

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

## ОПТИМІЗАЦІЯ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Методичні вказівки до виконання курсової роботи  
для студентів спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія  
(магістерський рівень)

Друкується за Планом видань навчальної та методичної літератури,  
затвердженим Вченою радою ІПБТ УДУНТ  
Протокол № 1 від 24.01.2022

Дніпро 2022

УДК 66.01:51.001.57 (07) М54

Оптимізація хіміко-технологічних процесів : методичні вказівки до виконання курсової роботи для студентів спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія (магістерський рівень) / уклад. І. В. Голуб. – Дніпро : Україн. держ. ун-т науки і технол., 2022. – 28 с.

Викладено загальні положення щодо структури, оформлення, змісту і послідовності виконання пояснювальної записки до курсової роботи.

Призначені для студентів спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія (магістерський рівень).

Укладач І. В. Голуб, канд. техн. наук, доц.

Відповідальний за випуск А. Г. Старовойт, д-р техн. наук, проф.

Рецензент Е. І. Малий, д-р техн. наук, доц.

Підписано до друку 19.09.2022. Формат 60x84 1/16. Папір друк. Друк плоский.  
Облік.-вид. арк.1,64. Умов. друк. арк.1,62. Замовлення №90

Український державний університет науки і технологій  
49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2

---

Редакційно-видавничий відділ УДУНТ

## ВСТУП

Сучасний рівень розвитку хімічної промисловості обумовлює необхідність оптимізації виробництва хімічної продукції, розробки високоефективних і економічних процесів, створення нових хімічних сполук і продуктів.

Застосування методів математичного моделювання є ефективним інструментом для аналізу і керування хіміко-технологічними процесами, оптимізації параметрів виготовлення продукції, створення матеріалів різного призначення, дослідження властивостей об'єктів та організації виробництва.

Створення математичних моделей хімічних процесів і необхідність вирішення комплексу пов'язаних технологічних, організаційних і економічних задач вимагає застосування ЕОМ, як ефективного інструменту для виконання розрахунків, моделювання і керування хіміко-технологічних процесів.

Виконання курсової роботи за темою «Оптимізація процесів у хімічному виробництві» має за мету побудову математичних моделей, розробку алгоритму вирішення задач, придбання навичок в роботі з пакетами прикладних комп'ютерних програм.

## 1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО СТРУКТУРИ І ЗМІСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ

### 1.1 Структура курсової роботи

Курсова робота складається з пояснювальної записки загальним обсягом не більше 25 сторінок (аркуш формату А4). Виконану і оформлену роботу необхідно здати керівнику курсової роботи на перевірку, а потім захистити.

Пояснювальна записка до курсової роботи містить: *вступну* частину і *основну* частину

*Вступна частина* складається з наступних структурних елементів:

- титульний аркуш;
- лист-завдання на курсову роботу;
- реферат;
- зміст пояснювальної записки.

*Основна частина* містить розділи, які можуть складатися з підрозділів і пунктів, а якщо треба – з пунктів і підпунктів.

Для виконання курсової роботи рекомендується наступна структура основної частини:

- ВСТУП
- 1 АПРІОРНА ІНФОРМАЦІЯ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ.
- 2 ПОШУК ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ МАТЕРІАЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ БЕЗУМОВНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ
- 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ЗА ЗАЗНАЧЕНИХ УМОВ
- 4 ПОШУК ОПТИМАЛЬНОГО ПЛАНУ РОБОТИ ВИРОБНИЦТВА
- ВИСНОВКИ
- ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

## 1.2 Вступна частина курсової роботи

*Титульний аркуш* є першою сторінкою пояснювальної записки і основним джерелом бібліографічної інформації, необхідної для пошуку та оброблення документа. Титульний аркуш містить дані, які подають у наступній послідовності: відомості про міністерство, вищий навчальний заклад, кафедру, повну назву документа, прізвище та підписи керівника і студента, який виконав роботу; рік складання пояснювальної записки. Переноси слів у заголовках титульного аркуша не допускаються.

*Завдання на курсову роботу* складає і видає керівник. Завдання оформляється на спеціальному бланку з обох боків одного аркуша. Цей аркуш відповідає двом сторінкам тексту, які нумеруються відповідним чином.

В завданні повинна бути вказана тема курсової роботи, вихідні дані, перелік питань, які належить розробити, календарний план виконання етапів роботи, прізвище та підписи керівника і студента (*додаток А*).

*Реферат* призначений для загального ознайомлення з роботою і має бути стислим, інформативним та містити відомості щодо обсягу пояснювальної записки, кількості ілюстрацій, таблиць, кількості джерел згідно з переліком посилань.

В тексті резюме наводять стислі відомості щодо частин роботи. Текст резюме повинен відображати курсову роботу у поданій послідовності. Ключові слова, що є визначальними для розкриття суті пояснювальної записки, вміщують після тексту реферату. Перелік ключових слів повинен містити від 5

до 15 слів або словосполучень, які написано великими літерами в називному відмінку в рядок через коми. Бажано, щоб резюме уміщувався на одній сторінці аркуша формату А4.

**Зміст** розташовують безпосередньо після резюме, починаючи з нової сторінки. До змісту включають вступ; послідовно перелічені назви всіх розділів, підрозділів, пунктів і підпунктів (якщо вони мають заголовки) пояснювальної записки; висновки; перелік посилань.

## 2 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ЗМІСТУ ОСНОВНОЇ ЧАСТИНИ КУРСОВОЇ РОБОТИ

### 2.1 Вступ

Вступ є складовою основної частини курсової роботи і розташовується після змісту на окремій сторінці.

Згідно з завданням у вступі обґрунтовують необхідність удосконалення хіміко-технологічних процесів з використання методів оптимізації. Далі формулюють **об'єкт, предмет, мету роботи і задачі**, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети.

Наприклад:

**Метою** курсової роботи є оптимізація хімічного виробництва, яка забезпечує підвищення ефективності роботи виробництва за різних умов.

У відповідності з метою роботи необхідно вирішити наступні **задачі**:

- розрахувати оптимальну кількість сировини;
- розробити модель процесу і визначити оптимальний план виробництва за наданими умовами;
- оцінити ефективність роботи виробництва при різних умовах роботи.

Наприклад:

**Метою** курсової роботи є проаналізувати параметричну чутливість отриманої статистичної моделі і провести дослідження статистичних залежностей за різних умов.

У відповідності з метою роботи необхідно вирішити наступні **задачі**:

- скласти систему рівнянь математичного опису гідравлічних схем в стаціонарному стані;
- побудувати інформаційну матрицю системи рівнянь математичного

- опису процесів руху рідини для вибору алгоритму;
- побудувати блок-схему алгоритму розрахунку гідравлічної системи в стаціонарному режимі;
  - проаналізувати параметричну чутливість отриманих статичних моделей, а також провести дослідження статичних характеристик комп'ютерної моделі процесу.

## 2.2 Основні розділи курсової роботи

У *першому розділі* «Апріорна інформація щодо оптимізації об'єкта досліджень» чи інше, наводять відомості про існуючі математичні моделі згідно поставленої задачі, аналізують і виявляють недоліки існуючих моделей, обґрунтовують вибрані методи створення математичної моделі для вирішення задач курсової роботи.

