

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

### **ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ РОБОТИ**

З ДИСЦИПЛІНИ

“Числове моделювання та комп'ютерне проектування обладнання біохімічних  
виробництв-1”

для студентів напрямку Машинобудування

Затверджено  
кафедрою машин і апаратів  
хімічних та нафтопереробних  
виробництв  
Протокол № 11 від “19” квітня 2011 р.

Зав. кафедри

Я.М. Корнієнко

Київ 2011 р.

Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи з дисципліни «Числове моделювання та комп'ютерне проектування обладнання біохімічних виробництв-1» для самостійної роботи студентів напрямку підготовки 050503 Машинобудування / Укладачі: Воронін Л.Г., Сачок Р.В., К.: НТУУ "КПІ", 2011 – 22 с.

*Гриф надано Вченою радою  
інженерно-хімічного факультету НТУУ „КПІ”  
(Протокол № 5 від «23» квітня 2012 р.)*

Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи з дисципліни «Числове моделювання та комп'ютерне проектування обладнання біохімічних виробництв-1» для самостійної роботи студентів напрямку підготовки 050503 Машинобудування

Укладачі: *Воронін Леонід Григорович*  
*Сачок Роман Володимирович*

Рецензенти: *В.В. Собченко* (Інститут газу НАН України)  
*О.Л. Сокольський* (НТУУ "КПІ", кафедра ХПСМ ІХФ)

Відповідальний редактор: *Корнієнко Ярослав Микитович*

## Зміст

Вступ	4
Мета та завдання розрахункової роботи	4
1 Структура розрахункової роботи	4
2 Оформлення пояснювальної записки	5
2.1 Загальні вимоги	5
2.2 Порядок викладення матеріалу у пояснювальній записці	5
2.3 Вимоги до форматування тексту пояснювальної записки	6
1.5 Виклад тексту пояснювальної записки	7
2.4 Посилання	7
2.5 Формули	8
2.6 Оформлення ілюстрацій	9
2.7 Побудова таблиць	10
2.8 Оформлення додатків	10
3 Вимоги до змісту пояснювальної записки	11
4 Рекомендації про порядок захисту роботи	14
5 Список рекомендованої літератури	14
Додаток А Зразок титульного листа розрахункової роботи	15
Додаток Б Зразок завдання розрахункової роботи	16
Додаток В Приклад виконання роботи	18

## **Вступ**

Шлях до впровадження у виробництво наукових розробок лежить через створення конструкторської документації. Розробка такої документації – це творчий процес, який потребує від виконавця не тільки глибоких знань дисциплін, що викладаються у ВУЗі, але й уміння використовувати їх при проектуванні. Від якості конструкторської документації, як правило, залежить кінцевий результат наукової розробки, доля нових машин і апаратів.

Методичні вказівки складено у відповідності до ГОСТ 2.105-95.

### **Мета та завдання розрахункової роботи**

Метою розрахункової роботи є набуття практичних умінь при проектуванні устаткування ліній для виробництва полімерних матеріалів.

Завданнями розрахункової роботи є уміння:

- створити математичну модель процесу;
- підібрати матеріал для виготовлення апарату;
- визначати основні геометричні розміри;

### **1 Структура розрахункової роботи**

Розрахункова робота виконується у вигляді пояснювальної записки, що містить текстовий матеріал, ескізи, рисунки, графіки та таблиці.

## **2 Оформлення пояснювальної записки**

### **2.1 Загальні вимоги**

Текстові документи виконуються за допомогою комп'ютерної техніки на листах формату А4, в разі потреби (для схем, таблиць) допускається формат А3. Текст друкується на одному боці аркуша через півтора інтервала, шрифт – Times New Roman 14 пт.

Розташування і розміри граф основних написів в текстових документах повинні відповідати для першого аркуша - формі 2, ГОСТ 2.104-95, для наступних аркушів – формі 2а.

Для інженерних проектів відстань від рамки до границь тексту потрібно залишати: на початку та наприкінці рядків не менш 3 мм. Відстань від верхнього або нижнього рядка тексту до верхньої та нижньої рамки форми повинне бути не менш 10 мм.

Абзаци в тексті починають відступом, рівним 15...17 мм.

Помилки, описки і графічні неточності, виявлені в процесі виконання текстового документа, допускається виправляти підчищенням або зафарбовуванням білою фарбою і нанесенням на це ж місце виправленого тексту (графіки) чорною ручкою або вклеюванням роздрукованих фрагментів тексту.

Ушкодження аркушів текстових документів, помарки і сліди не цілком вилученого тексту (графіки) не допускаються.

### **2.2 Порядок викладення матеріалу у пояснювальній записці**

Пояснювальна записка розпочинається титульним листом з надписом „Пояснювальна записка”(додаток А), наступним листом є „Завдання роботи” (додаток Б).

Далі розташовують „Реферат (українською та іноземною мовами)”, „Зміст”.

### 2.3 Вимоги до форматування тексту пояснювальної записки

Текст пояснювальної записки розділяють на розділи і підрозділи, відповідно до змісту.

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

Найменування розділів повинні бути короткими. Найменування розділів і підрозділів записують у вигляді заголовків з абзацу прописними літерами (окрім першої великої літери). Використання курсного та напівжирного форматування, підкреслення та переноси слів у заголовках не допускаються. Крапку наприкінці заголовка не ставлять. Якщо заголовок складається з двох речень, їх розділяють крапкою. Розташовувати назву розділу, підрозділу та тексту на різних сторінках забороняється.

Відстань між заголовком розділу або підрозділу і текстом повинна бути у 3 інтервали. Відстань між заголовками розділу і підрозділу – 1,5 інтервали. Кожен розділ пояснювальної записки починають з нового листа (сторінки). Відстань між попереднім підрозділом та наступним заголовком підрозділу повинна бути 3 інтервали.

