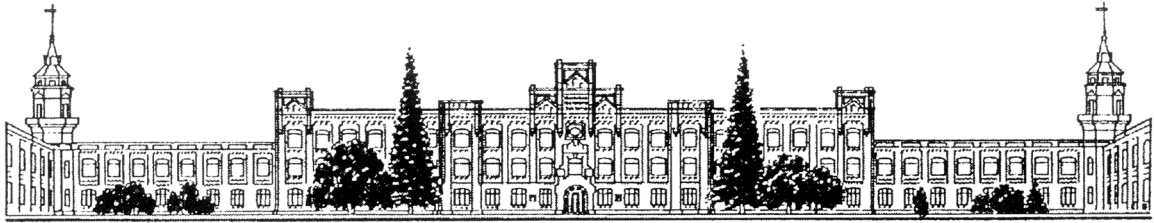


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»



**ДОСЛІДЖЕННЯ В'ЯЗКОСТІ ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ  
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ  
НА ВАЛКОВІЙ УСТАНОВЦІ**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ**

для студентів інженерно-хімічного факультету всіх форм навчання  
з навчальної дисципліни «Обладнання для переробки полімерів»

Київ  
2010

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

**ДОСЛІДЖЕННЯ В'ЯЗКОСТІ ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ  
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ  
НА ВАЛКОВІЙ УСТАНОВЦІ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

для студентів інженерно-хімічного факультету всіх форм навчання  
з навчальної дисципліни «Обладнання для переробки полімерів»

*Рекомендовано Методичною радою НТУУ «КПІ»*

Київ  
2010

Дослідження в'язкості термопластичних композиційних матеріалів на валковій установці : метод. вказівки до проведення лабораторної роботи; для студ. інженерно-хімічного факультету всіх форм навчання з навч. дисципліни «Обладнання для переробки полімерів» [Текст] / уклад. П. М. Магазій, І. О. Мікульонок. – К.: НТУУ «КПІ»; 2009. – 16 с. – 50 пр.

*Гриф надано Методичною радою НТУУ «КПІ»  
(Протокол № 6 від 18 лютого 2010 р.)*

Навчальне видання

**ДОСЛІДЖЕННЯ В'ЯЗКОСТІ ТЕРМОПЛАСТИЧНИХ  
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ  
НА ВАЛКОВІЙ УСТАНОВЦІ**

Методичні вказівки до проведення лабораторної роботи

для студентів інженерно-хімічного факультету всіх форм навчання  
з навчальної дисципліни «Обладнання для переробки полімерів»

Укладачі: *Магазій Петро Миколайович*  
*Мікульонок Ігор Олегович*, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний  
за випуск *Я. М. Корнієнко*, д-р техн. наук, проф.

Рецензент *В. І. Сівецький*, канд. техн. наук, проф.

*За редакцією укладачів*

## ВСТУП

Одним з методів перероблення термопластичних матеріалів у напівфабрикати і вироби є їх вальцювання й каландрування, які здійснюються на валкових машинах – вальцях і каландрах.

Останнім часом у зв'язку зі зростанням масштабів виробництва та асортименту полімерів і матеріалів на їх основі, а також необхідністю утилізації відходів з використанням полімерів широкого поширення набувають нові термопластичні матеріали (ТпМ), у тому числі й термопластичні композиційні матеріали (ТпКМ). Зазначені матеріали являють собою реологічно складні середовища, особливістю яких є те, що їх в'язкість часто істотно відрізняється від в'язкості базових полімерів.

Найбільш поширені в літературі залежності задовільно описують реологічні властивості ТпМ з використанням первинних полімерів або композицій з первинних полімерів і нейтральних наповнювачів. Вторинна же полімерна сировина характеризується наявністю хімічних змін, спричинених різними формами й ступенями деструкції (хімічної, фізичної, механічної), яка залежить від умов її попередньої переробки, експлуатації та зберігання.

Для з'ясування можливості застосування тієї чи іншої розрахункової залежності для визначення реологічних властивостей ТпМ з використанням вторинної сировини бажано здійснити її експериментальну перевірку, яка в більшості випадків ґрунтується на віскозиметричних дослідженнях композиції під час її простого зсуву, що часто не відповідає реальним умовам переробки. З огляду на зазначене для практичного застосування реологічних властивостей ТпМ доцільно застосовувати результати дослідів, проведених безпосередньо на відповідному переробному обладнанні. Такий підхід дає можливість максимально врахувати конструктивні й режимні особливості обладнання та процесу перероблення відповідного ТпМ.

## 1. МЕТА ТА ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ РОБОТИ

*Метою даної роботи є вивчення конструкції, принципу дії валкової установки для перероблення матеріалів на основі високомолекулярних сполук (полімерів, пластмас, еластомерів, гумових сумішей) і методики визначення реологічних параметрів термопластичних композицій, перероблюваних на валковій установці.*

Поставлена мета досягається вирішенням ряду завдань, а саме:

- 1) вивченням конструкції і принципу дії валкової установки;
- 2) експериментальним визначенням значень реологічних параметрів ТпКМ на валковій установці;
- 3) порівнянням значень реологічних параметрів ТпКМ, отриманих під час його перероблення на валковій установці, зі значеннями, отриманими на капілярному віскозиметрі.

