



Національний університет  
водного господарства та природокористування

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування

Кафедра водопостачання, водовідведення та бурової справи

**01-04-13**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання контрольної роботи  
«МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ  
ДАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ»  
з дисципліни «Інформаційні технології в наукових  
розробках» для студентів спеціальності 8.06010108  
«Водопостачання та водовідведення» заочної форми навчання

Рекомендовано методичною комісією за  
спеціальністю 8.06010108 “Водо-  
постачання та водовідведення”.  
Протокол № 2 від 22 жовтня 2013р.

Рівне, 2014



Методичні вказівки до виконання контрольної роботи  
«Математична обробка експериментальних даних з  
використанням комп'ютерних технологій» з дисципліни  
«Інформаційні технології в наукових розробках» для  
студентів спеціальності 8.06010108 «Водопостачання та  
водовідведення» заочної форми навчання. / Мартинов С.Ю.,  
Сівак В.М. - Рівне: НУВГП, 2014 – 20с.

Упорядники: С.Ю. Мартинов, канд. техн. наук, доцент;  
В.М. Сівак, канд. техн. наук, доцент.

Відповідальний за випуск – В.О. Орлов, д-р техн. наук,  
професор, завідувач кафедри водопостачання, водовідведення  
та бурової справи.



Національний університет  
водного господарства  
та проєктування

## ЗМІСТ

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	3
2. УМОВА ЗАВДАННЯ.....	10
3. ВИХІДНІ ДАНІ.....	11
4. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ.....	13
5. ЛІТЕРАТУРА.....	20



## ВСТУП

На даний час інформація стає головним ресурсом науково-технічного розвитку світового суспільства. Будь-яка діяльність людини, в тому числі і наукова, пов'язана з отриманням, накопиченням, обробкою, використанням, зберіганням, представленням та передачею інформації. В даному процесі важливу роль відіграють комп'ютерні технології.

Метою виконання контрольної роботи є закріплення знань з математичної обробки експериментальних даних з використанням комп'ютерних технологій.

Контрольна робота виконується окремо кожним студентом заочної форми навчання у друкованому вигляді з титульною сторінкою стандартного зразка, розрахунковою частиною, списком використаної літератури на сторінках формату А4, обсягом до 10 арк. (шрифт 14 кег., інтервал одинарний).

Розрахункова частина роботи виконується з використанням електронних таблиць Excel, а оформлюється в тестовому редакторі Word.

### 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Найкращі результати при визначенні параметрів заданого рівняння дає використання методу найменших квадратів. Суть цього методу полягає в тому, що якщо всі вимірювання функції  $y_1, y_2, \dots, y_n$  виконані з однаковою точністю й розподілені величини помилок вимірювань відповідають нормальному закону, то параметри рівняння, що досліджується, визначаються за умови, що сума квадратів відхилень виміряних значень від розрахункових приймає найменше значення.

Нехай зв'язок між величинами, що досліджувалися, описується лінійною залежністю

$$y = a + b \cdot x \quad (1.1)$$

де  $a, b$  - постійні коефіцієнти, які визначаються за ф.1.2 та ф.1.3.



$$b = \frac{\left[ n \cdot \sum_{i=1}^n (\bar{x}_i \cdot \bar{y}_i) - \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \cdot \sum_{i=1}^n \bar{y}_i \right]}{n \cdot \sum_{i=1}^n \bar{x}_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \right)^2} \quad (1.2)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{y}_i}{n} - b \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \bar{x}_i}{n} \quad (1.3)$$

де  $\bar{x}_i$ ,  $\bar{y}_i$  – середні значення величин, що вимірювалися в  $i$ -му досліді;  $n$  - число дослідів.

Тісноту зв'язку між змінними  $x$  та  $y$  визначають коефіцієнтом кореляції за формулою

$$r = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \cdot \bar{y}_i - \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \cdot \sum_{i=1}^n \bar{y}_i}{\sqrt{n \cdot \sum_{i=1}^n \bar{x}_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n \bar{x}_i \right)^2} \cdot \sqrt{n \cdot \sum_{i=1}^n \bar{y}_i^2 - \left( \sum_{i=1}^n \bar{y}_i \right)^2}} \quad (1.4)$$

В інженерній практиці залежність цього зв'язку рекомендують приймати згідно з табл. 1.1.

Таблиця 1.1.

