


**ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО
ВИРОБНИЦТВА**

(ЧАСТИНА II)

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**
для студентів спеціальності 136 Металургія
усіх форм навчання другого
(магістерського) рівня вищої освіти

*Рекомендовано Науково-методичною радою
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
(протокол № 3 від «27» січня 2023 р.)
Обов'язково до розміщення в репозитарії*



Діджиталізація сталеплавильного виробництва: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт: Частина II (для студентів спеціальності 136 Металургія усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти) / Уклад. М. М. Штода. Запоріжжя: ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2023. 46 с.

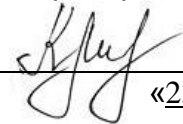
Методичні вказівки включають тематику індивідуальних завдань, методичні пояснення щодо порядку їх виконання, критерії оцінювання виконаного індивідуального завдання, вимоги до його оформлення, включаючи зразок титульної сторінки.

Рекомендовано для студентів спеціальності 136 Металургія сталі (магістерського) рівня освіти, а також студентів, що вивчають «Діджиталізація сталеплавильного виробництва» як дисципліну вільного вибору.

Самостійне електронне текстове мережеве видання

Затверджено на засіданні кафедри
базових галузей промисловості
Протокол № 1 від «20» січня 2023 р.

Узгоджено:
Секретар Редакційної ради



Малій Х. В.
«23» січня 2023 р.

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2023



ЗМІСТ

Лабораторне заняття №5 ОБРОБКА ДОСЛІДНИХ ДАНИХ І СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ У СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПРОГРАМАХ	4
Лабораторне заняття №6 ПРОВЕДЕННЯ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ ЗА ДОПОМОГОЮ МОДУЛЯ МНОЖИННА РЕГРЕСІЯ (MULTIPLE REGRESSIONS)	16
Лабораторне заняття №7 РОЗРАХУНОК СЕНЕСОРІВ (ПРИЛАДІВ) ДЛЯ ВИМІРУ ТЕМПЕРАТУРИ	33
Лабораторне заняття №8 МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ. СЕНСОРИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ	42



Лабораторне заняття №5 ОБРОБКА ДОСЛІДНИХ ДАНИХ І СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ У СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ПРОГРАМАХ

Загальні теоретичні відомості

Статистичний аналіз даних в системі СТАТИСТИКА (STATISTICA) розбивається на наступні основні етапи:

1. Введення даних в електронну таблицю вихідних даних і їх попереднє перетворення (побудова необхідних вибірок, ранжирування і так далі).
2. Візуалізація даних з допомогою одного з типів графіків.
3. Застосування конкретної процедури статистичної обробки.
4. Вивід результатів аналізу в виді графіків і електронних таблиць з чисельної і текстової інформацією.
5. Підготовка і друк звіту.

Робота з системою СТАТИСТИКА починається з її запуску.

Дані в системі STATISTICA організовані у вигляді електронної таблиці. Таблиця з вихідними даними є одним з типів документа. Кожен документ виводиться у своєму власному вікні в робочій області системи. Як тільки це вікно стає активним, змінюється панель інструментів і меню, з'являються команди, доступні для цього типу документів.

Для роботи з таблицями вихідних даних існує велика кількість інструментів, які доступні за допомогою контекстних меню, що випадають й з панелі інструментів.

Кожна змінна (VARIABLES) має своє ім'я, формат й інші атрибути, які називаються специфікацією й задаються користувачем. Змінна являє собою спостережувану величину. Змінна являє собою спостережувану величину. Результати спостережень записуються в рядках таблиці – випадках CASES.

Електронна таблиця з вихідними даними в СТАТИСТИКА називається SpreadSheet. В цієї таблиці можна задати специфікації змінних.

Для створення файлу з даними необхідно указати ім'я файлу. Розширення sta СТАТИСТИКА додасть автоматично. Після натискання кнопки ОК перед користувачем відкривається електронна таблиця SpreadSheet розміром 10 на 10, тобто що складається з 10 змінних, котрі по умовчанню мають імена VAR1, VAR2, ..., VAR9 і VAR10 пронумерованих випадків (рядків), котрі не мають імен. Щоб змінити імена двічі клацніть по імені змінної в електронній таблиці, наприклад, VAR1. В діалоговому вікні, що з'явився "Специфікації змінної" задаються ім'я змінної (довжина імені не повинна перевищувати восьми символів) і формат відображення. Потім уводяться вихідні дані з клавіатури або уставляється заздалегідь підготовлений файл в EXCEL.



Важливою характеристикою системи комплексної статистичної обробки даних є наявність засобів всебічної графічної підтримки процесу аналізу даних. Графічні засоби системи використовуються для візуалізації чисельних і текстових значень електронної таблиці з вихідними даними.

СТАТИСТИКА включає в себе велику кількість різноманітних категорій і типів графіків. Це усілякі графіки на площині і в просторі: гістограми, матричні, категоризовані графіки, діаграми розсіювання, піктографіки і інші.

2D діаграми розсіювання. Діаграма розсіювання візуалізує залежність між двома змінними X і Y . Дані зображуються крапками в двовимірному просторі, де осі відповідають змінним (X – горизонтальної, а Y – вертикальної осі). Якщо між змінними існує сильна взаємозв'язок, те крапки на графіці утворять упорядковану структуру (наприклад, пряму лінію або характерну криву). Якщо змінні не взаємозалежні, те крапки утворять «хмару». Діаграми розсіювання звичайно використовуються для виявлення природи взаємозв'язку двох змінних, оскільки вони надають набагато більше інформації, чим коефіцієнт кореляції.

Методика проведення заняття

1. Вивчити порядок заповнення таблиці з вихідними даними.
2. В відповідності з варіантом завдання створити файл з вихідними даними:
 - а) зробити заголовок таблиці, коментарі;
 - б) задати атрибути змінних і випадків;
3. Побудувати двовимірні діаграми розсіювання.

Нехай є спостереження залежності фізичної величини P від коефіцієнта f . Потрібно побудувати різні типи графіків і вибрати функцію, яка найкращим чином описує вихідні дані:

№	f	P	№	f	P
1	0,080	42,0	7	0,122	77,5
2	0,087	46,8	8	0,129	85,3
3	0,094	52,0	9	0,136	93,8
4	0,101	57,7	10	0,143	103,1
5	0,108	63,7	11	0,15	113,4
6	0,115	70,3			

Послідовність виконання завдання

1. Вихідні дані занесемо в електронну таблицю Графики. sta, що складається з двох змінних і 11 випадків (рис. 1).

Данные: Графики.sta (2v * 11c)		
	1	2
	f	p
1	0,080	42,0
2	0,087	46,8
3	0,094	52,0
4	0,101	57,7
5	0,108	63,7
6	0,115	70,3
7	0,122	77,5
8	0,129	85,3
9	0,136	93,8
10	0,143	103,1
11	0,15	113,4

Рисунок 1 – Файл вихідних даних Графики. sta

2. Побудова статистичного графіка складається з наступних кроків:

– вибір типу графіка. Для швидкого доступу до всіх типів графіків з групи Статистические графики звучно використовувати панель інструментів. Кнопка Галерея графиков (STATISTICA Graphs Gallery) на панелі інструментів електронної таблиці відкриває діалогове вікно, в котрому необхідно вибрати потрібну категорію графіків, наприклад, «2D диаграммы (Stats 2D Graphs)» – Статистические двумерные графики, в цієї групі вибрати необхідний тип графіка – Диаграммы рассеяния (Scatterplots) і вид крапкового графіка Простой (Regular – Регулярный) (рис.2). На рис.2 обраний графік – Линейный. Для вибору типу графіка можна натиснути кнопку Дополнительно (Advanced) (рис.3);

– вибір змінних. Після завдання виду графіка і натискання кнопки Переменные (Variables) з'являється діалогове вікно, в котрому необхідно вибрати змінні, залежність між котрими необхідно зобразити графічно (рис. 4). Натисніть кнопку ОК. На екрані в окремому вікні з'явиться графік (рис.5).

Для видачі статистичних характеристик необхідно позначити галочками кнопки Статистики (R-квадрат, Корреляция и p-уровень, Уравнение регрессии (рис.6).

Тоді вікно видачі графіка буде мати вигляд, представлений на рис.7.

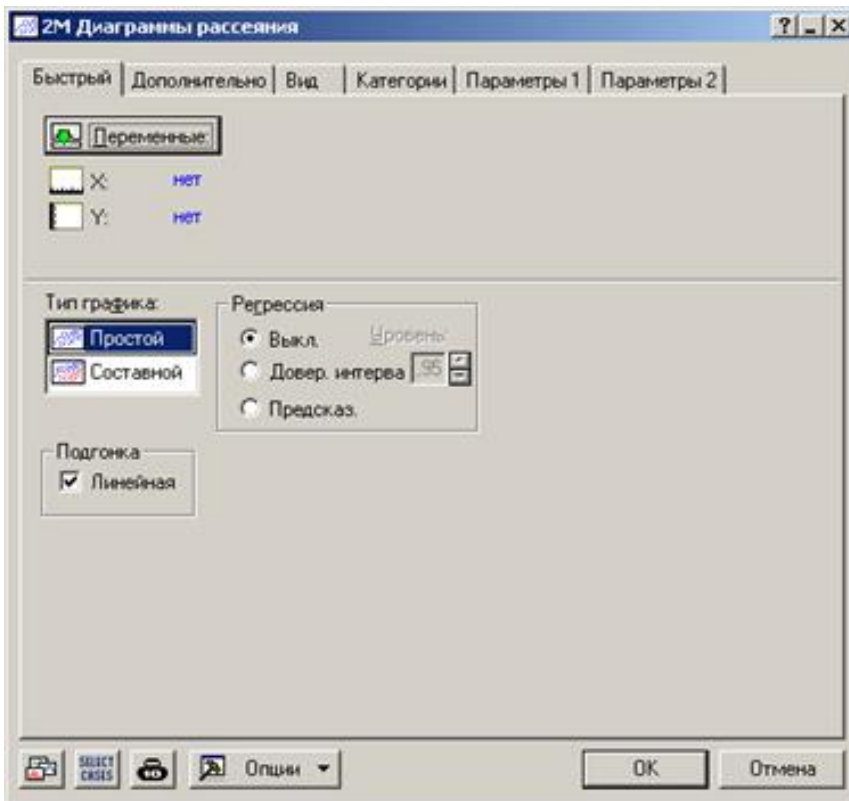


Рисунок 2 – Вікно «Диаграммы рассеяния»

