТА ВВЕДЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ДАТЧИКІВ У РОЗПЛАВ ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ ПРИ ЕКСТРУЗІЇ*», одобрена Оргкомитетом для участия в конференции «*Научные разработки: вчера, сегодня, завтра '2018*» (15-16 мая 2018 г., секция *Педагогика, психология и социология*) и рекомендована для публикации в журнале «*Modern scientific researches*» Вып.4. Заявке присвоен №be418-045. Выход журнала запланирован на середину июня.

Справка дана для представления в: *Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут"*.

Председатель Оргкомитета
и Редколлегии д.т.н., проф., академик

 А.Г.Шибяев

Научный Секретарь
Оргкомитета и Редколлеги,
Руководитель Проекта SWorld к.т.н.

 С. В. Куприенко

ДОДАТОК В
КОПІЇ ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ НА НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ КОНФЕРЕНЦІЯХ

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного, полімерного
та силікатного машинобудування
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України
Академія наук вищої освіти України
Академія будівництва освіти України

ЗБІРНИК ДОПОВІДЕЙ

IV-ї всеукраїнської

науково-практичної конференції

ЕФЕКТИВНІ ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ ТА ПАКУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Київ, 15-16 грудня 2016 року

2016

ПРИСТРОЇ ДЛЯ ВВЕДЕННЯ ДАТЧИКІВ У ПОГОНАЖНІ ПОЛІМЕРНІ ВИРОБИ

Сівецький В. І., к.т.н проф., Куриленко В. М., аспірант, Сокольський О. Л., к.т.н доцент,
Івіцький І. І., к.т.н ст. викладач, Поліщук О. В., магістр
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Розглядається декілька варіантів конструкцій пристроїв для соекструзійного та інжекційного введення інтелектуальних датчиків (ІД) в профільні полімерні погонажні вироби безпосередньо в процесі їх формування на задані координати перерізу виробів з довільним або заданим кроком. Це дозволить контролювати напружено-деформований стан у виробі при подальшій їх експлуатації.

Існує багато різноманітних профільно-погонажних відповідальних конструктивних елементів, наприклад в авіакосмічній, суднобудівній, автомобілебудівній промисловостях, де життєво необхідно контролювати їх стан в процесі експлуатації.

Широка гама таких виробів виготовляється екструзійним методом, який дозволяє отримувати профільні вироби різноманітної конфігурації при невеликих затратах. У зв'язку з розвитком інноваційних технологій контролю напружено-деформованого стану конструкційних виробів задача введення ІД є однією з актуальних і потребує глибокого дослідження. Типові конструкції формуючих головок для виробництва профільних погонажних виробів не забезпечують цілеве введення ІД в найбільш небезпечні зони конструкції виробу.

Можливість введення датчиків у процесі екструзії за рахунок додаткових живлячих пристроїв досліджено в [1]. У даній роботі встановлена залежність глибини введення додатковим потоком необхідної кількості ІД на задану координату товщини стінки виробу в залежності від співвідношення тиску у формуючому каналі головки та тиску додаткового потоку живлячого екструзійного пристрою. На рис. 1. представлено варіант оснащення формуючої головки з додатковим пристроєм для її соекструзійного живлення сумішшю з певною концентрацією ІД в полімері.

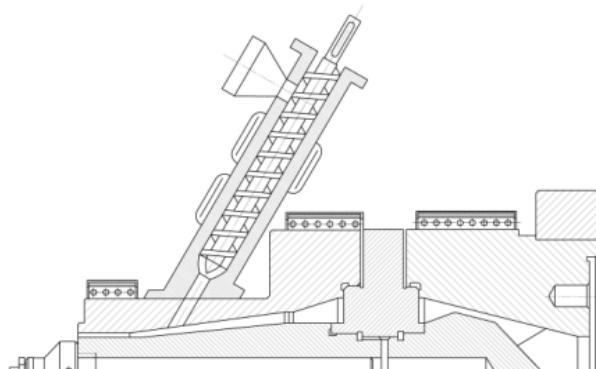


Рисунок 1 Формуюча головка з пристроєм для соекструзійного введення ІД в погонажний виріб

Недоліком такої конструкції є те, що не забезпечується чіткий крок розподілу ІД та їх кількість на одиницю довжини формуючого профілю, а також те, що при необхідності введення датчиків на певну глибину формуючого каналу додатковий екструзійно-дозуючий пристрій повинен забезпечувати подачу розплаву з датчиками під тиском набагато більшим, ніж тиск в основному потоці полімеру.