Приклад оформлення заголовку:

4 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції теплообмінника

#### 4.1 Розрахунок продуктивності теплообмінника

Мета розрахунку ... .

Нумерація сторінок повинна бути наскрізна для всієї записки, включаючи додатки.

#### 2.4 Посилання

При виконанні розрахунку по алгоритму, методиці або формулі необхідно в тексті пояснювальної записки дати посилання на джерело, з якого взято матеріали. Посилання потрібно давати перед використанням запозиченого матеріалу у квадратних дужках.

Приклад: Скористаємось алгоритмом, запропонованим авторами [12].

#### 2.5 Формули

Усі формули, нумерують арабськими цифрами в межах розділу. Номер формули складається з номера розділу і порядкового номера формули в даному розділі, розділених крапкою. Номер вказують із правої сторони листа на рівні формули в круглих дужках. Формула знаходиться посередині рядка. Міжстрочний відступ перед формулою та після неї робиться у розмірі одного рядка.

Приклад 1:

В методі Ейлера розв'язок рівняння (2.4) виконується наступним чином:

$$y_{i+1} = y_i + f(x_i, y_i)h, \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (2.6)$$

де  $x_i = x_0 + ih$ ,  $x_0$  - початкова точка,  $h = x_{i+1} - x_i$  - крок між вузлами  $x_i$  и  $x_{i+1}$ ,  
 $y_i = y(x_i)$  - значення шуканої функції  $y(x)$  в вузлі  $x_i$ ,  $y_{i+1} = y(x_{i+1}) = y(x_i + h)$ .

При  $i=0$ :

$$y_1 = y_0 + f(x_0, y_0)h, \quad (2.7)$$

де  $y_0 = y(x_0)$  – початкове значення шуканої функції  $y(x)$ .

Посилання в тексті на номер формули подають у дужках.

Приклад 2:

"...в формулі (2.7)".

## 2.6 Оформлення ілюстрацій

Ілюстрації повинні розташовуватися по тексту пояснювальної записки якнайближче до відповідних частин тексту. Всі ілюстрації нумерують у межах розділу арабськими цифрами. Номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, розділених крапкою, після номеру крапка не ставиться.

Перед ілюстрацією в тексті повинне бути послання на цю ілюстрацію.

Приклад 1:

Рисунок 2.12

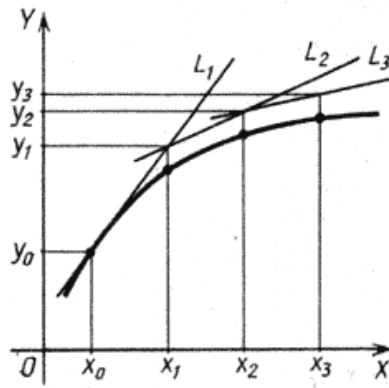
Приклад 2:

„... зображено на рисунку 2.12 ”.

Ілюстрації мають найменування і, при необхідності, пояснюючі дані (текст під рисунками). Пояснюючі дані поміщають під ілюстрацією. З наступного рядка розміщується номер рисунку та його найменування.

Приклад 3:





$L_1, L_2, L_3$  – дотичні до функції  $y=f(x)$

Рисунок 3.12 – Розв'язок ОДР методом Ейлера

## 2.7 Побудова таблиць

Усі таблиці нумерують у межах розділу арабськими цифрами. Номер таблиці складається з розділу і порядкового номера таблиці, розділених крапкою. Над лівим верхнім кутом таблиці поміщають напис "Таблиця" із вказівкою номера таблиці, наприклад : "Таблиця 4.1". При наявності заголовка таблиці він розміщується після номера таблиці через тире. На всі таблиці повинні бути посилання в тексті, причому посилання повинні зустрічатися раніше, ніж сама таблиця. Графу „Номер по порядку ” включати до таблиці заборонено.

Приклад 1:

Результати дослідів запишемо до таблиці 4.1.

Приклад 2:

Таблиця 3.3 – Розв'язок системи ДР методом Рунге-Кутта

Система рівнянь	Початкові умови	Проміжок
$y' = -x + 2y + z$ $z' = x + 2y + 3z$	$y(0)=2$ $z(0) = -2$	[0;0.5]

## 2.8 Оформлення додатків

При наявності в пояснювальній записці додатків їх виконують на аркушах формату А4. Додаток нумерують українськими літерами на першому аркуші додатку, за винятком літер Є, З, І, Ї, Й, О, Ч, Ї. Кожний додаток розпочинається з нової сторінки посередині тексту словом додаток з вказівкою номера додатку. В наступній строчці розташовується заголовок додатку.

Приклад 1:

Додаток А  
Програма розрахунку

Текст кожного додатку при необхідності розділяють на розділи, підрозділи, які нумеруються окремо по кожному додатку. Додаток може мати свій зміст та перелік посилань. Ілюстрації і таблиці в додатках нумерують у межах кожного додатка.

Для всієї роботи повинна бути наскрізна нумерація аркушів.

Приклад 2:

„Рисунок А.2.12”

„Таблиця Б.4.2– Результати експериментів”

### **3 Вимоги до змісту пояснювальної записки**

Пояснювальна записка формується у відповідності до рекомендованого кафедрою змісту.

