



Національний університет
водного господарства та
природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Кафедра водопостачання, водовідведення та бурової справи

01-04-12

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт з дисципліни:
«ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В НАУКОВИХ РОЗРОБКАХ»

для студентів спеціальності 8.06010108 “Водопостачання та
водовідведення” всіх форм навчання

Рекомендовано методичною комісією за
спеціальністю 8.06010108 “Водопостачання
та водовідведення”.

Протокол № 2 від 22 жовтня 2013р.

Рівне, 2014



Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Інформаційні технології в наукових розробках» для студентів спеціальності 8.06010108 “Водопостачання та водовідведення” всіх форм навчання. / Мартинов С.Ю., Зошук В.О. – Рівне: НУВГП, 2014 – 30с.

Упорядники: С.Ю. Мартинов, канд. техн. наук, доцент;
В.О. Зошук, канд. техн. наук, асистент.

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

ЗМІСТ

Практична робота № 1. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ГРАФІКА РОБОТИ НАСОСНОЇ СТАНЦІ	3
Лабораторна робота № 2. МОДЕЛЮВАННЯ ОСІДАННЯ ЗАВИСІ У ВІДСТІЙНИКУ	11
Лабораторна робота № 3. ЗНАХОДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ДЛЯ ТРЬОХ ЗМІННИХ	16
Лабораторна робота № 4. ОТРИМАННЯ ТА АНАЛІЗ МОДЕЛІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ	20
Лабораторна робота № 5. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ШВИДКИХ ФІЛЬТРІВ.	29

© Мартинов С.Ю., Зошук В.О., 2014
© НУВГП, 2014



Практична робота №1. ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ГРАФІКА РОБОТИ НАСОСНОЇ СТАНЦІЇ

Мета роботи: Навчитися будувати графіки роботи насосів водопровідних насосних станцій; визначати оптимальні режими роботи насосів насосних станцій, які працюють в одну та дві ступені.

1.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Оптимальним режимом роботи вважається така робота насосів НС-II, коли їх подача максимально співпадає з водоспоживанням в населеному пункті, оскільки в такому випадку найменший регулюючий об'єм від якого залежить об'єм РЧВ та водонапірної башти. Кількість ступенів роботи насосів залежить від продуктивності водопроводу. Для невеликих за продуктивністю водопроводів (в основному сільськогосподарських водопроводів) приймаються одноступеневі графіки роботи насосів, для середніх за продуктивністю водопроводів – двоступеневі графіки. Вибір графіка роботи насосів НС-II може виконуватися графічно або в табличній формі, причому останній спосіб є точнішим.

Спочатку розглянемо одноступеневий графік роботи насосів НС-II.

Продуктивність насосів НС-II, %

$$P_1 = 100/T_1, \quad (1.1)$$

де T_1 - тривалість роботи насосів НС-II впродовж доби, год.

Тривалість роботи насосів НС-II впродовж доби можна визначати шляхом поступових наближень з використанням таблиць Excel, причому критерієм оптимальності є найменша сума максимального надлишку та недостачі води між водоспоживанням та подачею насосів.

У випадку двоступеневого графіка роботи НС-II пошук оптимального графіка роботи насосів складніший, оскільки при зміні тривалості роботи насосів будь-якого ступеня, змінюється не тільки його подача але і тривалість роботи та подача насосів іншого ступеня. При цьому необхідно, щоб виконувалася рівність

$$P_1 \cdot T_1 + P_2 \cdot T_2 = 100\%, \quad (1.2)$$

де T_1, T_2 - відповідно тривалість роботи насосів I-го та II-го ступенів, год.;

P_1, P_2 - відповідно подача насосів I-го та II-го ступенів, %.

Прийнявши, що

$$T_1 + T_2 = 24, \quad (1.3)$$

подача насосів першого ступеня становить



$$P_1 = \frac{100 - P_2 \cdot T_2}{(24 - T_2)}, \quad (1.4)$$

Отже, для визначення оптимального двоступеневого графіка роботи насосів НС-II необхідно задаватися двома величинами, що практично значно ускладнює його підбір. Для розв'язання даної задачі можна використати так званий графотабличний метод, при якому з сумісного графіка водоспоживання та роботи насосів НС-II приймається в першому наближенні години роботи кожної ступені насосів та подача насосів другого ступеня, а потім, змінюючи ці значення невеликому діапазоні (в Excel), підбирається оптимальний.

Аналітично визначити подачу насосів другого ступеня можна, якщо прийняти, що сумарна кількість води, яка подається насосами другого ступеня дорівнює сумарному водоспоживанню в населеному пункті за період роботи цих насосів. Тобто, подача насосів другого ступеня

$$P_2 = \frac{\sum_{i=t_1}^{t_2} p_i}{t_2 - t_1} = \frac{\sum_{i=t_1}^{t_2} p_i}{T_2}, \quad (1.5)$$

де t_1 , t_2 - відповідно час початку та закінчення роботи насосів другого ступеня, год.; p_i - годинне водоспоживання, %.

Використовуючи формули (1.2), (1.4), (1.5) можна аналітично визначити оптимальний двоступеневий графік роботи насосів НС-II.

Погодинна подача насосами, м³/год.

$$q = P \cdot Q_p / 100, \quad (1.6)$$

де Q_p - розрахункова добова подача води насосами НС-II, м³/добу, яка приймається рівною максимальному добовому водоспоживанню в населеному пункті.

1.2. ХІД РОБОТИ

Використовуючи вихідні дані:

1. Побудувати інтегральний та ступневих графіки водоспоживання в населеному пункті, вибравши **точечний** тип діаграми.
2. Побудувати інтегральний та ступневих графіки подачі насосів НС-II (в першому наближенні - неоптимальний), вибравши **точечний** тип діаграми.
3. Побудувати інтегральний та ступневих графіки подачі насосів НС-I, вибравши **точечний** тип діаграми. Прийняти, що насоси НС-I працюють рівномірно та цілодобово.

4. Підібрати оптимальних графік роботи насосів НС-II при одноступеневій подачі.

5. Підібрати оптимальних графік роботи насосів НС-II при двоступеневій подачі.
6. Порівняти отримані результати при одноступеневому та двоступеневому графіках роботи насосів НС-II.
7. В текстовому редакторі Word за допомогою команди **Спеціальная вставка...** здійснити зв'язок отриманих таблиць та рисунків.

Зупинимося на особливостях визначення оптимального графіка одноступеневій роботи НС-II. Для цього необхідно побудувати табл. 1.1, де буде здійснений розрахунок відповідних значень.