## 2. ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Одним з основних видів обладнання для виробництва листових і плівкових матеріалів з різних термопластичних полімерних композицій є валкові машини. Такі композиції часто мають за масою 50 % і більше твердих дисперсних наповнювачів і переробляються в першу чергу на валкових машинах для одержання гомогенних сумішей.

Експериментальні дослідження реологічних властивостей композицій полімерних матеріалів показують, що в діапазоні швидкостей зсуву, що реалізуються на валкових машинах, може бути використаний степеневий закон (закон Оствальда де Вейла):

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad \text{або} \quad \tau = K_0 \exp\left(-\beta \frac{T - T_0}{T_0}\right) |\dot{\gamma}|^n \text{sign}(\dot{\gamma}), \quad (2.1)$$

де  $\tau$  – напруження; Па;  $\dot{\gamma}$  – градієнт швидкості під час простого зсуву, м/(с·м) або  $\text{с}^{-1}$ ;  $K$  – коефіцієнт консистенції, що відповідає температурі  $T$ ,  $\text{Па} \cdot \text{с}^n$ ;  $K_0$  – коефіцієнт консистенції, що відповідає температурі  $T_0$ ;  $\beta$  – температурний коефіцієнт;  $n$  – індекс течії (показник степеня реологічного рівняння).

Величини  $K$  і  $\tau$  при цьому можна визначати з виразу ефективної в'язкості  $\mu_{\text{еф}} = \tau/\dot{\gamma} = K \dot{\gamma}^{n-1}$  (тобто в'язкості при певних градієнті зсуву і температурі).

Визначення реологічних параметрів полімерів відповідно до залежності (2.1) за допомогою лабораторної валкової установки має суттєві переваги перед визначенням зазначених параметрів методом капілярної віскозиметрії, оскільки в першому випадку враховуються особливості реального процесу перероблення, а також можливість досліджувати високонаповнені композиції широкої номенклатури в широкому діапазоні градієнту зсуву (рис. 2.1).

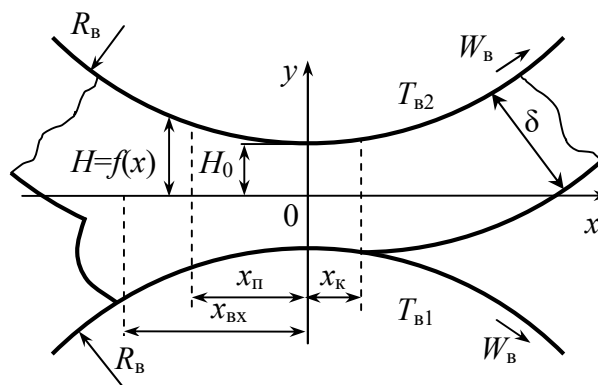


Рис. 2.1. Схема течії матеріалу в міжвалковому проміжку:  $x, y$  – координати, спрямовані вздовж і поперек міжвалкового проміжку, м;  $x_{\text{ВХ}}, x_{\text{П}}, x_{\text{К}}$  – координати входу матеріалу в міжвалковий проміжок, початку й кінця зони деформування, м;  $R_B$  – радіус валків, м;  $W_B$  – колова швидкість валків, м/с;  $H, H_0$  – половина поточної й мінімальної величин міжвалкового проміжку, м;  $T_{B1}$  і  $T_{B2}$  – температура валків,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $\delta$  – товщина шару матеріалу на виході з міжвалкового проміжку, м

Розпірні зусилля  $F$ , що діють на валки при зсувній деформації полімеру в міжвалковому проміжку (див. рис. 2.1), визначають за залежністю

$$F = 2LR_B K_0 e^{-\beta \frac{T_B - T_0}{T_0}} \left( \frac{W_B}{H_0} \right)^n \left( \frac{1 + 2n}{n} \right)^n \int_{\rho_K}^{\rho_{\Pi}} \int_{\rho_K}^{\rho} \frac{|\rho^2 - \rho_K^2|^n \operatorname{sign}(\rho^2 - \rho_K^2)}{(1 + \rho^2)^{2n+1}} d\rho d\rho.$$

де  $L$  – ширина матеріалу на валку, м;  $\rho$  – безрозмірний аналог координати  $x$ .

Безрозмірні аналоги координати  $x$  визначають з таких співвідношень [3, 7]:

$$\rho = \frac{x}{\sqrt{2RH_0}}; \quad \rho_{\Pi} = \frac{x_{\Pi}}{\sqrt{2RH_0}}; \quad \rho_K = \sqrt{\frac{\delta}{2H_0}} - 1; \quad H = H_0(1 + \rho^2).$$

За незмінних параметрів процесу перероблення (температура, величина міжвалкового проміжку, величина зони деформування) розпірні сили залежать від лінійної швидкості валків як степенева функція:

$$F = aW_B^n, \quad (2.2)$$

де  $a$  – коефіцієнт пропорційності,  $\text{H} \cdot \text{с}^n / \text{м}^n$ .

