МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

КАФЕДРА ВОДОПОСТАЧАННЯ, ВОДОВІДВЕДЕННЯ ТА ГІДРАВЛІКИ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

 **ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ З ДИСЦИПЛІНИ**

«**МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ МЕРЕЖ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ»**

**для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»**

**освітньо-наукової програми «Водопостачання та водовідведення»**

**денної та заочної форм навчання**

Дніпро

 2023

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Моделювання та прогнозування стану мереж водопостачання та водовідведення» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-наукової програми «Водопостачання та водовідведення» денної та заочної форм навчання / Укладачі: Шарков В. В., Семенов І. І., Дніпро: ПДАБА, 2023. – 29 с.

Дисципліна «Моделювання та прогнозування стану мереж водопостачання та водовідведення» є частиною курсу підготовки студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-наукової програми «Водопостачання та водовідведення», вивчає методи прогнозування стану мереж водопостачання та водовідведення на основі моделювання процесів та подій пов’язаних з експлуатацією споруд систем водопостачання та водовідведення.

 Метою курсової роботи «Моделювання та прогнозування стану мереж водопостачання та водовідведення» є надбання студентами знань в області моделювання та прогнозування процесів пов’язаних з експлуатацією споруд систем водопостачання та водовідведення. Виконання курсової роботи надасть практичних навичок у моделюванні процесів та прогнозуванні стану об’єктів для їх ефективного та надійного функціонування, уміння користуватися нормативною та довідковою літературою.

Укладачі:

 ШАРКОВ В. В., к.т.н., доцент кафедри водопостачання,

 водовідведення та гідравліки ПДАБА

 СЕМЕНОВ І. І., зав. лабораторії кафедри водопостачання,

 водовідведення та гідравліки ПДАБА

Відповідальний за випуск:

 НАГОРНА О. К., к.т.н., доцент, зав. кафедри водопостачання,

 водовідведення та гідравліки ПДАБА

Рецензент: ТКАЧОВА В. В., к.т.н., доцент кафедри опалення, вентиляції,

 кондиціювання та теплогазопостачання ПДАБА

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

на засіданні кафедри водопостачання, водовідведення та гідравліки

Протокол № 2 від 30.08.2023 р.

Завідувач кафедри Олена НАГОРНА

**РЕКОМЕНДОВАНО ДО ДРУКУ**

Навчально-методичною радою ПДАБА

Протокол № 1 від 21.09.2023 р.

**ЗМІСТ**

Вступ……………………………………………………………….......................3

Мета курсового проектування…………………………………………………..4

Тематика курсових робіт………………………………………………………..4

Структура та зміст курсової роботи……………………………………………5

1.Прогнозування…………………………………………………………………5

1.1.Опис показників групи даних спостережень……………………….……...6

1.2.Використання критеріїв для визначення зв’язків між статистичними даними……………………………………………………………………………7

2.Моделювання…………………………………………………………………15

2.1.Моделювання напірних характеристик трубопроводу при змінах витрат води………...........................................................................................................15

2.2.Моделювання залежності дебіту свердловини від величини зниження стичного рівня води…………………………………………………………….19

3. Прогнозування величин за допомогою емпіричних формул……………..23

3.1. Зв’язок величин з залежністю $y=a+bx+10^{c+dx}$……………………23

3.2. Зв’язок величин з залежністю $\frac{1}{Y}=a+\frac{b}{X}$…...……………………………26

Вимоги до оформлення курсової роботи……………………………………..28

Організація проектування і захист роботи……………………………………28

Критерії оцінювання курсової роботи………………………………………...28

Перелік літератури……..………………………………………………………29

**ВСТУП**

Системи водопостачання та водовідведення експлуатуються в складних умовах, їх елементи працюють з великим навантаженням та інтенсивністю, що призводить до відмов та аварій. Такі складні та важливі технічні об’єкти потребують постійної уваги для своєчасного обслуговування, ремонтів та поновлення робочого стану.

Для цього використовуються заходи в рамках модернізації, реконструкції, оптимізації, інтенсифікації функціонування об’єктів систем водопостачання та водовідведення та їх виробничих процесів.

Передумовами початку таких заходів є аналіз вихідних даних та зауважень щодо стану споруд та ефективності їх роботи, натурне вивчення проблем шляхом збору та аналізу статистичних даних, розробка математичних моделей функціонування елементів систем окремо та в складі систем, представлення пропозицій вирішення поставлених задач та розробка проектів поновлення та покращення їх робочих можливостей.

Зібрані статистичні дані, пов’язані з експлуатацією систем, математичні моделі, які описують особливості функціонування та реагування параметрів споруд на експлуатаційні зміни та сторонні чинники впливу, дозволяють прогнозувати стан об’єктів систем водопостачання та водовідведення підтримуючі їх експлуатаційні можливості на високому рівні.

**МЕТА КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ**

Метою курсової роботи єзасвоєння знань в області аналізу та прогнозування стану водопровідних та каналізаційних мереж, моделювання спроможності їх надійної та безаварійної роботи, ефективної економічної експлуатації, налагодження, реконструкції та модернізації систем водопостачання та водовідведення.

Завданням роботи є вивчення основних методів збору та обробки статистичних даних, які є факторами надійної та безаварійної роботи систем водопостачання та водовідведення, визначення їх статистичних закономірностей, сукупностей та ознак, надбання знань для моделювання стану мереж та обладнання в різних режимах роботи (етапи побудови моделей, мета моделювання, вибір цільових функцій та граничних умов, достовірність результатів), ознайомлення з основами системи технічної діагностики елементів систем водопостачання та водовідведення, з напрямками використання результатів проведених аналізів та прогнозування стану систем в цілому та окремих їх елементів.

**ТЕМАТИКА КУРСОВИХ РОБІТ**

Тематика курсових робіт пов’язана з особливостями обладнання систем водопостачання та водовідведення, включає розв’язання задач по моделюванню процесів та прогнозуванню стану об’єктів та їх експлуатаційних параметрів:

- прогнозування аварійності водопровідних мереж з залежності від часу експлуатації, діаметрів трубопроводів та тиску;

- прогнозування аварійності мереж водовідведення від часу експлуатації та діаметрів трубопроводів;

- прогнозування напірних характеристик водопровідних мереж при змінах витрат та діаметрів;

- прогнозування напірних та витратних характеристик водопровідних мереж в процесі збільшення шорсткості внутрішньої поверхні;

- моделювання змін дебіту водозабірних свердловин в процесі їх експлуатації;

- моделювання змін напору в мережі при змінах витрат води;

- моделювання змін об’ємів ємностей при змінах режимів роботи насосних станцій;

- моделювання змін якості води при змінах розмірів зон санітарної охорони джерел водопостачання.

Тему курсової роботи та вихідні матеріали для проектування призначає викладач.

**СТРУКТУРА ТА ЗМІСТ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

Курсова робота виконується в вигляді пояснювальної записки об’ємом 20-25 аркушів.

Записка ділиться на дві частини за тематикою питань, які розглядаються в роботі: прогнозування стану елементів систем та моделювання їх роботи в визначених технічних межах.

**1.ПРОГНОЗУВАННЯ**

Прогноз - це ймовірне, аргументоване, науково обгрунтоване (тобто основане на системі фактів, доказів) судження про стан будь-якого об'єкта (процесу, явища) в визначений момент часу в майбутньому і/або альтернативних шляхах і термінах досягнення яких-небудь результатів.

Прогнозування зобов'язане відповісти на два питання: чого ймовірніше всього можна очікувати в майбутньому і яким чином потрібно впливати на умови, щоб досягнути заданої мети (стану).