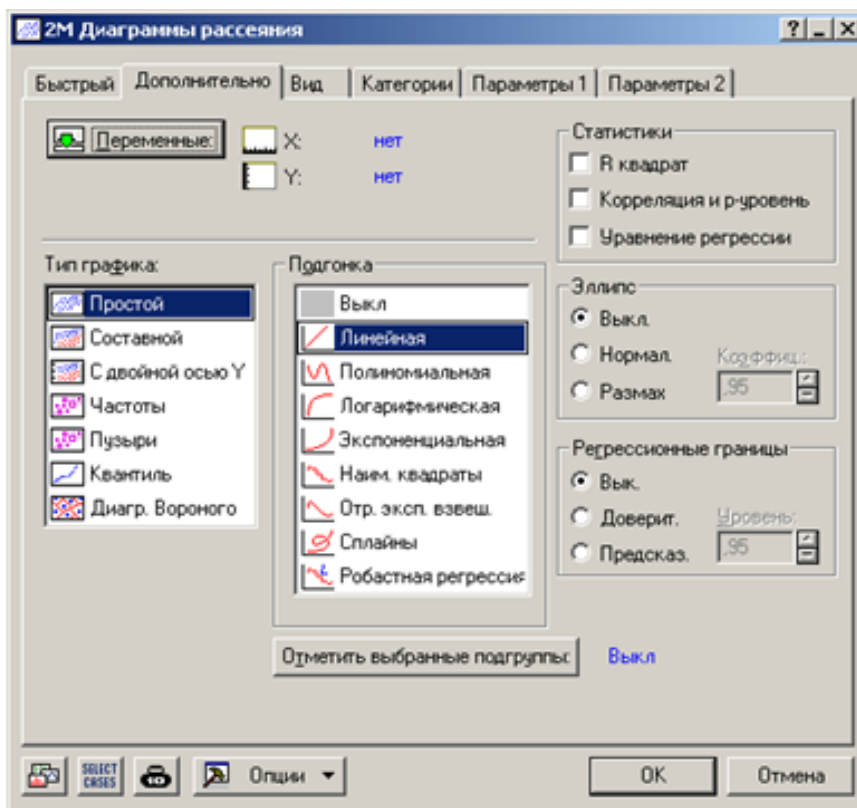


Рисунок 3 – Вікно «Диаграммы рассеяния» при натиснутої кнопці «Дополнительно»

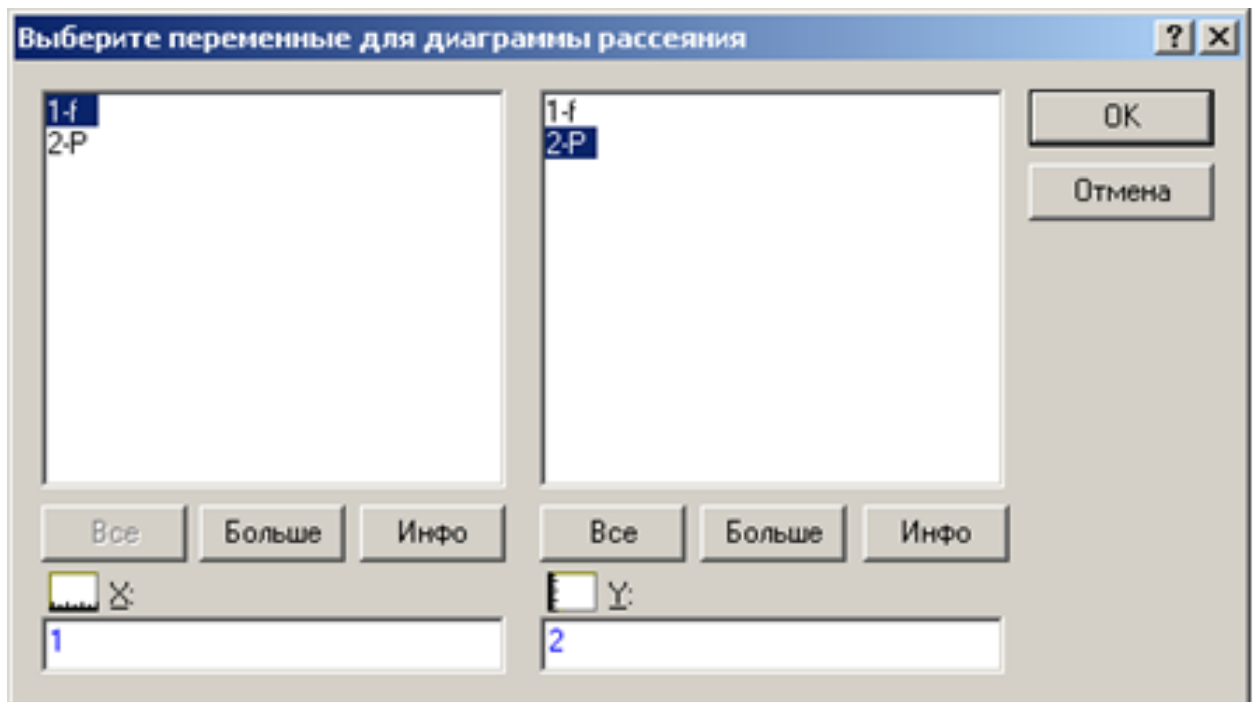


Рисунок 4 – Вікно «Переменные для диаграммы рассеяния»

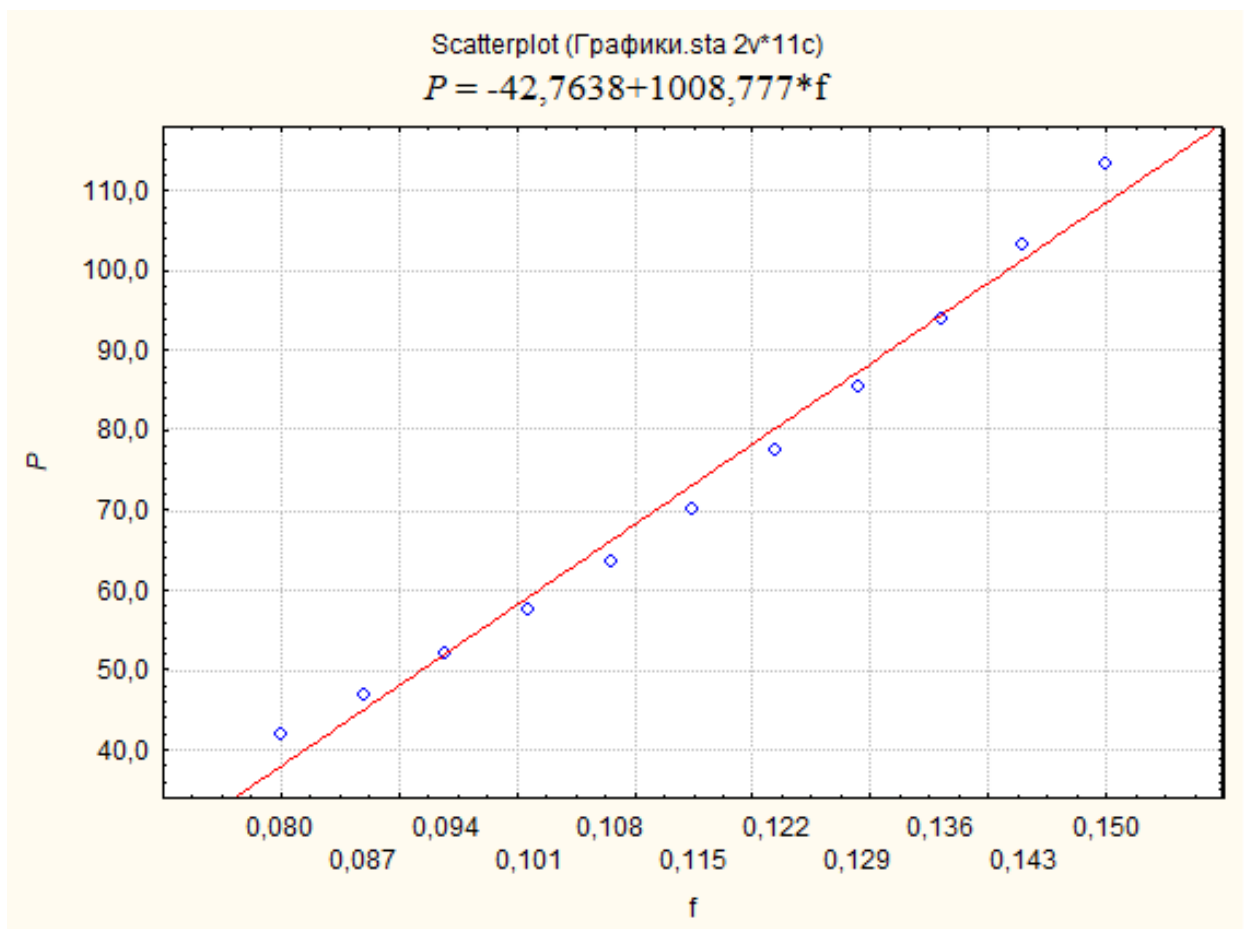


Рисунок 5 – Графік «Линейный»