Із залежності (2.2) можна визначити показник степеня реологічного рівняння  $n$  (2.1).

Значення безрозмірного аналогу координати початку зони деформування  $\rho_{\Pi}$  визначають з умови, що в цій точці тиск на валки з боку перероблюваного матеріалу відсутній. Ця умова виконується, якщо справедливий вираз

$$\int_{\rho_K}^{\rho_{\Pi}} \frac{|\rho^2 - \rho_K^2|^n \operatorname{sign}(\rho^2 - \rho_K^2)}{(1 + \rho^2)^{2n+1}} d\rho = 0. \quad (2.3)$$

Для розв'язання рівняння (2.3) відносно значення  $\rho_{\Pi}$  застосовують один з методів числового інтегрування, наприклад, метод прямокутників [3].

Середній градієнт зсуву визначають за формулою

$$\bar{\gamma} = \frac{\partial W_x}{\partial y} = \frac{\sum_{\rho=\rho_K}^{\rho_{\Pi}} \sum_{\eta=0}^{\eta=1} \left[ \frac{W_B}{H_0} \left( \frac{2n+1}{n} \right) \frac{|\rho^2 - \rho_K^2|}{(1 + \rho^2)^2} \eta^n \right]}{\frac{\rho_{\Pi} - \rho_K}{\Delta\rho} \cdot \frac{1}{\Delta\eta}}.$$

де  $\Delta\rho$ ,  $\Delta\eta$  – крок розрахунку по координатах  $\rho$  і  $\eta$ , відповідно (тут  $\eta = y/h$  – безрозмірний аналог координати  $y$ ).

Ефективну в'язкість перероблюваного матеріалу  $\mu$  можна визначити за формулою Ардичвілі [9]

$$\mu = \frac{F}{2R_B W_B L \left( \frac{1}{H_0} - \frac{1}{\delta} \right)}.$$

Середню температуру поверхонь валків  $T_B$  знаходять як середнє арифметичне температур валків  $T_{B1}$  і  $T_{B2}$ :

$$T_B = \frac{T_{B1} + T_{B2}}{2}. \quad (2.4)$$

Значення температурного коефіцієнта  $\beta$  обчислюють з урахуванням значень  $K_0$  і  $K_1$ , визначених при температурах  $T_0$  і  $T_1$ :

$$\beta = -\frac{T_0}{(T_1 - T_0)} \ln\left(\frac{K_1}{K_0}\right). \quad (2.5)$$

### 3. ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

#### 3.1. Опис установки

Експериментальні дослідження проводять на двохвалковій машині типа вальців з довжиною бочки 0,25 м і діаметром бочки 0,2 м. Схему установки представлено на рис. 3.1, а її технічну характеристику – в табл. 3.1.

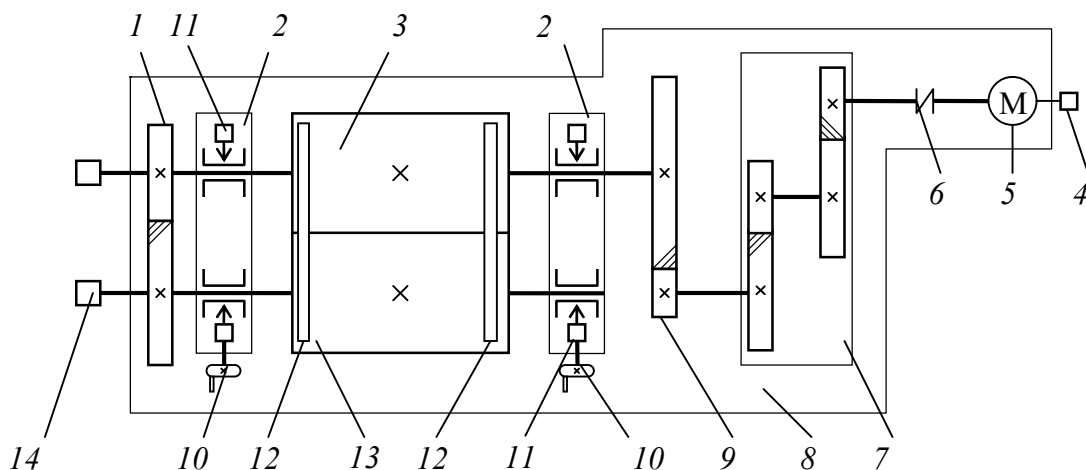


Рис. 3.1. Схема валкової установки: 1 – фрикційні шестерні; 2 – стійки; 3 – задній валок; 4 – тахогенератор; 5 – електродвигун; 6 – муфта; 7 – редуктор; 8 – зварна основа; 9 – зубчаста передача; 10 – механізми переміщення переднього валка; 11 – месдоза; 12 – обмежувальні стріли; 13 – передній валок; 14 – колектор підведення електричного струму до нагрівників валка

Валкова установка, яку змонтовано на зварній основі 8, містить дві стійки 2 із встановленими на них механізмами 10 переміщення переднього валка 13. У стягнутих траверсами станинах розміщено корпуси валкових підшипників ковзання. Нерухомі корпуси підшипників заднього валка 3 упираються в месдозу 11, які сприймають розпірні зусилля, що діють на валок під час роботи установки. Розпірні зусилля, що діють на передній валок, також передаються месдозам.