 В загальному виді робота по складанню прогнозу полягає в тому, щоб на основі наявної інформації про стан об'єкта в минулому ("передісторії"),   тенденціях   і   закономірностях,   що   склалися,   та   з використанням необхідного інструментарію одержати інформацію про стан об'єкта (процесу, явища) в майбутньому.

Важливе теоретичне і практичне значення має науково обгрунтована типологія (класифікація) прогнозів, яка будується в залежності від різних критеріїв і ознак. До числа найбільш важливих з них відносяться: масштаб прогнозування, функції прогнозу, характер об'єкта та ін.

Для прогнозування проводиться збір даних та їх статистичний аналіз. Найбільш популярний спосіб опису наявних кількісних даних полягає у визначенні наступних показників:

- кількість спостережень у вибірці або її обсяг;

- середня величина (середнє арифметичне);

- стандартне відхилення (показник того, наскільки широко змінюються значення змінних).

Завершивши опис груп, потрібно відповісти питанням про їх взаємовідносини і можливість узагальнення результатів дослідження.

Для цього використовуються доказові методи.

Завдання тестування гіпотез можна поділити на дві групи. Перша група відповідає питанням, чи є різниці між групами за рівнем деяких показників, наприклад, різниці у кількості аварій на трубопроводах сталевих і пластмасових. Друга група дозволяє довести наявність зв'язку між двома або більше показниками, наприклад, відмінності у кількості аварій засувок на сталевих та пластмасових трубопроводах з терміном служби до 10 років та від 10 років і вище.

**1.1.Опис показників групи даних спостережень**

Обробка ряду статистичних даних, наприклад, результатів записів в журналі фіксації аварій каналізаційних мереж, які потребували розробки ґрунту, проводиться у табличному вигляді (табл. 1).

Таблиця 1

**Таблиця обробки статистичних даних**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вихідні дані | Перша обробка | Друга обробка |
| № варіанту | Кількістьаварій, $Х\_{і}$, од. | $$\overbar{Х} - Х\_{і}$$ | $$\overbar{(Х} - Х\_{і})^{2}$$ | $$Х\_{і}$$ | $$\overbar{Х} - Х\_{і}$$ | $$\overbar{(Х} - Х\_{і})^{2}$$ |
| 1 |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |
| -- |  |  |  |  |  |  |
| Разом |  |  |  |  |  |  |

1.Середнє арифметичне значення членів ряду статистичних даних:

 $\overbar{Х}$ = $Х\_{і}$/n, (1)

де $Х\_{і}$- кількість аварій за період спостережень, од.;

 n- кількість періодів спостережень.

2.Обробка ряду статистичних даних передбачає створення нового ряду за рахунок врахування середньоарифметичного значення
$\overbar{Х} - Х\_{і}$ та $ \overbar{(Х} - Х\_{і})^{2}$.

3.Найбільша можлива помилка окремих спостережень:

 $Δ=\left|3\sqrt{\frac{\sum\_{}^{}\overbar{(Х} – Х\_{і})^{2}}{n-1}}\right|$ (2)

Порівнюючи найбільшу можливу помилку з відхиленнями визначаємо варіант який треба виключити з аналізу, як не якісний ($\left|\overbar{(Х} - Х\_{і})\right| $>$ Δ$).

4.Наступна обробка даних ряду статистичних даних проводиться без врахування членів, які виключені з аналізу.

5.Перевірка членів ряду даних проводиться визначенням відхилення окремих даних від середньо арифметичного значення членів ряду.

6. При виконанні умови ($\left|\overbar{(Х} - Х\_{і})\right| $<$ Δ$) всі варіанти повинні враховуватися при аналізі сукупності даних:

 $σ\_{о}=\sqrt{\frac{\sum\_{}^{}\overbar{(Х} – Х\_{і})^{2}}{n\*(n-1)}}$ (3)

7.Результати обробки даних можливо записати одним з наступних способів:

$\overbar{Х}$ ± $σ\_{о}$; $\overbar{Х}$ \*(1 ± $σ\_{о}$); $\overbar{Х}$, з точністю $σ\_{о}$%

8.Вірогідна помилка окремих даних:

 $r=0.675σ$ (4)

9.Міра точності окремих даних та міра точності середнього арифметичного значення:

 $h=\sqrt{\frac{n-1}{2\sum\_{}^{}\overbar{(Х} – Х\_{і})^{2}}}$ (5)

 $H=h\sqrt{n}$ (6)



Рис. 1. Кількість аварій за варіантами спостережень

**1.2.Використання критеріїв для визначення зв’язків між статистичними даними**

Експлуатація обладнання систем водопостачання та водовідведення супроводжується аваріями елементів, які потребують ремонту чи повної заміни. Для визначення надійності елементів (наприклад засувок) проводиться їх експериментальне дослідження навантаженням чи аналізом їх стану при експлуатації.

Період безаварійної роботи засувок перевіряється відкриттям та закриттям прохідного отвору шляхом переміщенням запірної частини.

В одній серії експерименту випробуванню піддали 10 засувок, при якому 5 були зламані.

В другій серії випробуванню піддали 20 засувок, при якому 14 засувок були зламані.

Визначити, чи є відмінність якості груп засувок, які використовувалися в двох серіях випробувань.

**1.2.1.Використання критерію Пірсона χ2**

Для визначення випадковості або не випадковості відмінності появи деяких випадків від очікуваних значень, використовують χ2критерій.

За міру розходження між теоретичною та частотою, що спостерігається приймають число

 $χ^{2}=\sum\_{}^{}\left[\frac{(Ф-Е)^{2}}{Е}\right]$ , (7)

де Ф – фактично отримане значення частоти; Е – частота, яку очікують.

Так, як випробуванню піддали 30 засувок (з них зламаними виявили 19), то вірогідність того, що засувка буде зламаною, дорівнює величині 19/30, а вірогідність того що вона буде в робочому стані 11/30.

Теоретичне число зламаних засувок в першій серії:

(19/30) \* 10 = 6,33,

в другій серії

(19/30) \* 20 =12,66

Теоретичне число робочих засувок в першій серії дорівнює

(11/30) \* 10 = 3,66,

в другій серії

(11/30) \* 20 =7,33

При цьому, критерій $χ^{2}$

$$χ^{2}= \frac{(5-6,33)^{2}}{6,33}+\frac{(14-12,66)^{2}}{12,66}+\frac{(5-3,66)^{2}}{3,66}+\frac{(6-7,33)^{2}}{7,33}=1,15$$

Для визначення вірогідності не випадковості визначається число ступенів свободи, яке задається як число класів ( в нашому випадку - 2 класи: клас зламаних засувок та клас робочих). Однак, задавши чисельність одного класу, автоматично визначаємо чисельність іншого. Тому число ступенів свободи дорівнюється 1.

Для $χ^{2}$ та одного ступеню свободи, знаходимо, що вірогідність нашої теорії дорівнює 0,7 (табл.2).

Так, як величина 0,7 не є малою, то на снові проведених випробувань не можливо стверджувати, що маємо різницю в якості використовуваних засувок.

При рішенні подобних задач вірогідність рахується малою, якщо вона менша за 0,05 (п’ятивідсотковий рівень значимості).

**1.2.2.Використання критерію Фішера**

При визначенні кількості хлору, %, в двох водяних розчинах використані два методи, результати яких представлені в табл.3 рядами спостережень Ха та Хб. Перевірити, чи є різниця між двома методами вимірювань.

Критерій Фішера (F) використовується при зрівнянні точності двох рядів вимірювань. Функція F є відношення дисперсій вибірок:

 $F=\frac{σ\_{1}^{2}}{σ\_{2}^{2}}$ (8)

Зазвичай в чисельнику формули знаходиться більша дисперсія.