В таблиці:

1. В діапазон клітинок **A7:A30** (Години доби) проставляються години доби (текстовий формат);
2. В діапазон клітинок **E7:E30** (Допом. стовпчик) проставляються години доби. Він буде потрібний для визначення роботи насосів в дану годину;
3. В діапазон клітинок **B7:B30** (Сумарні витрати, %) перенести значення сумарних витрат, %, із таблиці «Погодинні витрати води в населеному пункті» (див. «Вихідні дані»). Сума значень в цьому діапазоні повинна дорівнювати 100 (клітинка **B31**);
4. В клітинках **B2, D2** (t_1, t_2) вказують початок та закінчення роботи насосів (повинна бути ціла година);
5. В клітинці **C3** (T_1) необхідно визначити тривалість роботи насосів, год.;
6. В діапазон клітинок **C7:C33** (P_1) необхідно визначити годинну подачу насосів НС-II за формулою 1.1 для годин роботи насосів, а для інших 0. Наприклад для клітинки **C10**:

$$=ЕСЛИ(Е10<B2;0;(ЕСЛИ(Е10<D2;ОКРУГЛ(100/С3;2);0)))$$
- Суть вищенаведеного рядка формули розібрати самостійно. Сума значень в діапазоні **C7:C30** повинна дорівнювати 100 (клітинка **C31**);
7. В діапазоні клітинок **D7:D30** (Надлишок і недостача) необхідно визначити надлишок та недостачу води. Для цього в клітинці **D7** необхідно знайти різницю між подачею води та водоспоживанням для цієї години, а в наступних клітинках додати ще й попереднє значення недостачі чи надлишку;
8. В клітинках **F1, F2** (d_n, d_n) необхідно визначити максимальні недостачу та надлишок. Наприклад для клітинки **F1**: $=ABS(МИН(D7:D30))$.
9. В клітинці **F3** ($d_n + d_n$) необхідно визначити суму максимальних недостачі та надлишку.
10. Шляхом зміни значень у клітинках **B2, D2** добитися мінімального



Таблиця 1.1.
Визначення одноступеневого графіка роботи насосів НС-II
(приклад оформлення)

	A	B	C	D	E	F	G
1	Одноступеневий графік роботи насосів НС-II:				$d_n =$	1,9	%
2	з	3	по	21	$d_n =$	10,4	%
3		$T_{НС-II} =$	18	год.	$d_n + d_n =$	12,3	%
4							
5	Год. доби	Сумарні витрати, %	Подача води НС-II, %	Надлишок і недостача	Допом. стовпчик		
6	1	2	3	4	5		
7	0-1	0,56	0,00	-0,56	0		
8	1-2	0,67	0,00	-1,23	1		
9	2-3	0,71	0,00	-1,94	2		
10	3-4	0,71	5,56	2,91	3		
		
29	22-23	1,38	0,00	0,85	22		
30	23-24	0,78	0,00	0,08	23		
31	Всього	100	100	--	--		

Для побудови інтегральних графіків роботи насосів та водоспоживання можна використати наступну форму (табл.1.2, 1.3). Причому вміст даних в цих таблицях необхідно зв'язати з даними в табл.1.1.

Таблиця 1.2.
Вихідні дані для побудови інтегральних графіків (приклад оформлення)

	A	B	C	D
35	Год. доби	Інт. орд. водосп., %	Інт. орд. подачі НС-II, %	Інт. орд. подачі НС-I, %
36	0	0,00	0,00	0,00
37	1	0,56	2,93	4,17
38	2	1,23	7,84	8,34
39	3	1,94	12,75	12,51
40	4	2,65	17,66	16,68
41	5	4,93	22,57	20,85
42	6	8,72	27,48	25,02
43	7	13,05	32,39	29,19

Національний університет				
водного господарства та природокористування				
		
58	22	97,86	94,16	91,74
59	23	99,24	97,09	95,91
60	24	100,00	100,00	100,00



Національний університет
водного господарства
та природокористування

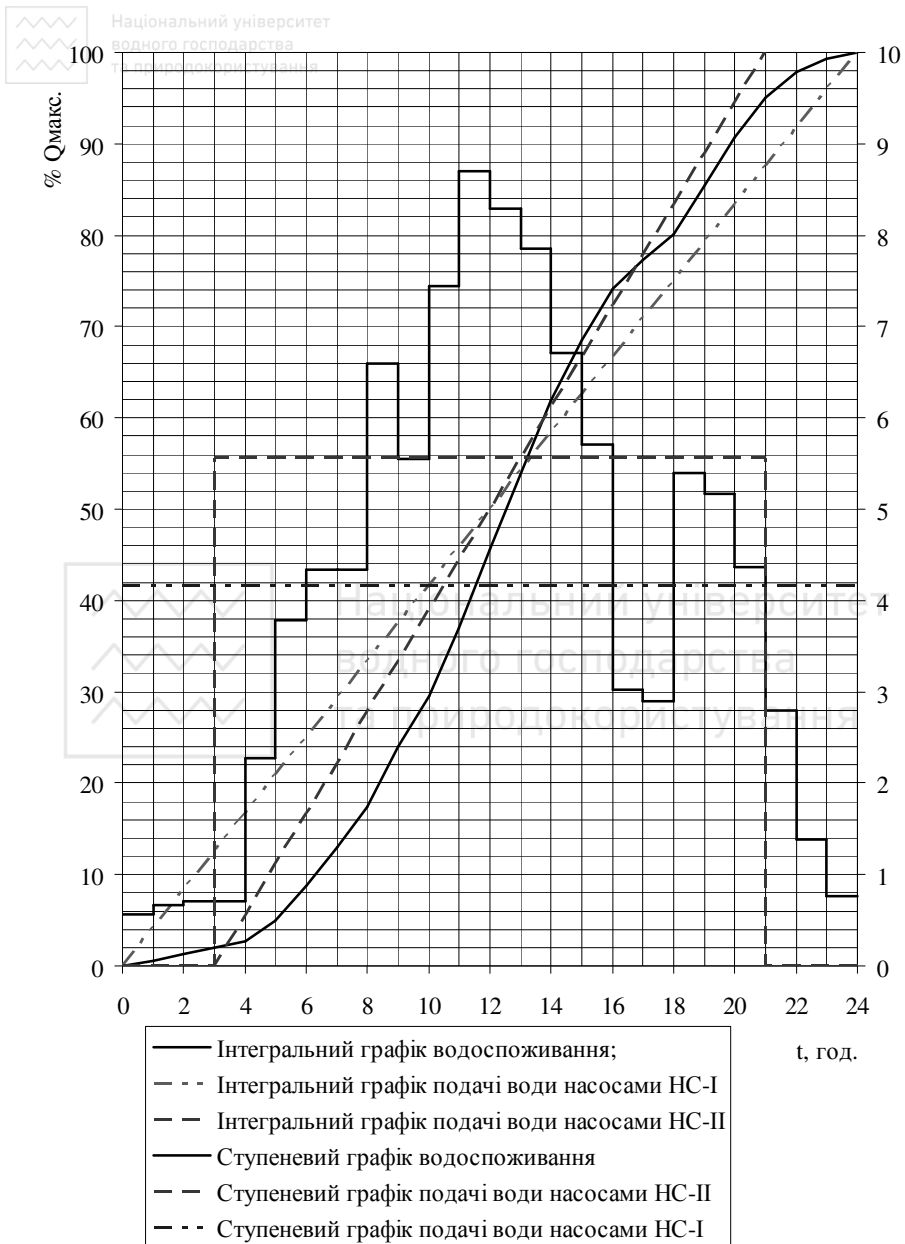


Рис. 1.1. Приклад оформлення графіків водоспоживання та подачі води насосами (прийнято одноступеневий графік роботи насосів НС-II)

Таблиця 1.3.