З торців бочок валків 3 і 13 на траверсах встановлено обмежувальні стріли 12, які виключають витікання оброблюваного матеріалу за межі міжвалкового проміжку. Робочу поверхню валків загартовано, шліфовано і поліровано.

Урухомник валків складається з електродвигуна 5, вал якого з'єднано через муфту 6 з редуктором 7. Крутний момент від редуктора передається через зубчастий передавач 9 на задній валок, а потім – через пару фрикційних шестерень 1 – на передній валок. Контроль частоти обертання ротора електродвигуна здійснюють за допомогою тахогенератора 4. Валки обігрівають за допомогою індукційних нагрівників, розташованих у периферійних каналах, які просвердлено в бочках валків. Електричний струм до нагрівників підводять через колектор 14. Керування температурою робочих поверхонь валків забезпечують швидкодійними безконтактними системами з пропорційними законами регулювання.

Таблиця 3.1. Технічна характеристика експериментальної установки

Параметр	Характеристика
Кількість валків	2
Розташування валків	горизонтальне
Розміри бочок валків: довжина × діаметр, мм	250 × 200
Обігрів валків	
тип	індукційний
потужність, кВт	8,8
максимальна температура поверхні валка, °С	350
Величина міжвалкового проміжку, мм	0...10
Колова швидкість швидкохідного валка, м/с	0,038...0,272
Електродвигун:	
потужність, кВт	6
частота обертання ротора, об/с	3,3...26,7
Коефіцієнт фрикції в міжвалковому проміжку	1,00; 0,92; 0,84; 0,77; 0,70; 0,65; 0
Габаритні розміри (довжина × ширина × висота), м	1,43 × 0,93 × 1,17

### 3.2. Регулювання й вимірювання основних параметрів

Експериментальна валкова установка представляє собою вальці з горизонтальним розташуванням валків, що обертаються від загального урухомника валків, кожний з яких забезпечено системою індукційного нагрівання. Регулювання величини міжвалкового проміжку здійснюють за допомогою двох гвинтових пристроїв, з'єднаних з корпусами підшипників переднього валка.

Швидкість обертання валків  $W_v$  регулюють потенціометром блоку керування двигуна П-51, а її контроль здійснюють тахогенератором і міліамперметром Н385.



Температуру валків  $T_{в1}$  і  $T_{в2}$  задають і підтримують блоками керування систем нагрівання валків і потенціометрами ПСР1-03, а вимірюють за допомогою термоелектричних перетворювачів і приладу А 565-01-001.

Потужність, що споживається нагрівниками валків, вимірюють ватметрами Н383.

Товщину полотна матеріалу, знятого з валків, вимірюють після його охолодження до температури оточуючого середовища мікрометром, а висоту обертового запасу  $x_{вх}$  у міжвалковому проміжку – мірною лінійкою відносно рейки, встановлюваної на верхніх твірних робочих поверхнях валків.

Для вимірювання розпірних зусиль, що діють на валки під час перероблення композиції, валкова установка оснащена тензостанцією УТ-12-35 і месдозами, на які наклеєні тензодатчики опору.

В якості пружного елемента, що деформується під дією розпірного зусилля  $F$ , в установці застосовують грибоподібну месдозу (рис. 3.2,а). Під час роботи установки можлива розбіжність лінії дії сили  $F$  і пружної осі месدوزи, що може призвести до появи згинального моменту, що діє на месдозу (поява ексцентриситету  $e$ ). Для запобігання впливу згинального моменту під час вимірювань робочі датчики  $R_1$  і  $R_2$  наклеюють на протилежні сторони циліндричної частини месدوزи паралельно пружної осі та з'єднують послідовно один з одним в одному з плечей виносного півмосту (рис. 3.2,б).