З метою забезпечення дозованого запрограмованого розподілу ІД в екструдованому виробі пропонуються наступні варіанти конструктивного оформлення інжекційних розподільчих пристроїв.

В разі необхідності введення, наприклад, одного датчика в певну точку профільного екструдованого виробу запропоновано конструкцію інжекційного пристрою, схему якого представлено на рис. 2. В процесі екструзії частка полімерної композиції з формуючого каналу заповнює порожнину інжекційного циліндра 1 і виштовхує поршень 6 у верхнє положення, відкриваючи заслінку 2 гідроциліндром або важелем (на рис. не показано), зв'язаним зі штоком поршня 6. Датчик 3 проштовхується плунжером 4 в інжекційну порожнину, перекриваючи доступ полімеру в завантажувальну горловину інжекційної камери в якій ІД змішується з розплавом. За допомогою гідроциліндра плунжер 6 розпочинає переміщення в зворотному напрямку і в наслідок чого здійснюється інжекція розплаву з датчиком 3 в формуючий канал 7 під заданим тиском для забезпечення його введення на певну глибину.

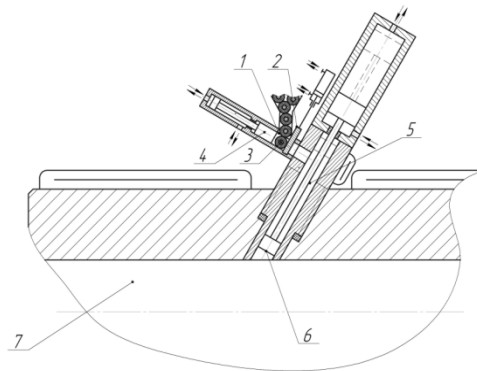


Рисунок 2. Схема інжектуючого пристрою для індивідуального введення ІД

На рис. 3 представлено варіант конструктивного виконання екструзійно-інжекційного пристрою для дозованого введення ІД в якому вони попередньо змішуються з полімером в черв'ячному пластикаторі 1 і дозовано впорскується під заданим тиском безпосередньо в формуючий канал головки 3 за заданою періодичністю циклу з метою збільшення тиску інжекції та запобігання завчасного змішування основного потоку полімеру з дозованим. Синхронно з рухом інжекційного плунжера 2 заслінка 4 відкриває або закриває отвір, що з'єднує інжекційну порожнину з каналом 3. При цьому тиск в гідроциліндрі інжекції значно перевищує тиск в формуючому каналі, що дозволяє занурювати датчики на задану глибину.

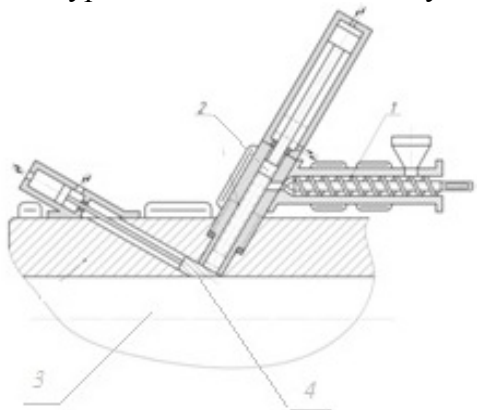


Рисунок 3. Схема інжектуючого пристрою для введення заданого об'єму суміші полімеру з ІД

Завдяки використанню представлених пристроїв досягається можливість вводити ІД безпосередньо у формуючий канал головки, що дасть змогу при подальшій експлуатації виробів контролювати їх напружено-деформований стан та інші параметри.

Література

1. Івіцький І. І. Моделювання введення інтелектуальних датчиків у розплав полімерного композиційного матеріалу / І. І. Івіцький, О. Л. Сокольський, В. М. Куриленко // Технологічний аудит та резерви виробництва. — 2016. — №5/3(31). — С. 22—26.