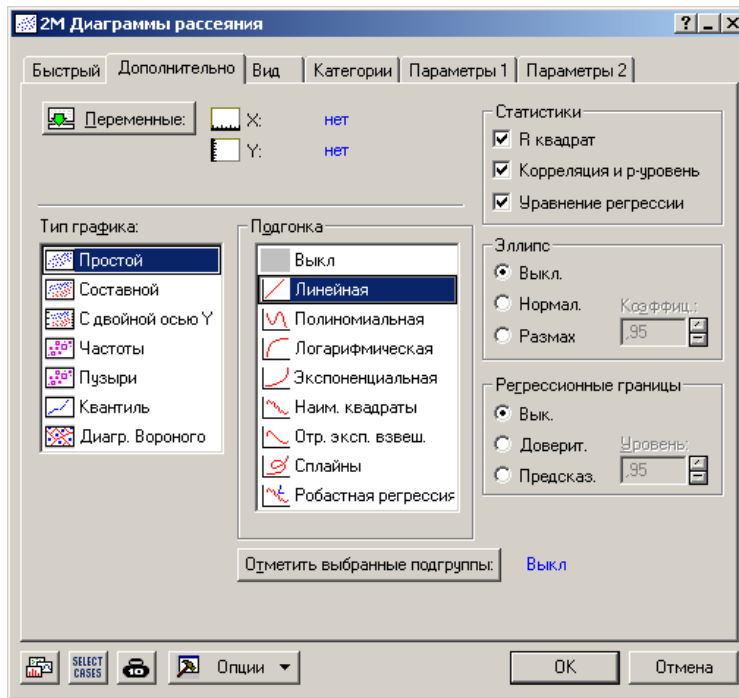


Рисунок 6 – Вікно «Диаграммы рассеяния» з відзначеними кнопками «Статистики»

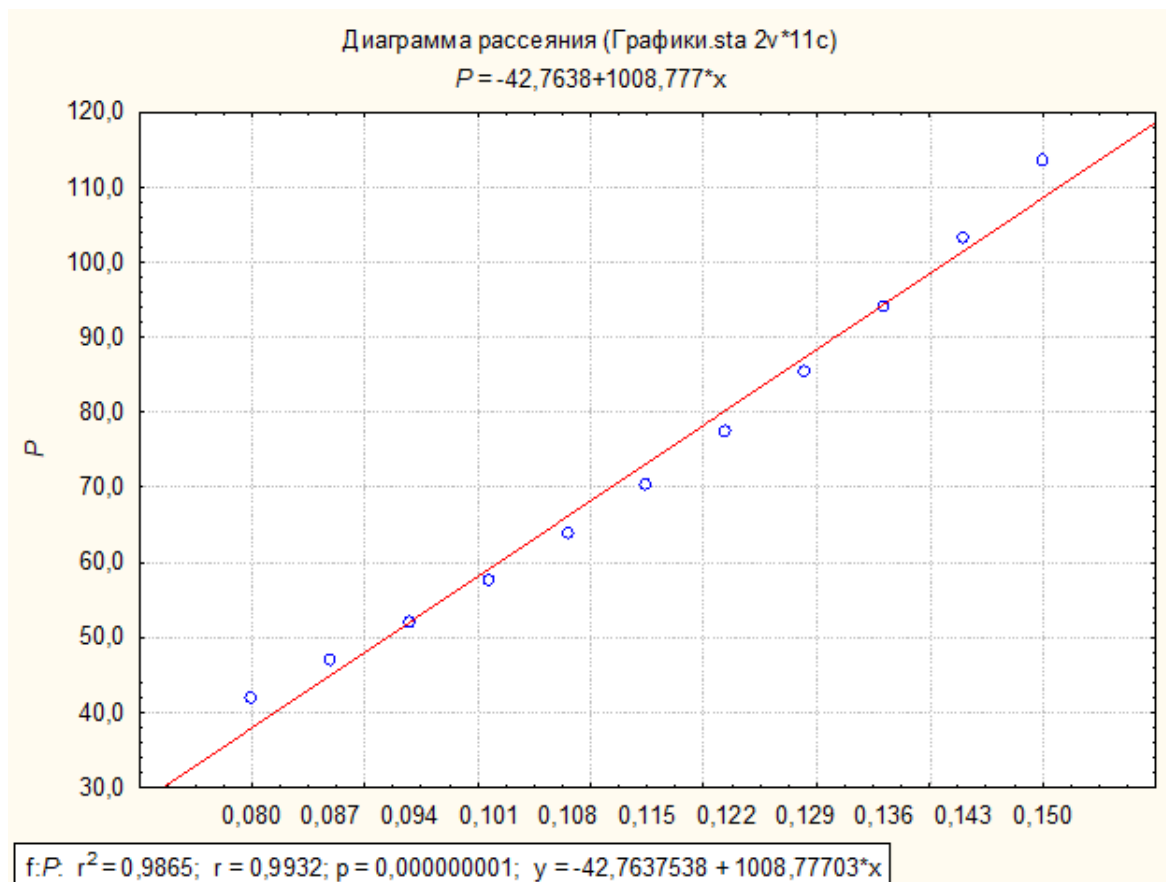


Рисунок 7 – Графік «Линейный» з зазначенням статистичних характеристик

З рис. 5 и 7 слідує, що рівняння регресії має вигляд:
 $P = -42,76 + 1008,8f$.

Коефіцієнт кореляції дорівнює 0,99, що говорить про те, що лінійна функція достатньо гарно описує дослідні дані.

Якщо двічі клацнути мишею по графіку, те з'являється вікно, що дозволяє вибрати нову функцію, нехай це буде поліноміальна функція (рис.8).

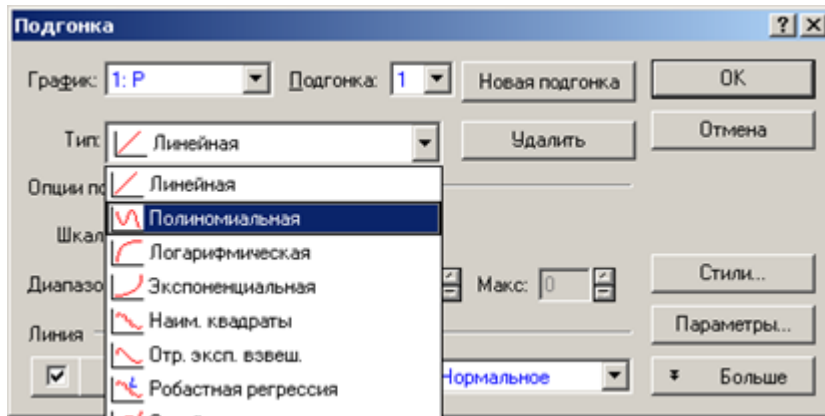


Рисунок 8 – «Подгонка Полиномиальная»

Тоді вікно видачі графіка буде мати вигляд (рис.9):

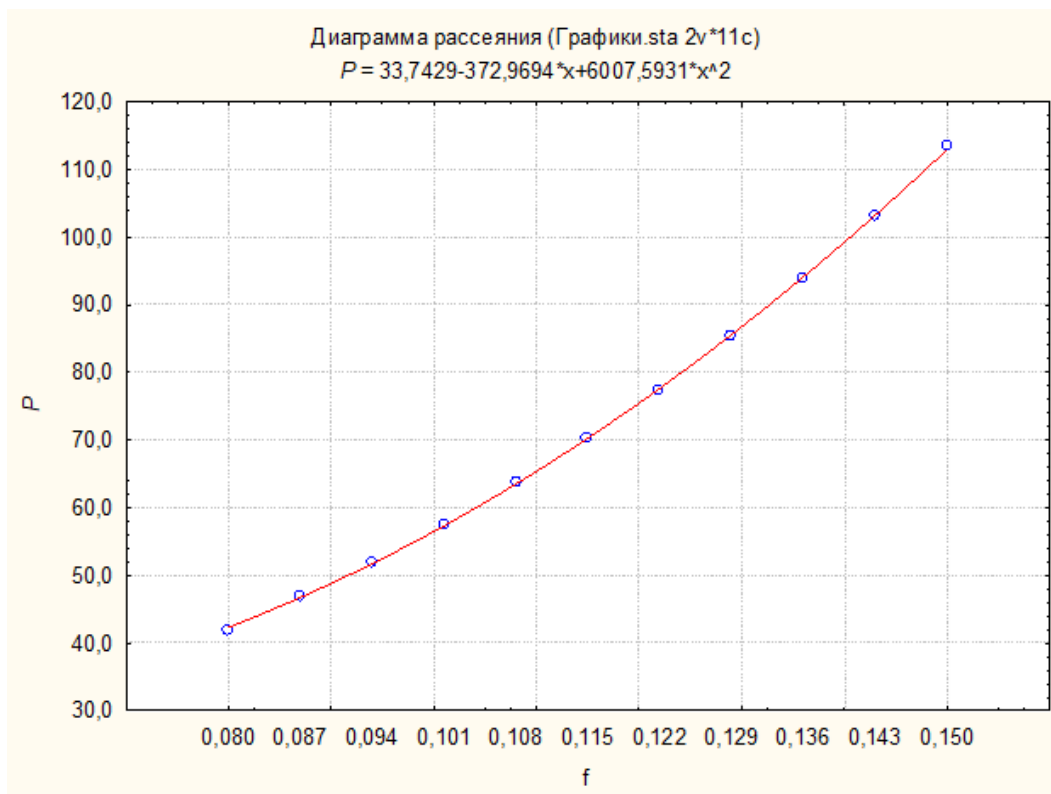


Рисунок 9 – График «Полиномиальный»

З рис. 9 видно, що поліноміальна залежність краще описує дослідні дані, чим лінійна і рівняння регресії має вигляд:

$$P = -33,74 - 372,97f + 6007,6f^2.$$

Виберемо тепер логарифмічне наближення (рис.10) і одержимо графік (рис.11)

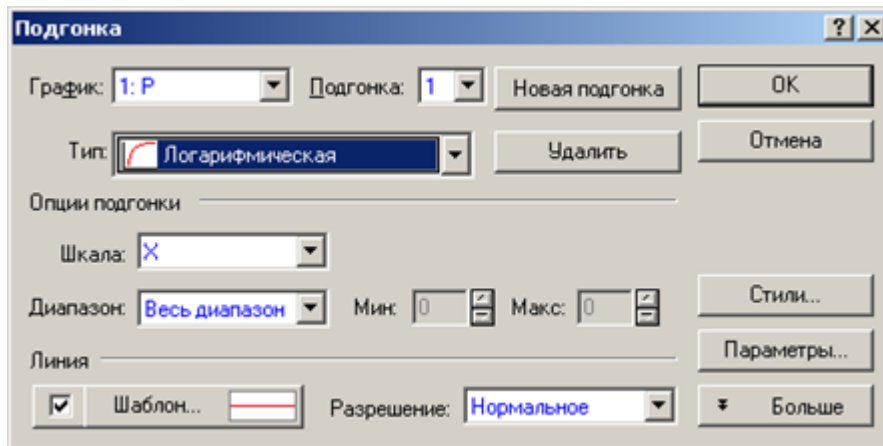


Рисунок 10 – «Подгонка Логарифмическая»