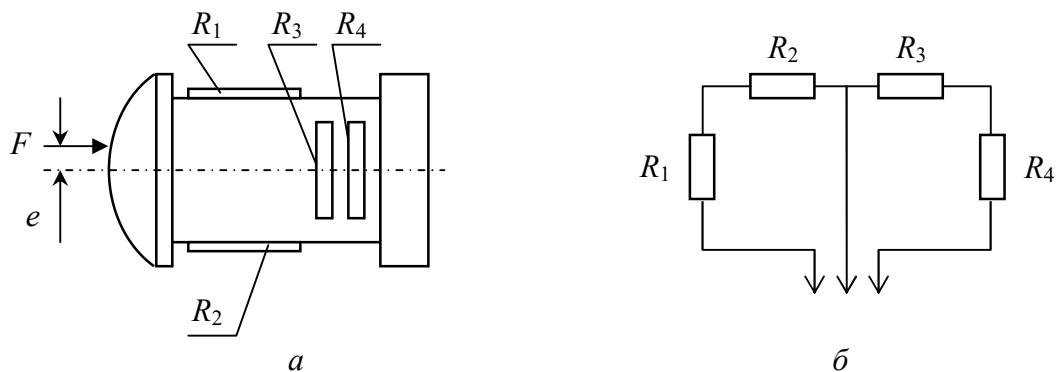


Рис. 3.2. Схема вимірювання розпірних зусиль:  $R_1$ – $R_4$  – тензодатчики

Компенсаційні датчики  $R_3$  і  $R_4$  наклеюють на циліндричну частину месدوزи перпендикулярно до осі пружного елемента і з'єднують послідовно один з одним в іншому плечі виносного півмосту. Температурну компенсацію в плечах електричного мосту досягають тим, що робочі й компенсаційні датчики наклеєні на одну поверхню робочої частини месдоз.

Тарування робочих датчиків роблять за допомогою лабораторного гідравлічного двоколонного преса з максимальним зусиллям пресування 30 000 Н і тарувального пристрою Т-12. Тарувальні тензодатчики наклеюють на балочку пристрою Т-12 у місцях з однаковою за величиною, але протилежною за знаком деформацією.

За однакового коефіцієнта підсилення спочатку знаходять залежність відхилення променя осцилографа від сили, що стискає месдозу, потім на місце тензодатчиків месдоз до відповідного каналу тензостанції підключають тензодатчики тарувальної балочки і після балансування каналів навантажують балочку згинальним моментом сил і фіксують величину відхилення променя осцилографа від величини прогину (максимальне значення прогину 0,5 мм).

Для тарування датчиків перед дослідом замість датчиків на месдозах підключають датчики на тарувальній балочці і після балансування електричних мостів по активному і реактивному опору всановлюють такий коефіцієнт підсилення сигналу, щоб при прогині балочки в 0,01 мм відхилення променя осцилографа становило 1 мм.

Тарувальні графіки наведено на рис. 3.3.

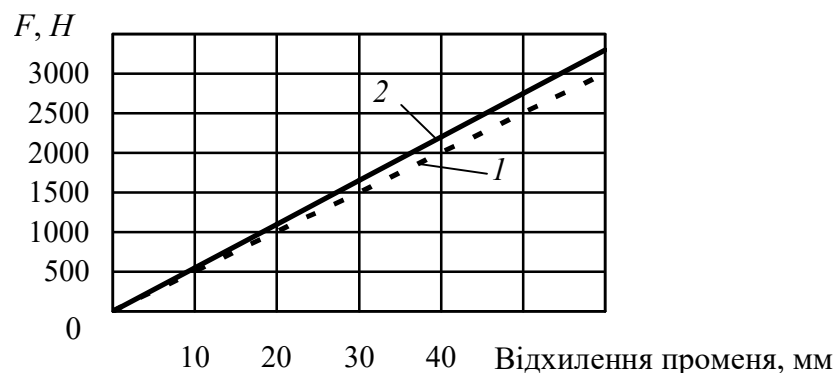


Рис. 3.3. Тарувальні графіки: 1 – месдоза 1; 2 – месдоза 4

#### 4. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Під час підготовки до роботи і виконання досліджень потрібно дотримуватися таких вимог техніки безпеки.

1) Перед пуском перевірити справність заземлення установки, огорожень та електропроводки, а також відсутність сторонніх предметів у міжвалковому проміжку, на кожухах, піддоні і станині установки.

2) Пуск і зупинення установки здійснювати тільки з дозволу викладача, суворо дотримуючись послідовності передбачених дій.

3) Нагрівання та охолодження валків здійснювати винятково за умови обертання валків. Під час нагрівання переконатися у відсутності іскріння між струмознімачами й щітками.

3) Під час роботи установки:

- а) забороняється працювати на установці без захисних рукавичок;
- б) забороняється торкатися рухомих елементів установки;
- в) забороняється здійснювати будь-які геометричні вимірювання елементів установки;
- г) забороняється заглядати в міжвалковий проміжок;

- д) забороняється поправляти рукою перероблюваний матеріал у міжвалковому проміжку;
  - е) завантажувати матеріал у міжвалковий проміжок тільки за допомогою спеціального лотка;
  - ж) матеріал зрізати мідним ножом при нерухомих валках.
- 4) При будь-яких порушеннях у роботі установки звернути на них увагу викладача або навчально-допоміжного персоналу. В екстрених ситуаціях установку негайно знеструмити.

## **5. ПОРЯДОК І РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ**

### **5.1. Підготовка установки до роботи**

5.1.1. Установити величину міжвалкового проміжку  $2H_0 \approx 0,7$  мм.

5.1.2. Включити рубильник силового щита. Переконатися в наявності напруги у всіх фазах мережі короткочасним включенням вентилятора, що охолоджує тиристри системи нагрівання валків.

5.1.3. Включити автомат захисту мережі (АЗМ). На пульті керування (ПК) включити тумблери «трансформатор», «напруга статора» і «БК двигуна». Установити мінімальну швидкість обертання валків. Увімкнути електродвигун урухомника валків. Перевірити роботу регулятора швидкості валків. Переконатися, що механізми валкової установки працюють нормально: немає сторонніх шумів, справно працюють прилади, що показують швидкість валків і споживану потужність.