Таблиця 3

**Таблиця обробки статистичних даних**

|  |  |
| --- | --- |
| Метод А | Метод Б |
| Ха | Ха1 | Ха12 | Хб | Хб1 | Хб12 |
| 27,5 | 0,5 | 0,25 | 27,9 | 7,9 | 62,41 |
| 27,0 | 0 | 0 | 26,5 | 6,5 | 42,25 |
| 27,3 | 0,3 | 0,09 | 27,2 | 7,2 | 51,84 |
| 27,6 | 0,6 | 0,36 | 26,3 | 6,3 | 39,69 |
| 27,8 | 0,8 | 0,64 | 27,0 | 7,0 | 49 |
|  |  |  | 27,4 | 7,4 | 54,76 |
|  |  |  | 27,3 | 7,3 | 53,29 |
|  |  |  | 26,8 | 6,8 | 46,24 |
| Разом | 2,2 | 1,34 |  | 56,4 | 399,48 |

Шляхом віднімання деяких величин, наприклад, 27% від кожного значення Хаі методу А, та 20% від значень Хбj методу Б, отримуємо нові ряди статистичних даних Ха1 та Хб1.

Віднімати можливо любу величину, щоб у підсумку не були отримані від’ємні значення.

Для обчислення дисперсій рядів статистичних даних визначаються їх суми та суми їх квадратів:

 $\sum\_{}^{}Х\_{а}$=2,2 $\sum\_{}^{}Х\_{а}^{2}$= 1,34

 $\sum\_{}^{}Х\_{б}$=56,4 $\sum\_{}^{}Х\_{б}^{2}$= 399,48

Дисперсії кожного ряду:

 $ σ\_{а}^{2}=\frac{\sum\_{}^{}Х\_{а}^{2}- \frac{(\sum\_{}^{}Х\_{а})^{2}}{n}}{n-1}$=0.093 (9)

 $ σ\_{б}^{2}=\frac{\sum\_{}^{}Х\_{б}^{2}- \frac{(\sum\_{}^{}Х\_{б})^{2}}{n}}{n-1}$=0.266 (10)

При цьому, критерій Фішера дорівнює

$F$= 0.266/0093 =2.86

В таблиці значень F знаходимо Fтабл=6,09 на перетинанні графи та стовпчика зі ступенями свободи 4 та 8.

Для методу А- 4 ступеня свободи (було 5 варіантів, залишилося 4).

Для методу Б**-** 8 ступенів свободи.

Так як, знайдене в таблиці значення 6,04 більше 2,86, то наше припущення, що обидва методи вимірювання концентрації хлору мають рівні характеристики.

Таблиця 4

Таблиця значень критерію Фішера

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ступені свободи | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 12 | 24 |
| 1 | 161,4 | 199,50 | 215,72 | 224,57 | 230,17 | 233,97 | 238,89 | 243,91 | 249,04 |
| 2 | 18,51 | 19,00 | 19,16 | 19,25 | 19,30 | 19,33 | 19,37 | 19,41 | 19,45 |
| 3 | 10,13 | 9,55 | 9,28 | 9,12 | 9,01 | 8,94 | 8,84 | 8,74 | 8,64 |
| 4 | 7,71 | 6,94 | 6,59 | 6,39 | 6,26 | 6,16 | 6,04 | 5,91 | 5,77 |
| 5 | 6,61 | 5,79 | 5,41 | 5,19 | 5,05 | 4,95 | 4,82 | 4,68 | 4,53 |
| 6 | 5,99 | 5,14 | 4,76 | 4,53 | 4,39 | 4,28 | 4,15 | 4,00 | 3,84 |
| 7 | 5,59 | 4,74 | 4,35 | 4,12 | 3,97 | 3,87 | 3,73 | 3,57 | 3,41 |
| 8 | 5,32 | 4,46 | 4,07 | 3,84 | 3,69 | 3,58 | 3,44 | 3,28 | 3,12 |
| 9 | 5,12 | 4,26 | 3,86 | 3,63 | 3,48 | 3,37 | 3,23 | 3,07 | 2,90 |
| 10 | 4,96 | 4,10 | 3,71 | 3,48 | 3,33 | 3,22 | 3,07 | 2,91 | 2,74 |
| 11 | 4,84 | 3,98 | 3,59 | 3,36 | 3,20 | 3,09 | 2,95 | 2,79 | 2,61 |
| 12 | 4,75 | 3,88 | 3,49 | 3,26 | 3,11 | 3,00 | 2,85 | 2,69 | 2,50 |
| 13 | 4,67 | 3,80 | 3,41 | 3,18 | 3,02 | 2,92 | 2,77 | 2,60 | 2,42 |
| 14 | 4,60 | 3,74 | 3,34 | 3,11 | 2,96 | 2,85 | 2,70 | 2,53 | 2,35 |
| 15 | 4,54 | 3,68 | 3,29 | 3,06 | 2,90 | 2,79 | 2,64 | 2,48 | 2,29 |
| 16 | 4,49 | 3,63 | 3,24 | 3,01 | 2,85 | 2,74 | 2,59 | 2,42 | 2,24 |
| 17 | 4,45 | 3,59 | 3,20 | 2,96 | 2,81 | 2,70 | 2,55 | 2,38 | 2,19 |
| 18 | 4,41 | 3,55 | 3,16 | 2,93 | 2,77 | 2,66 | 2,51 | 2,34 | 2,15 |
| 19 | 4,38 | 3,52 | 3,13 | 2,90 | 2,74 | 2,63 | 2,48 | 2,31 | 2,11 |
| 20 | 4,35 | 3,49 | 3,10 | 2,87 | 2,71 | 2,60 | 2,45 | 2,28 | 2,08 |

**1.2.3.Використання критерію Стьюдента**

Чи є обґрунтованим припущення, що кількість аварій на водоводі залежить від зменшення тиску лише на 1 м.в.ст. від номінального.

 Визначаємо середні арифметичні значення членів рядів спостережень та їх дисперсії:

$\overbar{Х\_{1}}$= 17,58 $\overbar{Х\_{2}}$= 17,18

Таблиця 2

**Розподілення Пірсона** $χ^{2}$

|  |  |
| --- | --- |
| Ступеньсвободи | Рівень значимості |
| 0,01 | 0,025 | 0,05 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,95 | 0,975 | 0,99 |
| 1 | 0,0002 | 0,0010 | 0,0039 | 0,0158 | 0,0642 | 0,1485 | 0,2750 | 0,4549 | 0,7083 | 1,0742 | 1,6424 | 2,7055 | 3,8415 | 5,0239 | 6,6349 |
| 2 | 0,0201 | 0,0506 | 0,1026 | 0,2107 | 0,4463 | 0,7133 | 1,0217 | 1,3863 | 1,8326 | 2,4079 | 3,2189 | 4,6052 | 5,9915 | 7,3778 | 9,2103 |
| 3 | 0,1148 | 0,2158 | 0,3518 | 0,5844 | 1,0052 | 1,4237 | 1,8692 | 2,3660 | 2,9462 | 3,6649 | 4,6416 | 6,2514 | 7,8147 | 9,3484 | 11,3449 |
| 4 | 0,2971 | 0,4844 | 0,7107 | 1,0636 | 1,6488 | 2,1947 | 2,7528 | 3,3567 | 4,0446 | 4,8784 | 5,9886 | 7,7794 | 9,4877 | 11,1433 | 13,2767 |
| 5 | 0,5543 | 0,8312 | 1,1455 | 1,6103 | 2,3425 | 2,9999 | 3,6555 | 4,3515 | 5,1319 | 6,0644 | 7,2893 | 9,2364 | 11,0705 | 12,8325 | 15,0863 |
| 6 | 0,8721 | 1,2373 | 1,6354 | 2,2041 | 3,0701 | 3,8276 | 4,5702 | 5,3481 | 6,2108 | 7,2311 | 8,5581 | 10,6446 | 12,5916 | 14,4494 | 16,8119 |
| 7 | 1,2390 | 1,6899 | 2,1673 | 2,8331 | 3,8223 | 4,6713 | 5,4932 | 6,3458 | 7,2832 | 8,3834 | 9,8032 | 12,0170 | 14,0671 | 16,0128 | 18,4753 |
| 8 | 1,6465 | 2,1797 | 2,7326 | 3,4895 | 4,5936 | 5,5274 | 6,4226 | 7,3441 | 8,3505 | 9,5245 | 11,0301 | 13,3616 | 15,5073 | 17,5345 | 20,0902 |
| 9 | 2,0879 | 2,7004 | 3,3251 | 4,1682 | 5,3801 | 6,3933 | 7,3570 | 8,3428 | 9,4136 | 10,6564 | 12,2421 | 14,6837 | 16,9190 | 19,0228 | 21,6660 |
| 10 | 2,5582 | 3,2470 | 3,9403 | 4,8652 | 6,1791 | 7,2672 | 8,2955 | 9,3418 | 10,4732 | 11,7807 | 13,4420 | 15,9872 | 18,3070 | 20,4832 | 23,2093 |

Таблиця 5

**Таблиця обробки статистичних даних**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Кількість аварій при номінальному тиску, Х1, од. | Х12 | Кількість аварій при зниженні тиску, Х2, од. | Х22 |
| 1 | 17,5 | 306,25 | 17,0 | 289 |
| 2 | 17,8 | 316,84 | 17,0 | 289 |
| 3 | 17,4 | 302,76 | 17,4 | 302,76 |
| 4 | 17,5 | 306,25 | 17,0 | 289 |
| 5 | 17,7 | 313,29 | 17,3 | 299,29 |
| Σ | 87,9 | 1545,39 | 85,9 | 1475,89 |

 $σ\_{1}=\sqrt{\frac{\sum\_{}^{} Х\_{1}^{2}}{n-1}-\frac{(\sum\_{}^{} Х\_{1})^{2}}{n\*(n-1)}}$ = $\sqrt{0,027}$ (11)

 $σ\_{2}=\sqrt{\frac{\sum\_{}^{} Х\_{2}^{2}}{n-1}-\frac{(\sum\_{}^{} Х\_{2})^{2}}{n\*(n-1)}}$ = $\sqrt{0,032}$ (12)

При цьому критерій Стьюдента дорівнює:

$$ t=\frac{\overbar{Х\_{1}}-\overbar{Х\_{2}}}{\sqrt{\frac{σ\_{1}^{2}}{n}+\frac{σ\_{2}^{2}}{n}}}=\frac{17.58-17.18}{\sqrt{\frac{0.027}{5}+\frac{0.032}{5}}}=\frac{0.4}{0.109}≈3.67 (13)$$

Звертаючись до таблиці критерію Стьюдента, знаходимо, що при ступенях свободи k=8 (з 5 даних 4- незалежні для кожної з груп) величина 3,67 відповідає вірогідності Р=0,01.

Різниці даних вважаються вірогідними, починаючи із значення P < 0,05, тобто у тих випадках, коли ймовірність різниці понад 95%, коли за правильність висновку маємо 95 шансів із 100.

При P < 0,01 вірогідність різниці вища 99%, а при P < 0,001 – більша 99,9%.

Таким чином, припущення про зменшення кількості аварій при зниженні тиску на незначну величину в 1 м.в.ст. є обгрунтованим.

**1.3.Використання методу парної кореляції**

Аналіз ділянок водопровідних мереж водопроводу, в складі яких використовуються фасонні частини виробника (А), показав аварійність вищу, ніж на аналогічних ділянках з фасонними частинами інших виробників (Б).

Тому, маємо підставу очікувати, що зібрані статистичні дані знаходяться в зв’язку друг з другом. Підтвердити дане припущення.

Парна кореляція дозволяє оцінити зв’язок між двома признаками, в нашому випадку між аварійністю ділянок з різними постачальниками фасонних частин.

Обробку даних для методу парної кореляції зручно проводити в вигляді таблиці (табл.7), де ряди даних статистичних спостережень наведені в колонках X та Y.

Таблиця 6

**Таблиця критерію Стьюдента**

|  |  |
| --- | --- |
| Ступінь свободи | Вірогідність |
| P = 0,5 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,001 |
| 1 | 1,000 | 3,078 | 6,314 | 12,706 | 31,821 | 63,657 | 637,59 |
| 2 | 0,816 | 1,886 | 2,920 | 4,303 | 6,965 | 9,925 | 31,60 |
| 3 | 0,765 | 1,638 | 2,353 | 3,182 | 4,541 | 5,841 | 12,94 |
| 4 | 0,741 | 1,533 | 2,132 | 2,776 | 3,747 | 4,604 | 8,61 |
| 5 | 0,727 | 1,476 | 2,015 | 2,571 | 3,365 | 4,032 | 6,86 |
| 6 | 0,718 | 1,440 | 1,943 | 2,447 | 3,143 | 3,707 | 5,96 |
| 7 | 0,711 | 1,415 | 1,895 | 2,365 | 2,998 | 3,499 | 5.31 |
| 8 | 0,706 | 1,397 | 1,860 | 2,306 | 2,896 | 3,355 | 5,04 |
| 9 | 0,703 | 1,333 | 1,833 | 2,262 | 2,321 | 3,250 | 4,78 |
| 10 | 0,700 | 1,372 | 1,812 | 2,223 | 2,764 | 3,169 | 4,59 |
| 11 | 0,697 | 1,363 | 1,796 | 2,201 | 2,718 | 3,106 | 4,44 |
| 12 | 0,695 | 1,356 | 1,782 | 2,179 | 2,613 | 3,055 | 4,32 |
| 13 | 0,694 | 1,350 | 1.771 | 2,160 | 2,650 | 3,012 | 4,22 |
| 14 | 0,692 | 1,345 | 1,761 | 2,145 | 2,624 | 2,977 | 4,14 |
| 15 | 0.691 | 1,341 | 1,753 | 2,131 | 2.602 | 2,947 | 4,07 |
| 16 | 0,690 | 1,337 | 1,746 | 2,120 | 2,583 | 2,921 | 4,02 |
| 17 | 0,89 | 1,333 | 1,740 | 2,110 | 2,567 | 2,858 | 3,96 |
| 18 | 0,688 | 1,330 | 1,734 | 2,101 | 2,552 | 2,878 | 3,92 |
| 19 | 0,686 | 1,328 | 1,729 | 2,093 | 2,539 | 2,861 | 3,88 |
| 20 | 0,687 | 1,325 | 1,725 | 2,066 | 2,528 | 2,845 | 3,85 |
| 21 | 0,686 | 1,323 | 1,721 | 2,080 | 2,518 | 2,831 | 3,82 |
| 22 | 0,686 | 1,321 | 1,717 | 2,074 | 2,503 | 2,19 | 3,79 |
| 23 | 0,685 | 1,319 | 1.714 | 2,069 | 2,500 | 2,807 | 3.77 |
| 24 | 0,685 | 1,318 | 1,711 | 2,064 | 2,492 | 2,797 | 3,75 |
| 25 | 0,684 | 1,316 | 1,708 | 2,060 | 2,495 | 2,737 | 3.73 |
| 26 | 0,684 | 1,315 | 1,706 | 2,056 | 2,479 | 2,779 | 3,71 |
| 27 | 0,684 | 1,314 | 1,703 | 2,052 | 2,473 | 2.771 | 3,69 |
| 28 | 0,683 | 1,313 | 1,701 | 2,048 | 2,467 | 2,763 | 3,67 |
| 29 | 0,683 | 1,311 | 1,699 | 2,045 | 2,462 | 2,756 | 3,66 |
| 30 | 0,683 | 1,310 | 1,697 | 2,042 | 2,457 | 2,750 | 3,64 |