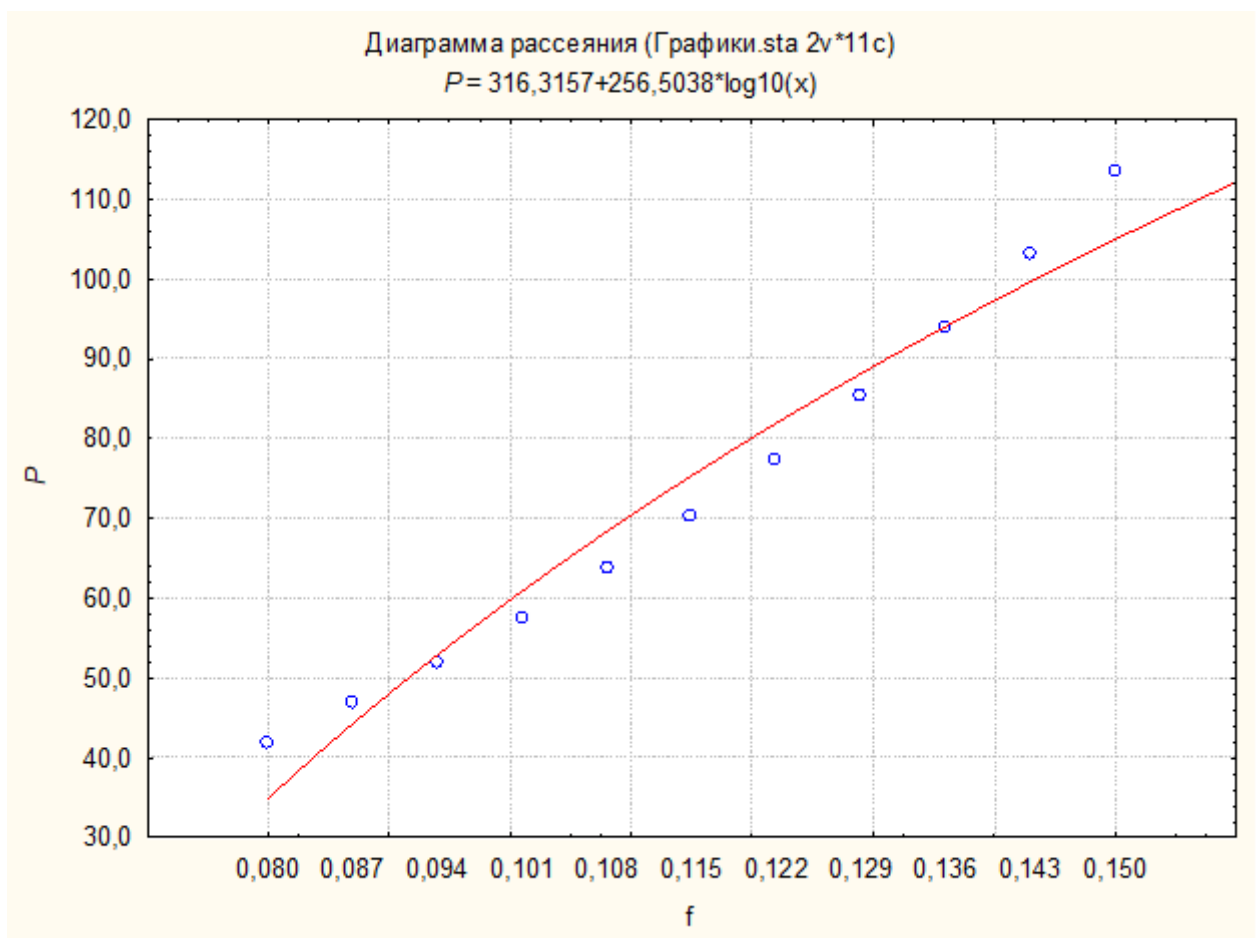


Рисунок 11 – Діаграма розсіювання «Логарифмическая»

Рівняння регресії має вигляд:

$$P = 316,32 + 256,51 \lg f.$$

Виберемо ще експонентне наближення (рис.12) і одержимо графік (рис.13).

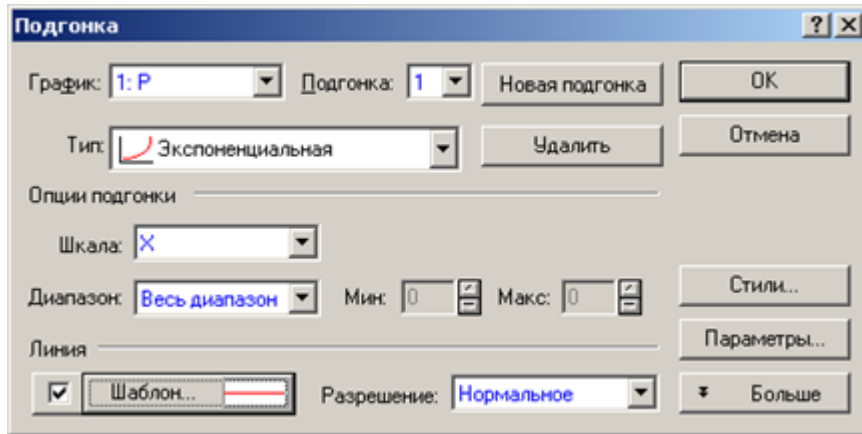


Рисунок 12 – «Подгонка Экспоненциальная»

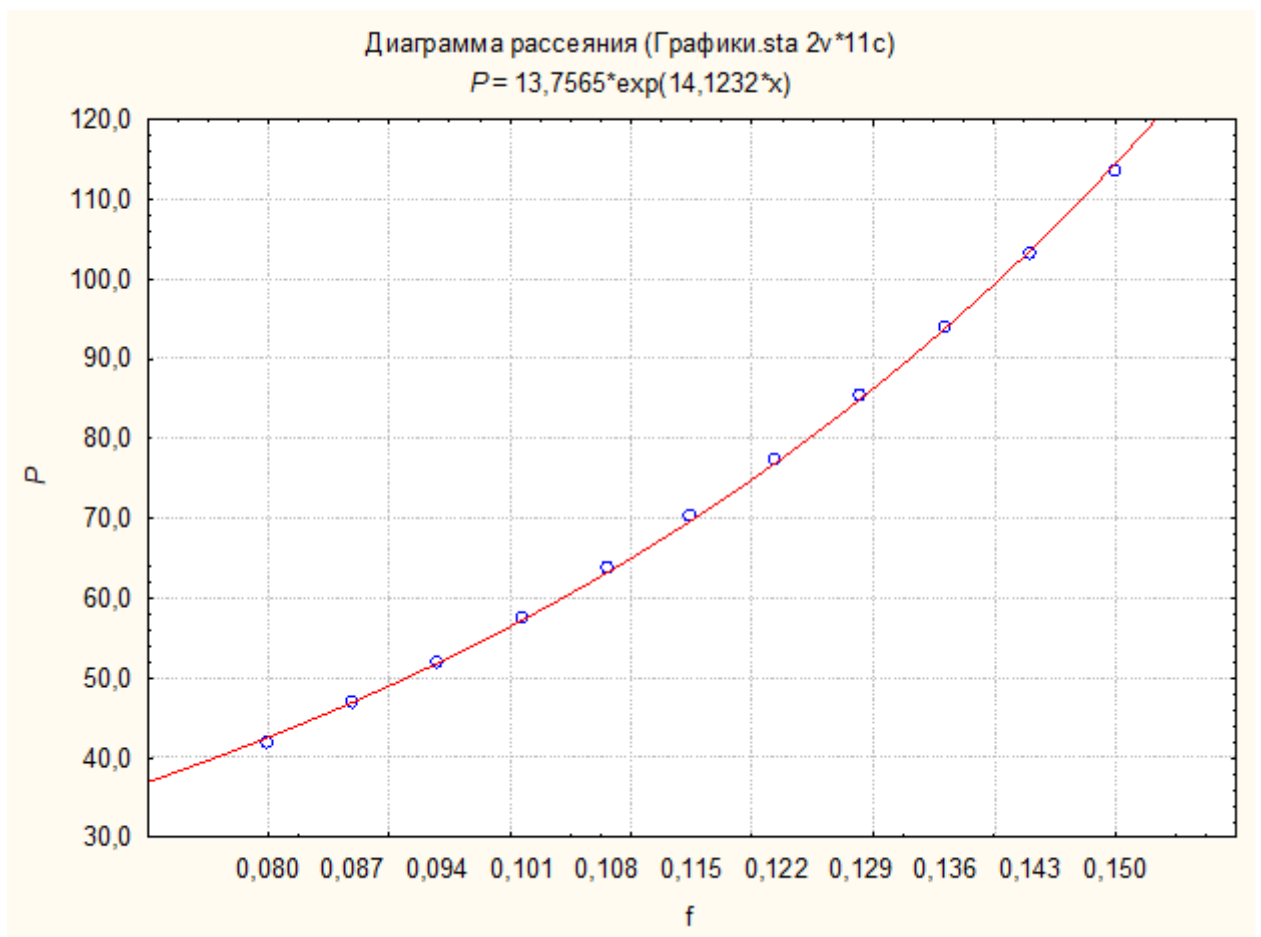


Рисунок 13 – Діаграма розсіювання «Экспоненциальная»



Рівняння регресії має вигляд:

$$P = 13,757e^{14,123f}.$$

З рисунків (7, 9, 11 і 13) слідує, що найкращим наближенням для вихідних даних є експонентна (рис.13) і поліноміальна (рис.9) функції.

В системі СТАТИСТИКА є можливість налаштування всіх елементів графіка. Для цього необхідно установити покажчик миші на необхідний елемент і або двічі клацнути на ньому, або один раз натиснути на праву кнопку миші і вибрати необхідну команду з контекстного меню:

а) зміна заголовку графіка. Змінити заголовок графіка з стандартного на необхідний. Подвійний щиглик на заголовку викликає діалогове вікно Правка заголовков (Edit Titles). Внесіть в нього необхідний текст і виберіть необхідний шрифт. Натисніть. Введений заголовок відразу ж відобразиться на графіці;

б) вибір виду крапок. Змініте вид крапок, при допомоги котрих відображаються дані.