Інформаційний пошук здійснюється за первинними джерелами інформації, до яких відносяться книги, підручники, монографії, збірники наукових праць, періодичні видання (журнали) за фахом.

При оформленні розділу необхідно в тексті приводити посилання на використовувану літературу. Посилання слід зазначати порядковим номером, виділеним двома квадратними дужками згідно розділу «ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ», що приводиться наприкінці курсової роботи, наприклад, «[1]».

У *другому розділі* «Пошук оптимальної кількості матеріалу з використанням методів безумовної оптимізації» чи інше, розраховують необхідну кількість матеріалу для виготовлення продукту з застосуванням методу одновимірної безумовної оптимізації, наводять схему алгоритму, покроковий розрахунок декілька ітерацій з поясненнями. Результати покрокового пошуку наводять у вигляді таблиці і чітко прописують результати. Пошук кількості матеріалу, якщо виконують за допомогою ЕОМ з використанням пакету прикладної програми Microsoft office Excel, як аналітичним так і графічним методами [4]. Аналізують отримані результати і формулюють висновок, щодо кількості матеріалу і недоліків кожного використаного методу.

### Наприклад 1:

Знайти кількість піску на 1 т бетону першої марки, якщо функція використання піску на 1 т бетону першої марки, має вигляд  $y = 2 - 4 \cdot (x - 5) \cdot x^2$  і границя витрат матеріалу знаходиться у межах від 0 до 6 т. Для вирішення

задачі використати пошук безумовної оптимізації з точністю розрахунку 0,5 (метод дихотомії згідно до завдання). З'ясувати максимальне значення витрат піску на 1 т бетону першої марки.

*Розв'яжемо поставлену задачу.*

Відомо два способи розв'язання задачі безумовної оптимізації графічний і аналітичний.

З використанням графічного способу (рис. 2.1) максимальне значення функції  $y = 2 - 4 \cdot (x - 5) \cdot x^2$  приблизно знаходиться в точці  $x = 3.5$ , яка належить до відрізка  $[0, 6]$  і дорівнює 75.5.

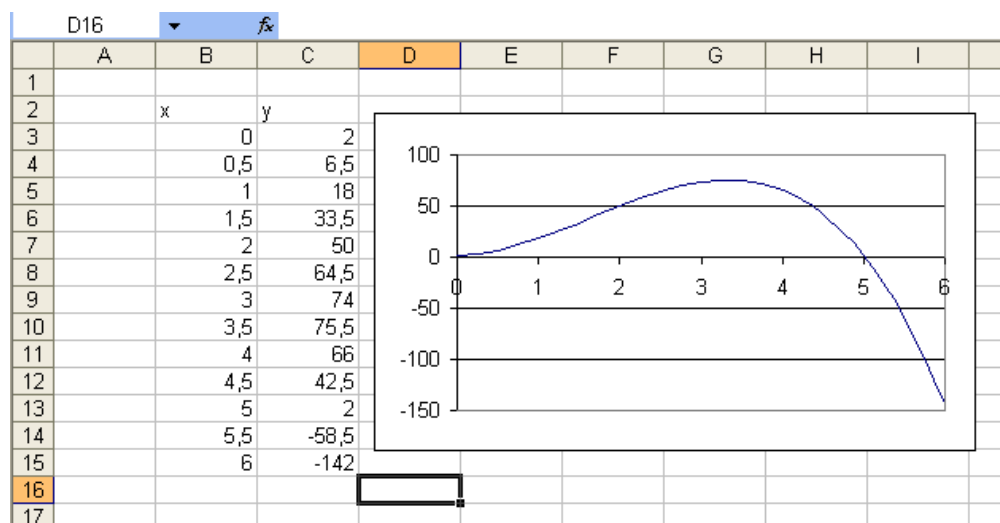


Рисунок 2.1 – Графічний спосіб

Алгоритм рішення задачі за аналітичним способом наведено нижче.

*Схема алгоритму.*

Перша ітерація

Задаємося значенням границі інтервалу пошуку  $a=0$ ,  $b=6$ , точністю розрахунку  $\epsilon = 0,5$  і мале позитивне число  $\delta = 0.001$ , яке значно менше чим  $\epsilon$ .

Розраховуємо середину відрізка за формулою

$$x = \frac{(a + b)}{2}, \quad (2.1)$$

де  $a$  і  $b$  – границі інтервалу;

$x$  – змінна.

Тоді

$$x = \frac{(0+6)}{2}, x = 3.$$

Розрахуємо значення функції  $y = 2 - 4 \cdot (x - 5) \cdot x^2$  у двох точках, які значно близько до середини інтервалу за формулою

$$y1 = f(x-\delta), y2 = f(x+\delta). \quad (2.2)$$

тоді

$$y1 = f(x-\delta) = f(3 - 0.001) = 2 - 4 \cdot (2.999 - 5) \cdot 2.9992 = 73.988;$$

$$y2 = f(x+\delta) = f(3 + 0.001) = 2 - 4 \cdot (3.001 - 5) \cdot 3.0012 = 74.011.$$

Визначаємо наступний відрізок  $[a, x+\delta]$  або  $[x-\delta, b]$ , який має точне рішення. Якщо при пошуку максимального значення функції  $y1 \leq y2$ , то цей відрізок  $[x-\delta, b]$ , інакше це відрізок  $[a, x+\delta]$ , та визначений відрізок локалізації позначаємо як  $[a, b]$ .

Тобто у  $y1 \leq y2$  відрізок локалізації  $[x-\delta, b]$ , має точне рішення і знаходиться у межах від 2.999 до 6.

Розраховуємо  $b-a \leq 2\varepsilon$ , якщо нерівність дійсно то,  $x^* = \frac{(0+6)}{2}$   $y^* = f(x^*)$  пошук зупиняємо. Інакше повернутися до розрахунку середини відрізка.

Результати обчислення зводимо у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахункові дані

Номер ітерації	$a$	$b$	$\delta$	$x$	$f(x-\delta)$	$f(x+\delta)$	$a - b$
1	0	6	0.001	3	73.98798	74.01198	6
2	2.999	6	0.001	4.4995	42.59442	42.46849	3.001
3	2.999	4.4985	0.001	3.74875	72.35456	72.31719	1.4995
4	2.999	3.74775	0.001	3.373375	76.04335	76.04011	0.74875

Так як  $0.18 \leq 1$  то розрахунок закінчено і  $x = (2.999 + 3.373375) / 2 = 3.186$ ,  $y = 75.65$ .

Максимальне значення функції  $y = 2 - 4 \cdot (x - 5) \cdot x^2$  знаходиться в точці  $x = 3.186$ , яка належить до відрізка  $[0, 6]$  і дорівнює 75.65 з точністю  $\varepsilon = 0,5$ .