Матеріал у розділах пояснювальної записки викладається згідно таких вимог:

Реферат

Обсягом 0,5...1 сторінка державною та іноземною мовами повинен стисло відобразити загальну характеристику та основний зміст проекту і містити:

–відомості про обсяг пояснювальної записки, кількість ілюстрації, таблиць, креслень, додатків і бібліографічних найменувань та переліком посилань;

–мету проекту, виристані методи та отримані результати (характеристика об'єкту проектування, нові якісні та кількісні показники, економічний ефект тощо);

–рекомендації щодо використання або (та) результати впровадження розробок та досліджень (отримані патенти, прийняті заявки на патент, публікація в наукових журналах, акти про впровадження);

–перелік ключових слів (не більше 20).

## Вступ

У вступі коротко надається інформація про актуальність продукції, яка виробляється на обладнанні роботи, що буде проектуватися. Далі у відповідності до змісту роботи ставляться мета та задачі розробки. В кінці вступу вказується, коли було видано завдання на проектування.

## 1 Фізична модель

У розділі подається опис фізичної моделі та схема процесу.

## 2 Математична модель

Викладаються основні положення моделі та формули для розрахунків.

3 Алгоритмічна-схема та її опис.

4. Програма.

5. Результати розрахунку ПК

6. Порівняльні графіки

7. Висновки за результатами розрахунку ПК

Приклад 1:

Метою розрахунку - є визначення навантаження на кріпильні деталі, визначення діаметру та товщини фланця, кількості та діаметру болтів.

...

Скористаємось алгоритмом, запропонованим авторами [12].

... –Подається алгоритм розрахунку – ...

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ

ТОВЩИНА ЦИЛІНДРИЧНОЇ ВТУЛКИ .014 М

ЗОВНІШНІЙ ДІАМЕТР ФЛАНЦЯ .71 М

ДІАМЕТР БОЛТОВОГО КОЛА .68 М

КІЛЬКІСТЬ БОЛТІВ 22 ШТУК

ДІАМЕТР БОЛТІВ .02 М.

Висновок: Приймаємо стандартний фланець за ОСТ 26-427-79:

зовнішній діаметр, м	0,740
діаметр болтового кола, м	0,700
товщина фланця, м	0,060
кількість болтів,	22
діаметр болтів, м	0,020.

Загальні висновки

У висновку переходяться всі роботи, що були виконані у відповідності до змісту роботи, в тому числі і креслення для досягнення мети, поставленої в завданні. Вказуються всі авторські модифікації та модернізації.

Висновки подаються державною та іноземною (яку вивчав студент) мовами.

#### **4 Рекомендації про порядок захисту роботи**

Робота захищається після перевірки на консультації всіх розділів та підписання викладачем.

#### **5 Список рекомендованої літератури**

##### **Основна**

1. Демидович Б.П. ,Марон И.А. , Шувалова Э.З. Численные методы анализа . М. : Наука , 1967. 368с.
2. Положий Г.Н. , Пахарева Н.А. Математический практикум . М. : Физматгиз . 1960.-512с.
3. Демидович Б.П. , Марон И.А. Основы вычислительной математики . М.: Наука, 1970.-664с.
4. Петров А.В. , Алексеев В.Е., Титов М.А. Вычислительная техника в инженерных и экономических расчетах. М.:Высшая школа. 1984-320с.
5. Райманс Гейни-Ферд . QBASIC, М.: Наука ,1992, 300с.
6. Уорт Т. Программирование на языке Бейсик. М.: Машиностроение. 1981.-855 с.
7. Крылов А.Н. Лекции о приближенных вычислениях . М.: Гостехиздат. 1962.-398с.
8. Милн В.Э. Численный анализ . М.: И-Л. 1964.-420.с.
9. Гутер Р.С. , Овчинский Б.В. Элементы численного анализа и математическая обработка опытов. М.: Наука , 1970.-432с.
10. Смирнов В.И. Курс высшей математики . М.: Физматгиз, 1962.-450с.
11. Светозарова Г.И. , Мельников А.В. Практикум по программированию на языке Бейсик . М.: Наука , 1988.-368с.

##### **Методична**

12. Воронин Л.Г. , Календюк В.Г., Микульонок И.О. , Ружинская Л.И. Методические указания к использованию вычислительной техники в учебном процессе. Киев . КПИ. 1988-60с.
13. Доброногова С.И. , Лукач Ю.Е. , Ружинская Л.И. Расчет устройств для термообработки изделий из термопластов . Киев , КПИ , 1984.-86с.
14. Лукач Ю.Е. , Ружинская Л.И., Воронин Л.Г. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимеров. Киев, Техника, 1988.-208с.

Додаток А

Зразок титульного листа

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

**Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв**

**РОЗРАХУНКОВА РОБОТА**

з дисципліни: “Числове моделювання та комп'ютерне проектування обладнання  
хімічних виробництв-1”

на тему: Розрахунок охолодження листа на валку гладильного каландра

Виконав студент групи ЛМ-81 \_\_\_\_\_ О. В. Мельник  
(підпис, дата)

Перевірив , доц. \_\_\_\_\_ Л.Г. Воронін  
(підпис, дата)

Київ 2011

Додаток Б  
Зразок завдання розрахунково-графічної роботи

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”  
ІНЖЕНЕРНО-ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

**ЗАВДАННЯ**

До розрахункової роботи

студентові Мельнику Олександрові Володимировичу

1. **Тема роботи:** Розрахунок охолодження листа на валку гладильного каландра

2. **Термін здачі** студентом закінченої роботи: 30 квітня 2012р.

**Вихідні дані:**

$D=0,45$  м;  $B=1,5$  м;  $\gamma$ (кут обхвату) =  $180^\circ$ ;  $T_c=20$  °С.