Двічі клацніть на який-небудь крапці на графіці. З'явиться діалогове вікно Вид точек (Point pattern). В списку вибирається розмір крапки, наприклад 7 і її вид в списку Образцы (Pattern). Натисніть ОК. Вид крапок на графіці зміниться;

в) припасування гладкої кривій. Нехай необхідно апроксимувати спостережувані значення якимсь поліномом в смислі найменших відхилень квадратів різниці вихідних даних і розрахованих по поліному. Для цього покажчик миші ставиться на яку-небудь крапку побудованого графіка, натисканням на праву кнопку миші викликається контекстне меню, що складається з двох пунктів. Вибирається Изменить расположение текущего индивидуального графика (Change series/plot layout), далі в рамці Подгонка (Fit) – спосіб наближення – за допомогою полінома. В правому нижньому куту розташована рамка Доверительный интервал (Confidence Bands), в котрий перемикач відображення довірчого інтервалу установлюється в положення On – Включити. Налаштування графіка закінчена.

Щоб шкала у осі була рівномірної необхідно двічі клацнути по осі, вибрати Задание параметров оси і поставити галочку у Автоматически, как большие риски і усунути галочку у пункту Связанные значения (рис.14).

Варіанти індивідуальних завдань

В відповідності з варіантом завдання створити файл з вихідними даними. Побудувати двовимірні діаграми розсіювання і вибрати функцію, що найкращим образом описує вихідні дані (табл. 5.1).

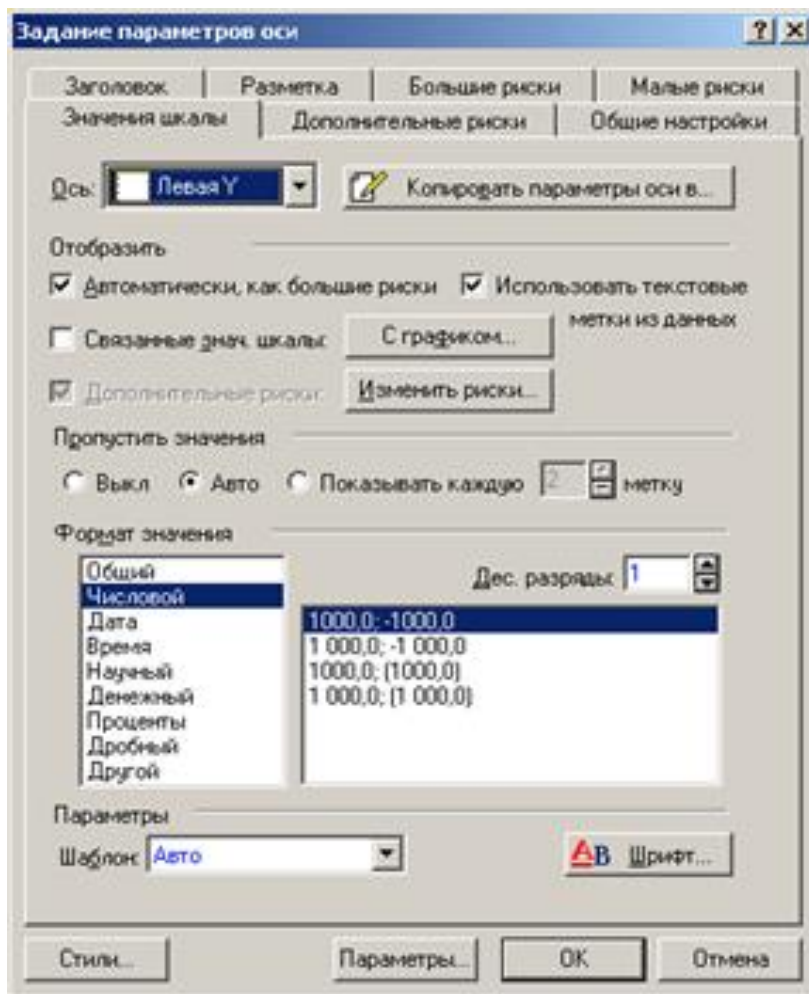


Рисунок 14 – Вікно «Задание параметров оси»

Таблица 5.1 – Вихідні дані для вибору функції за допомогою діаграми розсіювання

Вариант №1		Вариант №2		Вариант №3		Вариант №4		Вариант №5	
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1	0,0622	0,2	0,0011	250	0,0779	5	0,0110	30	0,0660
1,4	0,0622	0,225	0,0057	275	0,0799	7,5	0,0141	35	0,0651
1,8	0,0622	0,25	0,0119	300	0,0816	10	0,0162	40	0,0642
2,2	0,0600	0,275	0,0186	325	0,0831	12,5	0,0177	45	0,0633
2,6	0,0558	0,3	0,0254	350	0,0845	15	0,0186	50	0,0625
3	0,0520	0,325	0,0319	375	0,0857	17,5	0,0190	55	0,0616
3,4	0,0520	0,35	0,0381	400	0,0869	20	0,0190	60	0,0608
3,8	0,0520	0,375	0,0439	425	0,0879	22,5	0,0187	65	0,0599
4,2	0,0471	0,4	0,049	450	0,0889	25	0,0179	70	0,0591
4,6	0,0471	0,425	0,0544	475	0,0897	27,5	0,0169	75	0,0583
5	0,0441	0,45	0,0591	500	0,0906	30	0,0157	80	0,0574
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
0,25	3,8	250	9,9	10	1,6	10	1,0	800	5,6
0,27	5,0	275	10,4	14	2,4	14	2,0	840	5,9

Продовження таблиці 5.1

Варіант №6		Варіант №7		Варіант №8		Варіант №9		Варіант №10	
0,29	5,9	300	10,9	18	3,2	18	3,2	880	6,2
0,31	6,8	325	11,4	22	4,0	22	4,8	920	6,5
0,33	7,6	350	11,8	26	4,6	26	6,6	960	6,8
0,35	8,2	375	12,2	30	5,3	30	8,8	1000	7,1
0,37	8,8	400	12,6	34	5,8	34	11,3	1040	7,4
0,39	9,3	425	13,0	38	6,2	38	14,1	1080	7,7
0,41	9,8	450	13,4	42	6,5	42	17,2	1120	8,0
0,43	10,3	475	13,7	46	6,7	46	20,7	1160	8,2
0,45	10,6	500	14,1	50	6,8	50	24,6	1200	8,5

Варіант №11		Варіант №12		Варіант №13		Варіант №14		Варіант №15	
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
10	1,0	1,0	100,2	5	68,5	250	99,3	900	217,9
14	2,0	1,5	106,2	7	74,4	275	98,6	930	197,2
18	3,2	2,0	110,7	9	79,1	300	98,0	960	179,0
22	4,8	2,5	114,3	11	83,1	325	97,4	990	163,0
26	6,6	3,0	117,3	13	86,5	350	96,9	1020	148,8
30	8,8	3,5	119,9	15	89,6	375	96,5	1050	136,2
34	11,3	4,0	122,2	17	92,4	400	96,0	1080	125,0
38	14,1	4,5	124,3	19	94,9	425	95,6	1110	115,0
42	17,2	5,0	126,2	21	97,3	450	95,2	1140	106,0
46	20,7	5,5	127,9	23	99,5	475	94,8	1170	97,9
50	24,6	6,0	129,5	25	101,5	500	94,5	1200	90,6

Варіант №16		Варіант №17		Варіант №18		Варіант №19		Варіант №20	
x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1,0	124,6	10	116,2	250	186,2	800	302,3	1,0	0,0630
1,5	139,9	14	121,9	275	183,7	840	273,5	1,4	0,0584
2,0	151,9	18	126,4	300	181,4	880	247,5	1,8	0,0552
2,5	161,9	22	130,1	325	179,4	920	224,0	2,2	0,0530
3,0	170,6	26	133,2	350	177,5	960	202,6	2,6	0,0513
3,5	178,3	30	136,0	375	175,7	1000	183,4	3,0	0,0501
4,0	185,2	34	138,4	400	174,1	1040	165,9	3,4	0,0491
4,5	191,6	38	140,7	425	172,6	1080	150,1	3,8	0,0483
5,0	197,5	42	142,7	450	171,2	1120	135,8	4,2	0,0477
5,5	202,9	46	144,5	475	169,9	1160	122,9	4,6	0,0471
6,0	208,0	50	146,3	500	168,6	1200	111,2	5,0	0,0467



Лабораторне заняття №6 ПРОВЕДЕННЯ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ ЗА ДОПОМОГОЮ МОДУЛЯ МНОЖИННА РЕГРЕСІЯ (MULTIPLE REGRESSIONS)

Загальні теоретичні відомості

Рівняння парної регресії: $y = kx + b$. Найчастіше на залежну змінну діють відразу декілька факторів, серед котрих важко виділити єдиний або головний.

Рівняння множинної регресії: $y = k_1 \cdot x_1 + k_2 \cdot x_2 + \dots + b$,
де x_1, x_2, \dots – незалежні змінні, від котрих в тієї або іншій ступені залежить досліджувана (результуюча) змінна y ;
 k_1, k_2, \dots – коефіцієнти при відповідних змінних (коефіцієнти регресії), що показують, наскільки зміниться значення результуючої змінної при зміні окремої незалежної змінної на одиницю.

Рівняння множинної регресії задає регресійну модель, пояснюючу поведінку залежної змінної. Ніяка регресійна модель не в змозі вказати, яка змінна є залежною (наслідком), а які – незалежними (причинами).

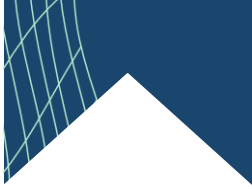
Спочатку створюється електронна таблиця з вихідними даними, які якщо буде потреба можуть бути перетворені до бажаного виду. З метою повного дослідження вихідних даних будуються спеціалізовані статистичні графіки.