Але також рішення задачі можливо здійснити за допомогою ЕОМ (наприклад **програми EXCEL**)

У комірку змінної необхідно поставити одиницю, а у комірку цільової функції поставити аналітичний вираз функції використання піску на 1 т бетону

першої марки, яка має вигляд  $y = 2 - 4 \cdot (x - 5) \cdot x^2$  з посиланням на комірку змінної. Після заповнення таблиці, вибираємо пункт меню «Сервіс», команду «Поиск решения».

Границю витрат матеріалу задати, як обмеження, тобто  $0 < x < 6$  (рис. 2.2). На підставі отриманих результатів (рис. 2.3) знайдено значення змінної  $x = 3.33$ , яке належить до відрізка  $[0, 6]$  і максимум функції дорівнює 76.07.

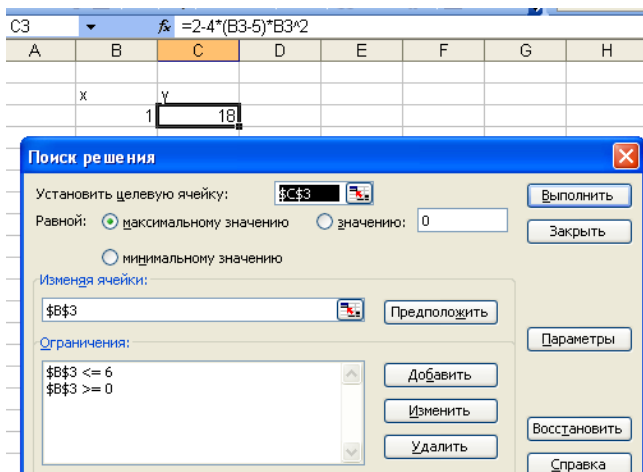


Рисунок 2.2 – «Поиск решений»

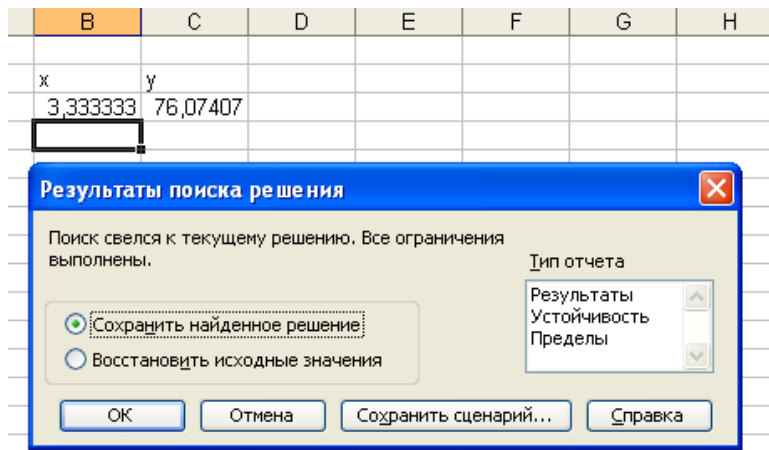


Рисунок 2.3 – Результаты «поиска решений»

Чи у *другому розділі* «Побудова статистичної моделі простої гідравлічної системи» вивчають теорію процесу, будують і аналізують систему рівнянь математичного опису процесу, вибирають моделюючий алгоритм.

Наприклад 2:

Схема простої гідравлічної системи представлена на рисунку 2.4.

*Розв'яжемо поставлену задачу.*

Вивчення теорії процесу здійснюється з метою побудови системи рівнянь математичного опису процесу і включає:

- балансове рівняння;
- рівняння для визначення швидкості руху рідини через клапан;
- рівняння, визначення тиску рідини на дні закритої ємності і тиск газу над поверхнею рідини.

Для системи зображеній на рисунку 2.4 балансові рівняння мають вид:

$$V_1 - V_3 - V_5 = 0$$

$$V_2 + V_5 - V_4 = 0$$

Рівняння для визначення швидкості руху рідини через клапани описується, як:

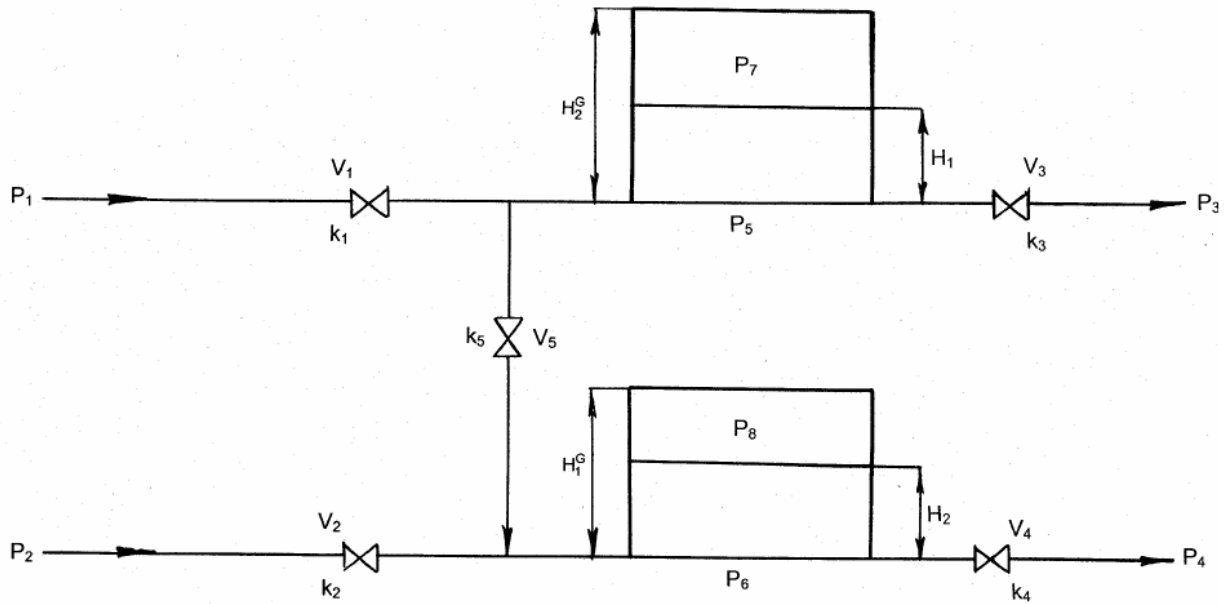


Рисунок 2.4 – Схематичне зображення гідравлічної системи з двома ємкостями

$$V=k_i(P_{вх}-P_{вих})^{1/2};$$

де  $k_i$  – коефіцієнти пропускної здатності клапана;

$P_{вх}, P_{вих}$  – тиск рідини на вході та на виході з клапану.