Товщина листа $\delta$ , мм	2	4	6	8	10
Кутова швидкість валка $U$ , м/хв	5	1	0,5	0,1	0,05
Температура валка $T_{вал}$ , °С	40	50	60	70	80
Коефіцієнт тепловіддачі для повітря, $\alpha_{нов}$ , Вт/м <sup>2</sup> К	10	12	14	16	18

матеріал

		$T_{листа}$ , °С	$T_{листа}$ , °С (для 2 та 3 задач)
1	поліетилен	150	110
2	поліпропілен	180	140
3	полістирол	180-200	140-160
4	ПВХ - жорсткий	160-180	140-160

3. **Перелік питань, які мають бути розроблені:** 1) Розрахунок охолодження листа на валку гладильного каландра 2) Розрахунок процесу охолодження в умовах вільної конвекції 3) Розрахунок охолодження листів в охолоджуючому пристрої 4) Розрахунок процесу охолодження труби в умовах вільної конвекції і зрошенням 5) Висновки.

4. **Перелік графічного (ілюстрованого) матеріалу:**

5.Дата видачі завдання: „\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_р.

Виконав студент групи ЛМ-81 \_\_\_\_\_ О. В. Мельник  
(підпис, дата)

Перевірив , доц. \_\_\_\_\_ Л.Г. Воронін  
(підпис, дата)



## Додаток В

### Приклад виконання роботи

#### Завдання

Розрахувати охолодження листа поліпропілену на валку гладильного каландра.

Вхідні дані до розрахунку:

$$D = 0,45 \text{ м}, B = 1,5 \text{ м}, \gamma = 180^\circ, T_c = 20^\circ\text{C}, T_{\text{лис}} = 150^\circ\text{C}$$

Товщина листа $\delta$ , мм	2	4	6	8	10
Кутова швидкість валка $\omega$ , м/хв.	5	1	0,5	0,1	0,05
Температура валка $T_{\text{вал}}$ , °C	40	50	60	70	80
Коефіцієнт тепловіддачі для повітря $\alpha_{\text{пов}}$ , Вт/м <sup>2</sup> К	10	12	14	16	18

## Вступ

Формування виробів з полімерних матеріалів безупинним методом проводиться з розплаву і пов'язано з підводом теплової енергії до полімеру для отримання розплаву і відведенням його при охолодженні полімерного виробу.

Лінії для виробництва виробів з полімерів неперервним методом включають в себе екструдер, формуючий, калібруючий, охолоджуючий, тягнучий та ріжучий пристрій.

Підведення теплової енергії до полімеру здійснюється в екструдері, а відведення - в охолоджувальному і частково калібруючому пристроях. Процеси калібрування та охолодження при виробництві полімерних виробів безперервним методом надають вирішальний вплив на продуктивність ліній, якість одержуваного виробу і габаритні розміри устаткування.

Розрізняють проектний і перевірочний розрахунок пристроїв для охолодження полімерних матеріалів.

Мета проектного розрахунку - визначити час охолодження полімерного виробу від початкової  $T_{п}$  до кінцевої  $T_{к}$  температури, яка задається в технологічному регламенті. За відомим часом охолодження і продуктивності лінії визначають довжину охолоджуючого пристрою.

При перевірочному розрахунку по відомим параметрам процесу охолодження і довжині охолоджувального пристрою визначають кінцеву температуру полімерного виробу на виході з охолоджуючого пристрою при заданій продуктивності лінії.

## 1 Фізична модель

При виготовленні листів екструзійно-каландровим методом лист формується в плоскощільовій головці і після послідовно проходить декілька ділянок охолодження, причому умови від ділянки до ділянки змінюються.

З площин головки черв'ячного екструдера полімерний лист надходить в зазор гладильного каландра, де відбувається калібрування листа до відповідної товщини і часткове його охолодження. Після лист, огинаючи послідовно другий та третій валки, надходить на роликівий транспортер.

Час і умови охолодження на окремих ділянках екструзійно-каландровій лінії повинні забезпечити зниження температури полімерного листа від початкової  $T_p$ , рівній температурі розплаву на виході з плоскощільової головки, до кінцевої  $T_k$  при якій полімерний лист має достатню міцність і жорсткість, дозволяючи його складувати і транспортувати.

На рис. 1 зображена схема виробництва полімерних листів екструзійно-каландровим методом. Залежно від умов охолодження екструзійно-каландровою лінією можна розбити на кілька ділянок:

I ділянка – перетин виходу матеріалу з плоскощільової голівки - перетин входу матеріалу в між валковий зазор. Лист охолоджується повітрям в умовах вільної конвекції.

II ділянка – перетин входу листа в між валковий зазор - перетин виходу листа з між валкового зазору. Відбувається калібрування листа до певної товщини і охолодження його при граничних умовах першого роду.

III ділянка – перетин виходу листа з між валкового зазору - перетин відриву листа від поверхні другого валка. З боку поверхні валка охолодження відбувається при граничних умовах першого роду, а з зовнішньої поверхні лист охолоджується повітрям в умовах вільної конвекції (граничні умови третього роду).

IV ділянка – перетин відриву листа від поверхні другого валка - перетин дотику листа до поверхні третього валка. Лист охолоджується повітрям в умовах вільної конвекції.

V ділянка – перетин дотику листа з поверхнею третього валка - перетин відриву листа від поверхні третього валка. Умови охолодження листа аналогічні ділянці III.

VI ділянка – перетин відриву листа від поверхні третього валка - перетин входу листа в охолоджувальний пристрій. Лист охолоджується в умовах вільної конвекції.

VII ділянка - перетин входу листа в охолоджувальний пристрій - перетин виходу листа з охолоджуючого пристрою. У охолодному пристрої лист охолоджується в умовах вимушеної конвекції.

