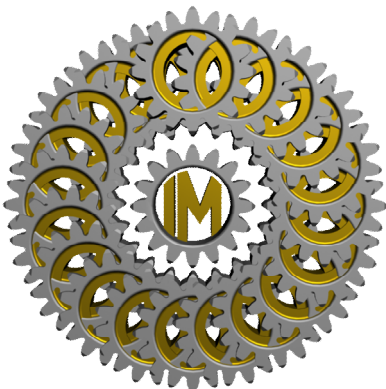


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
КРАСНОАРМІЙСЬКИЙ ІНДУСТРІАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ
ДЕРЖАВНОГО ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи
з нормативної навчальної дисципліни
циклу професійної та практичної підготовки
«ТЕОРІЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ»

(для студентів усіх форм навчання напрямку підготовки
6.050503 «Машинобудування»)



КРАСНОАРМІЙСЬК – 2012

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
КРАСНОАРМІЙСЬКИЙ ІНДУСТРІАЛЬНИЙ ІНСТИТУТ
ДЕРЖАВНОГО ВИЩОГО НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до самостійної роботи
з нормативної навчальної дисципліни
циклу професійної та практичної підготовки
«ТЕОРІЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ»

(для студентів усіх форм навчання напрямку підготовки
6.050503 «Машинобудування»)

Розглянуто на засіданні кафедри
інженерної механіки
Протокол № 3 від 10.10.2012 р.

Затверджено навчально-
видавничою радою Дон НТУ
Протокол № 5 від 22.11.2012 р.

КРАСНОАРМІЙСЬК – 2012

Методичні вказівки до самостійної роботи з нормативної навчальної дисципліни професійної та практичної підготовки «Теорія технічних систем» (для студентів напрямку підготовки 6.050503 «Машинобудування»). / Укладачі: Вірич С.О., Бабенко М.О., Подгородецький М.С., Горячева Т.В., Лаппо І.М.,– Красноармійськ, Видавництво Красноармійського індустріального інституту, 2012. – 25 с.

Надані методичні вказівки складені відповідно до діючої програми курсу з даної дисципліни та містять навчально-методичні рекомендації щодо самостійної роботи студента над вивченням теоретичного матеріалу та виконання самостійної роботи. Наведені тематика курсу, питання для самоперевірки, завдання до виконання контрольної роботи з прикладами розв'язання.

Укладачі:

С.О.Вірич, к.т.н., доц.

М.О. Бабенко, ст. викл.

М.С.Подгородецький, к.т.н.

Т.В. Горячева, ст. викл.

І.М.Лаппо, ас.

Відповідальний за випуск

С.О.Вірич, к.т.н., доц.

© С.О.Вірич, М.О. Бабенко, М.С.Подгородецький, к.т.н., Т.В. Горячева, І.М.Лаппо,

Красноармійськ, КП ДонНТУ, 2012

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	6
1	Тематичний зміст дисципліни „Теорія технічних систем”.....	7
2	Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни «Теорія технічних систем».....	9
2.1	Задача 1.....	9
2.2	Задача 2.....	12
2.3	Задача 3.....	16
2.4	Задача 4.....	20
2.5	Задача 5.....	20
3	Питання для самоконтролю.....	22
	ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	24
	Додаток А.....	25

ВСТУП

Сучасний інженер-механік повинен мати уявлення про сутність та закономірності структури, створення та використання технічних систем. Тому завданням вивчення дисципліни є придбання знань з основ теорії технічних систем, взаємозв'язку між окремими дисциплінами на основі загальної картини у галузі техніки, класифікації та властивостей технічних систем, засобів подання та оцінки, основні стадії створення систем різної складності технічних систем.

Результатом вивчення дисципліни "Теорія технічних систем" є придбання умінь опису засобів функціонування та властивостей машинних систем, перенесення професійного досвіду з однієї галузі у іншу завдяки системним категоріям, трактування технічної проблеми цілісно, з позицій системного підходу, проведення оцінки на основі моделювання та уявлення систем у різних видах, вміти організувати експериментальні дослідження технічних систем.

Теорія інженерних досліджень включає п'ять основних напрямків, по кожному з яких в даний час вже накопичений великий об'єм знань, частина з яких знайшла своє відображення в програмних засобах обробки інформації, побудови моделей і їх рішення. До них відносяться:

Математичне моделювання, що дозволяє на основі прийнятих допущень і обмежень, а також похибки, що допускається, замінити реальний об'єкт його аналогом – моделлю.

Планування експерименту, що представляє сукупність математичних процедур, які дозволяють поставити і провести експериментальні дослідження з мінімальними витратами.

Статистична обробка експериментальних даних, що дозволяє встановити характеристики досліджуваних процесів із заданим рівнем погрішності.

Вибір сенсорних пристроїв вимірювальних систем, що дозволяє визначити їх тип, конструкцію і матеріал з метою мінімізації погрішності вимірювань.

Оптимізація моделей, що дозволяє визначити найкращі за заданих умов значення їх параметрів.

1. Тематичний зміст дисципліни „Теорія технічних систем”

1.1 Тема 1

Технічні системи. Основні терміни і визначення.

Основні поняття теорії технічних систем. Сутність ієрархії опису технічних систем. Значення критеріїв розвитку технічних систем в процесі технічної еволюції. Типи систем та задач. Загальна характеристика технічних систем як об'єкта дослідження. Діалектика технічних систем.