Вихідні дані для побудови ступеневих графіків (приклад оформлення)

	Е	Ф	Г	Н
35	Год. доби	Годинне водосп., %	Годинна подачі НС-II, %	Годинна подачі НС-I, %
36	0	0,56	2,93	4,17
37	1	0,56	2,93	4,17
38	1	0,67	4,91	4,17
39	2	0,67	4,91	4,17
40	2	0,71	4,91	4,17
41	3	0,71	4,91	4,17
42	3	0,71	4,91	4,17
43	4	0,71	4,91	4,17
...
81	23	1,38	2,93	4,17
82	23	0,76	2,93	4,17
83	24	0,76	2,93	4,17

Таблиця 1.4.

Визначення двоступеневого графіка роботи насосів НС-II
(приклад оформлення)

	А	В	С	Д	Е	Ф	Г
1	Двоступеневий графік роботи насосів НС-II:				$d_n =$	3,83	%
2	з	I	по	16	$d_n =$	19,92	%
3	I-ша ст.	$T_{НС-II} =$	9	год.	$d_n + d_n =$	23,75	%
4	II-га ст.	$T_{НС-II} =$	15	год.			
5	I-ша ст.	$q_{НС-II} =$	2,93	%			
6	II-га ст.	$q_{НС-II} =$	4,91	%			
7	Год. доби	Сумарні витрати, %	Подача води НС-II, %	Надлишок і недостача	Допом. стовпчик 1	Допом. стовп. 2	
8	1	2	3	4	5	6	
9	0-1	0,56	0,00	-0,56	0	0,67	
10	1-2	0,67	0,00	-1,23	1	0,71	
11	2-3	0,71	0,00	-1,94	2	0,71	
12	3-4	0,71	5,56	2,91	3	2,28	
...
31	22-23	1,38	0,00	0,85	22	0,00	
32	23-24	0,78	0,00	0,08	23	0,00	
33	Всього:	100	100	--	--	73,66	

Вибір двоступеневого графіка роботи насосів НС-II зручно проводити у формі, яка представлена у табл.1.4. Розглянемо особливості цих розрахунків. Для визначення кількості води, яку подають насоси другого ступеня введено **Допоміжний стовпчик 2**, в кожній клітинці якого записана формула, яка аналізує чи поточна година є годиною роботи насосів другого ступеню – якщо так, то із відповідної клітинки стовпця **Сумарні витрати, %** переписується значення, інакше – 0. Наприклад для клітинки **F9**:
=ЕСЛИ(Е9<=В\$2;0; ЕСЛИ(Е9<=D\$2; В9; 0)).

Результатом підсумовування значень в **Допоміжний стовпчик 2** (клітинка **F33**) є добова подача води насосами другого ступеню, яка використовується для визначення годинної подачі цих насосів (див. ф.1.5).

Для зв'язування отриманих даних в Excel з документом Word необхідно:

1. Створити та зберегти документ Word;
2. В листі Excel виділити потрібний діапазон клітинок та скопіювати його (наприклад натиснувши клавіші **{Ctrl}+ {C}**);
3. Перейти в збережений документ Word та виконати дії:
 - a. →**Правка** →**Спеціальная вставка...**
 - b. У вікні **Спеціальная вставка** вибрати **Связать**, що дозволяє при зміні значень в Excel автоматично змінювати значення у Word;
 - c. У вікні **Спеціальная вставка** вибрати формат, наприклад, **неформатированный текст**;
 - d. **OK**

1.3. ВИХІДНІ ДАНІ

Таблиця 1.5.

Погодинні витрати води в населеному пункті, %

Год. доби	Варіант				
	1	2	3	4	5
0-1	0,54	0,62	0,79	0,68	0,764
1-2	0,716	0,62	0,79	0,68	0,764
2-3	0,661	0,62	0,79	0,906	0,764
3-4	0,661	0,729	0,88	0,906	0,849
4-5	2,23	3,063	1,95	3,12	1,409
5-6	3,441	4,522	4,16	5,386	3,533
6-7	4,323	3,902	5,35	5,386	4,679
7-8	4,323	4,266	6,23	5,386	5,528
8-9	7,327	5,837	5,4	3,841	6,227
9-10	5,635	5,618	5,71	3,841	6,524
10-11	7,481	6,566	4,96	6,107	5,802
11-12	8,305	9,132	6,28	8,373	7,076
12-13	7,635	9,424	7,16	8,373	7,925
13-14	8,151	7,186	6,46	6,107	7,246



Год. доби	Варіант				
	1	2	3	4	5
14-15	6,785	6,348	5,26	5,201	6,099
15-16	5,163	6,056	4,65	5,201	5,505
16-17	3,177	2,917	4,52	3,172	3,822
17-18	2,966	3,282	5,4	3,574	4,934
18-19	5,799	5,635	6,1	5,84	5,613
19-20	5,447	5,271	5,26	5,84	4,806
20-21	4,142	4,011	4,96	5,84	4,509
21-22	3,076	2,188	3,19	3,12	2,811
22-23	1,251	1,459	2,31	2,214	1,961
23-24	0,767	0,729	1,43	0,906	0,85

1.4. ЛІТЕРАТУРА

1. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання: Підручник. – К.: Знання, 2009. – 735с.
2. Ткачук О.А., Шадура В.О. Водопровідні мережі: Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2004. – 117с.
3. Орлов В.О., Зошук А.М. Проектування систем сільськогосподарського водопостачання. Рівне: НУВГП, 2005. – 252 с.

Практична робота № 2. МОДЕЛЮВАННЯ ОСІДАННЯ ЗАВИСІ У ВІДСТІЙНИКУ

Мета роботи: На основі результатів технологічного моделювання процесу осідання визначити гідравлічну крупність зависі та час відстоювання у відстійнику для досягнення необхідного ефекту осідання.

2.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Досить часто величину гідравлічної крупності частинок, під якою розуміють швидкість осідання частинок при температурі води 10°C, визначають шляхом вимірювання відносної кількості зависі, яка випала за певний проміжок часу на дно циліндра діаметром 120 мм, який заповнений водою, що досліджується, на висоту не менше 500 мм.

Якщо завись монодисперсна, тобто складається із частинок приблизно однакової гідравлічної крупності V , то кількість осаду, що випав за час t , складе

$$G = V \cdot C_0 \cdot f \cdot t \quad (2.1)$$

де C_0 - концентрація зависі у вихідній воді, мг/л; f - площа циліндра, dm^2 ; t - тривалість відстоювання, хв.; V - гідравлічна крупність, dm/xv .



Маса всіх забруднень, що знаходяться у вихідній воді

$$G_0 = C_0 \cdot f \cdot h \quad (2.2)$$

де h - висота води в циліндрі, дм.

Тоді відносна кількість зависі, що випала в осад за час t

$$p = G/G_0 = V \cdot t/h \quad (2.3)$$

Отже, відносна кількість зависі, що випала, збільшується прямо пропорційно гідравлічній крупності забруднень і тривалості її відстоювання. При осіданні монодисперсної зависі залежність (2.1) графічно виражається прямою лінією (рис.1). Природна завись поверхневих джерел або забруднень стічних вод полідисперсні, їх гідравлічна крупність змінюється в значних межах, тому залежність $p = f(t)$ описується кривою 2 на рис.2.1.