Для обрання оптимальних умов охолодження листа на окремих ділянках з метою досягнення максимальної ефективності екструзійно - каландровою лінією необхідно скласти загальну математичну модель процесу охолодження листа при екструзійно - каландровому методі виробництва.

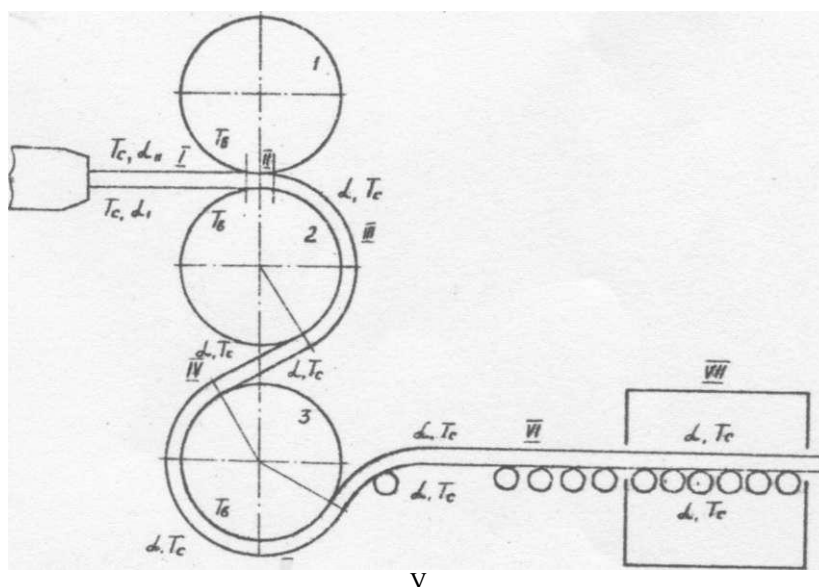


Рисунок 1 – Схема калібрування і охолодження листа при виробництві екструзійно-каландровим методом

## 2 Математична модель

Охолодження листа відбувається на валку гладильного каландру. Внутрішня поверхня листа дотикається до поверхні валка, а зовні лист охолоджується повітрям в умовах вільної конвекції.

Схема охолодження листа на валку гладильного каландру показано на рис. 2.

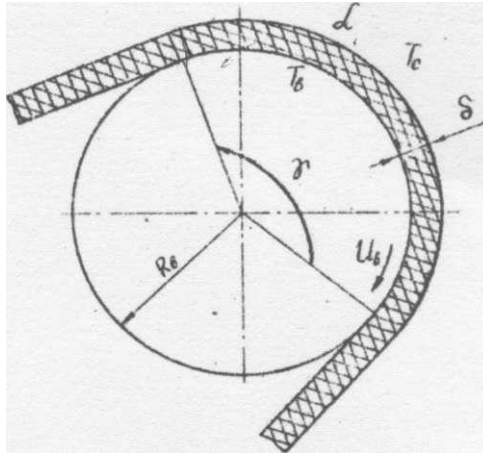


Рисунок 2 – Схема охолодження листа на валку гладильного каландру

Розподіл температури по товщині полімерного листа описується рівнянням нестационарної теплопровідності:

$$\rho(T)C_p(T)\frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial r}\left[\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial r}\right] - \frac{\lambda(T)}{r}\frac{\partial T}{\partial r} = 0 \quad (1)$$

Рівняння (1) записано в циліндричних координатах  $t$  і  $r$ .

Початковою умовою для рівняння (1) є розподіл температури по товщині листа в кінцевому перерізі попередньої ділянки. Для ділянки 3 це розподіл температури в перерізі виходу листа з калібруючого проміжку гладильного каландру, для ділянки 5 - розподіл температур в кінцевому перерізі ділянки 4.