Література: 1, 3, 4, 5.

1.2 Тема 2

Моделювання технічних систем

Моделювання та подібність технічних систем. Класифікація видів моделювання: за повнотою, за характером процесів в системі, залежно від форми представлення моделі. Поняття про екзогенні та ендогенні змінні технічної системи. Класифікація моделей технічних систем. Методика побудови математичних та фізичних моделей технічних систем.

Література: 1, 4, 5, 6.

1.3 Тема 3

Подібність технічних систем

Сутність подібності технічних систем, теореми подібності. Критерії подібності. π -теорема, її значення для практики. Методика знаходження критеріїв подібності з використанням теорії розмірностей. Наслідки π -теореми, їх застосування при вивченні властивостей технічних систем. Застосування π -теореми при вирішенні задач. Визначення критеріїв подібності технічних систем по рівняннях процесів.

Література: 2, 4, 5.

1.4 Тема 4

Експериментальні дослідження роботи машин

Основні поняття: випробування та дослідження роботи технічних систем. Вимоги до проведення експерименту: показність, яка передбачає, що умови, в яких проводитимуться дослідження роботи машини, повинні відповідати або мати набір характерних параметрів, відповідних параметрам умов, в яких передбачається експлуатація машини. Достовірність експериментального матеріалу означає, що одержуваний експериментальний матеріал повинен повною мірою відображати ті процеси, які протікають в машині при її роботі. Достатність експериментального матеріалу означає, що об'єм (число відліків для дискретних величин, тривалість запису для безперервних величин) експериментального матеріалу повинен бути достатнім для того, щоб із

заданою (гарантійної) вірогідністю погрішність оцінки величини не перевищувала призначеної або встановленої (допустимої). Вимірювальна апаратура для дослідження машин.

Література: 1, 2, 4, 5.

1.5 Тема 5

Основи планування експерименту

Основи планування експерименту. Пасивний експеримент є традиційним методом, якщо здійснюється велика кількість опитів з почерговою зміною кожної із змінних. Активний експеримент становиться за раніш складеним планом (планування експерименту), при цьому передбачається одночасна зміна усіх чинників, які впливають на процес. Матриці планування багатофакторного експерименту. Дробово-факторні плани. Плани другого порядку.

Література: 2, 4, 5.

1.6 Тема 6

Обробка і аналіз експериментального матеріалу

Мета і класифікація методів обробки. Задачі, які вирішуються при підготовці обробки результатів експерименту. Види помилок. Методи нормування похибок засобів вимірювань. Прямий експериментальний матеріал, непрямий експериментальний матеріал.

Література: 2, 4, 5, 8.

1.7 Тема 7

Статистична обробка експериментальних даних

Обробка прямого і непрямого експериментального матеріалу. Оцінка експериментальних даних: точкова; довірчі інтервали для одиничного виміру і математичного очікування. Перевірка однорідності результатів паралельних дослідів. Перевірка однорідності дисперсій. Порівняння двох вибірових середніх.

Література: 2, 4, 5, 8.

1.8 Тема 8

Експериментально-статистичне дослідження зв'язків

Кореляційний аналіз. Визначення коефіцієнта кореляції. Регресійний аналіз. Основні етапи проведення регресійного аналізу. Застосування регресійного та кореляційного аналізу на практиці.

Література: 2, 4, 5, 8.

2. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни «Теорія технічних систем»

Завдання на контрольну роботу складається з п'яти задач, умови та приклади розв'язання яких наводяться. У додатку А наводяться необхідні довідникові данні. Варіант завдань обирається за таблицею 2.1. Наприклад, Іваненко Павло, останні літери залікової книжки – 79, обрані варіанти: першої задачі – 2, другої – 5, третьої – 9, четвертої – 4, п'ятої – 4. Контрольна робота виконується в зошиті або в електронному вигляді (шрифт – Times New Roman, 14 pt, інтервал – 1,5). Відповіді в роботі повинні бути повними, містити необхідний графічний матеріал, обов'язкова наявність висновків.

Таблиця 2.1 -

Перша буква фамілії	Варіант першої задачі	Перша буква імені	Варіант другої задачі	Передостання цифра номеру залікової книжки	Варіант третьої задачі	Остання цифра номеру залікової книжки	Варіант четвертої та п'ятої задачі
А, Б, В, Г, Д	1	А, Б, В	10	1	5	1	10
Е, Є, Ж, З, І	2	Г, Д, Е	9	2	4	2	9
К, Л, М, Н, О	3	Є, Ж, З	8	3	3	3	8
П, Р, С, Т, У	4	І, Ї, К	7	4	2	4	7
Ф, Х, Ц, Ч, Ш	5	Л, М, Н	6	5	1	5	6
Ш, Щ, Ю, Я	6	О, П, Р	5	6	10	6	1
		С, Т, У	4	7	9	7	2
		Ф, Х, Ц	3	8	8	8	3
		Ч, Ш, Щ	2	9	7	9	4
		Ю, Я	1	0	6	0	5

2.1 Задача 1

2.1.1 Приклад розв'язання задачі 1.

Розхід рідини Q через прямокутний водозлив є функцією густини ρ , в'язкості рідини μ , висоти h води над порогом, ширини b порозу та прискорення вільного падіння g : $Q=f(\rho, \mu, h, b, g)$.