Тоді для зображеної системи:

$$V_1=k_1(P_1-P_5)^{1/2};$$

$$V_2=k_2(P_2-P_6)^{1/2};$$

$$V_3=k_3(P_5-P_3)^{1/2};$$

$$V_4=k_4(P_5-P_4)^{1/2};$$

$$V_5=k_5(P_5-P_6)^{1/2};$$

Рівняння, що визначає тиск рідини на дні закритої ємності і тиск газу над поверхнею рідини описується формулою:

$$P_{рід}=P_{газ}+\rho gH$$

де  $P_{газ}$  – тиск газу над поверхнею рідини;

$\rho$  – щільність рідини

$H$  – рівень рідини у ємності

Для визначення  $P_{газ}$  використовують співвідношення для ідеального газу та отримують формулу для розрахунку  $P_{газ} = P^N H^G / (H^G - H)$

Тоді для визначення тиску рідини та газу у закритих ємностях

$$P_5 = P_7 + \rho g H_1$$

$$P_7 = P^N H^G_1 / (H^G_1 - H_1)$$

$$P_6 = P_8 + \rho g H_2$$

$$P_7 = P^N H^G_2 / (H^G_2 - H_2)$$

Отримуємо 11 незалежних рівнянь. З фізичних міркувань при використанні гідравлічного розрахунку систем трубопроводів визначними змінними вважаються:

- витрата рідини на всіх ділянках (5 компонентів);
- проміжний тиск у системі (4 компоненту);
- рівень рідини у двох ємностях (2 компоненти)

Система вирішується відносно 11 визначних змінних:  $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, P_5, P_6, P_7, P_8, H_1, H_2$ .

Інформаційна матриця системи рівнянь представлена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Інформаційна матриця системи, яка описує стаціонарний режим гідравлічної системи

nn	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$	$H_1$	$H_2$	№
1	◇					⊕						3
2		◇					⊕					7
3			◇			⊕						4
4				◇			⊕					8
5					⊕	⊕	◇					6
6	⊕		⊕		◇							5
7		⊕		⊕	⊕					◆		9
8						◇		⊕		⊕		2
9								◇		□		1
10							⊕		◇		◇	10,11
11									◇		◇	10,11

Початкове наближення ітераційного процесу обчислення зазначено квадратом, перший крок обчислення змінної позначено ромбом. Для позначення поширення значень змінних на всі рівняння системи, відповідні їм плюси в стовбцях, обводяться колами.

В *третьому розділі* «Дослідження процесу виробництва за зазначених умов». Розв'язують технологічну задачу втрат тепла через багат шарову стіну агрегату. Знаходять оптимальний варіант з запропонованих.

Наприклад 3:

Знайти кількість тепла, яке витрачається через циліндричну поверхню агрегату багат шарової футерівки при наступних початкових даних:

- температура на поверхні робочого шару футерівки 1600 °С;
- температура кожуха на зовнішній стороні 180 °С;
- товщина кожуха (Сталь) 0,065 м;
- товщина теплоізоляційного шару (Азбестовий картон) 0,080 м;
- товщина арматурного шару (Шамотний вогнетрив) 0,114 м;
- товщина робочого шару (Корундовий бетон) 0,250 м.
- температура довкілля 20 °С

Рівняння коефіцієнтів теплопровідності для різних шарів.

- азбестовий картон  $\lambda = 0,157 + 0,00014 t$ ;
- шамотний вогнетрив  $\lambda = 0,84 + 0,00058 t$ ;
- корундовий бетон  $\lambda = 2,1 - 0,0018 t$ ;
- сталь  $\lambda = 13,85 + 0,01545 t$ .

Наведену товщину розраховують за нормальної температури за формулою:

$$Z_i = \frac{S_{cl}}{b_{i0}}, \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}, \quad (2.3)$$

де  $S_{cl}$  – товщина кожного шару футерівки, м.

Загальна товщина шару дорівнює:  $Z_{\Sigma} = Z_i, \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$ ;

де  $Z_i$  – наведена товщина кожного шару футерівки.

Для знаходження рівняння лінійної залежності температури від наведеної товщини шарів необхідно побудувати графік залежності  $T = f(Z_{\Sigma})$ . Отриману залежність  $y = - a \cdot x + b$ , де  $x$  – товщина шару, м;  $y$  – температура внутрішньої поверхні стінки, °С;  $a, b$  – коефіцієнти рівнянь, використовуємо для визначення температури поверхні матеріалу на кордоні з подальшим шаром.

Находимо середню температуру кожного шару футеровки:  $T_{\text{ср.}}^{\text{к}} = \frac{T_1 + T_2}{2}$ .

Знаючи середню температуру шару, можна визначити уточнені значення коефіцієнта теплопровідності за формулою:

$$\lambda_i = b_{i0} + b_{ik} \cdot T_i, \text{ Вт/м} \cdot \text{град} \quad (2.4)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·град;  
 $i$  – номер шару футеровки ( $i = 1, 2, 3$ );  
 $b_{i0}, b_{ik}$  – постійні величини.

Визначимо коефіцієнт тепловіддачі від кожуха до повітря:

$$\alpha = 2,6 \cdot \sqrt[4]{t_{\text{СТ}} - t_{\text{ОКР}}} + \frac{5,7\varepsilon}{t_{\text{СТ}} - t_{\text{ОКР}}} \left[ \left( \frac{T_{\text{СТ}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{\text{ОКР}}}{100} \right)^4 \right], \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град};$$

де  $\varepsilon$  – ступінь чорноти;  $\varepsilon$  – для цегельних стінок 0,9-0,98.

Загальний коефіцієнт тепловіддачі дорівнює:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \sum \frac{s_i}{\lambda_i}}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}; \quad (2.5)$$

Температуру зовнішнього шару:

$$t'_{\text{СТ}} = t_{\text{ОКР}} + \frac{K}{\alpha} (t_{\text{СТ}}^{\text{В}} - t_{\text{ОКР}}), \text{ }^{\circ}\text{C}; \quad (2.6)$$

Якщо різниця між заданою температурою і розрахункової складе більше ніж 1,5 °С, то необхідно перерахувати зі змінами або товщини і-го шару, або замінити матеріал і-го шару.

Втрати тепла через футерувальний шар агрегату при площі 1 м<sup>2</sup> за одиницю часу:

$$Q_{\text{СТ}} = 3,6 \cdot 4 \cdot K \cdot F \cdot \tau \cdot (t_{\text{СТ}}^{\text{В}} - t_{\text{ПОВ}}), \text{ кДж}, \quad (2.7)$$

- де 4 – враховує 4 шари;  
 3,6 – коефіцієнт переходу від Вт до кДж/год.;  
 $F$  — площа стіни ( $F = L \cdot h$ ), м<sup>2</sup>;  
 $\tau$  час, год.