Міністерство освіти і науки України
 Чернігівський національний технологічний університет
 Oerlikon Barmag Gmbh (Німеччина)
 Thyssenkrupp Materials International Gmbh (Німеччина)
 Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського»
 ТОВ «БАХ-Інжиніринг»
 Національний авіаційний університет
 Інженерна академія України
 Академія наук вищої освіти України
 Національний університет «Львівська політехніка»
 Українське товариство механіки ґрунтів, геотехніки і фундаментобудування
 Лодзький технічний університет (Польща)
 Батумський державний університет ім. Ш. Руставелі (Грузія)



Матеріали VIII міжнародної
 науково-практичної конференції

«КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ»

Том 2

10 - 12 травня 2018 р.

м. Чернігів

В.І. Сівецький, канд. техн. наук, професор
В.М. Куриленко, аспірант
О.В. Поліщук, магістрант

Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського». v.kurylenko@kpi.ua

ЕКСТРУЗІЙНО-ІНЖЕКЦІЙНИЙ СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ПОГОНАЖНИХ ВИРОБІВ З ВВЕДЕННЯМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ДАТЧИКІВ

Технологічні та експлуатаційні особливості полімерних композиційних матеріалів багатофункціонального призначення стимулювали розробку інтелектуальних полімерних матеріалів (ІПМ).

ІПМ та вироби з них здатні до самодіагностики або протидії зовнішнім факторам і адаптуванню до них після оцінки характеру зовнішнього впливу і власного стану [1].

В даний час полімерні вироби з розташованими всередині них інтелектуальних датчиків є новинкою на сучасному ринку полімерної продукції, що взагалі є ноу-хау їх розробників. У зв'язку з цим, обладнання, яке застосовується для даних цілей недостатньо вивчене та в основному засекречене виробниками.

Процес введення суміші інтелектуальних датчиків з базовим полімером при екструзійному формуванні погонажних виробів був досліджений на черв'ячному екструзійному агрегаті, головка якого оснащена додатковим інжекційним механізмом, рис. 1.1.