Знайти безрозмірні комбінації, якими описують процес, якщо формули розмірності фізичних величин мають вигляд:

$$[Q]=L^3T^{-1}; [\rho]=ML^{-3}, [\mu]=ML^{-1}T^{-1}; [h]=L; [b]=L; [g]=LT^{-2}$$

Розв'язок:

Упорядкування фундаментальних величин виконано у вигляді таблиці, де вказане позначення величини, її розмірність у системі СВ, формула розмірності, показник ступеню для подальших розрахунків (табл.2.1.1).

Таблиця 2.1.1 –
Вихідні данні для розрахунку критеріїв подоби

Фундаментальні величини	Розмірність	Формула розмірності	Показник степеню
Q	m^3/s	$[L]^3[T]^{-1}$	a
ρ	kg/m^3	$[M][L]^{-3}$	b
μ	$kg/m \cdot s$	$[M][L]^{-1}[T]^{-1}$	c
h	m	$[L]$	d
b	m	$[L]$	e
g	m/s^2	$[L][T]^{-2}$	f

Оскільки у наведеному прикладі $n=6$, а $k=3$, згідно π -теорему повинно бути $6 - 3 = 3$ критерію подібності.

Однорідне відносно розмірностей рівняння необхідно відобразити у вигляді показної функції від фундаментальних змінних.

$$\phi \left\{ [Q]^a, [\rho]^b, [\mu]^c, [h]^d, [b]^e [g]^f \right\} = 0,$$

або

$$\phi \left\{ [[L]^3 [T]^{-1}]^a, [[M] [L]^{-3}]^b, [[M] [L]^{-1} [T]^{-1}]^c, [L]^d, [L]^e, [[L] [T]^{-2}]^f \right\} = 0$$

Для того, щоб розмірність правої та лівої частин наведеного рівняння була однаковою, та вираз був однорідним відносно розмірності, повинні виконуватися умови:

$$[M] \longrightarrow b + c = 0; \quad (1)$$

$$[L] \longrightarrow 3a - 3b - c + d + e + f = 0; \quad (2)$$

$$[T] \longrightarrow -a - c - 2f = 0. \quad (3)$$

Іншими словами, отримали систему трьох рівнянь із шістьма невідомими. Для отримання трьох безрозмірних комбінацій необхідно виключити три невідомих. Від того, які змінні виключаються, залежить вигляд безрозмірних комбінацій. Будь-які комбінації формально будуть

правильними. Однак не всі з них мають фізичний зміст. Тому рішення задачі іноді треба повторювати.

$$\text{Із (1): } c = -b \quad (4)$$

$$\text{Підставимо (4) в (3): } \begin{aligned} -a + b - 2f &= 0 \\ a &= b - 2f \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{Підставимо (4,5) в (2): } 3(b - 2f) - 3b + b + d + e + f = 0 \quad (6)$$

$$d = 5f - e - b \quad (7)$$

Таким чином, якщо підставити замість невідомих a , c , d їх значення згідно виразів (4), (5), (7) відповідно, вихідне рівняння перетворюється до виду:

$$\phi \left\{ Q^{b-2f}, \rho^b, \mu^{-b}, h^{5f-b-e}, b^e, g^f \right\} = 0.$$

Відповідь

Виконавши групування величин із однаковими показниками ступені, отримаємо три безрозмірних критерію.

$$\left(\frac{Q\rho}{\mu h} \right)^b, \left(\frac{h^5 g}{Q^2} \right)^f, \left(\frac{b}{h} \right)^e.$$

2.1.2 Варіанти завдань до задачі 1.

Варіант 1.

Сила опору тертя $F_{\text{тр}}$ тонкої прямокутної пластини, що обтікається потоком рідини, залежить від площини бокових поверхонь пластини w , густини ρ та швидкості v рідини, прискорення вільного падіння g : $F_{\text{тр}} = f(w, \rho, v, g)$. Знайти безрозмірні комбінації, якими описують процес, якщо формули розмірностей фізичних величин мають вигляд: $[F_{\text{тр}}] = \text{MLT}^{-2}$; $[w] = \text{L}^2$; $[\rho] = \text{ML}^{-3}$; $[g] = \text{LT}^{-2}$; $[v] = \text{LT}^{-1}$.

Варіант 2.

Пластина площиною S рухається відносно нерухомої пласкої поверхні, яку намочено рідиною, із швидкістю v . Товщина шару h , в'язкість μ . Зусилля, яке прикладене до пластини, визначається функцією виду $F=f(S, v, h, \mu)$. Знайти безрозмірні комбінації, якими описують процес, якщо формули розмірностей фізичних величин мають вигляд: $[F] = \text{MLT}^{-2}$, $[S] = \text{L}^2$, $[v] = \text{LT}^{-1}$, $[h] = \text{L}$; $[\mu] = \text{ML}^{-1}\text{T}^{-1}$.

Варіант 3.

До мотузки довжиною R , один кінець якої закріплений на нерухомій точці, прив'язаний камінь масою m . Камінь обертається зі швидкістю v . Прискорення вільного падіння дорівнює g , а сила натягування ланцюга, яка визначається в опиті, - $F = f(R, m, v, g)$. Знайти безрозмірні комбінації,

якими описують процес, якщо формули розмірностей фізичних величин мають вигляд: $[F] = MLT^{-2}$; $[R] = L$; $[m] = M$; $[v] = LT^{-1}$; $[g] = LT^{-2}$.