За допомогою ЕОМ рішення задачі наведено на рисунку 2.5

	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н	І	Ј
1									
2									
3		товщина	матеріал						
4	слои	м	название		а	+	в	t	Z
5	рабочий	0.250	Корундовый	К	2.1	+	0.0018	t	0.119048
6	арматурный	0.114	Шамотні	ШКУ	0.84	+	0.00058	t	0.135714
7	теплоизоляция.	0.080	Азбестовий картон	АК	0.157	+	0.00014	t	0.509554
8	кожух	0.065	сталь	сталь	13.85	+	0.01545	t	0.004693
9	сумма по фут.	0.509							181 0.769009
10								1600	0
11									
12									

К	Л	М	Н	О	Р	Q	R	S
$\Sigma z_i$	T	T <sub>ср</sub>	$\lambda$	$\alpha$	k	t	Q	
0.119048	1380.33	1490.165	4.782297	20.44989	2.07947	180.6641	484006.9	
0.254762	1129.905	1310.035	1.59982			ок		
0.764316	189.6599	749.8475	0.261979					
0.769009	181	465.4237	21.0408					

Рисунок 2.5 – Розрахунок теплових витрат у програмі Excel

Графічне зображення температурного поля по товщині багатошарової стіни агрегату наведені на рисунку 2.6

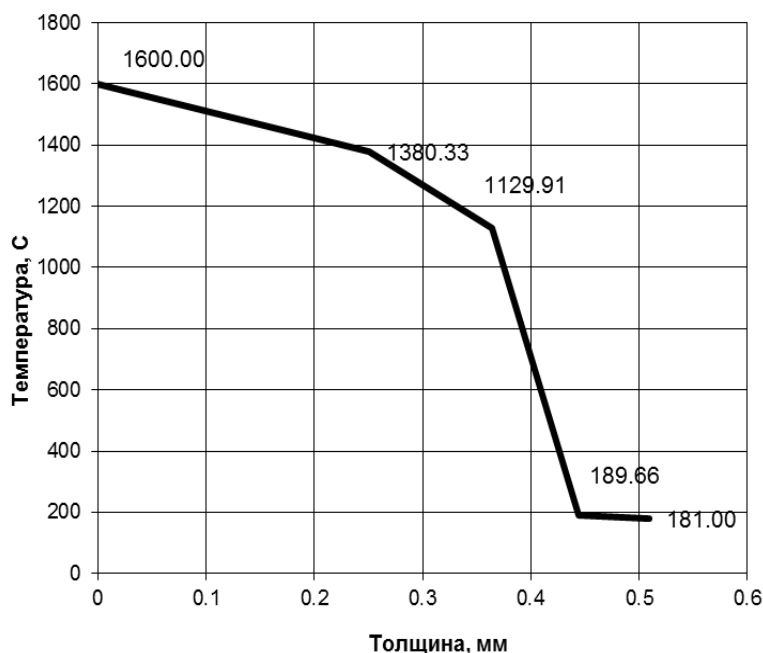


Рисунок 2.6 – Розподіл температури по товщині багатосарової стіни агрегату

В *третьому розділі* «Побудувати блок-схему алгоритму розрахунку гідравлічної системи в стаціонарному режимі». Використовуючи стандартні зображення блоків в блок-схемі наводять алгоритм розрахунку стаціонарного режиму гідравлічної системи (рис. 2.7).

Наприклад 4:

Для схеми простої гідравлічної системи, яка представлена на рисунку 2.4.

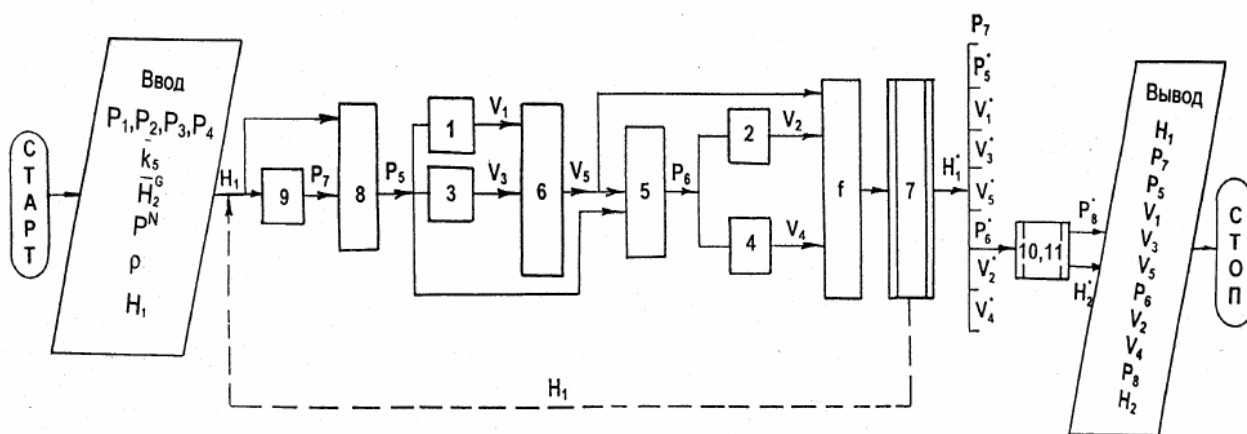


Рисунок 2.7 – Блок-схема алгоритму розрахунку стаціонарного режиму гідравлічної системи

В *четвертому розділі* «Пошук оптимального плану роботи виробництва» складають математичну модель роботи виробництва. Розв’язують технологічну задачу методами лінійного програмування (графічним чи з використанням

ЕОМ) [4, 5], наводять алгоритм рішення і відображують поетапне заповнення вікон «Поиск решений». Знаходять оптимальний план виробництва зі заданими умовами ресурсів, який би максимізував обраний вид ресурсу у вигляді таблиці. Формулюють висновок, використав один з двох методів розрахунку та обґрунтовують отримані звіти.

Наприклад 5:

Для виготовлення двох марок бетону необхідно 3 виду ресурсу (пісок, цемент, гравій), кількість матеріалу, яка необхідна на 1 т бетону кожної марки, а також запаси ресурсів та прибуток від реалізації 1 т бетонних виробів (таблиця 2.3). Скласти план випуску бетону для отримання максимального прибутку підприємства.

*Побудова математичної моделі.* Змінними в моделі є тижневі обсяги виробництва бетону марок 1 і 2.

Таблиця 2.3 – Вихідні дані

Види ресурсу	Одиниці виміру	Марки бетону		Запаси ресурсів
		Марка 1	Марка 2	
Пісок	т	3	5	7
Цемент	т	2	1	5
Гравій	т	5	6	18
Прибуток	грн	180	160	-

Нехай  $x_1$  – кількість тон бетону марки 1, а  $x_2$  – відповідна кількість тон бетону марки 2. Цільова функція моделі – максимізація прибутку підприємства від реалізації продукції. Математично має вигляд:

$$Z = 180x_1 + 160x_2 \rightarrow \max. \quad (2.8)$$

Обмеження математичної моделі враховують запаси ресурсу. Обмеження набирають такого вигляду:

- для піску

$$3x_1 + 5x_2 \leq 7 \text{ т};$$

- для цементу

$$2x_1 + x_2 \leq 5 \text{ т.}$$

- для гравію

$$5x_1 + 6x_2 \leq 18 \text{ т.}$$

Математична модель поставленої задачі має вигляд:

$$Z = 180x_1 + 160x_2 \rightarrow \max,$$

$$\begin{cases} 0.3 \cdot x_1 + 0.25 \cdot x_2 \leq 7 \\ 0.2 \cdot x_1 + 0.18 \cdot x_2 \leq 5 \\ 0.5 \cdot x_1 + 0.55 \cdot x_2 \leq 18 \\ x_1 \geq 0; x_2 \geq 0. \end{cases} \quad (2.9)$$

Математична модель є моделлю задачі лінійного програмування, що містить лише дві змінні, і тому може бути розв'язана графічно.