Останні дві колонки використовують для перевірки розрахунків:

 $\sum\_{}^{}(X+Y)^{2}=\sum\_{}^{}X^{2}+\sum\_{}^{}Y^{2}+2\sum\_{}^{}XY=$27175 + 3182 + 2\*9228 = 48813 (14)

Таблиця 7

**Таблиця обробки статистичних даних**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| X | Y | X2 | Y2 | XY | X+Y | (X+Y)2 |
| 67 | 24 | 4489 | 576 | 1608 | 91 | 8281 |
| 54 | 15 | 2916 | 225 | 810 | 69 | 4761 |
| 72 | 23 | 5184 | 529 | 1656 | 95 | 9025 |
| 64 | 19 | 4096 | 361 | 1216 | 83 | 6869 |
| 39 | 16 | 1521 | 256 | 624 | 55 | 3025 |
| 22 | 11 | 484 | 121 | 242 | 33 | 1089 |
| 58 | 20 | 3364 | 400 | 1160 | 78 | 6084 |
| 43 | 16 | 1849 | 256 | 688 | 59 | 3481 |
| 46 | 17 | 2116 | 289 | 782 | 63 | 3969 |
| 34 | 13 | 1158 | 169 | 442 | 47 | 2209 |
| **Σ**499 | **Σ** 174 | **Σ** 27175 | **Σ** 3182 | **Σ** 9228 |  | **Σ** 48813 |

Послідовно проводимо статистичну обробку рядів даних:

$\overbar{ X}=\frac{499}{10}=49,9$ $\overbar{Y}=\frac{174}{10}=17,4$

$ σ\_{X}=\sqrt{\frac{\sum\_{}^{}X^{2}}{n}-\overbar{X}^{2}}=\sqrt{\frac{27175}{10}-49,9^{2}}=15,09$ (15)

 $ σ\_{Y}=\sqrt{\frac{\sum\_{}^{}Y^{2}}{n}-\overbar{Y}^{2}}=\sqrt{\frac{3182}{10}-17,4^{2}}=3,93$ (16)

$$ r=\frac{\frac{X\*Y}{n}-\overbar{X}\*\overbar{Y}}{ σ\_{X}\*σ\_{Y}}=\frac{\frac{9228}{10}-49,9\*17,4}{15,09\*3,93}=0,92 (17)$$

Отриманий коефіцієнт кореляції $r=0.92$ достатньо високий (наближається до 1), що вказує на тісний зв’язок між рядами даних X та Y.

Знайдемо рівняння регресії, наприклад, регресію Y по X.

Коефіцієнт регресії Y по X:

$$ y=r\frac{σ\_{Y}}{σ\_{X}}\*x (18)$$

$$r\frac{σ\_{Y}}{σ\_{X}}=0,92\*\frac{3,93}{15,09}=0,24$$

Рівняння регресії:

 $y=\overbar{Y}+r\frac{σ\_{Y}}{σ\_{X}}\*\left(x-\overbar{X}\right)$ (19)

$$y=17,4+0,24\*\left(x-49,9\right)$$

$$y=5,42+0,24\*x$$

**2.МОДЕЛЮВАННЯ**

Потреба моделювання виникає в тих випадках, коли є необхідність прийняття відповідальних і дорогих рішень.

Під моделюванням розуміють заміщення одного об'єкта іншим з метою отримання інформації про найважливіші властивості об'єкта-оригіналу за допомогою об'єкта-моделі. У загальному вигляді моделювання визначається як уявлення досліджуваного об'єкта моделлю для отримання інформації шляхом проведення експериментів.

**Модель**  є представленням об'єкта системи в деякій формі, відмінній від форми реального існування. Модель зазвичай служить засобом, що допомагає в поясненні, розумінні або вдосконаленні системи. Модель є матеріально або теоретично створена система, призначена замінити або представляти об'єкт дослідження в процесі пізнання. Модель повинна бути більш зручною для дослідження. Вивчення моделі і реалізація з її допомогою різних завдань дозволяє отримати інформацію про реальний об'єкт дослідження.

**Цільова функція** показує в якому сенсі рішення повинно бути оптимальним, тобто найкращим. При цьому можливі три види призначення цільової функції: максимізація, мінімізація і досягнення заданого значення.

**Обмеження** встановлюють залежності між змінними, можуть бути односторонніми і двосторонніми.

**Граничні умови** показують, в яких межах можуть бути значення шуканих змінних в оптимальному рішенні.

**2.1.Моделювання напірних характеристик трубопроводу при змінах витрат води**

Визначити максимальну витрату води, яку може пропустити ділянка трубопроводу без конструктивних змін. Побудувати графік залежності втрат напору від витрат води.

Вихідні дані:

Діаметр трубопроводу - 0,3 м.

Довжина трубопроводу - 500 м.

Розрахункова витрати води - 90 л/сек.

Трубопроводи систем розподілення води підбираються за результатами гідравлічного розрахунку. Розрахунок передбачає вибір таких діаметрів трубопроводів, які в змозі пропустити потрібні витрати води з економічно обґрунтованими втратами напору. Таким втратам відповідають швидкості руху води, які лежать в діапазоні 0,7≤ V≤1,5 м/сек. В той же час, допустимі швидкості руху води доходять до 3 м/сек, включно. Вище вказаної величини втрати напору економічно не допустимі.

При експлуатації трубопроводів виникає потреба в збільшенні витрат води без проведення змін діаметрів чи прокладанні додаткових трубопроводів. Рішення такої задачі вимагає визначення витрат води, які в змозі пропустити ділянка трубопроводу без можливого виходу з наведеного діапазону швидкостей руху води або, навіть, з його перевищенням.

Тобто задача пошуку – моделювання чи прогнозування втрат напору та збільшення швидкостей руху води на ділянці водопровідної мережі при збільшенні витрат води.

Рішення задачі передбачає:

- визначення цільової функції, яка найкраще описує процес;

- встановлення обмежень та граничних умов;

- розробка алгоритму рішення задачі;

- аналіз результатів.

В якості цільової функції використаємо формулу Дарсі для визначення втрат напору на ділянці трубопроводу, м:

 $h=λ\frac{l}{d}\frac{V^{2}}{2g}$ , (20)

де $λ$- коефіцієнт гідравлічного тертя, для ненових сталевих труб 0,2;

 $l$- довжина ділянки, м;

 $d$- діаметр трубопроводу, м;

 $V$- швидкість руху води, м/сек.

Якщо, наведена формула цільова, то її функція – мінімізація значень.

 $F(h)\rightarrow min$ (21)

Виходячи з поставленої задачі та незмінності частини складових формули маємо вплив на втрати напору тільки швидкостями руху води.

 $h=f(V)$ (22)

Швидкість руху води може визначатися за формулою витрати води, л/сек:

 $q=wV$ , (23)

 де $w$- площа перерізу труби, м2.