Залежність зв'язку між змінними

$r$ :	>0,9	0,8...0,9	0,6...0,8	0,4...0,6	0,2...0,4
Залежність:	функціональна	суттєва	середня	мала	несуттєва

Для перевірки значимості коефіцієнтів рівняння регресії знаходять довірчий інтервал



$$\Delta a = \pm t \cdot \sqrt{\frac{S_0^2}{n}} = \pm \frac{t}{n} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n S_i^2} = \pm \frac{t}{n} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{(N-1)}}, \quad (1.5)$$

де  $S_0^2$  - помилка експерименту;  $\sum_{i=1}^n S_i^2$  - дисперсія експерименту (сума дисперсій  $n$  дослідів);  $x_{ij}$  - експериментальне значення;  $t$  - табличне значення критерію Ст'юдента при 5% рівні значимості та числі ступенів свободи  $f = n$ ;  $N$  - кількість паралельних дослідів.

Таблиця 1.2.

Табульоване значення  $t$ -критерію при 5% рівні значимості.

<b>f</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12
<b>t</b>	12,71	4,30	3,18	2,77	2,57	2,45	2,36	2,31	2,26	2,20

Коефіцієнт рівняння регресії значимий, коли його абсолютна величина більша за довірчий інтервал. Якщо коефіцієнт регресії не значимий, то ним можна знехтувати.

Однорідність дисперсії (відтворюваність дослідів) оцінюють за критерієм Кохрена

$$G_{\text{дос.}} = \frac{S_{\text{макс}}^2}{\sum_{i=1}^n S_i^2} \quad (1.6)$$

де  $G_{\text{дос.}}$  - критерій Кохрена (розрахунковий);  $S_{\text{макс}}^2$  - максимальна дисперсія дослідів.

Дисперсія дослідів визначається за формулою

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2}{N-1}, \quad (1.7)$$

Досліди вважають відтворюваними, якщо розраховане



значення критерію Кохрена не перевищує табличне значення

$G_{\text{дос.}} \leq G_{\text{табл.}}$ . Табличне значення критерію Кохрена визначається за табл.1.3.

Таблиця 1.3.

Значення критерію  $G_{\text{табл.}}$  при  $P = 0,95$

К-сть дослідів $n$	Число ступенів свободи $q = N - 1$							
	1	2	3	4	5	6	7	8
2	0,999	0,975	0,939	0,906	0,877	0,853	0,833	0,816
3	0,967	0,871	0,798	0,746	0,707	0,677	0,653	0,633
4	0,907	0,768	0,684	0,629	0,590	0,500	0,637	0,518
5	0,841	0,684	0,598	0,544	0,507	0,478	0,456	0,439
6	0,781	0,616	0,532	0,480	0,445	0,418	0,398	0,382
7	0,727	0,561	0,480	0,431	0,397	0,373	0,354	0,338
8	0,680	0,516	0,438	0,391	0,360	0,336	0,319	0,304
9	0,639	0,478	0,403	0,358	0,329	0,307	0,290	0,277
10	0,602	0,445	0,373	0,331	0,303	0,282	0,267	0,254
12	0,541	0,392	0,326	0,288	0,262	0,244	0,230	0,219
15	0,471	0,35	0,276	0,242	0,220	0,203	0,191	0,182
20	0,389	0,271	0,221	0,192	0,174	0,160	0,150	0,142

У процесі проведення експерименту виникає потреба перевірити відповідність експериментальних даних теоретичним передумовам, тобто перевірити гіпотезу дослідження. Перевірка експериментальних даних на адекватність необхідна також у всіх випадках на стадії аналізу теоретико-експериментальних досліджень. Методи оцінки адекватності засновані на використанні довірчих інтервалів, що дозволяють із заданою довірчою імовірністю визначати шукані значення параметра, який оцінюється. Суть такої перевірки полягає у співставленні отриманої або передбачуваної теоретичної функції  $y = f(x)$  з результатами вимірювань.



При малих виборках для оцінки адекватності доцільно застосовувати критерій Фішера. Критерій Фішера (експериментальний) визначається за формулою

$$K_{\text{Фр}} = \frac{\max \{S_{\text{ад.}}^2; S_{\text{відг.}}^2\}}{\min \{S_{\text{ад.}}^2; S_{\text{відг.}}^2\}} \quad (1.8)$$

де  $S_{\text{ад.}}^2$  - дисперсія адекватності, яка визначається за ф.1.9;  
 $S_{\text{відг.}}^2$  - генеральна дисперсія, яка визначається за ф.1.10.