5.1.4. Установити задатчиком на приладах ПСР-08 робочу температуру валків. Включити два тумблери «БК нагрівання валків». Уключити двигун вентилятора обдування регулювальних тиристорів і нагрівники валків. Перевірити показання приладів контролю навантаження індукційних нагрівників валків. Нагрівання валків включити приблизно за 40 хв до початку проведення досліджень. При зменшенні потужності нагрівання кожного валка до 0,2 кВт відключити вентилятор охолодження тиристорів.

5.1.5. За годину до початку досліджень увімкнути блок живлення тензостанції УТ-12-35. Перевірити справність вимірювальних каналів, а також осцилографа Н-100.

5.1.6. Прокатуванням свинцевих заготовок підготувати шість свинцевих пластин завтовшки 1 мм, завширшки 15 мм і завдовжки 60 мм.

### **5.2. Проведення досліджень**

5.2.1. Підготувати кілька зразків досліджуваної композиції.

5.2.2. Переконатися, що температури валків  $T_{B1}$  і  $T_{B2}$  досягли заданих величин і не змінюються в часі.

5.2.3. Звести валки, що обертаються, до взаємного контакту.

5.2.4. Завантажити в міжвалковий проміжок пробну порцію композиції.

Після переходу полімеру в розплав відключити двигун і мідним ножем зрізати смужку плівки завширшки 20...30 мм по всій робочій довжині валка. Виміряти мікрометром товщину плівки по краях і в центрі смужки. За відсутності рівнотовщинності смужки, відрегулювати за допомогою пристроїв для розсунення валків величину міжвалкового проміжку. За мінімальної швидкості обертання валків зняти полотнище композиції з валків. Протерти поверхню валків чистою тканиною.

5.2.5. Виконати баланс тензомостів і протарувати сигнал тарувальним пристроєм Т-12, задаючи прогин балочки 0,5 мм і встановивши чутливість каналів таким чином, щоб відхилення світлового променя осцилографа Н-700 становило 50 мм.

5.2.6. Зробити тарування міжвалкового проміжку, попередньо вимірявши значення температур  $T_{в1}$  і  $T_{в2}$ . Одночасно завести в міжвалковий проміжок дві свинцеві пластини розклепаною стороною на відстані 50 мм від крайок бочок валків. Візуально визначити кількість поділок, на які відхиляються світлові промені осцилографа.

Після охолодження пластин до температури навколишнього середовища  $T_{ох}$  визначити мінімальну величину міжвалкового проміжку  $2H'_0$  під час холодного ходу установки за формулою

$$2H'_0 = 2H_{ох} [1 + \alpha_c (T_{в} - T_{ох})] + k_y P', \quad (5.1)$$

де  $2H_{ох}$  – товщина холодної прокатоної свинцевої пластини, м;  $\alpha_c$  – коефіцієнт лінійного розширення свинцю,  $\alpha_c = 2,83 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ ;  $k_y$  – пружна стала експериментальної установки,  $k_y = 13,3 \cdot 10^{-9} \text{ м/Н}$ ;  $P' = F'_1 + F'_2$ , Н – розпірне зусилля під час прокатування свинцевої пластини, що визначається експериментально за величиною відхилення променів осцилографа і тарувальних графіків (див. рис. 3.3).

Отримані результати занести в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Тарування міжвалкового проміжку

№ дослідю	$T_{в1}$ , °С	$T_{в2}$ , °С	$T_{в}$ , °С	$T_{ох}$ , °С	$F'_1$		$F'_2$		$P'$ , Н	$2H'_0$ , мм
					поділок	Н	поділок	Н		
1										
2										

5.2.7. Установити задану швидкість валків  $W_{в}$ . Виміряти температури валків  $T_{в1}$  і  $T_{в2}$ . Відповідні значення занести в табл. 5.2. Провести дослідження при середній температурі валків  $T_0$ , визначеної за формулою (2.4).

5.2.8. Завантажити в міжвалковий проміжок порцію досліджуваної композиції. Під час переходу полімеру в розплав регулятором швидкості підтримувати задану швидкість валків. У момент утворення в міжвалковому проміжку обертового запасу, що характеризує початок сталого режиму вальцювання, зробити вимірювання відхилень світлових променів осцилографа під дією

розпірних зусиль  $F_1$  і  $F_2$ . Відключити електродвигун і вимірювальною лінійкою визначити висоту обертового запасу (тобто значення величини  $x_{\text{вх}}$ ). Мідним ножом зрізати смужку композиції завширшки 20...30 мм, виміряти її середню товщину  $\delta$  і довжину  $L$ . Виміряти температуру навколишнього середовища –  $T_{\text{ох}}$ . Отримані дані занести в табл. 5.2.