**а) Розв'язування задачі графічним методом.** Згідно з графічним методом перший крок полягає в геометричному зображенні припустимих планів задачі, тобто в побудові такої області, де одночасно виконуються всі обмеження моделі.

Переріз усіх півплощин визначає область допустимих планів задачі – трикутник  $ABC$ . Координати будь-якої його точки задовольняють систему обмежень задачі та умову невід'ємності змінних. Тому поставлену задачу буде розв'язано, якщо ми зможемо відшукати таку точку трикутника  $ABC$ , в якій цільова функція  $Z$ , набуває найбільшого значення.

У нашій задачі вектор  $\vec{N} = (180; 160)$  задає напрям збільшення значень цільової функції  $Z$ , а вектор, протилежний йому, – напрям їх зменшення.

Побудуємо лінію, що відповідає, наприклад, значенню  $Z = 0$ . Це буде пряма  $180 \cdot x_1 + 160 \cdot x_2 = 0$ , яка перпендикулярна до вектора  $\vec{N}$  і проходить через початок координат. Оскільки маємо визначити найбільше значення цільової функції, пересуватимемо пряму  $180 \cdot x_1 + 160 \cdot x_2 = 0$  в напрямку вектора  $\vec{N}$  доти, доки не визначимо вершину трикутника, яка відповідає оптимальному плану задачі (рисунок 2.8).

Данні рисунка свідчать, що останньою спільною точкою прямої цільової функції та трикутника  $ABC$ , є точка  $C$ . Координати цієї точки визначають оптимальний план задачі, тобто обсяги виробництва бетону двох марок, які максимізують прибуток від їх реалізації.

Розв'язавши систему рівнянь, знаходимо  $x_1 = 2,3; x_2 = 0$ .

Отже,  $x^* = (2,3; 0); \max Z = 180 \cdot 2,3 + 160 \cdot 0 = 420$ .

Це означає, що коли підприємство буде виготовляти 2.3 т бетону марки 1, то отримає максимальний прибуток 420 грн. При цьому тижневий запас ресурсів для виготовлення бетону буде використано не більш ніж вони є на складі.

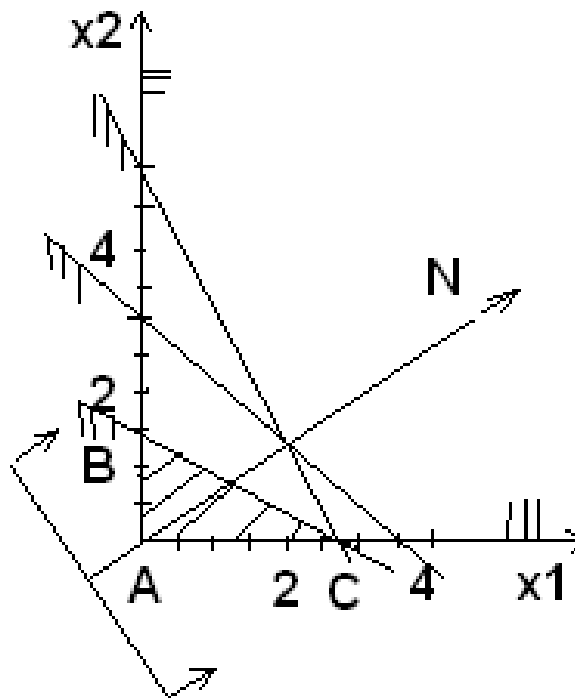


Рисунок 2.8 – Графічне зображення рішення математичної задачі

**б) Розв'язування задачі за допомогою програми EXCEL .**

**Алгоритм рішення задачі.** В EXCEL набираємо таблицю вихідних даних. Потім складаємо таблицю зі значеннями невідомих – кількості матеріалів. Далі створюємо таблицю зі значеннями витрат і доходів не на одну тонну, а на весь об'єм продукції. Після заповнення таблиці, вибираємо пункт меню «Сервіс», команду «Поиск решений». Записуємо цільову комірку, вказуємо обмеження і змінні значення. У вікні «Параметры» ставимо позначку біля фрази «не отрицательные значения». Оскільки вирішувана задача відноситься до лінійних, ставимо також позначку біля фрази «Линейная модель». Вид вікна «Поиск решения» наведений на рисунку 2.9.

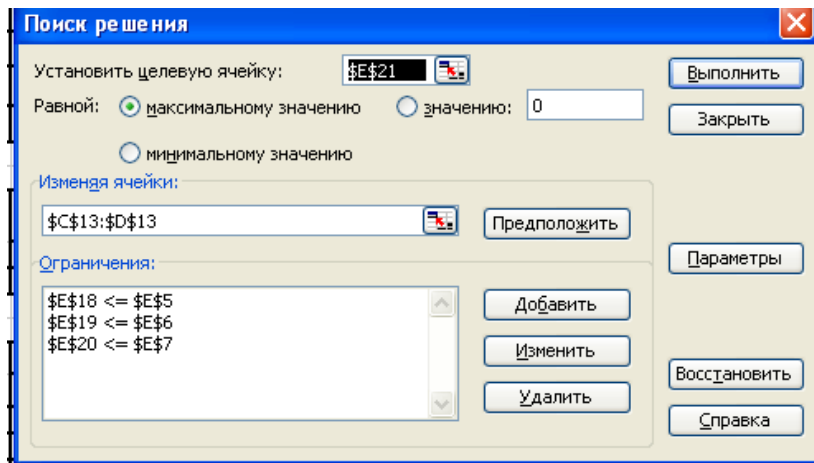


Рисунок 2.9 – Вікно «Поиск решения»

Натискуючи кнопку «Выполнить», одержуємо рішення, після напису «Решение найдено. Все ограничения и условия оптимальности выполнены» (рис. 2.10). Виділяємо слова «Результаты, устойчивость, пределы» і ОК.

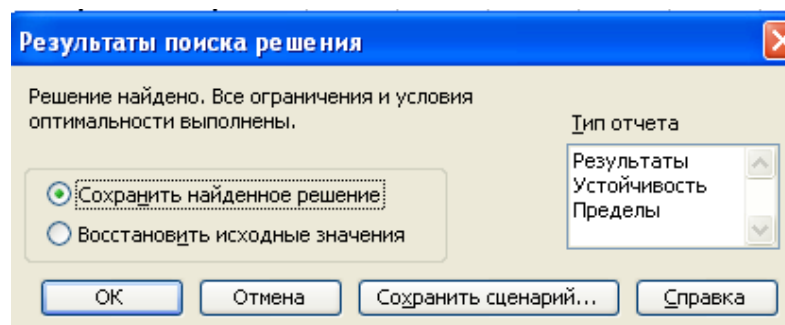


Рисунок 2.10 – Результаты «Поиск решений»

Знайдені значення невідомих, докладний розрахунок витрат кількості ресурсів і доходів відповідають знайденому рішенню (рис. 2.10).

fx =C21+D21			
В	С	Д	Е
Ісходні данні		таблиця 1	
Види ресурсу	Марки бетона		Запаси ресурсів
	Марка 1	Марка 2	
Пісок	3	5	7
Цемент	2	1	5
Гравій	5	6	18
Прибуток	180	160	
		таблиця 2	
Наіменування	Марки бетона		
	Марка 1	Марка 2	
кількість	2,33333333	0	
		таблиця 3	
Види ресурсу	Марки бетона		Запаси ресурсів
	Марка 1	Марка 2	
Пісок	7	0	7
Цемент	4,66666667	0	4,66666667
Гравій	11,66666667	0	11,66666667
Прибуток	420	0	420

Рисунок 2.11 – Результати розрахунку

Таким чином, знайдене рішення підтверджує рішення знайдене графічним методом. Отже коли підприємство буде виготовляти 2,3 т бетону марки 1 то отримає максимальний прибуток 420 грн. При цьому тижневий фонд запасів піску буде використано повністю, а цементу і гравію менш ніж вони є на складі (рис. 2.11).