Дисперсія адекватності визначається за формулою

$$S_{\text{ад.}}^2 = \frac{N}{n - B} \cdot \sum_{i=1}^n \left( x_{\text{рі}} - \bar{x}_i \right)^2 \quad (1.9)$$

де  $B$  – кількість членів (коефіцієнтів) у знайденому рівнянні;  
 $x_{\text{рі}}$  – значення шуканої величини, яке розраховане за отриманим рівнянням (теоретичне значення).

$B$  якості генеральної дисперсії приймається середньоарифметична виправлених дисперсій, яка визначається за формулою

$$S_{\text{відг.}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n S_i^2}{n} \quad (1.10)$$

Функція (рівняння регресії) вважається адекватною при

$$K_{\text{Фр}} \leq K_{\text{Фт}} \quad (1.11)$$

де  $K_{\text{Фт}}$  - табличне значення критерію згоди (табличний критерій Фішера), яке залежить від числа ступенів свободи дисперсії адекватності  $\kappa_{\text{ад.}} = n - B$ , числа ступенів свободи дисперсії відтворюваності  $\kappa_{\text{відг.}} = n \cdot (N - 1)$  і довірчої ймовірності  $P = 0,95$  та приймається за табл.1.4.



Значення критерію Фішера  $K_{фг}$  при  $P = 0,95$

$K_2$	$K_1$							
	3	4	5	6	7	8	12	15
1	215,71	224,58	230,16	233,99	236,76	238,88	243,90	245,95
2	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,41	19,43
3	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,74	8,70
4	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	5,91	5,86
5	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,68	4,62
6	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,00	3,94
7	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,57	3,51
8	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,28	3,22
9	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,24	3,07	3,01
10	3,71	4,48	3,33	3,22	3,14	3,07	2,91	2,85
11	3,59	3,36	3,20	3,10	3,01	2,95	2,79	2,72
12	3,49	3,25	3,11	3,00	2,91	2,85	2,69	2,62
13	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,60	2,53
14	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,53	2,46
15	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,48	2,40

Примітка:  $K_1$  - число ступенів свободи більшої дисперсії;  $K_2$  - число ступенів свободи меншої дисперсії.

Якщо  $K_{фр} > K_{фг}$ , то отримане рівняння регресії неадекватно описує процес, що досліджувався, і необхідно переходити до рівнянь інших видів, в тому числі вищих степенів, підвищувати точність вимірювання параметрів.

У випадку нелінійної форми зв'язку експериментальних даних застосовують метод вирівнювання. Він полягає в тім, що криву, побудовану по експериментальних точках, представляють лінійною функцією.

Для перетворення деякої кривої  $y = f(x)$  у пряму лінію вводять нові змінні  $X$  й  $Y$

$$X = f_1(x, y); Y = f_2(x, y) \quad (1.12)$$





У цьому рівнянні  $X$  й  $Y$  повинні бути зв'язані лінійною залежністю

$$Y = A + B \cdot X \quad (1.13)$$

Значення  $A$  та  $B$  можна обчислити на основі рішення рівняння (1.13) за методом найменших квадратів.

Якщо експериментальний графік має степеневу залежність, то необхідно застосувати формулу

$$y = ax^b \quad (1.14)$$

Заміняючи  $X = \lg x$  та  $Y = \lg y$ , маємо  $Y = \lg a + b \cdot X$ . Ввівши додаткові заміни  $A = \lg a$ ,  $B = b$ , ф.1.14 перетворюється в ф.1.13.

При цьому експериментальна крива перетворюється в пряму лінію на логарифмічній сітці  $\lg y = f(\lg x)$ .

Якщо експериментальний графік має експоненціальну залежність, то потрібно використати вираз

$$y = ae^{bx} \quad (1.15)$$

Заміняючи  $Y = \ln y$ ,  $A = \ln a$ , маємо  $Y = \ln a + x \cdot b \cdot \ln e = A + b \cdot x$ . Тобто,  $B = b$ ,  $X = x$ . Тут експериментальна крива перетворюється в пряму лінію на напівлогарифмічній сітці  $\ln y = f(x)$ .

Якщо експериментальний графік має оберненопропорційну залежність, то застосовується вираз

$$y = a + \frac{b}{x} \quad (1.16)$$

Заміняючи  $X = 1/x$ , одержуємо пряму лінію на сітці прямокутних координат  $y = a + b \cdot X$ . Тобто,  $Y = y$ ,  $A = a$ ,  $B = b$ .