В загальному вигляді умову можна виразити рівнянням

$$T\Big|_{t=t_n} = T(r)$$

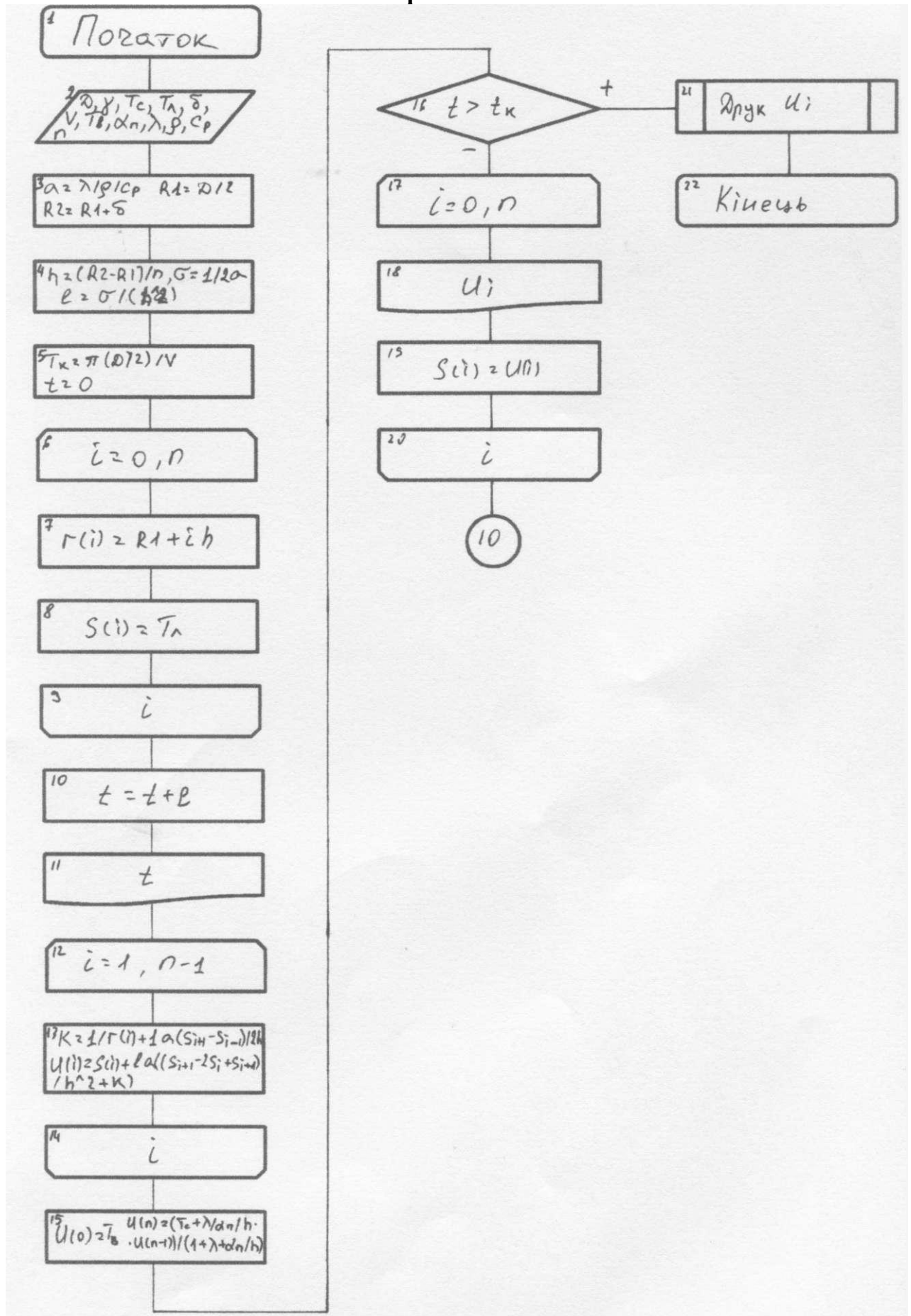
Гранична умова

$$T|_{r=R_g} = T_\theta$$

$$\alpha(T - T_c) = -\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial r}$$

Температура  $T_n$  валка задається.

### 3 Алгоритмічна схема



## 4 Програма

```
CLS D = .45
B = 1.5
gam = 180
Tc = 20
Tlis = 150
pi = 3.14
del = .002
V = 5 / 60
Tval = 40
Alpov = 10
lam = .16
po = 900
Cp = 1930
a = lam / po /
Cp R1 = D / 2
R2 = R1 + del
n = 10
h = (R2 - R1) / n
Sig = 1 / (2 * a)
l = Sig * (h ^ 2)
t = 0
Tk = pi * (D / 2) /
V PRINT "Tk"; Tk
FOR i = 0 TO n
```



$r(i) = Rl + i * h$

$S(i) = Tl i s$

NEXT i

2

t = t + 1

PRINT "t="; t

FOR i= 1 T O n - 1

$K = 1 / r(i) * (S(i + 1) - S(i - 1)) / 2 / h$

$U(i) = S(i) + 1 * a * ((S(i + 1) - 2 * S(i) + S(i - 1)) / h^2 + K)$

NEXT i

U(0) = Tval

$U(n) = (Tc + lam / Alpov / h * U(n - 1)) / (1 + lam / Alpov / h)$

IF t > Tk THEN

FOR i = 0 TO n

PRINT "U"; i; "="; U(i); NEXT i

PRINT

GOTO 3

ELSE

FOR i = 0 TO n

PRINT "U"; i; "="; U(i);

s(i)=u(i)

NEXT i

PRINT

GOTO 2

END IF

3

## 5 Результат розрахунків

### 1. При заданих умовах:

$$\delta = 0.002\text{м}, V = 0.083\text{м/с}, T_{\text{вал}} = 40^\circ\text{C}, \alpha = 10 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

$$t = 7.816532$$

$$U_0 = 40 \quad U_1 = 54.07516 \quad U_2 = 68.0146 \quad U_3 = 80.35227 \quad U_4 = 92.25837 \quad U_5 = 101.4467 \quad U_6 = 109.7714 \quad U_7 = 114.9859 \quad U_8 = 118.7372 \quad U_9 = 119.662 \quad U_{10} = 118.4316 \quad t = 8.033657$$

$$U_0 = 40 \quad U_1 = 54.01352 \quad U_2 = 67.21954 \quad U_3 = 80.14185 \quad U_4 = 90.90416 \quad U_5 = 101.0187 \quad U_6 = 108.2193 \quad U_7 = 114.2563 \quad U_8 = 117.325 \quad U_9 = 118.5843 \quad U_{10} = 117.3672 \quad t = 8.250783$$

$$U_0 = 40 \quad U_1 = 53.61581 \quad U_2 = 67.08348 \quad U_3 = 79.0671 \quad U_4 = 90.58492 \quad U_5 = 99.56555 \quad U_6 = 107.6404 \quad U_7 = 112.7741 \quad U_8 = 116.4213 \quad U_9 = 117.3461 \quad U_{10} = 116.1443 \quad t = 8.467909$$

$$U_0 = 40 \quad U_1 = 53.54775 \quad U_2 = 66.34711 \quad U_3 = 78.83941 \quad U_4 = 89.32086 \quad U_5 = 99.11646 \quad U_6 = 106.1728 \quad U_7 = 112.0328 \quad U_8 = 115.0611 \quad U_9 = 116.2827 \quad U_{10} = 115.094 \quad t = 8.685035$$

$$U_0 = 40 \quad U_1 = 53.1794 \quad U_2 = 66.19919 \quad U_3 = 77.83907 \quad U_4 = 88.98242 \quad U_5 = 97.75054 \quad U_6 = 105.5775 \quad U_7 = 110.6189 \quad U_8 = 114.1587 \quad U_9 = 115.0776 \quad U_{10} = 113.9038$$