 $q=\frac{πd^{2}}{4}V$ (24)

Звідки $V=\frac{4q}{πd^{2}}$ , м/сек (25)

Тобто, рішення задачі вирішується системою рівнянь

 $ V=\frac{4q}{πd^{2}}$; (26)

 $h=λ\frac{l}{d}\frac{V^{2}}{2g}$ ;

**2.1.1. Алгоритм рішення задачі №1**

Граничні умови:

- максимальна можлива швидкість руху води при збільшеній витраті – не більша 3 м/сек;

- діапазон величини швидкості руху води, при яких проводиться дослідження - 0,7-3 м/сек;

- крок ітерації змін витрати води - 10 л/сек.

Рішення задачі передбачає наступні кроки:

1. задаємося мінімально можливою витратою води - $q$= 90 л/сек;

2. визначаємо швидкість руху води за формулою;

Таблиця 8

**Результати розрахунку**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номер ітерації | Витрата води, q, л/сек | Швидкість руху води, V, м/сек | Втрати напору, h, м |
| 1 | 90 | 1,273885 | 2,757023 |
| 2 | 100 | 1,415428 | 3,403732 |
| 3 | 110 | 1,556971 | 4,118516 |
| 4 | 120 | 1,698514 | 4,901375 |
| 5 | 130 | 1,840057 | 5,752308 |
| 6 | 140 | 1,981599 | 6,671316 |
| 7 | 150 | 2,123142 | 7,658398 |
| 8 | 160 | 2,264685 | 8,713555 |
| 9 | 170 | 2,406228 | 9,836787 |
| 10 | 180 | 2,547771 | 11,02809 |
| 11 | 190 | 2,689314 | 12,28747 |
| 12 | 200 | 2,830856 | 13,61493 |
| 13 | 210 | 2,972399 | 15,01046 |

Рис. 2. Залежність втрат напору в трубопроводі від витрати води в діапазоні швидкостей 1-3 м/сек

3. якщо швидкість руху води не більша за 3 м визначаємо втрату напору, якщо більша – розрахунок завершується;

4. результати розрахунку заносимо в таблицю;

5. якщо швидкість руху води не більша за 3 м/сек задаємося наступною величиною витрати води $q\_{i}$=$ q$+10 л/сек;

6. повторюємо шлях розрахунку з пункту 2;

7. якщо швидкість руху води більша за 3 м розрахунок завершується.

Задаємося мінімальним значенням витрати води п.1

Визначаємо швидкість руху води п.2

Швидкість руху води більша 3м/с

Води

Так

Ні

Визначаємо втрати напору п.3

Зберігаємо інформацію, заповнюючи підсумкову таблицю п.4

Так

Швидкість руху води більша 3 м/с

Води

Ні

Задаємося наступним значенням витрати води п.5

Завершення розрахунку

Рис. 3. Блок-схема визначення втрат напору в трубопроводі при змінах витрат води

Аналіз результатів дослідження свідчить, що залежність втрат напору на ділянці трубопроводу від витрат води характеризується наступним рівнянням:

 $h=0.034q^{2}+0.5446q+2.178 $, м (27)

При цьому, коефіцієнт кореляції R=1.

**2.1.2. Алгоритм рішення задачі №2**

Дану задачу можливо вирішити на основі тій же методичній базі, але змінивши напрямок розрахунків.

При цьому ітерація проводиться зміною швидкостей руху води в інтервалі, наприклад, 1≤ V≤3 м/сек з кроком ітерації 0,2 м/сек. При цьому, розраховується витрата води, яка буде проходити по ділянці трубопроводу та відповідна величина втрат напору.

 $q=\frac{πd^{2}}{4}V$ ; (27)

 $h=λ\frac{l}{d}\frac{V^{2}}{2g}$ ;

Таблиця 9

**Результати визначення втрат напору**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номер ітерації | Витрата води, q, л/сек | Швидкість руху води, V, м/сек | Втрати напору, h, м |
| 1 | 70,65 | 1 | 1,698947 |
| 2 | 84,78 | 1,2 | 2,446483 |
| 3 | 98,91 | 1,4 | 3,329935 |
| 4 | 113,04 | 1,6 | 4,349303 |
| 5 | 127,17 | 1,8 | 5,504587 |
| 6 | 141,3 | 2 | 6,795787 |
| 7 | 155,43 | 2,2 | 8,222902 |
| 8 | 169,56 | 2,4 | 9,785933 |
| 9 | 183,69 | 2,6 | 11,48488 |
| 10 | 197,82 | 2,8 | 13,31974 |
| 11 | 211,95 | 3 | 15,29052 |

 $h=0.034q^{2}+0.5446q+2.178 $, м (28)

При цьому, коефіцієнт кореляції R2=1.

Результати розрахунків такі ж, як при першому алгоритмі, але інформація в результуючих таблицях відрізнятися круглістю величин. Тому, вибір алгоритмів 1 чи 2 залежить від потреб відображення інформації та подальшого використання результатів дослідження.

**2.2.Моделювання залежності дебіту свердловини від величини зниження статичного рівня води**

Визначити можливий дебіт свердловини при зниженні статичного рівня води.

Водоносний шар - напірний.

Потужність водоносного шару - 24 м.

Радіус свердловини - 0,05 м.

Глибина води при динамічному рівні в колодязі - 39 м.

Дебіт одиночної свердловини,яка живиться з напірного водоносного шару, визначається за формулою Дюпюі, м3/доба:

 , (29)

де  - коефіцієнт фільтрації породи, м/доба;

  - потужність водоносного шару, м;

  - величина зниження статичного рівня, м;

  - радіус колодязя, м;

  - радіус впливу колодязя (відстань від центру колодязя до місця, де статичний рівень залишається без змін), м.

Радіус впливу, в залежності від складу порід водоносного пласта і величини зниження рівня води, визначається за формулою:

 , м (30)

Максимальне зниження рівня води в колодязі, яке дозволяє водопідйомному обладнанню експлуатуватися без порушень умов роботи:

 , м (31)

де  - початкова глибина води над підошвою водоносного шару, м;

  - максимальна глибина занурення низу насосу під динамічний рівень води в колодязі, м;

  - втрати напору при вході води в фільтр колодязя, м;  - потужність напірного водоносного шару, м.

Поставлена задача – моделювання та прогнозування величини дебіту свердловини при зниженні рівня води в колодязя. При цьому змінюватися буде не тільки одна з величин пошуку, а й деякі складові, на які вони впливають.



Рис. 4. Розрахункова схема свердловини

Рішення задачі передбачає:

- визначення цільової функції, яка найкраще описує процес;

- встановлення обмежень та граничних умов;

- розробка алгоритму рішення задачі;

- аналіз результатів.

В якості цільової функції використаємо формулу Дюпюі (29) для визначення дебіту одиночної свердловини в напірних водоносних шарах.

Якщо визначена формула цільова, то її функція може бути як мінімізація так і максимізація результатів. Якщо, старт розрахунків починається з максимальних значень Q та S тоді функція пошуку - мінімізація. Якщо з мінімальних - максимізація.

 $F(Q)\rightarrow max$ (32)

Аналізуючи поставлену задачу визначаємо, що на дебіт колодязя впливають тільки величини зниження рівня води та, опосередковано, радіус впливу R через те ж зниження.

 $Q=f(S,R)$ (33)

Тобто, рішення задачі вирішується системою рівнянь

$ Q=2{πkmS}/{ln\frac{R}{r}}$ (34)

 

Допустиме зниження рівня води в колодязі:

Sдоп=39 - 0,3\*24 - 1 - 1=29 м

**Алгоритм рішення задачі**

Граничні умови:

-діапазон зниження рівня води в колодязі 1≤ S≤29 м;

- крок ітерації змін зниження рівня води - 1м.