Для початку статистичного аналізу викликається "Стартова панель" модуля, у якій задаються різні оцінки аналізу. Після проведення обчислень з'являється вікно результатів з наступною простою структурою: верхня частина вікна – інформаційна, нижня містить функціональні кнопки, що дозволяють всебічно переглянути результати аналізу.

Насамперед, як це видно вже з назви множинної лінійної регресії, передбачається, що зв'язок між змінними є лінійною. На практиці це припущення, по суті, ніколи не може бути підтверджено; на щастя, процедури множинного регресійного аналізу в незначному ступені піддаються впливу малих відхилень від цього припущення. Однак завжди має сенс подивитися на двовимірні діаграми змінних, що представляють інтерес. Якщо нелінійність зв'язку очевидна, то можна розглянути або перетворення змінних або явно допустити включення нелінійних членів.

Методика проведення заняття

1. В відповідності з варіантом завдання створити файл з вихідними даними.
2. Вибрати залежну і незалежні змінні.
3. Провести обчислення.
4. Провести всебічний аналіз отриманих результатів.



Розглянемо проведення регресійного аналізу на прикладі.

Нехай ϵ спостереження залежності опору деформації σ_s від ступеня деформації ϵ , швидкості прокатки v і наведено температури $t^* = t/1000$:

№	ϵ	$t^* = t/1000$	v	σ_s
1	15	1,18	1	148
2	17	1,15	1,4	155
3	19	1,12	1,5	186
4	22	1,11	1,9	210
5	26	1,1	2,1	224
6	28	1,04	2,3	246
7	31	1,02	2,5	248
8	33	1,01	2,7	252
9	36	0,99	2,9	270
10	38	0,97	3,1	270
11	40	0,95	3,3	275
12	42	0,97	3,7	285
13	44	0,94	3,9	300
14	46	0,92	4,2	316
15	40	0,85	4,5	394

Послідовність виконання завдання

Вихідні дані занесемо в електронну таблицю Таблица. sta, що складається з трьох змінних і 15 випадків.

В стартовому діалоговому вікні модуля Множественная регрессия (рис. 15) за допомогою кнопки Переменные (Variables) указуються залежна (dependent) и незалежні (ня) (independent) змінні.

Після того, як всі опції стартового діалогового вікна регресійного аналізу виставлені, натискання на кнопку ОК приведе до появи вікна Результаты регрессионного анализа (Multiple Regressions Results) (рис. 16), за допомогою якого можна переглянути результати аналізу в деталях.

В верхньої частині вікна (Рис. 16) приводяться найбільше важливі параметри отриманої регресійної моделі:

Множест. R (Multiple R) – коефіцієнт множинної кореляції R; характеризує тісноту лінійного зв'язку між залежною й всіма незалежними змінними. Може приймати значення від 0 до 1.

Чим ближче коефіцієнт кореляції до 1, тим тісніше лінійний зв'язок. При величині коефіцієнта кореляції (по Дворецькому) менш 0,3 зв'язок оцінюється як слабкий, від 0,31 до 0,5 – помірний, від 0,51 до 0,7 – значний, від 0,71 до 0,9 – тісний, 0,91 і вище – дуже тісний. Для практичних цілей Дворецький рекомендує використовувати значні, тісні й дуже тісні зв'язки.

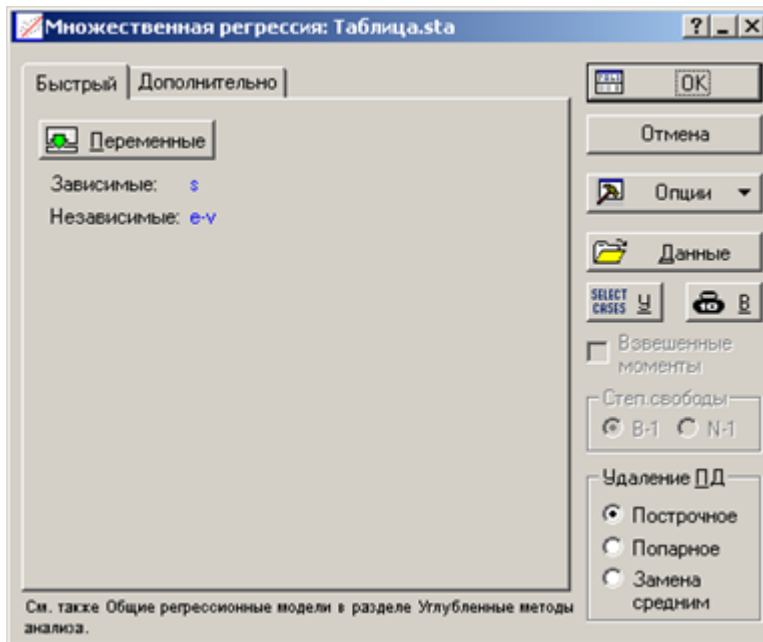


Рисунок 15 – Стартовое діалогове вікно модуля «Множественная регрессия»

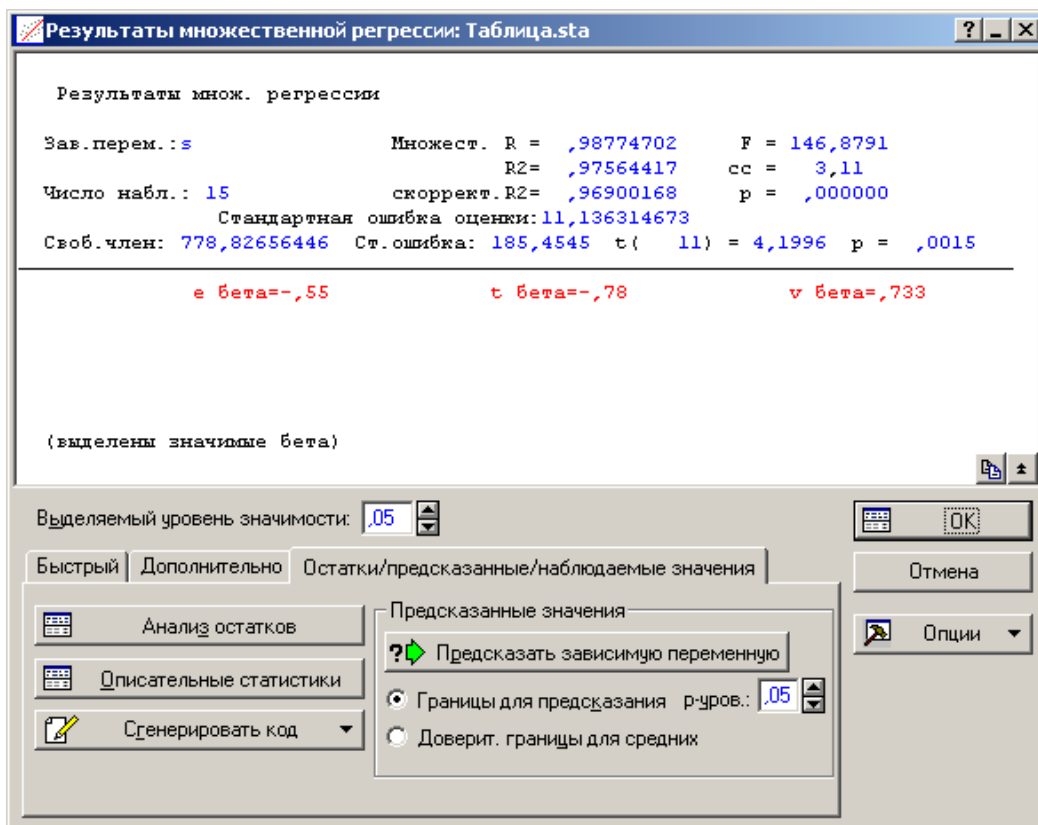



Рисунок 16 – Вікно перегляду результатів регресійного аналізу

R2 (або R1) – коефіцієнт детермінації R2; чисельно виражає частку варіації залежної змінної, пояснену за допомогою регресійного рівняння. Чим більше R2, тим більшу частку варіації пояснюють змінні, включені в модель.



Скорректир. R2 (adjusted R2) – скоректований коефіцієнт множинної кореляції, обчислюємиий по формулі:

$$R2_{\text{скорект}} = 1 - (1 - R2) \frac{n}{n - k}$$

де n – число спостережень в моделі; k – число параметрів моделі (кількість коефіцієнтів в моделі).

Цей коефіцієнт позбавлений недоліків коефіцієнта множинної кореляції. Включення нової змінної в регресійне рівняння збільшує R2 не завжди, а тільки в тому випадку, коли F-критерій при перевірці гіпотези про значимість даної змінної більше або дорівнює 1. У протилежному випадку включення нової змінної зменшує значення R2 і скорректир. R2.

F – F- критерій Фішера;

сс (df) – число ступенів свободи для F-критерію;

p – імовірність нульовий гіпотези для F-критерію.

Критерій Фішера вимірює силу зв'язку між змінними й залежною величиною. Якщо F значно більше одиниці, то модель адекватна з довірчою ймовірністю p . Тобто ймовірність того, що модель не адекватна дорівнює p .

Стандартна помилка оцінки (моделі або рівняння) (Standard error of estimate) або середньоквадратичне відхилення, обчислюється по формулі:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i^{on} - y_i^{расч})^2}{n - k}}$$

де y_i^{on} , $y_i^{расч}$ – дослідні і розрахункові значення.

Ця статистика є мірою розсіювання спостережуваних значень щодо регресії прямої.

«Своб. член (Intercept)» – вільний член рівняння. Змістовний смисл коефіцієнта регресії b показує, на скільки в середньому зміниться результуюча ознака y при збільшенні незалежної ознаки x на одиницю виміру. Не може дорівнювати 0.

«Ст. ошибка (Std.Error)» – стандартна помилка вільного члена рівняння;

t – t -критерій для вільного члена рівняння;

p – імовірність нульовий гіпотези для вільного члена рівняння.

«Beta» – β -коефіцієнти рівняння.

Це стандартизовані регресійні коефіцієнти, розраховані за стандартизованим значенням змінних. По їхній величині можна зрівняти й оцінити значимість залежних змінних, тому що β -коефіцієнт показує на скільки одиниць стандартного відхилення зміниться залежна змінна при зміні на одне стандартне відхилення незалежної змінної за умови

сталості інших незалежних змінних. Вільний член у такому рівнянні дорівнює 0.