### 2. При заданих умовах:

$$\delta = 0.004\text{м}, V = 0.0167\text{м/с}, T_{\text{вал}} = 50^\circ\text{C}, \alpha = 12 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

$$U_0 = 50 \quad U_1 = 60.5662 \quad U_2 = 70.53734 \quad U_3 = 80.11391 \quad U_4 = 88.09045 \quad U_5 = 95.26103 \quad U_6 = 100.2075 \quad U_7 = 103.8946 \quad U_8 = 105.2123 \quad U_9 = 104.8274 \quad U_{10} = 102.3567 \quad t = 39.95087$$

$$U_0 = 50 \quad U_1 = 60.27778 \quad U_2 = 70.34871 \quad U_3 = 79.32166 \quad U_4 = 87.69415 \quad U_5 = 94.1543 \quad U_6 = 99.58162 \quad U_7 = 102.7121 \quad U_8 = 104.3614 \quad U_9 = 103.7832 \quad U_{10} = 101.343 \quad t = 40.81936$$

$$U_0 = 50 \quad U_1 = 60.18338 \quad U_2 = 69.80815 \quad U_3 = 79.0291 \quad U_4 = 86.74452 \quad U_5 = 93.64312 \quad U_6 = 98.43694 \quad U_7 = 101.9736 \quad U_8 = 103.2481 \quad U_9 = 102.8509 \quad U_{10} = 100.4377 \quad t = 41.68786$$

$$U_0 = 50 \quad U_1 = 59.91286 \quad U_2 = 69.61459 \quad U_3 = 78.28382 \quad U_4 = 86.34256 \quad U_5 = 92.59589 \quad U_6 = 97.81203 \quad U_7 = 100.8446 \quad U_8 = 102.4126 \quad U_9 = 101.8417 \quad U_{10} = 99.45796 \quad t = 42.55635$$

$$U_0 = 50 \quad U_1 = 59.81599 \quad U_2 = 69.10648 \quad U_3 = 77.98597 \quad U_4 = 85.44617 \quad U_5 = 92.08235 \quad U_6 = 96.72389 \quad U_7 = 100.1143 \quad U_8 = 101.3436 \quad U_9 = 100.934 \quad U_{10} = 98.57671$$

### 3. При заданих умовах:

$$\delta = 0.006\text{м}, V = 0.0083\text{м/с}, T_{\text{вал}} = 60^\circ\text{C}, \alpha = 14 \text{ Вт/м}^2\text{К}$$

$$t = 78.16496$$

U 0 = 60 U 1 = 69.66756 U 2 = 79.12048 U 3 = 87.27116 U 4 = 94.81248 U 5 = 100.1232 U 6 = 104.3853 U 7 = 106.0406 U 8 = 106.1838 U 9 = 103.909 U 10 = 99.7235 t= 80.11908

и 0 = 60 и 1 = 69.57295 U 2 = 78.48103 U 3 = 86.97686 U 4 = 93.70564 U 5 = 99.60521 U 6 = 103.0858 U 7 = 105.2857 U 8 = 104.9734 U 9 = 102.9494 U 10 = 98.81181 t= 82.0732

U 0 = 60 U 1 = 69.25281 U 2 = 78.28645 U 3 = 86.10341 U 4 = 93.29936 U 5 = 98.40187 U 6 = 102.4492 U 7 = 104.0308 U 8 = 104.1161 U 9 = 101.8886 U 10 = 97.80389 t= 84.02733

и 0 = 60 и 1 = 69.15538 U 2 = 77.68929 U 3 = 85.80283 U 4 = 92.26075 U 5 = 97.8803 U 6 = 101.22 U 7 = 103.2837 U 8 = 102.9583 U 9 = 100.9559 U 10 = 96.91768 t= 85.98145

и 0 = 60 и 1 = 68.85641 U 2 = 77.49014 U 3 = 84.98466 U 4 = 91.84953 U 5 = 96.74629 U 6 = 100.5856 U 7 = 102.0903 U 8 = 102.1183 U 9 = 99.93406 U 10 = 95.94685

#### **- 4. При заданих умовах:**

**$\delta = 0.008\text{м}$ ,  $V = 0.00167\text{м/с}$ ,  $T_{\text{вал}} = 70^\circ\text{C}$ ,  $\alpha = 16\text{ Вт/м}^2\text{К}$**

t= 413.4059

U 0 = 70 U 1 = 69.69498 U 2 = 69.30782 U 3 = 68.76962 U 4 = 67.99866 U 5 = 66.94997 U 6 = 65.55956 U 7 = 63.80962 U 8 = 61.66829 U 9 = 59.14352 U 10 = 56.244 t= 416.8799

U 0 = 70 U 1 = 69.6533 U 2 = 69.23148 U 3 = 68.65209 U 4 = 67.8582 U 5 = 66.77699 U 6 = 65.37706 U 7 = 63.61055 U 8 = 61.47254 U 9 = 58.95148 U 10 = 56.06618 t= 420.3539

U 0 = 70 U 1 = 69.61506 U 2 = 69.15181 U 3 = 68.54363 U 4 = 67.7129 U 5 = 66.61546 U 6 = 65.19102 U 7 = 63.42141 U 8 = 61.27699 U 9 = 58.7647 U 10 = 55.89324 t= 423.8279