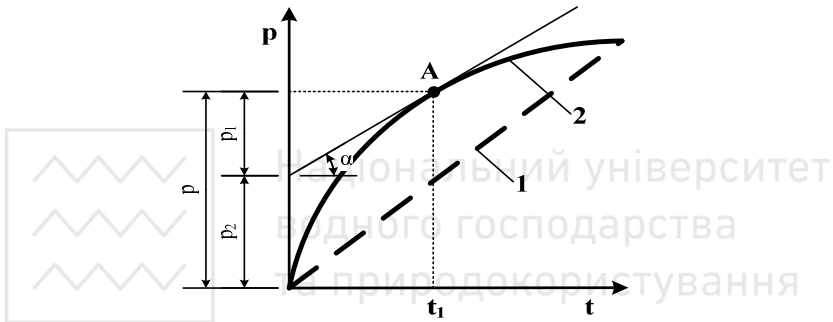


Рис. 2.1. Залежність $p = f(t)$:

1 - для монодисперсної зависі; 2 - для полідисперсної зависі.

На рис.2.1 по осі ординат відкладається відносна кількість осаду, що випав (за об'ємом або масою), а по осі абсцис - тривалість відстоювання. Отримані в такий спосіб криві випадання зависі дозволяють знайти процентний вміст різних фракцій зависі, тобто фракції з різною гідравлічною крупністю.

Тангенс кута нахилу дотичної у точці A , рівний dp/dt , характеризує швидкість нагромадження в осаді всіх частинок полідисперсної зависі, гідравлічна крупність яких $V < h/t$. Наприклад, враховуючи, що частинки рівномірно осідали в проміжку часу від 0 до t , їх вміст в осаді можна описати формулою

$$p_1 = t \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (2.4)$$

а вміст частинок з $V > h/t$ (тобто тих, які встигли випасти раніше)

$$p_2 = p - p_1 \quad (2.5)$$



де p - відносна кількість всіх частинок, що випали в осад за час t .

За допомогою кривої випадання можна визначити також середню гідравлічну крупність полідисперсної зависі або середню швидкість її осідання

$$V_{CP} = p \cdot h/t \quad (2.6)$$

Цю величину можна розглядати як гідравлічну крупність такої монодисперсної зависі, для якої при тій же висоті стовпа води та однаковій тривалості відстоювання виходять рівні значення величини p . Такий метод визначення гідравлічної крупності фракцій зависі і її середньої швидкості осідання застосовується тільки до стійкої зернистої зависі й не застосовується до частинок, що змінюють свій фракційний склад у процесі осідання (наприклад, для визначення V_{CP} у забруднень колоїдного ступеня дисперсності після введення у воду розчину коагулянту). Однак, і в цьому випадку криві випадання зависі дозволяють визначити необхідну тривалість перебування води у відстійниках по заданому ефекту прояснення й можуть бути використані для розрахунку споруд.

Методика моделювання заснована на подібності кривих випадання зависі, які отримуються при різних висотах стовпа води, що досліджується (рис.2.2). Умова подібності цих кривих справедлива, як для монодисперсної (ф.2.3), так і для полідисперсної зернистої суспензії (ф.2.6). З рис.2.2а видно, що однаковий ефект осідання досягається при різній тривалості відстоювання, але всі криві подібні між собою. Так, якщо змінити масштаб часу по осі абсцис, і відкласти по цій осі замість значення часу значення t/h , то всі криві переходять в одну (рис.2.2б). Умова подібності кривих випадання зависі при $p = const$ виражається співвідношенням

$$\left(\frac{t_1}{h_1} = \frac{t_2}{h_2} = \dots = \frac{t_i}{h_i} \right) = const \quad \text{або} \quad \left(\frac{1}{V_1} = \frac{1}{V_2} = \dots = \frac{1}{V_i} \right) = const \quad (2.7)$$

Співвідношення (2.7) дозволяє зменшити час при проведенні досліджень за рахунок моделювання процесу осідання в лабораторних циліндрах з невеликою висотою стовпа води. Потім за необхідним ефектом осідання p користуючись графіком, що зображений на рис.2.2б, і співвідношенням (2.7) визначають тривалість перебування води t_2 у відстійнику, що проектується, з висотою зони осідання h_2 . Необхідний ефект осідання визначають за формулою

$$E = \frac{C_0 - C_K}{C_0} \quad (2.8)$$

де C_0 , C_K - концентрація зависі, відповідно, у вихідній і проясненій воді.

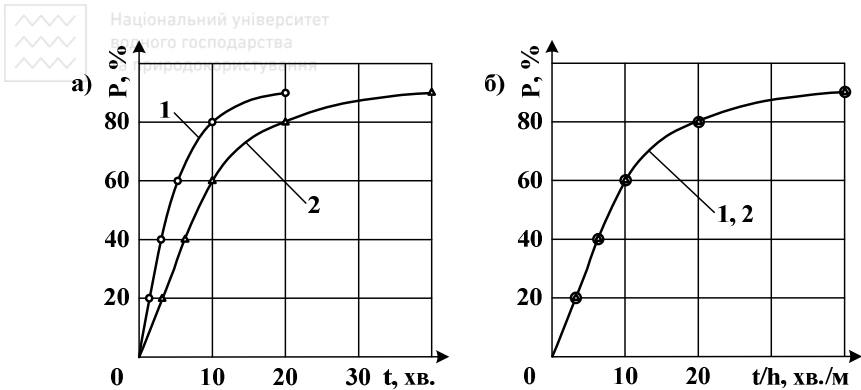


Рис. 2.2. Кінетика вільного випадання стійких зважених речовин при висоті зони відстоювання h : 1 - 500 мм; 2 - 1000 мм

Необхідно зазначити, що остаточний розрахунок часу відстоювання t_2 у виробничому відстійнику потрібно приймати за формулою (2.9) з урахуванням поправочного коефіцієнта $\alpha = 1,3-1,8$ (на турбулентність потоку, температуру тощо)

$$t_2 = \alpha \cdot t_1 \cdot h_2 / h_1 \quad (2.9)$$

2.2. ХІД РОБОТИ

У роботі необхідно:

1. За вихідними даними технологічного моделювання процесу осідання побудувати графіки залежності відносної кількості зависі, яка випала, від часу відстоювання $p = f(t)$ при різних висотах води у циліндрах h (див. рис.2.2а, табл.2.1), прийнявши тип діаграми **Точечная диаграмма со значениями, соединенными сглаживающими линиями**.
2. Побудувати графік залежності $p = f(t/h)$ (див. рис.2.2б, табл.2.1) та перевірити умову подібності кривих випадання зависі.
3. Для заданого ефекту осідання E (задається викладачем) визначити:
 - а. час відстоювання у циліндрах;
 - б. середню гідравлічну крупність частинок;
 - с. розрахунковий час відстоювання у виробничому відстійнику.
4. Апроксимувавши експериментальні дані моделювання процесу осідання рівнянням (наприклад, поліноміальним третього степеня), побудувати гістограму фракційного складу зависі p_2 за інтервалами гідравлічної крупності частинок V (див. табл.2.2), вибравши тип гістограми **Объемный вариант обычной гистограммы**.
5. Оформити звіт у текстову редакторі Word.