Велике значення F-критерію (критерію Фішера) (рис.16): $F = 146,8791$ та рівень значимості $p = 0,000000$ показують, що побудована регресія високо значима.

Середньоквадратичне відхилення $\sigma = 11,1$. Коефіцієнт кореляції дорівнює $R=0,988$.

За допомогою кнопок діалогового вікна «Результаты регрессионного анализа» (рис. 16) результати регресійного аналізу можна переглянути більше детально.

Кнопка «Regression summary» або «Краткие результаты регрессии» во вкладці «Быстрый» дозволяє переглянути основні результати регресійного аналізу (рис. 17): «БЕТА» – β -коефіцієнти рівняння; «Стд.Ош. Бета» (St. Err. of BETA) – стандартні помилки β -коефіцієнтів; «В» – коефіцієнти рівняння регресії; «Стд.Ош. В (St. Err. of B)» – стандартні помилки коефіцієнтів рівняння регресії; «t (11)» – t-критерії для коефіцієнтів рівняння регресії; «p-рівні (p-level)» – імовірність нульовий гіпотези для коефіцієнтів рівняння регресії. Коефіцієнти мають вагому ступінь значимості, якщо p-значення (p-уров.) менше заданої величини, наприклад, 0,05.

Итоги регрессии для зависимой переменной: σ (Таблица.sta)						
R= ,98774702 R2= ,97564417 Скорректир. R2= ,96900168 F(3,11)=146,88 p<,00000 Станд. ошибка оценки: 11,136						
N=15	БЕТА	Стд.Ош. БЕТА	В	Стд.Ош. В	t(11)	p-уров.
Св.член			778,827	185,4545	4,19956	0,001487
ε	-0,554885	0,170658	-3,441	1,0583	-3,25145	0,007715
t	-0,781242	0,218100	-525,968	146,8352	-3,58203	0,004303
ν	0,733173	0,265220	43,801	15,8447	2,76440	0,018410


Рисунок 17 – Основні результати регресійного аналізу

З рисунка 17 (3 стовпець) слідує, що рівняння взаємозв'язку між опором деформації σ_s й ступенем деформації ε , швидкістю прокатки ν й наведеною температурою t^* має вигляд:

$$\sigma_s = 778,827 - 3,441\varepsilon - 525,968t^* + 43,801\nu$$

або

$$\sigma_s = 778,827 - 3,441\varepsilon - 0,525968t + 43,801\nu.$$



Всі коефіцієнти рівняння значимі на 5% рівні (p -уров. $< 0,05$). Це рівняння пояснює 97,6% ($R^2 = 0,9756$) варіації залежної змінної. Обмеження моделі:

$$15 \leq \varepsilon \leq 46; 850 \leq t \leq 1180; 1 \leq v \leq 4,5.$$

Четвертий стовпець (рис.17) «Стд.Ош.В (Std.Err of B)» – стандартні помилки коефіцієнтів рівняння регресії – визначається по формулі:

$$\text{Std.Err of } B = \frac{B}{t},$$

де B – коефіцієнти рівняння регресії (3 стовпець); t – t -критерії для коефіцієнтів рівняння регресії (5 стовпець). Наприклад, для вільного члена:

$$\text{Std.Err of } B = \frac{778,827}{4,19956} = 185,4545.$$

Ця інформація наведена також на рис.16.

Кнопка «Анализ остатков (Residual analysis)» (рис.16) запускає процедуру всебічного аналізу залишків регресійного рівняння. Залишки – це різниці між дослідними й передбачуваними значеннями залежної змінної в побудованій регресійній моделі. Якщо залишки істотно корелировані (залежні), то модель неадекватна.

Кнопка «Выбросы (Redundancy)» призначена для пошуку викидів. Викиди – це залишки, які значно перевершують по абсолютній величині інші. Викиди показують дослідні дані, які є не типовими стосовно інших даних, і вимагає з'ясування причин їхнього виникнення. Викиди повинні виключатися з обробки, якщо вони викликані помилками реєстрації, виміру. Для виділення наявних у регресійних залишках викидів запропонований ряд показників:

Показник Кука («Кука расст.» або «Cook's Distance») – приймає тільки позитивне значення й показує відстань між коефіцієнтами рівняння регресії після виключення з обробки i -ої крапки даних.

Велике значення показника Кука указує на випадок, що сильно впливає.

Відстань Махаланобиса («Махалан. расст.» або «Mahalns. Distance») – показує наскільки кожен випадок або крапка в p -мірному просторі незалежних змінних відхиляється від центра статистичної сукупності.

Уважний аналіз залишків дозволяє оцінити адекватність моделі. Залишки повинні бути нормально розподілені, із середнім значенням рівним нулю й постійної, незалежно від величин залежною й незалежною змінних, дисперсією. Модель повинна бути адекватна на всіх відрізках інтервалу зміни залежної змінної.

Перегляд величин залишків і спеціальних критеріїв, їх оцінюючих, здійснюється за допомогою кнопки «Предсказанные значения и остатки (Display residuals & pred)» вікна «Анализ остатков (Residual analysis)». Для нашого прикладу вікно з цими даними представлений на рис. 18.

Предсказанные значения и остатки (Таблица.sta)									
Зависимая перемен.: σ									
Набл. No.	Наблюд. Значение	Предск. Значение	Остатки	Станд. предск.	Станд. Остатки	Стд. Ош. предск.	Махалан. расст.	Удален. остатки	Кука расст.
1	148,0000	150,3685	-2,3685	-1,62564	-0,21268	5,83788	2,91396	-3,2660	0,005909
2	155,0000	176,7857	-21,7857	-1,20281	-1,95628	5,67474	2,70194	-29,4267	0,453263
3	186,0000	190,0627	-4,0627	-0,99030	-0,36481	4,90690	1,78472	-5,0415	0,009947
4	210,0000	202,5195	7,4805	-0,79092	0,67172	4,88254	1,75781	9,2607	0,033231
5	224,0000	202,7749	21,2251	-0,78683	1,90593	4,86595	1,73956	26,2336	0,264866
6	246,0000	236,2110	9,7890	-0,25165	0,87902	4,17275	1,03224	11,3878	0,036703
7	248,0000	245,1673	2,8327	-0,10830	0,25437	4,49950	1,35213	3,3854	0,003772
8	252,0000	252,3049	-0,3049	0,00595	-0,02738	3,84617	0,73661	-0,3462	0,000029
9	270,0000	261,2612	8,7388	0,14930	0,78471	4,66091	1,51904	10,5947	0,039636
10	270,0000	273,6585	-3,6585	0,34773	-0,32852	5,03896	1,93300	-4,6004	0,008735
11	275,0000	286,0559	-11,0559	0,54616	-0,99278	5,48024	2,45701	-14,5889	0,103900
12	285,0000	286,1748	-1,1748	0,54807	-0,10549	6,38783	3,67296	-1,7508	0,002033
13	300,0000	303,8318	-3,8318	0,83069	-0,34408	5,48879	2,46760	-5,0613	0,012545
14	316,0000	320,6093	-4,6093	1,09922	-0,41390	6,34621	3,61313	-6,8260	0,030503
15	394,0000	391,2141	2,7859	2,22932	0,25016	10,83458	12,31830	52,1169	5,182690
Минимум	148,0000	150,3685	-21,7857	-1,62564	-1,95628	3,84617	0,73661	-29,4267	0,000029
Максим.	394,0000	391,2141	21,2251	2,22932	1,90593	10,83458	12,31830	52,1169	5,182690
Среднее	251,9333	251,9333	-0,0000	0,00000	-0,00000	5,52826	2,80000	2,8047	0,412517
Медиана	252,0000	252,3049	-1,1748	0,00595	-0,10549	5,03896	1,93300	-1,7508	0,030503

Рисунок 18 – Вікно «Предсказанные значения и остатки»

Кнопка «Корреляции (Correlations and desc. Stats)» дозволяє переглянути описові статистики і кореляційну матрицю з парними коефіцієнтами кореляції змінних, що беруть участь в регресійній моделі (рис. 19).

Кнопка «Корреляции (Partial correlations)» – дозволяє переглянути приватні коефіцієнти кореляції (Partial Cor.) між змінними (рис. 19). Приватна кореляція – це кореляція між двома змінними, коли одна або більше з змінних, що залишилися, утримуються на постійному рівні (тобто мають постійне значення). Приватні коефіцієнти кореляції, як і парні, можуть приймати значення від -1 до +1.

Сильна взаємна кореляція незалежних змінних у нашому рівнянні утрудняє аналіз впливу окремих факторів на залежну змінну (рис. 20).

В ідеальній регресійній моделі незалежні змінні взагалі не корелюють один з одним. Однак у моделях, розроблювальних для природних об'єктів, сильна кореляція змінних є досить частим явищем. Це приводить до збільшення помилок рівняння, зменшенню точності оцінювання, знижується ефективність використання регресійної моделі. Тому вибір незалежних змінних, що включають у регресійну модель, повинен бути дуже ретельним.

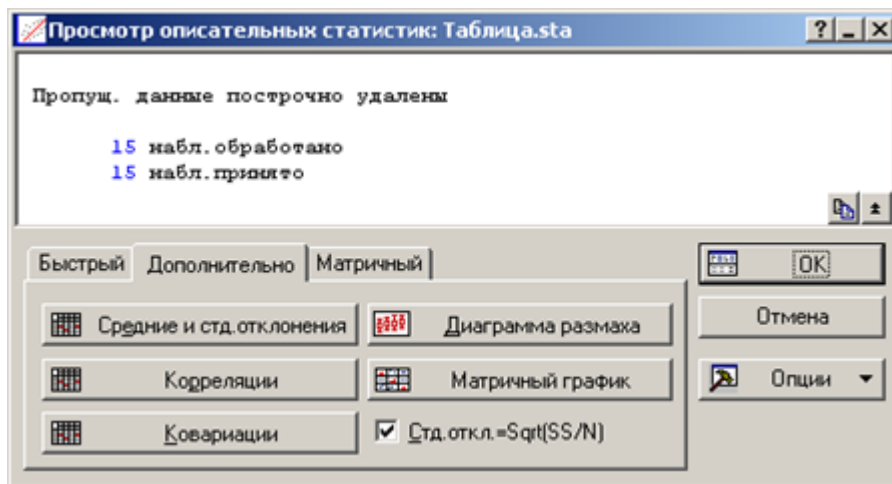


Рисунок 19 – Вікно «Просмотр описательных статистик»

Переменная	Корреляции (Таблица.sta)			
	ε	t	v	σ
ε	1,000000	-0,941905	0,961098	0,885621
t	-0,941905	1,000000	-0,976366	-0,974438
v	0,961098	-0,976366	1,000000	0,962652
σ	0,885621	-0,974438	0,962652	1,000000

Рисунок 20 – Приватні коефіцієнти кореляції

Чим менше коефіцієнти кореляції між незалежними змінними x_i (у даному прикладі – це ε , v , t), тим краще. Це говорить про їхню незалежність.