U 0 = 70 U 1 = 69.57516 U 2 = 69.0784 U 3 = 68.43109 U 4 = 67.57786 U 5 = 66.44975 U 6 = 65.01566 U 7 = 63.23061 U 8 = 61.08903 U 9 = 58.58048 U 10 = 55.72266 t= 427.3019

U 0 = 70 U 1 = 69.53838 U 2 = 69.00211 U 3 = 68.32681 U 4 = 67.43868 U 5 = 66.29452 U 6 = 64.83738 U 7 = 63.04894 U 8 = 60.90152 U 9 = 58.40123 U 10 = 55.55669

#### **5. При заданих умовах:**

**$\delta = 0.01\text{м}$ ,  $U = 0.00083\text{м/с}$ ,  $T_{\text{вал}} = 80^\circ\text{C}$ ,  $\alpha = 18\text{ Вт/м}^2\text{К}$**

t= 830.5023

и 0 = 80 и 1 = 77.42613 U 2 = 74.83187 U 3 = 72.1885 U 4 = 69.46759 U 5 = 66.64866 U 6 = 63.71211 U 7 = 60.64873 U 8 = 57.45169 U 9 = 54.12406 U 10 = 50.67331 t= 835.9304

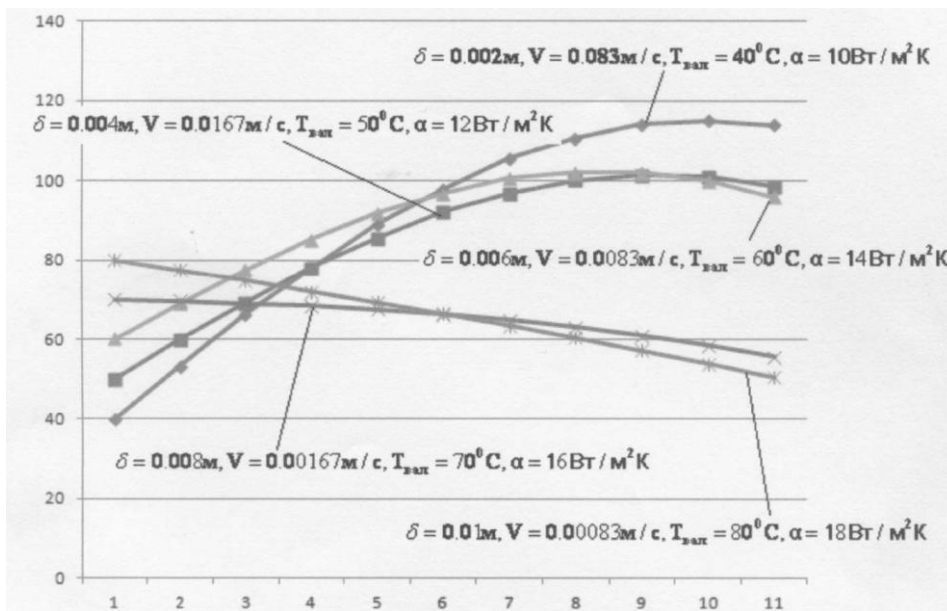
и 0 = 80 и 1 = 77.41022 U 2 = 74.80154 U 3 = 72.14385 U 4 = 69.41253 U 5 = 66.5836 U 6 = 63.6422 U 7 = 60.57515 U 8 = 57.37939 U 9 = 54.05526 U 10 = 50.61147 t= 841.3585

U 0 = 80 U 1 = 77.39502 U 2 = 74.77123 U 3 = 72.10113 U 4 = 69.35765 U 5 = 66.5211 U 6 = 63.57287 U 7 = 60.50405 U 8 = 57.30821 U 9 = 53.9882 U 10 = 50.55119 t= 846.7866

U 0 = 80 U 1 = 77.37983 U 2 = 74.74224 U 3 = 72.0585 U 4 = 69.30502 U 5 = 66.45898 U 6 = 63.50606 U 7 = 60.43379 U 8 = 57.23913 U 9 = 53.92248 U 10 = 50.49212 t= 852.2147

U 0 = 80 U 1 = 77.3653 U 2 = 74.7133 U 3 = 72.01767 U 4 = 69.25262 U 5 = 66.39924 U 6 = 63.43987 U 7 = 60.36584 U 8 = 57.17115 U 9 = 53.85841 U 10 = 50.43453

### 6 Графік розподілу температур



## **7 Висновок**

Зробивши розрахунок охолодження листа на валу гладильного каландра, робимо висновок, що при зменшенні товщини листа, процес охолодження протікає швидше. З метою досягнення максимальної ефективності екструзійно-каландровою лінією необхідно розглядати, та обирати умови для кожної ділянки окремо. Також на процес охолодження впливають інші фактори, такі як кутова швидкість валка каландра та коефіцієнт тепловідачі навколишнього середовища.

Зробивши розрахунок охолодження листа на валу гладильного каландра, робимо висновок, що при зменшенні товщини листа, процес охолодження протікає швидше. З метою досягнення максимальної ефективності екструзійно-каландровою лінією необхідно розглядати, та обирати умови для кожної ділянки окремо. Також на процес охолодження впливають інші фактори, такі як кутова швидкість валка каландра та коефіцієнт тепловідачі навколишнього середовища.

## 8 Література

1. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. - М. : Наука, 1977. - 456с
2. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. - М.: Наука, 1967.-368 с.
3. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи . - М.: Энергия, 1973. - 320 с.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.;Л.: Энергия, 1965. - 424 с.
5. Ю.Е.Лукач, С.И. Доброногова, Л.И. Ружинская Алгоритм расчета устройств для термообработки изделий из термопластів, учебное пособие, Киев КПИ, 1984. - 84 с.