Таблиця 5.2. Результати вимірювань

№ до- сліду	$W_{\text{в}}$ , м/с	$T_{\text{в1}}$ , °С	$T_{\text{в2}}$ , °С	$T_{\text{в}}$ , °С	$T_{\text{ох}}$ , °С	$F_1$		$F_2$		$P$ , Н	$x_{\text{вх}}$ , мм	$\delta$ , мм	$L$ , мм
						поділок	Н	поділок	Н				
1													
2													
3													
4													
5													
...													

5.2.9. Вимірювання здійснити ще за декількох значень швидкостях валків. Отримані результати занести в табл. 5.2.

5.2.10. Установити мінімальну швидкість валків, включити електродвигун урухомника валків і зняти з валка залишки матеріалу. Перевірити і за умови зміщення встановити нове нульове положення світлових променів на шкалі осцилографа. Валки протерти чистою тканиною. За потреби для зняття залишків композиції використати парафін або силіконове мастило.

5.2.11. Установити задатчиком нові температури валків  $T_{\text{в1}}$  та  $T_{\text{в2}}$  і після стабілізації заданих температур валків відповідно пп. 5.2.7–5.2.10 провести дослідження за середньої температури валків  $T_1$  (формула (2.4)).

5.2.12. Після закінчення експерименту відключити нагрівники валків і тензостанцію. Протягом 1...2 год за умови обертання валків охолодити їх до температури 80...50 °С.

5.2.13. Виключити електродвигун урухомника валків, виключити АЗМ і рубильник силового щита. Прибрати робоче місце.

## 6. ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

6.1. По тарувальних графіках визначити розпірні зусилля на підшипниках  $F_1$  і  $F_2$ , а потім – сумарну розпірну силу, що діє на валок:  $P = F_1 + F_2$ . Занести їх значення в табл. 6.1.

6.2. Побудувати графіки залежностей розпірних сил  $F$  від швидкості обертання валків  $W_{\text{в}}$ , апроксимувати залежність за залежністю (2.2) степеневою функцією і визначити показник степеня  $n$ .

6.3. Скориставшись нижче наведеною програмою розрахунку, визначити реологічні параметри перероблюваного матеріалу для заданої температури.

*Програма визначення реологічних властивостей досліджуваного матеріалу*

```
CLS
S = 0
Q=0
qw = 0
INPUT "vvedite kordinatu vходу - Xbx ="; x
x = x / 1000
INPUT "vvedite min zazor 2Ho' ="; h
h = h / 1000
INPUT "vvedite serednju temp. valkiv - Tb ="; Tb
INPUT "vvedite rospirnu silu P ="; P
INPUT "vvedite dovginu poloski L ="; l
l = l / 1000
Rb = .1 'radius valka
Ky=13.3*10^-9 ' uprugaya postoyannaya
INPUT "vvedite n="; n
INPUT "vvedite dr="; dr
INPUT "vvedite d(eta)="; deta
INPUT "vvedite WB ="; u
u = u / 1000
INPUT "vvedite tovshinu lista delta ="; d
d = d / 1000
f = h + Ky * P
H0 = f / 2
Rbx=x/(Rb*f)^.5
rk= (d / f - 1) ^ .5
r = -rk
rv=rk
1
r = r + dr
B = ABS(r ^ 2 - rv ^ 2) ^ (n - 1) * (r ^ 2 - rv ^ 2) / ((1 + r ^ 2) ^ (1 + 2 * n))
Q = Q + B * dr
IF S < .0005 THEN 1
2
FOR j = -rk TO r STEP dRo
FOR i = 0 TO 1 STEP deta
qw = qw + 1
A = ABS((u / H0) * ((2 * n + 1) / n) * ((j ^ 2 - rk ^ 2) / (1 + j ^ 2)) * i ^ (1 / n))
S = S + A
NEXT i
NEXT j
```

```

S = S / qw
3
mju = P / (2 * Rb * u * l * ((1 / H0) - (1 / d)))
K = mju / (S ^ (n - 1))
tau = K * (S ^ n)
PRINT " temp. valkiv - Tb ="; Tb;"oC"
PRINT " gradient zsuvu, gama="; S;"c-1"
PRINT "vjazkist, mju ="; mju; "Pa*c"
PRINT "K="; K; "Pa*c^n"
PRINT "naprugenja zsuvu, tau="; tau; "Pa"
PRINT "2Ho="; f; "m"
PRINT "r vchodu="; Rbx
PRINT "r pothatkove="; r
PRINT "r kinzeve="; rk

```

Таблиця 6.1. Результати обробки результатів вимірювань

№ досліду	Перероблюваний матеріал	$W_B$ , м/с	$2H_0$ , мм	$\rho_{вх}$	$\rho_{п}$	$\rho_{к}$	$F$ , Н	$n$	$\mu$ , Па·с	$\dot{\gamma}$ , с <sup>-1</sup>	$\tau$ , Па
$T_0$											
1											
2											
3											
4											
5											
...											
$T_1$											
1											
2											
3											
4											
5											
...											

6.4. Величину мінімального міжвалкового проміжку  $2H_0$  у програмі визначають як функцію розпірних сил:  $2H_0=2H_0'+k_y P$  (тут  $P$  – розпірне зусилля, що діє на валок, а позначення  $2H_0'$  і  $k_y$  – див. у формулі (5.1)).