Таблиця 2.1.

Вихідні дані для побудови графіків $p = f(t)$ та $p = f(t/h)$.

$h_1=500$ мм				$h_2=1000$ мм			
t , хв.	C , мг/л	p , дол.	t/h , хв./см	t , хв.	C , мг/л	p , дол.	t/h , хв./см
0				0			

Таблиця 2.2.

Вихідні дані для побудови гістограми фракційного складу зависі за інтервалами гідравлічної крупності частинок.

t , хв.	p_1 , дол.	p , дол.	p_2 , дол.	V , см /хв.
0				--

2.3. ВИХІДНІ ДАНІ

Проведено технологічне моделювання процесу осідання в лабораторних умовах в циліндрах з висотою води $h_1=500$ мм та $h_2=1000$ мм, вихідна вода мала концентрацію зависі $C_0=50$ мг/л, зміни концентрації зависі в проясненій воді від часу наведені в табл.2.3.

Таблиця 2.3.

Результати експериментальних досліджень

$h_1=500$ мм			$h_2=1000$ мм		
№ циліндра	t , хв.	C , мг/л	№ циліндра	t , хв.	C , мг/л
1	1	40	1	2	40
2	3	30	2	6	30
3	6	17,5	3	10	20
4	10	10	4	20	10
5	20	5	5	40	5



2.4. ЛІТЕРАТУРА

1. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды. – М.: Изд-во лит. по строительству, 1964. - 156с.
2. Кичигин В.И. Моделирование процессов очистки воды: Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 230с.

Практична робота № 3. **ЗНАХОДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНИХ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ДЛЯ ТРЬОХ ЗМІННИХ**

Мета роботи: Знайти залежність між густиною розчину та температурою при різних концентраціях солі. Побудувати графік залежності зміни концентрації солі від густини та температури.

3.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

В інженерній практиці під час визначення функціонального зв'язку між залежними змінними часто виникає потреба підібрати аналітичну залежність, яка б встановлювала цей зв'язок. Наприклад, у результаті проведення експерименту одержали статистичний масив у вигляді таблиць чи графіків функціонального зв'язку між x і y , проте, характер функціонального зв'язку, внаслідок розкиду експериментальних даних, чітко не виражений. Потрібно підібрати аналітичний вираз, за допомогою якого, незважаючи на розкид результатів, можна було б з найкращим наближенням (апроксимацією) виявити досліджувану залежність і описати її у вигляді формули $y = f(x)$. Такі формули називають емпіричними.

Процедура побудови емпіричної формули складається з двох операцій:

1. Вибирають тип формули, яка відображає функціональний зв'язок між залежними величинами;
2. Підраховують числові значення параметрів, що входять у формулу, для яких наближення до функції, заданої таблицею чи графіком, буде найкращим.

До емпіричних формул пред'являють дві основних вимоги: по можливості вони повинні бути найпростішими й точно відповідати експериментальним даним у межах зміни аргументу. Звичайно як емпіричні формули використовують лінійні, степеневі, показникові або інші елементарні функції.

Таким чином, емпіричні формули є наближеними виразом аналітичних формул. Заміну точних аналітичних виразів наближеними, більш простими називають апроксимацією, а функції апроксимуючими.

Незалежно від типу емпіричної формули її параметри можна визначити. Для цього розроблено цілий ряд методів. В задачах будівництва для визначення параметрів емпіричних формул набули поширення метод вибраних точок (графічний метод), метод середніх, метод найменших квадратів тощо, які розглядалися в інших курсах.

Досить часто доводиться знаходити емпіричні залежності, які зв'язують

Загальний метод розв'язку таких задач полягає в наступному. Рахуючи x постійною, зв'язують z з y певною залежністю, наприклад, лінійною

$$z = a + b \cdot y. \quad (3.1)$$

Числа (коефіцієнти) a , b залежності (3.1) є функціями від x , які необхідно знайти емпірично, наприклад, за методом найменших квадратів. Кількість пар визначених коефіцієнтів a , b буде дорівнювати кількості заміряних значень x .

Далі будують графіки залежності $a = f_1(x)$ та $b = f_2(x)$, для яких визначають відповідні емпіричні коефіцієнти. В результаті отримуємо два рівняння, наприклад, лінійних

$$\begin{aligned} a &= m_1 + n_1 \cdot x, \\ b &= m_2 + n_2 \cdot x. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Підставляючи коефіцієнти a , b з рівняння (3.2) у рівняння (3.1), отримують шукану залежність

$$z = (m_1 + n_1 \cdot x) + (m_2 + n_2 \cdot x) \cdot y. \quad (3.3)$$

3.2. ХІД РОБОТИ

Використовуючи вихідні дані:

1. Побудувати графіки $B = f(t)$ для різних значень густини C .
Визначити вид цих графіків та коефіцієнти a , b .
2. Побудувати графіки $a = f_1(C)$ та $b = f_2(C)$. Визначити вид цих графіків та коефіцієнти m_1 , m_2 , n_1 , n_2 .
3. Знайти вид та коефіцієнти залежності $B = f(C, t)$.
4. Визначити максимальні відносну похибку отриманої залежності та експериментальних даних.
5. Побудувати графік залежності $B = f(C, t)$ в області проведених експериментальних даних.
6. Оформити звіт в текстову редакторі Word.

Числа (коефіцієнти) a , b залежності (3.1) можна знайти, використовуючи електронні таблиці Excel або інші спеціалізовані програмні продукти. Для визначення емпіричних коефіцієнтів в електронних таблицях Excel необхідно на основі експериментальних даних побудувати «точечні»

діаграми $z = f(y)$ для кожного значення x , на які нанести «лінію тренда» із показом виду рівняння. Майстер діаграм Excel дозволяє будувати лінійну, логарифмічну, поліноміальну (2-6 степенів), степеневу та експоненціальну лінії тренду. Підбір оптимальної лінії тренду проводиться за результатами розрахунку коефіцієнта апроксимації (ближчий до одиниці). Кількість пар визначених коефіцієнтів a, b буде дорівнювати кількості заміряних значень x . Результати розрахунку заносять до таблиці (табл.3.1)

Таблиця 3.1.

Експериментальні дані та результати розрахунку коефіцієнтів a, b

$x = C$	$y = t$				a	b
	y_1	y_2	...	y_j		
	$z_{ij} = B_{ij}$					
x_1						
x_2						
...						
x_i						

Використовуючи дані табл.3.1 будують графіки залежності $a = f_1(x)$ та $b = f_2(x)$, для яких визначають емпіричні коефіцієнти m_1, m_2, n_1, n_2 (див. ф.3.2). Після цього остаточно визначають коефіцієнти в залежності $z = f(x, y)$. У випадку нелінійності залежностей $z = f(y)$, $a = f(x)$ або $b = f(x)$, остаточний вигляд функції $z = f(x, y)$ звичайно буде відрізнятися від наведеної у ф.3.3.

Визначення відносної похибки отриманої залежності зручно проводити в табличній формі (див. табл.3.2).

Таблиця 3.2.