Рішення задачі передбачає наступні кроки:

1. задаємося мінімально величиною зниження рівня води S = 1 м;

2. визначаємо радіус впливу за формулою;

3. визначаємо дебіт колодязя;

4. заповнюємо результуючу таблицю;

5. якщо S ≤ 29 м задаємося наступною величиною зниження рівня води $S\_{i}$=$ S$+1 м;

6. повторюємо шлях розрахунку з пункту 2;

7. якщо S = 30 м розрахунок завершується.

Таблиця 10

**Результати визначення дебіту колодязя**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номер ітерації | Зниження рівня води, S, м | Радіус впливу, R, м | Дебіт колодязя, Q, м3/доба |
| 1 | 1 | 40 | 1159,696 |
| 2 | 2 | 80 | 1739,544 |
| 3 | 3 | 120 | 2276,412 |
| 4 | 4 | 160 | 2783,27 |
| 5 | 5 | 200 | 3268,635 |
| 6 | 6 | 240 | 3737,631 |
| 7 | 7 | 280 | 4193,581 |
| 8 | 8 | 320 | 4638,784 |
| 9 | 9 | 360 | 5074,906 |
| 10 | 10 | 400 | 5503,207 |
| 11 | 11 | 440 | 5924,665 |
| 12 | 12 | 480 | 6340,06 |
| 13 | 13 | 520 | 6750,026 |
| 14 | 14 | 560 | 7155,089 |
| 15 | 15 | 600 | 7555,689 |
| 16 | 16 | 640 | 7952,201 |
| 17 | 17 | 680 | 8344,946 |
| 18 | 18 | 720 | 8734,203 |
| 19 | 19 | 760 | 9120,217 |
| 20 | 20 | 800 | 9503,202 |
| 21 | 21 | 840 | 9883,348 |
| 22 | 22 | 880 | 10260,83 |
| 23 | 23 | 920 | 10635,79 |
| 24 | 24 | 960 | 11008,37 |
| 25 | 25 | 1000 | 11378,71 |
| 26 | 26 | 1040 | 11746,9 |
| 27 | 27 | 1080 | 12113,05 |
| 28 | 28 | 1120 | 12477,27 |
| 29 | 29 | 1160 | 12839,63 |

Аналіз результатів дослідження свідчить, що залежність дебіту колодязя від зниження рівня води може характеризуватися рівнянням:

 $Q=-2,049х^{2}+490х+830,63$, м3/доба (35)

При цьому, коефіцієнт кореляції R2=0,9998.

Крім того, графік співпадає з графіком SQ, характерною особливістю яких є вигнута до верху крива, що відповідає напірним водоносним шарам.

Рис. 5. Графік залежності дебіту колодязя від зниження рівня води

**3. ПРОГНОЗУВАННЯ ВЕЛИЧИН ЗА ДОПОМОГОЮ ЕМПІРИЧНИХ ФОРМУЛ**

**3.1. Зв’язок величин з залежністю** $y=a+bx+10^{c+dx}$

Спрогнозувати величини характеристики Y, які залежать від зміни характеристики Х.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Y | 15,22 | 15,45 | 15,7 | 15,95 | 16,37 | 16,83 | 17,5 |
| Х | 500 | 450 | 400 | 350 | 275 | 200 | 125 |

Будуємо графік залежності величин:



Рис. 6. Графік залежності величин Х та Y

Графік, представлений на рис.6, складається з двох частин - прямолінійної та криволінійної.

Так, як частина точок на графіку розташовані на прямій лінії, а інші розташовані на кривій, є можливість їх зв’язати залежністю:

 $y=a+bx+10^{c+dx}$ (36)

Для прямолінійної частини графіка (складається з перших 4-х точок) приймемо:

$ Y^{'}=a+bX$ (37)

Підставляючи сюди дослідні дані, складаємо наступні 4-и рівняння:

15,22 = a +500\*b;

15,45 = a +450\*b;

15,70 = a +400\*b;

15,95 = a +350\*b

Сумуючи ці рівняння попарно, получимо:

30,67 = 2a +950\*b;

31,65 = 2a +750\*b

Після сумісного рішення рівнянь маємо:

a = 17,67; b = -0,0049

Таким чином, рівняння прямої має вигляд:

$$Y^{'}=17,67-0,0049X$$

З цього рівняння знайдемо значення $Y^{'}$, які відповідають значенням $X$, рівним 275, 200 та 125, та внесемо їх до 3-ї колонки табл.11. Їм відповідає пунктирна лінія на графіку.

Задаємося мінімальним значенням зниження рівня води, п.1

Визначаємо величину радіусу впливу, п.2

S ≤ 29

Ні

Так

Визначаємо дебіт колодязя, п.3

Зберігаємо інформацію, заповнюючи підсумкову таблицю п.4

Так

S = 30

оди

Ні

Задаємося наступним значенням зниження рівня п.5

Завершення розрахунку

Рис. 7. Блок-схема алгоритму визначення дебіту колодязя

Таблиця 11

**Результати розрахунків**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Y | Х | $$Y^{'}$$ | $$σ=Y-Y^{'}$$ | lg$ σ$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 15,22 | 500 | - | - | - |
| 1544 | 450 | - | - | - |
| 15,7 | 400 | - | - | - |
| 15,95 | 350 | - | - | - |
| 16,37 | 275 | 16,32 | 0,05 | -1.3010 |
| 19,83 | 200 | 16,69 | 0,14 | -0.8539 |
| 17,5 | 125 | 17,06 | 0,44 | -0.3565 |

Приймемо

 $lgσ=c+dX$ (38)

Підставимо значення lg$σ$ та Х з таблиці та знайдемо:

-1,3010 = с +275\*d;

-0,8539 = с +200\*d;

-0,3565 = с +125\*d

Сумуємо перші два рівняння

-2,1549 = 2\*с +475\*d

Вирішуючи це рівняння разом з третім, знайдемо

с = 0,448; d = 0,00641

Таким чином

$σ$ = $10^{0,448-0,00641Х}$

Так, як

 $Y=Y^{'}+σ$, (39)

то емпірична формула буде мати вигляд:

 $Y=17,67-0,0049\*Х+10^{0,448-0,00641Х}$

Отримавши формулу зв’язку, можемо прогнозувати появу будь якої величини в рамках розглянутого процесу.

**3.2. Зв’язок величин з залежністю** $\frac{1}{Y}=a+\frac{b}{X}$

Знайти функціональну залежність між величинами Y та Х

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Y | 0 | 8,8 | 13,7 | 17,0 | 18,9 | 20,4 |
| Х | 0 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |



Рис. 8. Графік залежності величин Х та Y

Таблиця 12

Результати розрахунків

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Y | Х | $$\frac{1}{Y}$$ | $$\frac{1}{Х}$$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 0 | 0 |  |  |
| 8,8 | 2 | 0,1135 | 0,5 |
| 13,7 | 4 | 0,0730 | 0,25 |
| 17,0 | 6 | 0,0589 | 0,167 |
| 18,9 | 8 | 0,0530 | 0,125 |
| 20,4 | 10 | 0,0490 | 0,1 |

Графік на рис.8 - крива. Для її випрямлення використаємо формулу:

$ \frac{1}{Y}=a+\frac{b}{X}$ (40)

Знайдемо значення 1/Y та 1/Х, які наведені в табл..12.