## 2. УМОВА ЗАВДАННЯ

Проведені експериментальні дослідження зміни втрат напору в швидкому фільтрі впродовж фільтроциклу. На основі експериментальних даних (див. вихідні дані) і запропонованих форм зв'язку між ними (лінійної, степеневої, експоненціальної, оберненопропорційної) необхідно знайти:

1. параметри зв'язку (коефіцієнти);
2. тісноту зв'язку (коефіцієнт кореляції);
3. перевірити значимість коефіцієнтів;
4. оцінити однорідність дисперсії (відтворюваність експерименту);
5. перевірити адекватність моделі експериментальним даним;
6. побудувати графік за даними експерименту, використовуючи «Мастер діаграм» електронних таблиць Excel;
7. використовуючи вбудовані функції електронних таблиць Excel на побудований графік нанести лінію тренду, відобразити рівняння та величину достовірності апроксимації на графіку;
8. оформити звіт у друкованому вигляді (Word).



### 3. ВИХІДНІ ДАНІ

Таблиця 3.1.

#### Вихідні дані

Варіант 1 (прямопропорційна залежність)						
Час, t, год.	1	3	5	7	9	11
$h_{1i}$ , см	71,70	79,10	88,20	95,80	104,34	112,78
$h_{2i}$ , см	69,70	80,20	88,80	97,00	105,78	112,29
$h_{3i}$ , см	68,70	78,20	87,50	94,10	103,97	113,42
Варіант 2 (степенева залежність)						
Час, t, год.	2	4	6	8	10	12
$h_{1i}$ , см	0,96	1,48	1,95	2,25	2,52	2,77
$h_{2i}$ , см	0,86	1,52	2,00	2,15	2,41	2,96
$h_{3i}$ , см	0,81	1,58	1,85	2,33	2,58	2,81
Варіант 3 (експоненціальна залежність)						
Час, t, год.	2	4	6	8	10	12
$h_{1i}$ , см	0,26	0,44	0,76	1,30	2,23	3,83
$h_{2i}$ , см	0,29	0,56	0,86	1,21	2,11	3,51
$h_{3i}$ , см	0,22	0,51	0,80	1,43	2,37	3,96
Варіант 4 (оберненопропорційна залежність)						
Час, t, год.	2	4	6	8	10	12
$h_{1i}$ , см	2,55	1,55	1,22	1,05	0,95	0,88
$h_{2i}$ , см	2,68	1,47	1,31	0,99	0,96	0,85
$h_{3i}$ , см	2,47	1,67	1,19	1,09	0,91	0,81
Варіант 5 (прямопропорційна залежність)						
Час, t, год.	1,5	3,5	5,5	7,5	9,5	
$h_{1i}$ , см	47,92	55,32	64,42	72,02	80,56	
$h_{2i}$ , см	45,92	56,42	65,02	73,22	82,00	
$h_{3i}$ , см	44,92	54,42	63,72	70,32	80,19	
$h_{4i}$ , см	46,30	55,50	66,10	71,84	81,69	
Варіант 6 (степенева залежність)						
Час, t, год.	1	3	5	7	9	
$h_{1i}$ , см	0,51	0,95	1,50	1,80	2,07	
$h_{2i}$ , см	0,41	0,9	1,55	1,70	1,96	
$h_{3i}$ , см	0,49	1,05	1,4	1,88	2,13	
$h_{4i}$ , см	0,45	1,03	1,38	1,91	2,18	



Варіант 7 (експоненціальна залежність)							
Час, t, год.	0,5	2,5	4,5	6,5	8,5		
$h_{1i}$ , см	1,04	1,22	1,69	2,08	2,65		
$h_{2i}$ , см	1,07	1,34	1,64	2,07	2,69		
$h_{3i}$ , см	1,07	1,29	1,74	2,21	2,75		
$h_{4i}$ , см	1,02	1,25	1,61	2,15	2,79		
Варіант 8 (оберненопропорційна залежність)							
Час, t, год.	1	3	5	7	9		
$h_{1i}$ , см	2,22	1,05	0,87	0,70	0,62		
$h_{2i}$ , см	2,25	1,14	0,92	0,78	0,63		
$h_{3i}$ , см	2,35	1,17	0,86	0,76	0,58		
$h_{4i}$ , см	2,29	1,00	0,91	0,73	0,68		
Варіант 9 (прямопропорційна залежність)							
Час, t, год.	0,8	2,8	4,8	6,8	8,8	10,8	12,8
$h_{1i}$ , см	50,20	57,60	66,70	74,30	82,84	91,28	101,3
$h_{2i}$ , см	48,20	58,70	67,30	75,50	84,28	90,79	102,7
Варіант 10 (степенева залежність)							
Час, t, год.	1,6	3,6	5,6	7,6	9,6	11,6	13,6
$h_{1i}$ , см	0,91	1,50	1,85	2,14	2,40	2,63	3,05
$h_{2i}$ , см	0,85	1,44	1,90	2,04	2,29	2,81	2,95
Варіант 11 (експоненціальна залежність)							
Час, t, год.	1,5	3	4,5	6	7,5	9	11
$h_{1i}$ , см	0,23	0,51	0,87	1,50	2,57	4,40	7,25
$h_{2i}$ , см	0,28	0,64	0,99	1,40	2,43	4,04	7,15
Варіант 12 (оберненопропорційна залежність)							
Час, t, год.	1	3	5	7	9	11	13
$h_{1i}$ , см	3,08	1,75	1,52	1,31	1,19	1,10	1,03
$h_{2i}$ , см	3,02	1,84	1,64	1,24	1,20	1,15	0,80