6.5. Побудувати графік залежності  $\tau = K_0 \dot{\gamma}^n$  для температури  $T_0$  і за його допомогою визначити величину  $K_0$ . Зробити те саме для залежності  $\tau = K_1 \dot{\gamma}^n$  при температурі  $T_1$ .

6.6. За залежністю (2.5) визначити температурний коефіцієнт  $\beta$ , після чого записати реологічне рівняння (2.1) з визначеними параметрами  $K_0$ ,  $T_0$  і  $\beta$ . Занести відповідні значення величин у табл. 6.1.

## 7. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Проаналізуйте та обґрунтуйте характер побудованих графіків.
2. Порівняйте значення координати входу полімеру в міжвалковий проміжок і координати початку зони деформації. Поясніть їх відмінність.
3. Поясніть характер залежності реологічних параметрів перероблюваного матеріалу від температури.
4. За наявності даних щодо реологічних параметрів базового полімеру порівняйте їх значення зі значеннями перероблюваного матеріалу. Проаналізуйте та обґрунтуйте їх відмінність.
5. Порівняйте значення реологічних параметрів ТпКМ, отриманих під час його перероблення на валковій установці, зі значеннями, отриманими на капілярному віскозиметрі. Поясніть розбіжність.

## 8. КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Проаналізуйте різницю процесів вальцювання й каландрування.
2. Дайте оцінку термопластичним композиційним матеріалам як об'єкту перероблення на валкових машинах.
3. Обґрунтуйте залежність в'язкості перероблюваного термопластичного матеріалу від температури, а також властивостей наповнювача (розмір частинок, їх форма, фракційний склад та об'ємна частка в матеріалі).
4. Обґрунтуйте принципову залежність розпірного зусилля від: величини міжвалкового проміжку, радіуса валків, довжини бочок валків, відстані між обмежувальними стрілами, швидкості обертання валків, температури валків, початкової температури матеріалу.
5. Проаналізуйте залежність розпірного зусилля від в'язкопружних властивостей матеріалу.
6. Доведіть можливість наявності різного значення радіальних зусиль, що сприймаються під час роботи валкової машини підшипниками окремого валка.
7. Доведіть доцільність дослідження реологічних властивостей перероблюваних матеріалів безпосередньо на переробному обладнанні. Чи завжди реологічні властивості в'язкоплинного ТпКМ можна визначити за допомогою капілярної віскозиметрії?
8. Користуючись наведеною в п. 6 програмою, розробіть графічну схему алгоритму розрахунку.



## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лукач Ю. Е., Рябинин Д. Д., Метлов Б. Н. Валковые машины для переработки пластмасс и резиновых смесей. Москва : Машиностроение, 1967. 296 с.
2. Рябинин Д. Д., Лукач Ю. Е. Смесительные машины для пластмасс и резиновых смесей. Москва : Машиностроение, 1972. 272 с.
3. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимеров / Ю. Е. Лукач, Л. Г. Воронин, Л. И. Ружинская и др. Київ : Техніка, 1988. 208 с.
4. Микульёнок И. О. Интенсификация процессов переработки полимеров на валковых машинах : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.17.08 «Процессы и аппараты химической технологии» / Микульёнок Игорь Олегович. Киев, 1991. 171 с.
5. Мікульонок І. О. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини. Київ : ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2009. 265 с.
6. Мікульонок І. О. Процеси та обладнання перероблення термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.17.08 «Процеси та обладнання хімічної технології» / Мікульонок Ігор Олегович. Київ, 2009. 388 с.
7. Маленко К. С. К вопросу расчета эффективной вязкости при переработке полимеров на валковых машинах // Химическое машиностроение : респ. межвед. научн.-техн. сб. Київ : Техніка, 1966. Вып. 4. С. 134.
8. Определение реологических констант перерабатываемого полимера на лабораторном валковой установке / Р. Г. Мирзоев, В. Н. Красовский, Г. П. Доброхотова и др. // Машины и технология переработки полимеров : межвед. сб. научн. тр. Ленинград : ЛТИ, 1969. С. 56—61.
9. Калинин Э. Л., Саковцева М. Б. Свойства и переработка термопластов : справ. пособие. Ленинград : Химия, 1983. 288 с.
10. Теплофизические и реологические характеристики и коэффициенты трения наполненных термопластов : справочник / В. А. Пахаренко, В. Г. Зверлин, В. П. Привалко и др. Київ : Наук. думка, 1983. 290 с.
11. Мікульонок І. О. Полімерні композиційні матеріали. Визначення реологічних властивостей // Хімічна промисловість України. 2003. № 6. С. 58—61.
12. Мікульонок І. О., Радченко Л. Б. Переробка вторинної сировини екструзією. Київ : НТУУ «КПІ», 2006. 184 с.
13. Мікульонок І. О., Радченко Л. Б. Полімерні композитні матеріали й виробли з них. Одержання, перероблення та властивості: Термінологічний словник. Київ : ІВЦ «Видавництво “Політехніка”», 2005. 179 с.