Варіант 4.

Розхід води Q через циліндричний насадок залежить від його діаметра d , діаметра трубопроводу D , напора перед насадком H та прискорення вільного падіння g : $Q = f(d, D, H, g)$. Знайти безрозмірні комбінації, якими описують процес, якщо формули розмірностей фізичних величин мають вигляд: $[Q] = L^3T^{-1}$, $[d] = L$; $[D] = L$; $[H] = L$; $[g] = LT^{-2}$.

Варіант 5.

Потужність на валу насоса N залежить від напору H , який створює насос, подачі Q , густини рідини ρ , прискорення вільного падіння g : $N = f(H, Q, \rho, g)$. Знайти безрозмірні комбінації, якими описують процес, якщо формули розмірностей фізичних величин мають вигляд: $[N] = ML^2T^{-3}$; $[H] = L$; $[Q] = L^3T^{-1}$; $[\rho] = ML^{-3}$; $[g] = LT^{-2}$.

Варіант 6.

Час t процесу спорожнення вертикального циліндричного бака залежить від діаметра D бака, рівня H рідини, діаметра отвору d у дні бака, прискорення вільного падіння g : $t = f(D, H, d, g)$. Знайти безрозмірні комбінації, якими описують процес, якщо формули розмірностей фізичних величин мають вигляд: $[t] = T$; $[D] = L$; $[H] = L$; $[d] = L$; $[g] = LT^{-2}$.

2.2 Задача 2

2.2.1 Приклад розв'язання задачі 2.

В однакових умовах проведені випробування двох виїмальних комбайнів. Отримані наступні рівноймовірні дані для продуктивності: до реконструкції: 39; 34; 58; 45; 34; 38 т/год.

після реконструкції: 40; 47; 50; 53; 49; 45 т/год.

Перевірити достовірність того, що реконструкція призвела до значного збільшення продуктивності машини.

Розв'язок

Знайдемо оцінки математичних очікувань

$$\bar{x}_1 = \frac{39 + 34 + 58 + 45 + 34 + 38}{6} = 41,3 \text{ т/год};$$

$$\bar{x}_2 = \frac{40 + 47 + 50 + 53 + 49 + 45}{6} = 47,3 \text{ т/год}.$$

*На перший погляд здається, що реконструкція привела до істотного збільшення продуктивності машини – на $(47,3 - 41,3)/41,3 * 100\% = 14,5\%$. Перевіримо достовірність цього.*

1. Для перевірки однорідності паралельних опитів у вибірках за виразом $\bar{x} - t_\alpha S_x \leq x_i \leq \bar{x} + t_\alpha S_x$ визначимо довірчий інтервал, значення t_α обираємо за додатком А, табл.1, при цьому $f=6-1=5$:

$$\bar{x}_1 \pm t_\alpha S_{x_1} = 41,3 \pm 2,571 \cdot 9,58 = (41,3 \pm 24,64) \text{ т/год};$$

$$\bar{x}_2 \pm t_\alpha S_{x_2} = 47,3 \pm 2,571 \cdot 4,73 = (47,3 \pm 12,16) \text{ т/год}.$$

Таким чином, кожна із вибірок складається із однорідних результатів.

2. Використавши вираз $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$, знайдемо оцінки дисперсій:

$$S_1^2 = 83,07 \text{ (т/год)}^2 \text{ и } S_2^2 = 20,27 \text{ (т/год)}^2.$$

3. Відповідно до виразу $S_x = M_x \cdot \sqrt{S^2}$, визначимо середньоквадратичне відхилення генеральної сукупності

$$S_{x_1} = 1,051\sqrt{83,07} = 9,58 \text{ т/год и } S_{x_2} = 1,051\sqrt{20,27} = 4,73 \text{ т/год}.$$

4. Перевіримо однорідність дисперсій. Визначимо розрахункове значення критерія Фішера.

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{83,07}{20,27} = 4,1.$$

Табличне значення F - критерію при рівню значимості $\alpha = 0,05$ та $f_1 = f_2 = 5$ складає 5,05 (див. додаток А, табл.2). Тому дисперсії однорідні.

5. У відповідності із виразом $S_{cv}^2 = \frac{S_1^2 f_1 + S_2^2 f_2}{f_1 + f_2}$ визначимо

$$S_{cv}^2 = \frac{83,07 \cdot 5 + 20,27 \cdot 5}{5 + 5} = 51,67 \text{ (т/год)}^2.$$

6. За рівнянням $z = \pm t_\alpha S_{cv} \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}}$ довірчий інтервал

$$Z = \pm 2,228 \sqrt{51,67} \cdot \sqrt{\frac{6+6}{6 \cdot 6}} = \pm 9,25 \text{ т/год}.$$

Оскільки цей інтервал включає різницю між математичними сподіваннями

$$Z = \bar{x}_2 - \bar{x}_1 = 47,3 - 41,3 = 6 \text{ т/год},$$

то з ймовірністю 0,95 експериментальний матеріал не дає підстав стверджувати, що реконструкція комбайна призвела до значного збільшення продуктивності.

2.2.2 Варіанти завдань до задачі 2.

Варіант 1

В однакових умовах проведені випробування двох вугільних очисних комбайнів. Отримані наступні рівноймовірні дані продуктивності:

до реконструкції: 49, 66, 55, 48, 47, 45 т/год.