Подальший *аналіз результатів рахунку виконується за допомогою звітів* (рисунки 2.12 і 2.13).

Microsoft Excel 11.0 Отчет по результатам						
1	Microsoft Excel 11.0 Отчет по результатам					
2	Рабочий лист: [Книга1.xls]Лист1					
3	Отчет создан: 06.01.2010 8:48:17					
4						
5						
6	Целевая ячейка (Максимум)					
7	<b>Ячейка</b>	<b>Имя</b>	<b>Исходное значение</b>	<b>Результат</b>		
8	\$E\$21	Прибуток	Запаси ресурсов	340	420	
9						
10						
11	Изменяемые ячейки					
12	<b>Ячейка</b>	<b>Имя</b>	<b>Исходное значение</b>	<b>Результат</b>		
13	\$C\$13	кількість	Марка 1	1	2,333333333	
14	\$D\$13	кількість	Марка 2	1	0	
15						
16						
17	Ограничения					
18	<b>Ячейка</b>	<b>Имя</b>	<b>Значение</b>	<b>Формула</b>	<b>Статус</b>	<b>Разница</b>
19	\$E\$18	Пісок	Запаси ресурсов	7	\$E\$18<=\$E\$5	связанное 0
20	\$E\$19	Цемент	Запаси ресурсов	4,666666667	\$E\$19<=\$E\$6	не связан. 0,333333333
21	\$E\$20	Гравий	Запаси ресурсов	11,66666667	\$E\$20<=\$E\$7	не связан. 6,333333333
22						
23						
24						

Рисунок 2.12 – Звіт за результатами

Microsoft Excel 11.0 Отчет по пределам							
1	Microsoft Excel 11.0 Отчет по пределам						
2	Рабочий лист: [Книга1.xls]Отчет по пределам 1						
3	Отчет создан: 06.01.2010 8:48:17						
4							
5							
6	Целевое						
7	<b>Ячейка</b>	<b>Имя</b>	<b>Значение</b>				
8	\$E\$21	Прибуток	Запаси ресурсов	420			
9							
10							
11	Изменяемое			<b>Нижний</b>	<b>Целевой</b>	<b>Верхний</b>	<b>Целевой</b>
12	<b>Ячейка</b>	<b>Имя</b>	<b>Значение</b>	<b>предел</b>	<b>результат</b>	<b>предел</b>	<b>результат</b>
13	\$C\$13	кількість	Марка 1	0	0	2,333333333	420
14	\$D\$13	кількість	Марка 2	0	420	4,65938E-13	420
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							

Рисунок 2.13 – Звіт за границями

За результатами моделювання формулюють висновок і розробляють методи поліпшення роботи підприємства у заданих умовах.

В *четвертому розділі* «Проаналізувати параметричну чутливість отриманих статичних моделей, а також провести дослідження статичних характеристик комп'ютерної моделі процесу» складають математичну модель роботи гідравлічної системи. Розробляють алгоритм пошуку використовуючи стандартні методи вирішення задач одномірної оптимізації. Розв'язують технологічну задачу (рисунок 2.14) і відображують результати деяких варіантів розрахунку (рисунки 2.15 і 2.16). Формулюють висновок, аналізуючи параметричну чутливість отриманих результатів, наводять графічні зображення.

Наприклад:

Статическая система					
Высота емкости			Площадь основ. Емкости		
1-ой (м) =	10		1-ой (м <sup>2</sup> ) =	1	
2-ой (м) =	10		2-ой (м <sup>2</sup> ) =	1	
Плотность (кг/м <sup>3</sup> ) =	1000		Нач.давление (Мпа) =	0.1	
Давление (1-4) /Мпа/ =	1.5	2	0.2	1.25	
Козф. проп. способности (1-5) =	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Промеж. вывод. 0-нет, 1-частич, 2-полный =		0			
Относительная погрешность		0.001			




Рисунок 2.14 – Вхідні данні для розрахунку стаціонарного режиму гідравлічної системи

РЕЗУЛЬТАТ p2=1

h	p(5-8)	vm
8.586025	0.791498	8.417255
8.575604	0.786222	4.623613
	0.707226	7.690891
	0.702052	5.349972
		0.726364

РЕЗУЛЬТАТ p2=1.5

h	p(5-8)	vm
8.807848	0.925268	7.581106
8.819983	0.934013	7.523208
	0.838819	8.516268
	0.847445	6.58797
		-0.93516

РЕЗУЛЬТАТ p2=2

h	p(5-8)	vm
8.928314	1.020741	6.922855
8.977792	1.066392	9.662338
	0.933109	9.059474
	0.978274	7.525903
		-2.13662

РЕЗУЛЬТАТ p2=2,5

h	p(5-8)	vm
9.007565	1.096031	6.355852
9.093791	1.192755	11.43348
	1.007622	9.465894
	1.103498	8.32319
		-3.11004

РЕЗУЛЬТАТ p2=3

h	p(5-8)	vm
9.065355	1.158902	5.840361
9.183638	1.315084	12.98043
	1.069925	9.792353
	1.224946	9.028201
		-3.95199

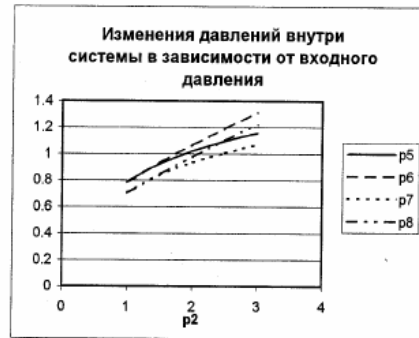
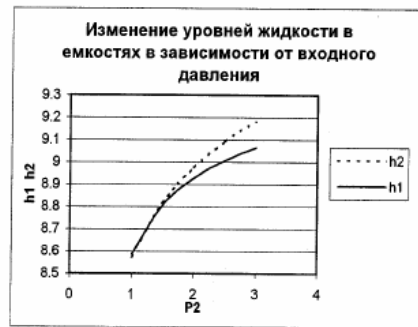


Рисунок 2.15 – Статистичні характеристики гідравлічної системи:  $p_2$  – зміна тиску на вході

РЕЗУЛЬТАТ ( при  $p_4=0.25$  )

h	p(5-8)	vm
8.864075	0.967341	7.298352
8.89066	0.988699	10.05635
	0.88034	8.759797
	0.901437	8.594759
		-1.461445