Визначення відносної похибки

Концентрація солі, C , мг/л	Температура, t , град.						
	t_1			...	t_j		
	B_e	B_m	$e, \%$		B_e	B_m	$e, \%$
C_1							
...							
C_i							



В табл.3.2: B_e – густина розчину, визначена експериментально; B_m – густина розчину, визначена за знайденою математичною залежністю (точність визначення – до двох знаків після коми); e – відносна похибка, яка визначається за формулою

$$e = \frac{|B_m - B_e|}{B_m} \cdot 100\% . \quad (3.4)$$

Для побудови графіка $B = f(C, t)$ можна скористатися **Майстром діаграм Excel**, вибравши тип **Поверхність**. Вихідні дані для побудови такого графіку зручно створити у формі таблиці (див. табл.3.3), прийнявши кількість елементів $i=20$, $j=20$. Проміжні значення C та t в табл.3.3 визначаються шляхом інтерполяції між початковим та кінцевим значеннями цих величин.

Таблиця 3.3.

Вихідні дані для побудови графіка $B = f(C, t)$

	t_1	...	t_j
C_1	B_{11}	...	B_{1j}
...
C_j	B_{1j}	...	B_{ij}

Для налаштування вигляду графіка необхідно натиснути праву кнопку миші на графіку та у меню вибрати **Объемный вид**. В результаті на екрані з'явиться діалогове вікно **Формат трехмерной проекции** (рис.3.1), в якому можна налаштувати параметри відображення графіка.

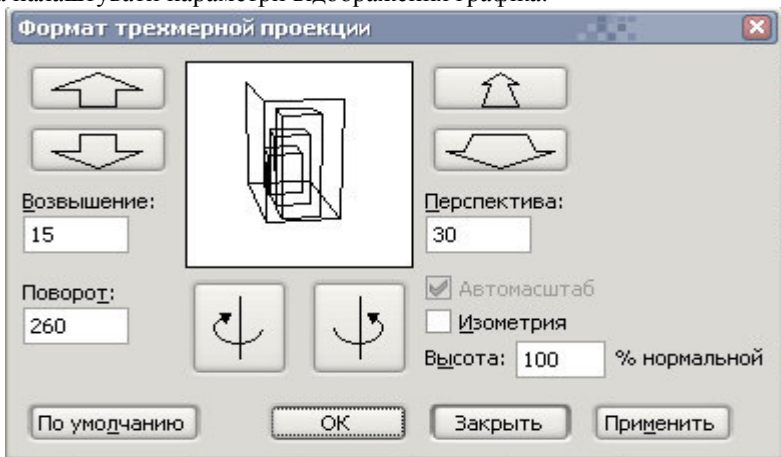


Рис. 3.1. Діалогове вікно **Формат трехмерной проекции**



3.3. ВИХІДНІ ДАНІ

Таблиця 3.4.

Експериментальні дані залежності густини розчину від концентрації солі та температури

Концентрація солі, C , г/л	Температура, t , град.					
	21	24	27	30	33	36
	Густина розчину, B , ум.од.					
35,79	3,86	3,46	3,23	2,78	2,5	2,24
29,96	2,21	2,01	1,71	1,54	1,26	1,01
23,97	1,18	1,02	0,89	0,72	0,58	0,42
17,97	0,65	0,6	0,52	0,48	0,41	0,34

3.4. ЛІТЕРАТУРА

1. Багунер Л.М., Позин М.Е. Математические методы в химической технике. Л.: Химия, 1971. – 207с.

Практична робота № 4. ОТРИМАННЯ ТА АНАЛІЗ МОДЕЛІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Мета роботи: Отримати та оцінити математичну модель за результатами багатофакторного експерименту.

4.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Знаходження математичної моделі певного процесу з допомогою повнофакторного експерименту складається з наступних етапів:

1. 1-ий етап: планування експерименту;
2. 2-ий етап: проведення експерименту;
3. 3-ій етап включає:
 - a. Перевірка відтворюваності, тобто встановлення однорідності вибіркової дисперсії;
 - b. Отримання математичної моделі;
 - c. Перевірка її на достовірність описання процесу, який досліджуються.

Якщо математичний опис розглянутого процесу може бути представлений у вигляді рівняння регресії

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 \quad (\text{лінійна двофакторна модель}) \quad (4.1)$$

то, необхідна кількість дослідів визначається за формулою

$$N = P^K = 2^2 = 4 \quad (4.2)$$

де N - число дослідів; K - число факторів (у нашому випадку два фактори,

тобто фактор (X_1, X_2) ; P - число рівнів варіювання [прийемо два рівні: верхній (+1) й нижній (-1)].

Кодовані змінні X_i , визначаються наступним співвідношенням:

$$X_i = \frac{x_i - x_{0i}}{\Delta x_i}, \quad (4.3)$$

де X_i - кодовані значення факторів (0,1,2...); x_i - натуральні (фізичні) значення факторів; x_{0i} - натуральні значення нульового рівня факторів (середнього); Δx_i - натуральні значення інтервалу варіювання факторів.

Натуральні значення нульового рівня факторів

$$x_{0i} = \frac{x_{i \max} + x_{i \min}}{2}, \quad (4.4)$$

де $x_{i \max}$, $x_{i \min}$ - натуральні значення нижнього і верхнього рівнів фактора.

Натуральні значення інтервалу варіювання факторів

$$\Delta x_i = x_{i \max} - x_{0i}. \quad (4.5)$$

Таблиця 4.1.

Матриця планування експерименту 2^2

№ досліду	План	
	X_1	X_2
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1

Однорідність дисперсії (відтворюваність дослідів) оцінюють за критерієм Кохрена

$$G_{\text{дос.}} = \frac{S_{\text{макс}}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2} \quad (4.6)$$

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



$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{(m-1)} \quad (4.7)$$

де y_{ij} - значення функції відгуку в j -му паралельному досліді i -го дослідю;
 \bar{y}_i - середнє значення функції відгуку в i -му досліді; m - кількість паралельних дослідів.

Досліди вважають відтворюваними, якщо розраховане значення критерію Кохрена не перевищує табличне значення $G_{ДОС.} \leq G_{ТАБ.}$. Табличне значення критерію Кохрена залежить від рівня значимості (як правило $p = 0,05$) та числа ступенів свободи $q = m - 1$.

Таблиця 4.2.

Значення критерію G_m при $P = 0,95$

Кількість дослідів N	Число ступенів свободи $q = m - 1$							
	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

В загальному вигляді коефіцієнти рівняння регресії визначаються за формулою

$$b_{jk} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i X_{ij} X_{ik}, \quad (4.8)$$

або

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i, \quad (4.9)$$

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i X_{ij}$$

Для перевірки значимості коефіцієнтів рівняння регресії знаходять довірчий інтервал



$$\Delta a = \pm \frac{t}{N} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{(m-1)}} \quad (4.10)$$

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

Таблиця 4.3.

Таблюване значення t -критерію при 5% рівні значимості.

f	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14
t	12,71	4,30	3,18	2,77	2,57	2,45	2,36	2,31	2,26	2,20	2,16

Коефіцієнт рівняння регресії значимий, коли його абсолютна величина більша за довірчий інтервал, тобто

$$|b| > \Delta a. \quad (4.11)$$

Якщо коефіцієнт регресії незначимий, то ним можна знехтувати.