#### 4. ПРИКЛАД ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ

Всі розрахунки виконуються в електронних таблицях Excel. Розрахунки повинні бути виконані таким чином, щоб при зміні значень вихідних даних автоматично відбувався перерахунок всіх табличних розрахунків.

Вихідні дані наведені в табл.4.1.

Таблиця 4.1.

Результати експериментальних досліджень  
(степенева залежність)

Час, t, год.	2	4	6	8	10	12
$h_{1i}$ , см	0,10	1,00	3,99	9,30	17,75	30,15
$h_{2i}$ , см	0,15	0,56	4,70	9,70	18,21	32,45
$h_{3i}$ , см	0,04	1,99	2,99	8,70	16,42	27,93

Оскільки графік, який описує експериментальні дані має нелінійну (степенева залежність  $y = ax^b$ ) залежність, то його необхідно лінеаризувати.

Прологарифмуємо  $\lg y = \lg(a \cdot x^b) = \lg a + b \cdot \lg x$ . Вводимо заміни  $X = \lg x$ ,  $Y = \lg y$ ,  $A = \lg a$ ,  $B = b$ . В результаті отримуємо лінійну залежність виду  $Y = A + B \cdot X$ , а експериментальні дані останньої функції приймуть значення, які наведені в табл.4.2.

Таблиця 4.2.

Лінеаризовані результати експериментальних даних

$X_i = \lg x_i$	0,301	0,602	0,778	0,903	1,000	1,079
$Y_{1i} = \lg y_{1i}$	-1,000	0,000	0,601	0,968	1,249	1,479
$Y_{2i} = \lg y_{2i}$	-0,824	-0,252	0,672	0,987	1,260	1,511
$Y_{3i} = \lg y_{3i}$	-1,398	0,299	0,476	0,940	1,215	1,446
$Y_{сепі} = \sum Y_i / N$	-1,074	0,016	0,583	0,965	1,242	1,479

Визначаємо коефіцієнти  $A$ ,  $B$  згідно із ф.1.2 та ф.1.3 в табличній формі (табл.4.3.).



Таблиця 4.3.

Розрахунок коефіцієнтів **A**, **B**

<b>i</b>	1	2	3	4	5	6	$\Sigma$
<b>X<sub>i</sub></b>	0,301	0,602	0,778	0,903	1,000	1,079	4,664
<b>Y<sub>сепі</sub></b>	-1,074	0,016	0,583	0,965	1,242	1,479	3,210
<b>X<sub>i</sub>·Y<sub>сепі</sub></b>	-0,323	0,009	0,454	0,871	1,242	1,596	3,849
<b>X<sub>i</sub><sup>2</sup></b>	0,091	0,362	0,606	0,816	1,000	1,165	4,039
<b>(Y<sub>сепі</sub>)<sup>2</sup></b>	1,153	0,000	0,340	0,931	1,542	2,187	6,153

$$B = \frac{6 \cdot 3,849 - 4,664 \cdot 3,210}{6 \cdot 4,039 - 4,664^2} = 3,269;$$

$$A = \frac{3,210}{6} - 3,269 \cdot \frac{4,664}{6} = -2,006.$$

Отже, функція, яку шукали, має вигляд  
 $Y = -2,006 + 3,269 \cdot X$ .