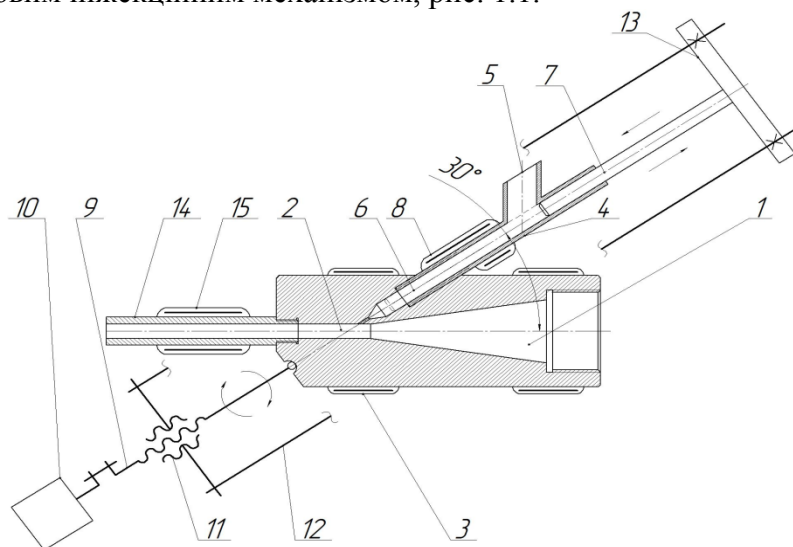


Рисунок 1.2 Екструзійна головка з інжекційним механізмом

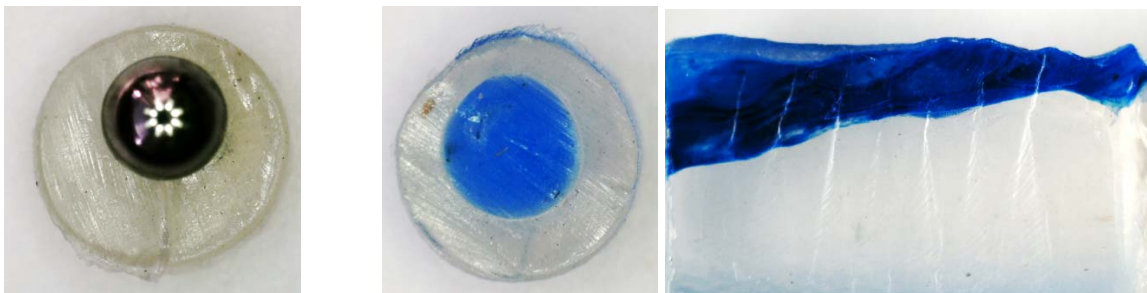
Корпус головки містить в собі перехідний конічний канал 1 та формуючий циліндричний канал 2 призначений для отримання зразків типу стренга. Головка має прямоточну конструкцію. Обігрів головки здійснюється електронагрівачем опору 3. Інжекційний пристрій 4 для дозованого введення полімеру із концентратом барвника або інтелектуальними датчиками (ІД) розміщується на циліндричному корпусі головки під кутом 30° до вісі формуючого каналу. Інжекційний пристрій 4 обладнаний живильною горловиною 5 в яку завантажується суміш полімеру із концентратом барвника або ІД. Під час дозування суміш проштовхується в інжекційну камеру 6 плунжером 7, де забезпечується прогрів полімеру до заданої температури. Обігрів інжекційної камери 6 здійснюється електронагрівачем опору 8. Плунжер 7 оснащено механізмом зворотно-поступального руху 9, який складається з приводу 10, пари гвинт-гайка 11, тяг 12 і траверси 13 на якій кріпиться плунжер 7. За рахунок дії механізму зворотно-поступального руху відбувається переміщення плунжера 7 в напрямку формуючого каналу 2 і суміш полімеру із концентратом барвника або ІД нагнітається безпосередньо в формуючий канал 2 головки із заданими періодичністю та тиском інжекції. Тиск інжекції регулюється за допомогою приводу 10 і може

значно перевищувати тиск в формуючому каналі, що дозволяє занурювати інжектвану суміш на задану глибину. Для погашення збурюючих коливань, які виникають в формуючому каналі 2 під час інжекції, він може бути дообладнаний додатковою ділянкою 14, яка має свій окремий обігрів від нагрівача 15. Зміна довжини формуючого каналу забезпечує можливість дослідження залежності утворення дефектів поверхні на екструдованих стренгових виробках.

З виходом на робочий режим, інжекційний механізм із вказаним інтервалом та кроком, за долі секунди, інжектує суміш ІД з досліджуваним матеріалом в основний потік формуючого каналу 2.

Пройшовши ванну охолодження відформована полімерна стренга відсікається на відрізки в яких у внутрішню структуру введені інжектвані порції суміші полімеру, рис. 1.2, концентрату барвника з ІД (а) або барвником (б). В результаті отримуємо зразки полімерних стренг з різною глибиною введення суміші полімеру з датчиками при змінних значеннях тисків інжекції та екструзії.

Представлені результати експериментальних досліджень глибини введення корелюють з даними чисельного моделювання [3].



(а) – з ІД

(б) – з барвником

Поперечні перерізи

Поздовжній розріз

Рисунок 1.2 Отримані зразки полімерної стренги

Завдяки використанню даної установки з'явилася можливість отримувати полімерний виріб методом екструзії із одночасною інжекцією додаткової суміші полімеру з концентратом барвника або ІД в отримані вироби з заданим кроком і глибиною. Розроблений спосіб введення інтелектуальних датчиків у внутрішню структуру полімерного виробу дозволяє у подальшому в on-line режимі отримувати інформацію про напружено-деформований стан виробів, тощо.

Список посилань

1. Михайлин Ю.А. Специальные полимерные композиционные материалы / Ю.А. Михайлин. — СПб. : Научные основы и технологии, 2009. — 660 с.
2. Патент №118513 Україна. МПК: В29С 47/14 (2006.01). Профільна екструзійна головка / Сівецький В. І., Куриленко В. М., Сокольський О. Л., Колосов О. Є., Поліщук О. В. – Заявник Сівецький В. І. – u201702190; заявл. 09.03.2017; опубл. 10.08.2017, бюл. №15.
3. Івіцький І. І. Моделювання введення інтелектуальних датчиків у розплав полімерного композиційного матеріалу / І. І. Івіцький, О. Л. Сокольський, В. М. Куриленко // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2016. – №5/3(31). – С. 22-26.