після реконструкції: 50, 57, 63, 59, 61, 60 т/год.

Перевірити достовірність того, що реконструкція призвела до значного збільшення продуктивності машини.

Варіант 2

В однакових умовах проведені випробування двох вугільних очисних комбайнів. Отримані наступні рівноймовірні дані продуктивності:

до реконструкції: 60, 65, 68, 74, 69, 81 т/год.

після реконструкції: 87, 90, 105, 99, 93, 107 т/год.

Перевірити достовірність того, що реконструкція призвела до значного збільшення продуктивності машини.

Варіант 3

В однакових умовах проведені випробування двох вугільних очисних комбайнів. Отримані наступні рівноймовірні дані продуктивності:

до реконструкції: 59, 37, 49, 41, 38, 56 т/год.

після реконструкції: 50, 54, 57, 52, 48, 59 т/год.

Перевірити достовірність того, що реконструкція призвела до значного збільшення продуктивності машини.

Варіант 4

В однакових умовах проведені випробування двох вугільних очисних комбайнів. Отримані наступні рівноймовірні дані продуктивності:

до реконструкції: 15, 18, 17, 19, 16, 11 т/год.

після реконструкції: 22, 28, 21, 19, 23, 27 т/год.

Перевірити достовірність того, що реконструкція призвела до значного збільшення продуктивності машини.

Варіант 5

В однакових умовах проведені випробування двох вугільних очисних комбайнів. Отримані наступні рівноймовірні дані продуктивності:

до реконструкції: 102, 98, 107, 96, 97, 109 т/год.

після реконструкції: 115, 128, 119, 123, 99, 108 т/год.

Перевірити достовірність того, що реконструкція призвела до значного збільшення продуктивності машини.

Варіант 6

В однакових умовах проведені випробування двох вугільних очисних комбайнів. Отримані наступні рівноймовірні дані продуктивності:

до реконструкції: 48, 60, 52, 56, 41, 58 т/год.

після реконструкції: 65, 78, 58, 69, 73, 75 т/год.

Перевірити достовірність того, що реконструкція призвела до значного збільшення продуктивності машини.

Варіант 7

В однакових умовах проведені випробування двох вугільних очисних комбайнів. Отримані наступні рівноймовірні дані продуктивності:

до реконструкції: 47, 43, 55, 41, 51, 53 т/год.

після реконструкції: 55, 68, 48, 59, 63, 49 т/год.

Перевірити достовірність того, що реконструкція призвела до значного збільшення продуктивності машини.

Варіант 8

В однакових умовах проведені випробування двох вугільних очисних комбайнів. Отримані наступні рівноймовірні дані продуктивності:

до реконструкції: 89, 83, 101, 95, 79, 98 т/год.

після реконструкції: 103, 96, 117, 110, 92, 114 т/год.

Перевірити достовірність того, що реконструкція призвела до значного збільшення продуктивності машини.

Варіант 9

В однакових умовах проведені випробування двох вугільних очисних комбайнів. Отримані наступні рівноймовірні дані продуктивності:

до реконструкції: 111, 107, 116, 107, 105, 122 т/год.

після реконструкції: 125, 139, 130, 138, 111, 121 т/год.

Перевірити достовірність того, що реконструкція призвела до значного збільшення продуктивності машини.

Варіант 10

В однакових умовах проведені випробування двох вугільних очисних комбайнів. Отримані наступні рівноймовірні дані продуктивності:

до реконструкції: 94, 91, 99, 91, 89, 104 т/год.

після реконструкції: 106, 118, 111, 117, 94, 103 т/год.

Перевірити достовірність того, що реконструкція призвела до значного збільшення продуктивності машини.

2.3 Задача 3

2.3.1 Приклад розв'язання задач 3, 4, 5.

В результаті випробувань відцентрового насоса встановлено, що створювані ним тиски при відповідних подачах визначаються значеннями, приведеними в табл.2.3.1

Таблиця 2.3.1 –

Q , м ³ /ч	10	20	30	40	50
H , м вод.ст.	83	78	75	65	53

Відомо також, що тиск визначений з точністю $\Delta H_{\text{перед}} = 2,5$ м вод.ст. Вимагається встановити аналітичну залежність тиску H від подачі Q .

Найменше значення подачі при експерименті $Q_{\text{нач}} = 10$ м³/год мало відрізняється від нуля порівняно з найбільшим $Q_{\text{кон}} = 50$ м³/год. Тому градуювання шкали подачі почнемо з нульового значення. Прийmemo довжину $L_Q = 100$ мм. Тоді

$$m_Q = \frac{L_Q}{Q_{\text{кон}} - 0} = \frac{100}{50} = 2 \text{ мм/м}^3/\text{год.}$$

Округлимо масштаб, до $m_Q = 2$ мм/м³/год.

Градуювання шкали тиску почнемо з 50 м вод.ст. Прийmemo довжину шкали $L_H = 100$ мм

$$m_H = \frac{L_H}{H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}}} = \frac{100}{110 - 53} = 1,88 \text{ мм/м вод. ст.}$$

Нехай $m_H = 2$ мм/м вод.ст. Тоді гранична помилка у визначенні тиску 2,5 м вод.ст. на графіку зображатиметься відрізком 5 мм.