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 оцінюваного параметра. Суть такої перевірки полягає у співставленні отриманої або передбачуваної теоретичної функції $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ з результатами вимірювань.

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

$$K_{\text{ФП}} = \frac{\max \{S_{\text{ад.}}^2; S_{\text{відм.}}^2\}}{\min \{S_{\text{ад.}}^2; S_{\text{відм.}}^2\}} \quad (4.12)$$

де $S_{\text{ад.}}^2$ - дисперсія адекватності, яка визначається за ф.4.13; $S_{\text{відм.}}^2$ - генеральна дисперсія, яка визначається за ф.4.14.

Дисперсія адекватності визначається за формулою

$$S_{\text{ад.}}^2 = \frac{m}{N - B} \cdot \sum_{i=1}^N \left(y_{pi} - \bar{y}_i \right)^2 \quad (4.13)$$



де B – кількість членів (коєфіцієнтів) у знайденому рівнянні, які залишилися після оцінки їх значимості (включаючи вільний член); y_{pi} – значення шуканої величини, яке розраховане за отриманим рівнянням (теоретичне значення).

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

$$S_{\text{вiдм.}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N} \quad (4.14)$$

Функція (рівняння регресії) вважається адекватною при

$$K_{\text{ФР}} \leq K_{\text{ФТ}}, \quad (4.15)$$

де $K_{\text{ФТ}}$ – табличне значення критерію згоди (табличний критерій Фішера), яке залежить від числа ступенів свободи дисперсії адекватності $K_{\text{АД.}} = N - B$, числа ступенів свободи дисперсії відтворюваності $K_{\text{ВДТ.}} = N(m - 1)$ і рівня значимості (як правило 0,05) або довірчої ймовірності (як правило 0,95) та приймається за довідковою літературою.

Якщо, $K_{\text{ФР}} > K_{\text{ФТ}}$, то отримане рівняння регресії неадекватно описує процес, що досліджувався, і необхідно переходити до рівнянь інших видів, в тому числі вищих ступенів, підвищувати точність вимірювання параметрів тощо.

Таблиця 4.4.

Значення критерію Фішера $K_{\text{ФТ}}$ при $P = 0,95$

K_1 - число ступенів свободи більшої дисперсії; K_2 - число ступенів свободи меншої дисперсії

K_2	K_1										
	1	2	3	4	5	6	7	8	12	24	∞
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,41	19,45	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,74	8,64	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	6,09	6,04	5,91	5,77	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,68	4,53	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,00	3,84	3,67
7	5,69	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,57	3,41	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,28	3,12	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,24	3,07	2,90	2,71
10	4,97	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	2,91	2,74	2,54

Якщо процес, який досліджується, описується рівнянням вищого порядку, наприклад взаємним впливом факторів $X_1 \cdot X_2$, тоді в матрицю (табл.4.1)

вводиться ще один стовпець $X_1 \cdot X_2$ та визначається коефіцієнт b_{12} .

Рівняння регресії отримують шляхом підстановки у ф.4.1 (у випадку прийняття лінійної двофакторної моделі) значень коефіцієнтів, які знаходяться за ф.4.9. Оскільки знайдені коефіцієнти розраховувалися з використанням кодованих значень факторів, то для переходу до натуральних факторів необхідно скористатися ф.4.3, тобто

$$y = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i \right) + \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i X_{1i} \right) \cdot X_1 + \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i X_{2i} \right) \cdot X_2 \quad (4.16)$$

або

$$y = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i \right) + \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i X_{1i} \right) \cdot \frac{x_1 - x_{01}}{\Delta x_1} + \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i X_{2i} \right) \cdot \frac{x_2 - x_{02}}{\Delta x_2} \quad (4.17)$$

і остаточно

$$y = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i \right) + \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i X_{1i} \right) \cdot \Delta x_1 \cdot x_1 + \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i X_{2i} \right) \cdot \Delta x_2 \cdot x_2 - \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i X_{1i} \right) \cdot \Delta x_1 \cdot x_{01} - \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i X_{2i} \right) \cdot \Delta x_2 \cdot x_{02} \quad (4.18)$$

Прийнявши

$$b'_0 = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i \right) - \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i X_{1i} \right) \cdot \Delta x_1 \cdot x_{01} - \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i X_{2i} \right) \cdot \Delta x_2 \cdot x_{02};$$

$$b'_1 = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i X_{1i} \right) \cdot \Delta x_1; \quad (4.19)$$

$$b'_2 = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \bar{y}_i X_{2i} \right) \cdot \Delta x_2,$$

отримаємо

$$y = b'_0 + b'_1 \cdot x_1 + b'_2 \cdot x_2 \quad (4.20)$$

де b'_0, b'_1, b'_2 - коефіцієнти рівняння регресії з натуральними факторами.

4.2. ХІД РОБОТИ



На основі експериментальних даних ефекту прояснення води у відстійнику від каламутності води, що обробляється, x_1 і швидкості руху води у відстійнику x_2 необхідно:

1. Перевірити відтворюваність дослідів;

Таблиця 4.5.

Результати розрахунків дисперсій та ефектів прояснення води

Позначення	Пояснення	Значення					Сума
i	№ дослідів						x
X_{0i}	Значення кодового фактору 0						x
X_{1i}	Значення кодового фактору 1						x
X_{2i}	Значення кодового фактору 2						x
x_{1i} , мг/л	Значення натурального фактору 1						x
x_{2i} , мм/с	Значення натурального фактору 2						x
y_{1i}	Ефект прояснення води в досліді 1						x
y_{2i}	Ефект прояснення води в досліді 2						x
\bar{y}_i	Середній ефект прояснення паралельних дослідів						x
$X_{0i} \cdot \bar{y}_i$							
$X_{1i} \cdot \bar{y}_i$							
$X_{2i} \cdot \bar{y}_i$							
$X_{1i} \cdot X_{2i} \cdot \bar{y}_i$							
$(y_{1i} - \bar{y}_i)^2$							x
$(y_{2i} - \bar{y}_i)^2$							x
S_i^2	Дисперсія серії паралельних дослідів						
Модель виду $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$							
y_{pi}	Ефект прояснення, визначений за рівнянням регресії						x
$\left(y_{pi} - \bar{y}_i \right)^2$	Середньоквадратичне відхилення						

Модель виду $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2$

y_{pi}	Ефект прояснення, визн. за рівн. регресії							x
$\left(y_{pi} - \bar{y}_i \right)^2$	Середньоквадратичне відхилення							

2. Визначити коефіцієнти регресійного рівняння, прийнявши лінійну двофакторну модель: $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$. Провести аналіз отриманих коефіцієнтів (як вони впливають на ефект очищення і в якій мірі);

3. Визначити значимість коефіцієнтів;

4. Знайти математичний опис процесу в околі точки факторного простору $x_{01} = 75$ мг/л; $x_{02} = 22,5$ мм/с;

5. Перевірити адекватність отриманої математичної моделі (регресійного рівняння). У випадку її неадекватності прийняти регресійне рівняння виду $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2$;

6. Виконати аналіз отриманої математичної моделі;

7. Побудувати графік залежності ефекту прояснення води у відстійнику від каламутності води, що обробляється, і швидкості руху води у відстійнику в області проведених експериментальних даних;

8. Оформити звіт в текстову редакції Word.