РЕЗУЛЬТАТ ( при  $p_4=0.5$  )

h	p(5-8)	vm
8.928314	1.020741	6.922855
8.977792	1.066392	9.662338
	0.933109	9.059474
	0.978274	7.525903
		-2.136619

РЕЗУЛЬТАТ ( при  $p_4=0.75$  )

h	p(5-8)	vm
8.986298	1.074683	6.521631
9.061805	1.154819	9.193374
	0.986483	9.35245
	1.065876	6.362536
		-2.83082

РЕЗУЛЬТАТ ( при  $p_4=1.0$  )

h	p(5-8)	vm
9.039474	1.129819	6.084248
9.142887	1.256446	8.622956
	1.041097	9.642714
	1.166708	5.064051
		-3.558466

РЕЗУЛЬТАТ ( при  $p_4=1.25$  )

h	p(5-8)	vm
9.089388	1.187375	5.59129
9.222203	1.376198	7.898113
	1.098162	9.936672
	1.285683	3.552438
		-4.345382

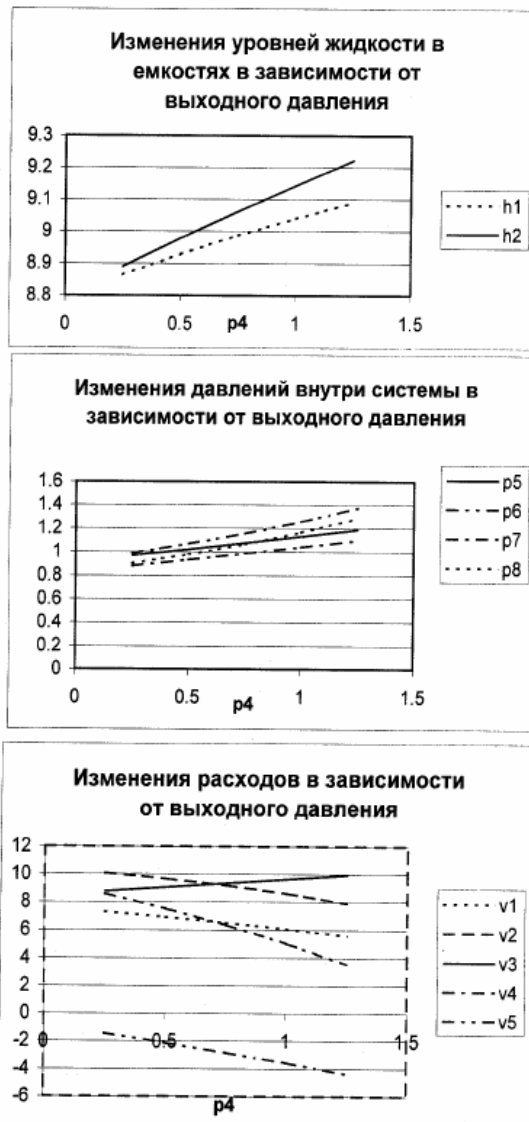


Рисунок 2.16 – Статистичні характеристики гідравлічної системи:  $p_4$  – зміна тиску на виході

Основна частина курсової роботи завершується **висновками** щодо всієї курсової роботи.

При оформленні розділів курсової роботи необхідно в тексті наводити посилання на використовувану літературу.

Наприкінці курсової роботи на окремій сторінці додається перелік літературних джерел, які були використані в даній роботі.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Кафаров В. В., Глебов М. Б. Математическое моделирование химических производств. М. : Высшая школа, 1991. 400 с.
2. Кафаров В. В., Перов В. Л., Мешалкин В. П. Принципы математического моделирования химико-технологических систем. М : Химия, 1974, 344 с.
3. Банди Б. Методы оптимизации. М : Высшая школа, 1988. 128 с.
4. Островский Г. М., Бережинский Т. А. Оптимизация химико-технологических процессов. Теория и практика. М : Химия, 1984. 240 с.
5. Дульнев Г. Н., Парфенов В. Г., Сигалов А. В. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена. М : Высшая школа, 1990. 207 с.
6. Самоучитель VBA. Как это делается в Word, Excel, Access. СПб. : Изд-во Наука и Техника, 2001. 490 с.
7. Скобло А. И., Трегубова И. А., Молоканов Ю. К. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. – 2-ое издание. М : Химия. 1982. 584 с.

*Приклад оформлення бланку завдання до курсової роботи*

**Українського державного університету науки і технологій  
Навчально-науковий інститут  
«Інститут промислових та бізнес технологій»**

(назва вищого навчального закладу)

Кафедра	Металургійного палива та вогнетривів			
Дисципліна	Оптимізація хіміко-технологічних процесів			
Спеціальність	161 – Хімічні технології та інженерія			
Освітня програма	Хімічні технології палива та вогнетривів			
Курс	I	Група	ХТ01-18м	Семестр II

**ЗАВДАННЯ  
НА КУРСОВУ РАБОТУ СТУДЕНТА**

**Шевченко Миколи Сергійовича**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оптимізація хіміко-технологічних систем у галузі

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 12.04.2019 р.

3. Вихідні дані до роботи Процес виробництва хімічної промисловості та умови, які дозволять оптимізувати процес виробництва і виявити вплив різних факторів на процес.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які належить розробити)

Апріорна інформація щодо методів оптимізації об'єкта досліджень.

Пошук оптимальної кількості матеріалу з використанням методів

безумовної оптимізації. Пошук оптимального плану роботи виробництва.

Створення моделі з метою дослідження процесу виробництва

5. Перелік графічних матеріалів \_\_\_\_\_

6. Дата видачі завдання 06.03.2022 р.

*Продовження Додатка А*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Найменування етапів курсової роботи	Термін виконання курсової роботи	Прик мітна
1	Апріорна інформація щодо оптимізації об'єкта досліджень.	2022.03.12	
2	Пошук оптимальної кількості матеріалу з використанням методів безумовної оптимізації	2022.03.22	
3	Дослідження процесу виробництва за заданих умов	2022.03.29	
4	Пошук оптимального плану роботи виробництва	2022.04.05	
5	Оформлення курсової роботи	2022.04.11	
6	Захист курсової роботи	2022.04.15	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Микола ШЕВЧЕНКО

Керівник \_\_\_\_\_  
(підпис)

Ірина ГОЛУБ  
(прізвище, ім'я)

“20” \_\_\_\_\_ квітня 2019 р.

## ЗМІСТ

	<b>ВСТУП</b> .....	3
<b>1</b>	<b>ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО СТРУКТУРИ І ЗМІСТУ КУРСОВОЇ РОБОТИ</b> .....	3
1.1	Структура курсової роботи.....	3
1.2	Вступна частина курсової роботи.....	4
<b>2</b>	<b>ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ЗМІСТУ ОСНОВНОЇ ЧАСТИНИ КУРСОВОЇ РОБОТИ</b> .....	5
2.1	Вступ.....	5
2.2	Основні розділи курсової роботи.....	5
	<b>РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА</b> .....	19
	<i>Додаток А</i> .....	20