Перейдемо до степеневі залежності, для якої коефіцієнти визначаються за формулами

$$a = 10^A = 10^{-2,006} = 0,0099; \quad b = B = 3,269.$$

Остаточно, функція залежності втрат напору від тривалості роботи фільтра впродовж фільтроциклу матиме вигляд

$$h = 0,01 \cdot t^{-3,27}.$$

Для перевірки тісноти зв'язку між змінними **X** та **Y** визначаємо коефіцієнт кореляції згідно із ф.1.4.

$$r = \frac{6 \cdot 3,849 - 4,664 \cdot 3,210}{\sqrt{6 \cdot 4,039 - 4,664^2} \cdot \sqrt{6 \cdot 6,153 - 3,210^2}} = 0,9988.$$

Для визначення коефіцієнта кореляції можна використовувати функцію Excel **КОРРЕЛ** (діапазон **X**; діапазон **Y**).

Оскільки  $r > 0,9$ , то отримана залежність втрат напору у фільтрі від тривалості роботи фільтра впродовж фільтроциклу є функціональною.



Перевіримо значимість коефіцієнтів рівняння регресії.

Знаходимо довірчий інтервал за ф.1.5 (при 5% рівні значимості та числі ступенів свободи  $f = 6$   $t = 2,57$ ). В цю

формулу підставляємо  $x_{ij} = Y_{1i}, Y_{2i}, Y_{3i}$ ;  $\bar{x}_i = Y_{\text{сепі}}$ .

Розрахунки виконуємо в табличній формі (табл. 4.4).

Таблиця 4.4.

Розрахунок значимості коефіцієнтів та відтворюваності дослідів

i	1	2	3	4	5	6	
$X_i$	0,301	0,602	0,778	0,903	1,000	1,079	
$Y_{1i}$	-1,000	0,000	0,601	0,968	1,249	1,479	
$Y_{2i}$	-0,824	-0,252	0,672	0,987	1,260	1,511	
$Y_{3i}$	-1,398	0,299	0,476	0,940	1,215	1,446	
$Y_{\text{сепі}}$	-1,074	0,016	0,583	0,965	1,242	1,479	
$(\Delta Y_{1i})^2 = (Y_{1i} - Y_{\text{сепі}})^2$	0,0055	0,0002	0,0003	0,0000	0,0001	0,0000	
$(\Delta Y_{2i})^2 = (Y_{2i} - Y_{\text{сепі}})^2$	0,0625	0,0716	0,0080	0,0005	0,0003	0,0010	
$(\Delta Y_{3i})^2 = (Y_{3i} - Y_{\text{сепі}})^2$	0,1050	0,0802	0,0115	0,0006	0,0007	0,0011	
$\sum (\Delta Y_i)^2 = \sum (Y_{ji} - Y_{\text{сепі}})^2$	0,1730	0,1520	0,0198	0,0011	0,0011	0,0021	$\sum S_i^2$
$S_i^2 = \frac{\sum (\Delta Y_i)^2}{(N-1)}$	0,0865	0,0760	0,0099	0,0006	0,0005	0,0011	0,1745

Отже, довірчий інтервал  $\Delta a = \pm \frac{2,57}{6} \cdot \sqrt{0,1745} = \pm 0,179$ .

Оскільки, коефіцієнти  $B = 3,269$  та  $A = -2,006$  за модулем більші за  $\Delta a$ , то вони значимі.

Відтворюваність дослідів перевіряємо за критерієм Кохрена в табличній формі (табл. 4.4.).

Розрахунковий критерій Кохрена визначаємо за ф.1.6

$$G_{\text{дос.}} = \frac{0,0865}{0,1745} = 0,495.$$



Табличне значення критерію визначаємо за табл.1.3. при  $P = 0,95$  та числі ступенів свободи  $q = N - 1 = 2$ :  $G_{\text{табл.}} = 0,616$ .

Оскільки  $G_{\text{дос.}} < G_{\text{табл.}}$ , то дисперсія однорідна.

Для перевірки адекватності отриманого рівняння  $h = 0,01 \cdot t^{-3,27}$  (використовувати будемо лінеаризоване рівняння  $Y = -2,006 + 3,269 \cdot X$ ) експериментальним даним визначаємо експериментальний критерій Фішера в табличній формі (табл. 4.5).

Таблиця 4.5.

Розрахунок експериментального критерію Фішера

$X_i$	0,301	0,602	0,778	0,903	1,000	1,079	
$Y_{\text{сері}}(\text{експ.})$	-1,074	0,016	0,583	0,965	1,242	1,479	
$Y_{pi}(\text{теор.})$	-1,022	-0,038	0,538	0,946	1,263	1,522	$\sum(Y_{pi} - Y_{\text{сері}})^2$
$(Y_{pi} - Y_{\text{сері}})^2$	0,0027	0,0029	0,0020	0,0003	0,0005	0,0019	0,0103

Дисперсію адекватності визначаємо за ф.1.9

$$S_{\text{ад.}}^2 = \frac{3}{6 - 2} \cdot 0,0103 = 0,008.$$

Середньоарифметичну виправлених дисперсій визначаємо за ф.1.10  $S_{\text{відг.}}^2 = \frac{0,1745}{6} = 0,029$ .