При $m_Q = 2$ мм/м³/ч і $m_H = 2$ мм/м вод.ст. експериментальна крива виявиться приблизно однаково нахиленою до осей координат. Експериментальні дані зображені на рис.2.3.1. Рисунок дає підставу припускати між натиском і подачею лінійну залежність.

Припустимо, що $\hat{H} = \sigma_0 + \sigma_1 Q$.

Для визначення коефіцієнтів за даними табл. 6 знайдемо

$$\sum_{u=1}^{n=6} Q_u = 150 \text{ м}^3/\text{год}; \quad \sum_{u=1}^{n=6} H_u = 438 \text{ м вод.ст.}; \quad \sum_{u=1}^{n=6} Q_u^2 = 5500 \text{ (м}^3/\text{год)}^2;$$

$$\sum_{u=1}^{n=6} H_u Q_u = 11810 \cdot$$

Складемо систему рівнянь:

$$438 - 5v_0 - 150v = 0;$$

$$11810 - 150v_0 - 5500v = 0.$$

Розв'язавши цю систему рівнянь, отримаємо:

$$v_0 = 119,1 \text{ м вод.ст.};$$

$$v = -0,8328 \text{ м вод.ст./м}^3/\text{год}.$$

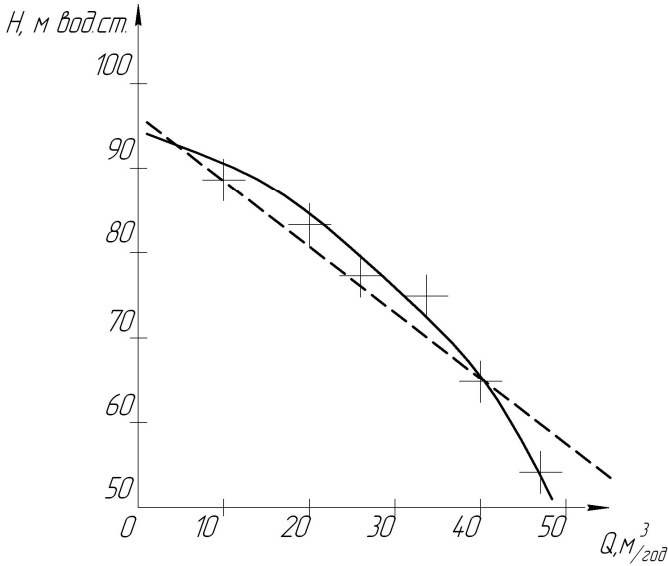


Рис. 2.3.1 – Графічне представлення залежності між подачею насоса Q та напором H

Таким чином, $\hat{H} = 119,1 - 0,8328Q$

Ця залежність на рис. 2.3.1 зображена пунктирною лінією.

Перевіримо адекватність отриманого рівняння регресії. Дані для розрахунку дисперсії адекватності зведені в табл.

Таблиця 2.3.2

H_u	\hat{H}_u	$H_u - \hat{H}_u$	$(H_u - \hat{H}_u)^2$	\hat{H}_{u_i}	$H_u - \hat{H}_{u_i}$	$(H_u - \hat{H}_{u_i})^2$	
110	111,2	-2,862	8,191	109,9	0,1	0,01	
105	103,1	2,1	0,2172	104,3	-0,7	0,49	
86	96	10	100	84,2	1,8	3,24	
80	87	7	49	80,5	0,5	0,25	
57	81	24	576	57,9	0,1	0,01	
			$\sum_{u=1}^6 = 733,4$				$\sum_{u=1}^6 = 4$

Визначимо дисперсію S_{ad}^2 :

$$S_{ad}^2 = \frac{733,4}{5-2} = 183 \text{ (м вод.ст.)}^2.$$

Дисперсія відтворення в даному випадку:

$$S_g^2 = \sigma^2 = \left(\frac{\Delta H_{\text{неод}}}{2} \right)^2 = \left(\frac{2,5}{2} \right)^2 = 1,5625 \text{ (м вод.ст.)}^2.$$

Розрахункове значення F -критерію:

$$F = \frac{183}{1,5625} = 122.$$

Для рівня значущості $\alpha = 0,05$, а також чисел ступенів свободи $f_{ad} = 4$ і $f_g = \infty$ табличне значення критерію $F_\alpha = 5,63$ (див. додаток А). Оскільки розрахункове значення більше табличного, то отримане емпіричне рівняння $\hat{H} = 119,1 - 0,8328Q$ не адекватно експериментальному матеріалу.

Враховуючи, що процеси, які протікають в насосі, дають підставу припускати між натиском і подачею квадратичну залежність, знайдемо коефіцієнти рівняння вигляду

$$H_1 = v'_0 + v'Q^2.$$

За даними експерименту визначимо на додаток до відомих

$$\sum_{u=1}^6 H_u, \sum_{u=1}^6 Q_u^2, \sum_{u=1}^6 Q_u^4 = 9790000 \text{ (м}^3/\text{год)}^4,$$

$$\sum_{u=1}^6 H_u Q_u^2 = 610700 \text{ (м вод.ст.) (м}^3/\text{год)}^2.$$

Складемо систему рівнянь:

$$438 - 5v'_0 - 5500v' = 0;$$

$$610700 - 5500v'_0 - 9790000v' = 0.$$

Розв'язання даної системи рівнянь дає наступні результати:
 $v'_0 = 110,42$ м вод.ст.; $v' = -0,0164$ м вод.ст./ $(\text{м}^3/\text{год})^2$.