Виконання розрахунків зручно проводити в табличній формі (табл. 4.5, 4.6).

Таблиця 4.6.

Результати розрахунків коефіцієнтів та критеріїв

G_p	=		/				=	
$q(G_m)$	=		-				=	
G_m							=	
висновок про відтворюваність дослідів								
b_0	=	1	/		*		=	
b_1	=	1	/		*		=	
b_2	=	1	/		*		=	
b_{12}	=	1	/		*		=	
$f(t)$	=		*				=	
t							=	
a	=		/		*		=	

b_0	висновок про значимість коефіцієнта
b_1	висновок про значимість коефіцієнта
b_2	висновок про значимість коефіцієнта

Продовження табл.4.6.

b_{12}	висновок про значимість коефіцієнта							
S_{ad}^2			/		*		=	
S_{vid}^2	=		/				=	
$K_{ФР}$	=		/				=	
$K_{АД.}$	=		-				=	
$K_{ВДТ.}$	=		*				=	
$K_{ФТ}$							=	
висновок про адекватність моделі виду $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2$								
S_{ad}^2	=		/		*		=	
S_{vid}^2	=		/				=	
$K_{АД.}$	=		-				=	
$K_{ФР}$	=		/				=	
висновок про адекватність моделі виду $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2$								

4.3. ВИХІДНІ ДАНІ

Таблиця 4.7.

Умови проведення експерименту

Характеристика	x_1 , мг/л	x_2 , мм/с
Основний рівень, x_{0i}	75,0	22,5
Інтервал варіювання, Δx_i	25,0	2,5
Верхній рівень, $x_{i \max}$	100,0	25,0

Нижній рівень, $X_i \min$

50,0

20,0

Таблиця 4.8.

Матриця планування та отримані експериментальні дані

№ досліджу	X_0	План		Ефект прояснення води (дані паралельних дослідів)	
		X_1	X_2	Y_1	Y_2
1	+1	-1	-1	45,0	47,0
2	+1	+1	-1	51,1	48,9
3	+1	-1	+1	41,5	42,5
4	+1	+1	+1	35,1	37,5

4.4. ЛІТЕРАТУРА

1. Рузинов Л.П., Слободчикова Р.И. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. – М.: Химия, 1980. – 280с.

Практична робота № 5. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ШВИДКИХ ФІЛЬТРІВ

Мета роботи: Визначити діаметр засипки для оптимальних умов роботи фільтра ($\tau_3 = \tau_H$) при постійних значеннях інших величин.

5.1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

У практиці водопідготовки методом фільтрування основними параметрами є:

1. Тривалість захисної дії засипки, впродовж якого фільтр забезпечує подачу води потрібної якості, τ_3 ;
2. Час, впродовж якого досягається гранично припустимі втрати тиску (напору) води в шарі засипки, τ_H .

Наприкінці 50-х років минулого сторіччя Д.М.Мінцем було вирішена задача визначення величин τ_3 і τ_H з урахуванням основних факторів, що впливають на процес фільтрування. Використовуючи критерії подібності для процесу прояснення, він одержав два основних рівняння:



$$\tau_3 = \frac{1}{K} \cdot \frac{b}{a} \cdot \left(x - \frac{X_0}{b} \right) \quad (5.1)$$

$$\tau_H = \frac{H_{IP} - h_0}{h_0 \cdot F(A)} \cdot \frac{b}{a} \cdot x \quad (5.2)$$

де x - товщина шару засипки, см. В роботі прийняти $x = 50 + 2.5 \cdot N$; H_{IP} - граничні втрати тиску (напору) води в шарі засипки, см. В роботі прийняти $H_{IP} = 150 + 10 \cdot N$; K , X_0 - параметри фільтрування, значення яких залежать лише від необхідного ефекту прояснення води C/C_0 (C , C_0 - відповідно концентрація забруднень у фільтраті та у вхідній на фільтр воді). Концентрація завислих речовин у питній воді не повинна перевищувати 1,5 мг/л. Тому можна прийняти $C = 1,5$ мг/л. В роботі прийняти $C_0 = 3.0 + 2.3 \cdot N$; h_0 - початкові втрати тиску (напору) в засипці, см. В роботі прийняти $h_0 = 1.05 \cdot v^{1.3} / d^{1.5}$; $F(A)$ - функція, значення якої залежить від величини граничного насичення A . В роботі прийняти $F(A) = 60$; b - параметр, що характеризує інтенсивність прилипання забруднень до зерен засипки і залежної від умов фільтрування; a - параметр фільтрування, що визначає інтенсивність відриву частинок і залежить від умов фільтрування.

Параметр фільтрування b можна визначити за формулою

$$b = \beta \cdot v^{\varepsilon_1} \cdot d^{\lambda_1} = \beta \cdot \frac{1}{v^{0.7} \cdot d^{1.7}} \quad (5.3)$$

де β - розмірний коефіцієнт, що враховує сукупний вплив всіх фізичних і фізико-хімічних властивостей води та суспензії. В роботі прийняти $\beta = 0.56$; v - швидкість фільтрування, м/год. В роботі прийняти $v = 10 - 0.35 \cdot N$; d - діаметр зерен засипки, мм. В роботі прийняти $d = 0.5 - 2.0$ мм; $\varepsilon_1 = -0.7$, $\lambda_1 = -1.7$ - показники степеня.

Таблиця 5.1.

Визначення параметрів фільтрування K , X_0

C/C_0	X_0	K
0,03	4,20	1,86
0,05	3,70	1,69
0,10	3,00	1,51
0,15	2,20	1,45



0,20	1,80	1,36
0,30	1,20	1,23
0,40	0,92	1,10
0,50	0,70	1,00

Параметр фільтрування a можна визначити за формулою

$$a = \alpha \cdot v^{\varepsilon_2} \cdot d^{\lambda_2} = \alpha \cdot \frac{v}{d} \quad (5.4)$$

де α - коефіцієнт, що враховує сукупний вплив всіх фізичних і фізико-хімічних властивостей води та суспензії. В роботі прийняти $\alpha = 0.87$; $\varepsilon_2 = 1.0$, $\lambda_2 = -1.0$ - показники степеня.

5.2. ХІД РОБОТИ

В роботі необхідно:

1. На основі порядкового номера студента в списку, визначити вихідні дані для розрахунків;
2. Побудувати графіки залежності $\tau_3 = f(d)$, $\tau_H = f(d)$. Зробити висновки;
3. Графічно визначити діаметр засипки для оптимальних умов роботи фільтра ($\tau_3 = \tau_H$);
4. Оформити звіт в текстову редакторі Word.

Розрахунки для побудови графіків $\tau_3 = f(d)$, $\tau_H = f(d)$ зручно проводити в табличній формі (див. табл. 5.2)

Таблиця 5.2.

d , мм	b	a	h_0 , см	τ_3 , год.	τ_H , год.
0,50					
0,75					
1,00					
1,25					
1,50					
1,75					
2,00					

5.3. ЛІТЕРАТУРА

1. Орлов В.О. Водоочисні фільтри із зернистою засипкою. – Рівне: НУВГП, 2005. – 163.
2. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды. – М.: Изд-во лит. по строительству, 1964. - 156с.