Розрахунковий критерій Фішера визначаємо за ф.1.8

$$K_{\text{фр}} = \frac{0,029}{0,008} = 3,78.$$

Табличне значення критерію Фішера за числом ступенів свободи дисперсії адекватності  $k_{\text{ад.}} = 6 - 2 = 4$  та за числом ступенів свободи дисперсії відтворюваності  $k_{\text{відг.}} = 6 \cdot (3 - 1) = 12$  при  $P = 0,95$  становить  $K_{\text{фг}} = 5,91$ . Оскільки  $K_{\text{фр}} < K_{\text{фг}}$ , то отримане рівняння регресії адекватно описує процес зростання втрат напору у фільтрі впродовж





## фільтроциклу.

Для побудови графіка в листі електронних таблиць Excel формуємо таблицю вихідних даних (табл.4.6.). Дані необхідно розмістити в два рядки із поступовим збільшенням значення, яке буде відкладатися по осі  $x$  (час роботи фільтра).

Таблиця 4.6.

Вихідні дані для побудови графіка

t, год.	2	2	2	4	4	...	12	12	12
h, см	0,10	0,15	0,04	1,00	0,56	...	30,15	32,45	27,93

Далі необхідно виділити цю таблицю, зайти в меню «Вставка», в якому вибрати «Діаграма». У вікні «Мастер діаграмм» вибрати тип діаграми «Точечная» (із зображенням експериментальних точок без їх з'єднання). Натиснути двічі кнопку «Далее». В закладці «Заголовки» внести дані про назву діаграми, значення осей  $x$ ,  $y$ . Зайти в закладку «Линии сетки» і поставити відмітку навпроти «Ось X. Основные линии». Перейти в закладку «Легенда» і забрати відмітку з «Добавить легенду». Натиснути кнопку «Готово». В результаті отримається графік, який зображений на рис.4.1.

Оскільки експериментальні дані (тривалість) мають межі від 2 до 12 год., то необхідно скорегувати вісь часу на графіку. Для цього курсор миші необхідно підвести до осі  $X$  і натиснути праву кнопку миші і в меню, яке з'явилось на екрані, вибрати «Формат осей». В закладці «Шкала» встановити мінімальне і максимальне значення  $X$ , за необхідністю скорегувати значення в полі «Цена основных делений». Зайти в закладку «Число» і вибрати тип даних «Числовой», «Число десятичных знаков» - 0, натиснути кнопку «ОК». За необхідністю провести вищевказані операції з віссю  $Y$ .

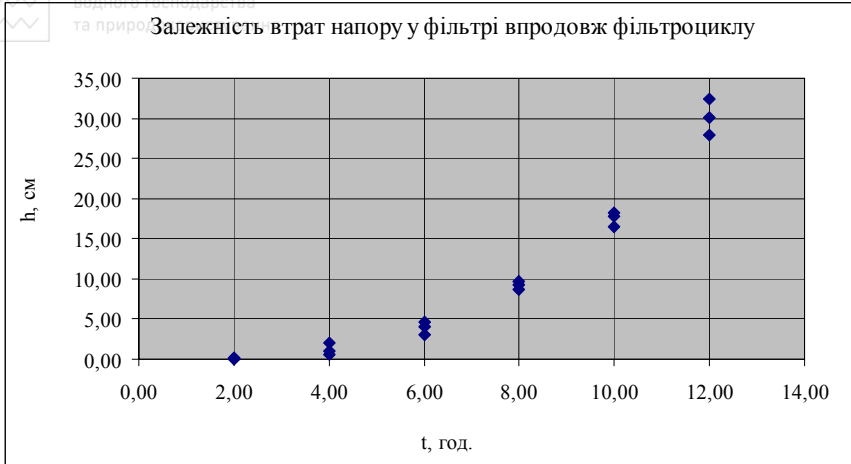


Рис. 4.1. Побудова графіка (крок 1).