Таким чином, $\hat{H}_1 = 110,42 - 0,0164Q^2$.

На рис. 1 остання залежність зображена суцільною кривою. Дані для визначення дисперсії адекватності наведені в табл.

$$S_{ad}^2 = \frac{4}{6-2} = 1 \text{ (м вод.ст.)}^2.$$

Розрахункове значення критерію Фішера:

$$F = \frac{1}{1,563} = 0,634.$$

Оскільки розрахункове значення критерію Фішера менше табличного, то отримана залежність $\hat{H}_1 = 110,42 - 0,0164Q^2$ адекватна експериментальному матеріалу.

2.3.2 Варіанти завдань до задачі 3

В результаті випробувань відцентрового насоса із рівною ймовірністю встановлено, що його напір при відповідних подачах визначається величинами, які наведені в таблиці 2.3.3. Значення напору вимірювались приладами, клас точності яких та межа вимірювання вказані в таблиці.

Встановити аналітичну залежність напору H від подачі Q .

Таблиця 2.3.3 –

Варіант	Значення напору насоса H , м вод.ст. при подачі Q , м ³ /год					Клас точності та межа вимірювання приладу, м вод. ст.
	10	20	30	40	50	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
1	146	143	128	119	102	2,5 150
2	97	95	81	76	59	2,0 150
3	108	106	93	86	71	2,0 160
4	79	75	65	57	41	2,5 100
5	117	114	103	95	82	3,0 125
6	125	122	110	102	89	2,5 140
7	111	101	92	83	63	3,0 125
8	135	132	116	108	88	2,0 150
9	146	143	128	119	102	2,5 150
10	110	105	86	80	57	3,0 125

2.4 Задача 4

2.4.1 Варіанти завдань до задачі 4

В результаті випробувань радіального лопастного насоса із рівною ймовірністю встановлено, що потужність його при відповідних подачах визначається значеннями, які наведені у таблиці 2.4.1. Потужність вимірювалась приладами, клас точності та межа вимірювання яких вказані у таблиці. Встановити аналітичну залежність потужності насоса N від подачі Q .

Таблиця 2.4.1 –

Варіант	Потужність насоса N , кВт, при подачі Q , м ³ /ч						Клас точності та межа вимірювання приладів, кВт
	0	10	20	30	40	50	
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
1	12,3	13,5	14,2	15,1	15,3	16,1	2,0 20
2	12,7	13,1	13,8	14,9	15,2	16,5	1,5 30
3	4,9	5,4	5,7	6,1	6,2	6,5	3,0 10
4	5,5	6,3	6,8	7,1	7,3	8,1	1,5 20
5	8,2	9,3	9,9	10,6	11,8	12,1	1,5 20
6	8,9	9,1	9,7	10,2	10,3	10,7	2,0 15
7	16,7	17,1	18,3	19,0	19,5	20,2	1,5 25
8	16,9	17,0	17,4	18,2	18,3	18,7	2,0 20
9	16,0	16,8	17,3	17,4	18,0	18,4	1,5 20
10	14,4	14,5	15,4	15,6	15,9	16,8	2,0 20

2.5 Задача 5

2.5.1 Варіанти завдань до задачі 5

При випробуваннях видобувальної машини отримані вибірки залежності рівноймовірних продуктивностей машини від швидкості подачі. На кожному рівні швидкості подачі здійснювали ряд вимірювань

продуктивності. Встановити за даними таблиці 5 аналітичну залежність продуктивності П від швидкості подачі V видобувальної машини.

Таблиця 2.5.1 –

Варіант	Швидкість подачі машини V, м/хв.		Продуктивність П видобувальної машини при паралельних опитах, т/год			
			1	2	3	4
1	1,0	87	85	93	89	
	2,0	94	92	89	95	
	3,0	99	93	95	91	
	4,0	104	101	99	102	
	5,0	109	103	105	107	
2	1,0	92	90	88	94	
	2,0	104	102	97	106	
	3,0	114	110	108	107	
	4,0	116	118	111	113	
	5,0	119	122	117	124	
3	1,0	118	116	120	119	
	2,0	135	128	130	131	
	3,0	143	140	146	148	
	4,0	147	149	153	151	
	5,0	158	152	155	154	
4	1,5	164	161	158	157	
	2,5	160	157	159	155	
	3,5	152	149	147	148	
	4,5	143	140	135	138	
	5,5	127	130	125	123	
5	2,0	110	108	106	113	
	3,0	125	122	116	127	
	4,0	137	132	130	128	
	5,0	139	142	133	136	
	6,0	143	147	141	148	
6	1,5	46	45	44	47	
	2,5	53	51	49	53	
	3,5	58	55	54	57	
	4,5	60	59	56	57	
	5,5	59	61	60	62	

Продовження таблиці 2.5.1

1	2	3	4	5	6
7	2,0	74	72	70	75
	4,0	83	81	78	85
	6,0	91	88	87	91
	8,0	93	95	89	90
	10,0	95	98	94	99
8	1,0	156	153	149	160
	2,0	177	173	165	180
	3,0	194	187	184	182
	4,0	197	200	189	192
	5,0	202	207	199	211
9	1,5	48	50	52	49
	3,0	65	63	61	59
	4,5	73	75	70	69
	6,0	82	80	78	81
	7,5	87	83	84	82
10	1,0	115	112	110	118
	2,0	130	127	121	132
	3,0	142	138	135	134
	4,0	145	147	139	141
	5,0	149	153	146	155