Рис. 9. Графік залежності величин 1/Y та 1/Х

Для визначення значень a та b запишемо наступні рівняння:

0,1135 = 0,50\*a +b;

0,0730 = 0,25\*a +b;

0,0589 = 0,167\*a +b;

0,0530 = 0,125\*a +b;

0,0,0490 = 0,10\*a +b

Сумуючи рівняння по групах, получимо:

0,2454 = 0,917\*a +3b; 0,1020 = 0,225\*a +2b

Звідки

а=0,159; b=0,033

Емпірична формула буде мати вигляд:

$$Y=\frac{X}{0,159\*X+0,033}$$

Підставляючи в формулу будь які значення $X$ (в межах меж експерименту) будемо мати прогнозну величину $Y$.

**ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

Пояснювальна записка курсової роботи повинна відповідати вимогам стандартів ЄСКД, СПДС, ЄСПД до текстових документів; в короткій та чіткій формі розкривати творчий замисел, мати прийняті методи досліджень та розрахунки, їх аналіз та висновки з них; необхідні розрахункові схеми, графіки, їх пояснення та ілюстрації. В тексті пояснювальної записки треба використовувати одиниці системи вимірювання СІ.

Пояснювальна записка повинна мати наступні розділи:

- вступ з поясненням проблем, які супроводжують експлуатацію конкретних споруд, методів та заходів їх подолання; задач, які вирішуються в роботі і методів, які застосовувалися;

- розрахункова частина повинна мати обґрунтування прийнятих рішень, опис методик, які використовувалися при їх розв’язанні, алгоритми проведення розрахунків та конкретні результати з їх аналізом та можливістю їх подальшого застосування. Розрахункові залежності повинні мати посилання на літературні джерела та мати розмірності. Інформативність результатів повинна підкріплюватися графіками.;

- в висновках потрібно навести основні результати досліджень та їх значимість для застосування в галузі;

- список використаної літератури на яку було зроблені посилання.

**ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ЗАХИСТ РОБОТИ**

Виконання курсової роботи відноситься до самостійної роботи. Базою для проектування є лекційний матеріал, практичні заняття, методичні вказівки та нормативні документи.

Після виконання роботи вона виноситься на захист, який передбачає перевірку результатів, якість оформлення та перевірку знань за її матеріалами.

**КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ**

Максимальна оцінка за курсову роботу становить 100 балів та нараховується за вчасно здану роботу та її успішний захист.

Робота, яка правильно виконана, без помилок, з якісним оформленням оцінюється 60 балами. Робота з незначними помилками (якість оформлення, відсутність графіків, одиниць вимірювань) оцінюється 30-59 балами. Правильно виконані розрахунки з відсутністю основних графіків, схем та їх частин оцінюється в 15-29 балів. Не повністю виконані розрахунки з суттєвими помилками оцінюються в 1-14 балів.

Захист курсової роботи з обґрунтуванням прийнятих рішень, вільним володінням сутті завдання та вичерпними відповідями оцінюється 40 балами. При неповному обґрунтуванні прийнятих рішень, незначних помилках при відповідях захист оцінюється 30-39 балами. При поверхневому обґрунтуванні прийнятих рішень, не достатньому володінні темою роботи та помилках при відповідях захист оцінюється 15-29 балами. При захисті без обґрунтування рішень, поверхневому володінні суттю роботи та значних помилках у відповідях захист оцінюється 1-14 балами.

**ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ**

1.Павленко П. М., Філоненко С. Ф., Чередніков О. М., Трейтяк В. В. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб. – К. : НАУ, 2017. – 392 с.

2.Математичне моделювання: комп’ютерний практикум з дисципліни «Математичне моделювання»[Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 113 «Прикладна математика», спеціалізації «Наука про дані та математичне моделювання» / Т. С. Ладогубець, О. Д. Фіногенов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 600 Кбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 58 с.

3.Моделювання та прогнозування стану довкілля. Лабораторний практикум :навчальний посібник [Електронний ресурс] / Під ред. В.Б. Мокіна. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 84 с.

4.Комп'ютеризовані регіональні системи державного моніторингу поверхневих вод: моделі, алгоритми, програми. Монографія / Під ред. В. Б. Мокіна. – Вінниця: Вид-во ВНТУ “УНІВЕРСУМ-Вінниця”, 2005. – 315 с.

5.Стеценко, І.В. Моделювання систем: навч. посіб. [Електронний ресурс, текст] / І.В. Стеценко ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с.

6. Кінчур О.Ф. Підвищення ефективності водопостачання населення за рахунок впровадження інтелектуальної системи оперативного управління електроприводом насосної станції. / О.Ф. Кінчур // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. - 2007. - № 3 (39) - частина 2. - С. 313.

7. Фриз М.Є. Обґрунтування математичної моделі водоспоживання у вигляді умовного лінійного випадкового процесу. / М.Є. Фриз, Т.В. Михайлович // Електроніка та системи управління. - 2010. - № 3 (25). - С. 137 - 142.

8.Тугай А. М., Терновцев В. О., Тугай Я. А. Розрахунок і проектування споруд систем водопостачання: Навчальний посібник.-К.: КНУБА, 2001.- 256 с.

9.ДБН В.2.5-74:2013 Зовнішні мережі та споруди.

10.ДБН В.2.5-75:2013 Каналізація.

11.Ткачук О. А. Міські інженерні мережі: Навчальний посібник. - Рівне. НУВГП, 2015. 412 с.

12.Шадура В. О., Мартинов С. Ю., Орлов В. О. Міські інженерні споруди: Навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2010. 102 с.

13.[Рибалова О.В. Прогнозування стану довкілля Ч.2 2016р.pdf](https://pgasa365.sharepoint.com/%3Ab%3A/r/sites/e-library/Shared%20Documents/%D0%9A%D0%B0%D1%84%D0%B5%D0%B4%D1%80%D0%B8/%D0%9A%D0%B0%D1%84%D0%B5%D0%B4%D1%80%D0%B0%20%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%87%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%2C%20%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%82%D0%B0%20%D0%B3%D1%96%D0%B4%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D1%96%D0%BA%D0%B8/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%82%D0%B0%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%BD%D0%BE%D0%B7%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%83%20%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%20%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%87%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%82%D0%B0%20%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F/%D0%A0%D0%B8%D0%B1%D0%B0%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%9E.%D0%92.%20%D0%9F%D0%A0%D0%9E%D0%93%D0%9D%D0%9E%D0%97%D0%A3%D0%92%D0%90%D0%9D%D0%9D%D0%AF%20%D0%A1%D0%A2%D0%90%D0%9D%D0%A3%20%D0%94%D0%9E%D0%92%D0%9A%D0%86%D0%9B%D0%9B%D0%AF%20%D0%A7.2%202016%D1%80.pdf?csf=1&web=1&e=ufwDYw)

14.[Стратегія розвитку водної політики України - Водна стратегія.pdf](https://pgasa365.sharepoint.com/%3Ab%3A/r/sites/e-library/Shared%20Documents/%D0%9A%D0%B0%D1%84%D0%B5%D0%B4%D1%80%D0%B8/%D0%9A%D0%B0%D1%84%D0%B5%D0%B4%D1%80%D0%B0%20%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%87%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%2C%20%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%82%D0%B0%20%D0%B3%D1%96%D0%B4%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D1%96%D0%BA%D0%B8/%D0%9C%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8E%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%82%D0%B0%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%BD%D0%BE%D0%B7%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%83%20%D0%BC%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B6%20%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%87%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D1%82%D0%B0%20%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D0%B4%D0%B2%D1%96%D0%B4%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F/%D0%A1%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%8F%20%D1%80%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BA%D1%83%20%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%BE%D1%97%20%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D1%96%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B8%20%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8%20-%20%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B0%20%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%96%D1%8F.pdf?csf=1&web=1&e=kRxC28)