Для нанесення лінії тренда на графік підвести курсор миші до будь-якої експериментальної точки на графіку і натиснути праву кнопку миші. В меню, яке з'явилось на екрані, вибрати «Добавить линию тренда». В закладці «Тип» вибрати форму зв'язку між експериментальними даними (див. вихідні дані). У випадку оберненопропорційної залежності вибрати форму зв'язку «Полиномиальная» 2-5-ї степені. В закладці «Параметры» поставити відмітки навпроти «Показывать уравнение на диаграмме» і «Поместить на диаграмме величину достоверности аппроксимации  $R^2$ ». Натиснути кнопку «ОК». В результаті отримаєте графік, який зображений на рис. 4.2.

Зміну положення підписів осей та назви графіка виконують перетягуванням з допомогою миші. Для усунення сірого кольору координатної сітки до неї треба підвести курсор миші і натиснути праву кнопку. В меню, яке з'явилось на екрані, вибрати «Формат области построения» і в закладці «Вид», в полі «Заливка», вибрати «Прозрачная». Натиснути кнопку «ОК». В результаті отримається графік, який зображений на рис. 4.3.



Залежність втрат напору у фільтрі впродовж фільтроциклу

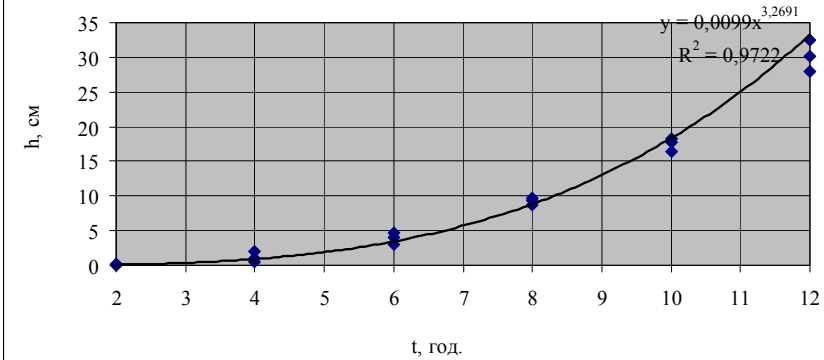


Рис. 4.2. Побудова графіка (крок 2).

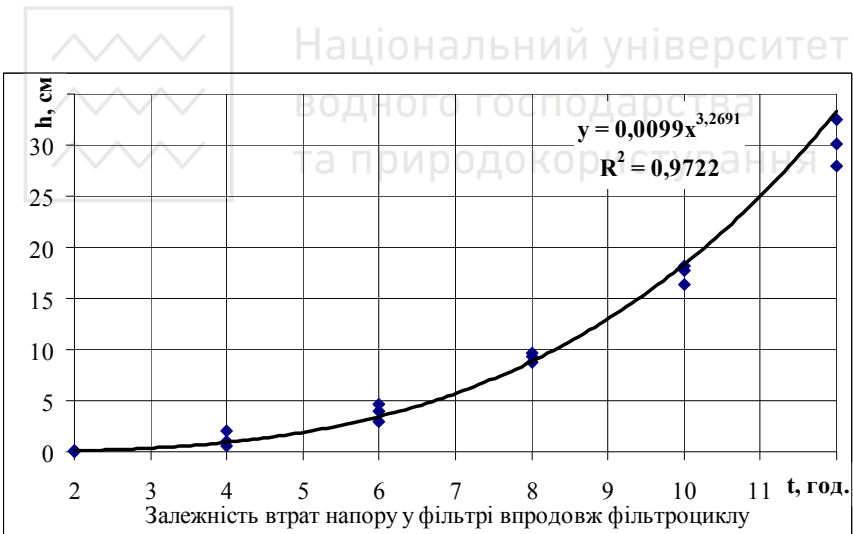


Рис. 4.3. Побудова графіка (крок 3).

Для зміни параметрів інших елементів графіка виконують дії, подібні до вищеописаних.



## 5. ЛІТЕРАТУРА

1. Білик В.М. Інформаційні технології і системи: Навч. посібн / Білик В.М., Костирко В.С. – Київ: ЦНЛ, 2006р. – 232 с.
2. Кичигин В.И. Моделирование процессов очистки воды: Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 230с.
3. Решение математических задач средствами Excel: Практикум / В.Я. Гельман. – СПб.: Питер, 2003.– 240 с.
4. Сиденко В.М., Грушко И.М. Основы научных исследований. – Харьков.: Вища школа, 1979;
5. Фролов И.М. Энциклопедия Microsoft Office 2003. – М.: Бук-пресс, 2006. – 912 с.
6. Чекотовсий Э.В. Графический анализ статистических данных в Microsoft Excel 2000. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 464 с.