3. Питання для самоконтролю

1. Що таке «технічна система»?
2. Основні критерії розвитку технічних систем?
3. Сутність ієрархії опису технічних систем?
4. У чому полягає діалектика технічних систем?
5. Які існують на сьогоднішній день основні напрямки дослідження технічних систем?
6. Що таке модель технічної системи, об'єкту?
7. Що таке моделювання?
8. Які існують види моделювання згідно класифікації?
9. Як класифікуються види моделювання у залежності від поведінки технічної системи у часі?
10. Що таке «подібність об'єктів»?
11. У чому сутність π -теореми?
12. Які відомі наслідки π -теореми?
13. Що розуміють під фундаментальними змінними?
14. Описати методику визначення критеріїв подоби з рівняння процесу.

15. У чому різниця між поняттями «випробування» та «дослідження» роботи технічних систем?
16. Які висуваються вимоги до проведення експерименту?
17. Що мається на увазі під достатністю експериментального матеріалу?
18. Яка вимірвальна апаратура використовується для дослідження машин?
19. Що є метою планування експерименту?
20. Яким чином складаються матриці планування багатофакторного експерименту?
21. Які похибки вважаються випадковими?
22. Яким чином визначається математичне сподівання величини, що вимірюється, та її середнє квадратичне відхилення?
23. У чому сутність поняття «довірчий інтервал»?
24. Яким чином визначається однорідність вибірки?
25. Як перевіряють однорідність дисперсій?
26. У чому полягає сутність кореляційного аналізу?
27. Які вимоги висуваються до змінних при регресійному аналізі?
28. Яким чином обирається вид аналітичної залежності при регресійному аналізі?
29. У чому сутність застосування методу «найменших квадратів» при визначенні коефіцієнтів рівнянь регресії?
30. Як перевірити відповідність рівняння регресії експериментальному матеріалу?
31. Наведіть основні етапи екстремального експерименту.
32. З якою метою проводиться обробка експериментального матеріалу?
33. У чому різниця між повною та експрес обробкою експериментального матеріалу?
34. Які задачі вирішуються при підготовці обробки результатів експерименту?
35. Які існують різновиди похибок вимірвальних пристроїв?
36. Які застосовуються методи нормування похибок засобів вимірювань?

ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гайдучок В.М., Затхей Б.І., Лінник М.К. Теорія і технологія наукових досліджень. Навчальний посібник. – Львів: Афіша, 2006. – 232 с.
2. Теория инженерного эксперимента: Учебное пособие/ Тимошенко Г.М., Зима П.Ф. – Донецк: ДПИ, 1984. – 60с.
3. Основы технического творчества. Чус А.В., Данченко В.Н. Киев; Донецк: Вища школа. Головное изд-во, 1983. – 184 с.
4. Болтян А.В., Горобец И.А. Теория инженерных исследований: Учебное пособие (издание 2-е переработанное и дополненное). – Донецк, ДонНТУ, 2004. – 162 с., ил.
5. Пальчевський П.О. Дослідження технологічних систем: Моделювання. Проектування. Оптимізація: Навч. пос. – Львів: Світ, 2001. – 232с.
6. Гліненко Л.К., Сухонос О.Г. Основи моделювання технічних систем: Навч. пос. – Львів: «Бескид Біт», 2003. – 176 с.
7. Теорія планування експерименту: Навч. посібник/В.П. Нечаєв, Т.М.Берідзе, В.В.Кононенко та ін. – К.: Кондор, 2005. – 232с.
8. Сизиков В.С. Математические методы обработки результатов измерений. – СПб.: Политехника, 2001. – 240с.
9. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.:Высш. шк.,1998. – 319с.
10. Константинов Ю.М. Інженерна гідравліка: підруч.\ Ю.М.Констатінов, О.О.Гіжа. – К.: Слово, 2006. – 432с.

Додаток А

Таблиця 1 –

Значення критерію Стьюдента для рівня значущості 0,05

f	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	60
t_{α}	12,706	4,303	3,182	2,776	2,571	2,447	2,306	2,228	2,086	2,042	2,00

Таблиця 2 –

Значення F- критерію при рівні значущості 0,05

Число ступенів свободи											
чисельника знаменника	1	2	3	4	5	6	10	20	50	100	∞
1	161,00	200,00	216,00	225,00	230,00	234,00	242,00	248,00	252,00	253,00	254,00
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,39	19,39	19,44	19,47	19,49	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,78	8,66	8,58	8,56	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,26	6,16	5,96	5,80	5,70	5,66	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,74	4,56	4,44	4,40	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,06	3,87	3,75	3,71	3,67
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,34	3,15	3,03	2,98	2,93
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	2,97	2,77	2,64	2,59	2,54
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,35	2,18	1,96	1,90	1,84
40	4,08	3,23	2,83	2,61	2,45	2,34	2,07	1,84	1,66	1,59	1,51
100	3,94	3,09	2,70	2,46	2,30	2,19	1,92	1,68	1,48	1,39	1,28
∞	3,84	2,99	2,60	2,37	2,21	2,09	1,83	1,57	1,35	1,24	1,00