За допомогою кнопки «Матричный график» (рис.19) можна переглянути кореляційну матрицю в графічному виді (рис. 21). На матричному графіці цього типу зображуються 2D діаграми розсіювання, організовані в формі матриці (значення змінної по стовпцю використовуються в якості координат X, а значення змінної по рядку – в якості координат Y). Гістограми, що зображують розподіл кожної змінної, розташовуються на діагоналі матриці (в випадку квадратних матриць) або по краям (в випадку прямокутних матриць).

Після натискання кнопки «Средние и стандартные отклонения» (рис.19) з'являється відповідне вікно (рис.22).

Часто цілком достатньо буває одного графічного аналізу залишків. Про нормальність залишків можна судити за графіком залишків на нормальному імовірнісному папері. Чим ближче розподіл до нормального виду, тим краще значення залишків лягають на пряму лінію. Він будується за допомогою кнопок Вероятностные графики и Нормальный окна Анализ остатков (рис. 23).

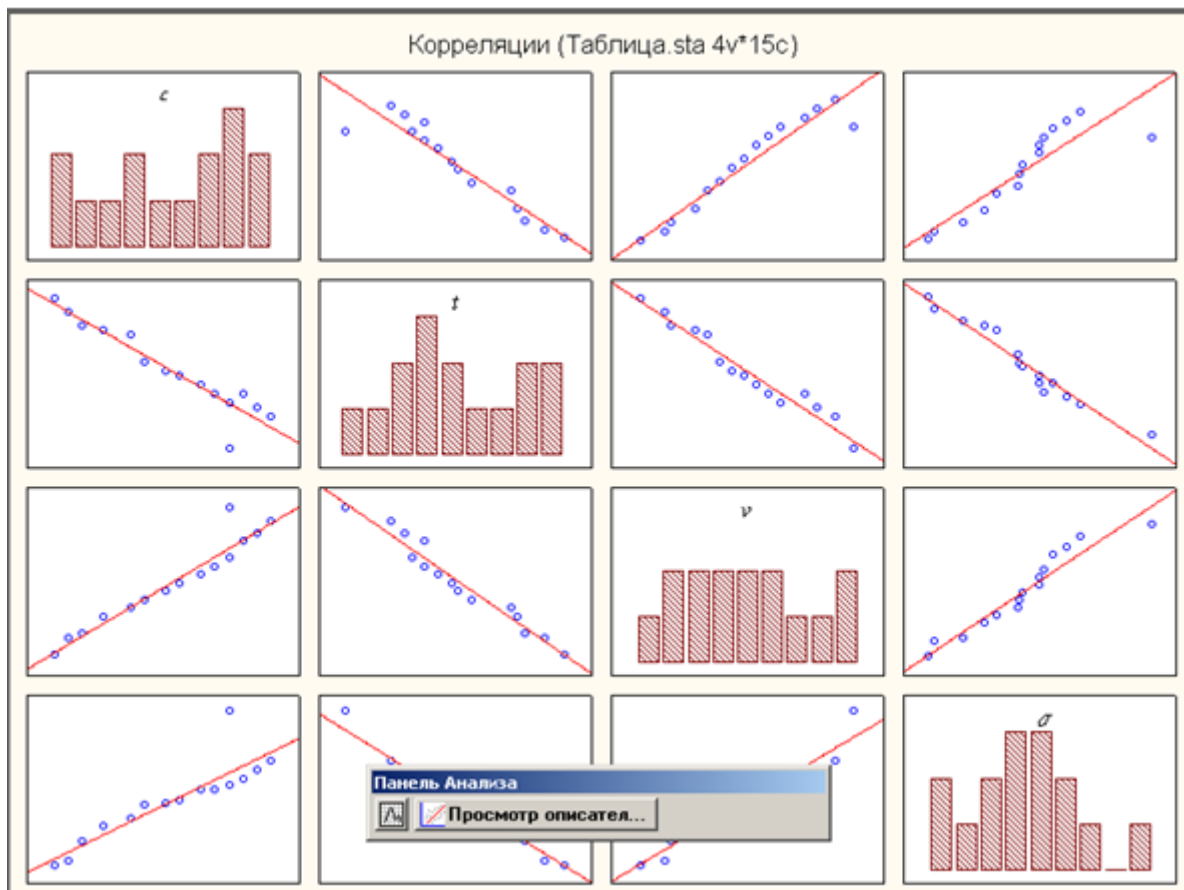


Рисунок 21 – Матричний графік

		Средние и станд. отклонения (Таблица.sta) Стд. откл.=sqrt(SS/N)		
Переменная	Средние	Ст. Откл.	N	
ϵ	31,8000	9,85359	15	
t	1,0213	0,09076	15	
v	2,7333	1,02285	15	
σ	251,9333	61,10697	15	

Рисунок 22 – Вікно «Средние и стандартные отклонения»

Важливо переглянути графіки залежності залишків від кожної з незалежних змінних (рис. 24...26). Для цього в вікні «Анализ остатков» натисніть спочатку кнопку «Остатки» і потім «Остатки и независимые переменные». Після цього вибирається конкретна незалежна змінна. Залишки повинні бути нормально розподілені, тобто на графіці вони повинні представляти приблизно горизонтальну смугу однакової ширини на всій її протязі. Коефіцієнт кореляції (r) між регресійними залишками і змінними повинен рівнятися нулю.

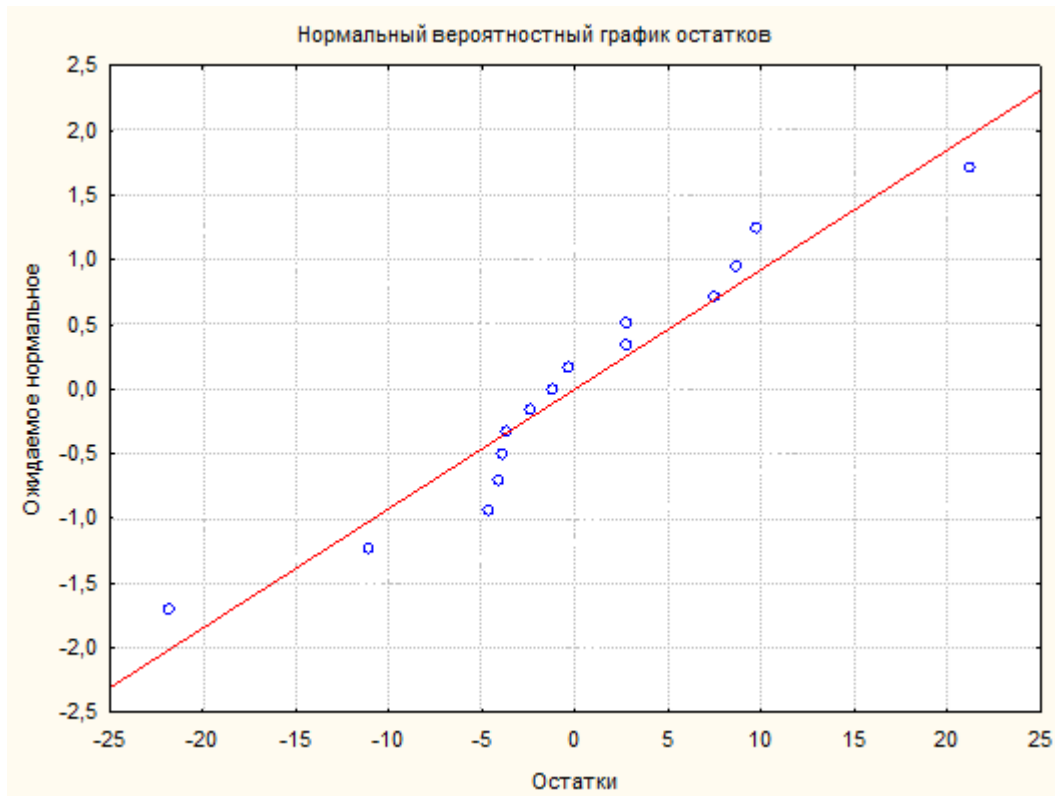


Рисунок 23 – Вікно «Нормальный вероятностный график остатков»

Для виявлення нестабільності дисперсії помилки рівняння за допомогою кнопок «Остатки», «Диаграммы рассеяния», «Предсказанные и остатки (Pred. & residuals)» вікна «Анализ остатков» можна створити графік залежності регресійних залишків від передвіщеного значення залежної змінної (рис.27).

Дуже зручним візуальним способом оцінки адекватності регресійної моделі є аналіз графічного зображення дослідних й отриманих по регресійному рівнянню значень залежної змінної (рис.28). Воно будується за допомогою кнопок «Остатки», «Диаграммы рассеяния», «Предсказанные и наблюдаемые (Pred. & observed)» вікна «Анализ остатков (Residual analysis)».

З рис. 28 добре видно, що лінійний вид нашої моделі добре описує взаємозв'язок опору деформації від ступеня деформації, температури й швидкості прокатки.

Більше докладний аналіз можна одержати, вибравши Углубленные методы анализа, і потім Общие регрессионные модели (рис. 29). В останньому вікні натиснути кнопку Множественная регрессия, в результаті чого з'явиться вікно Множественная регрессия (рис.30). Після вибору змінних з'явиться вікно Результаты (рис.31). В цьому вікні після натискання кнопки Все эффекты з'являється вікно SS модели и SS остатков (рис. 32), в котрому представлені статистичні характеристики отриманої моделі.

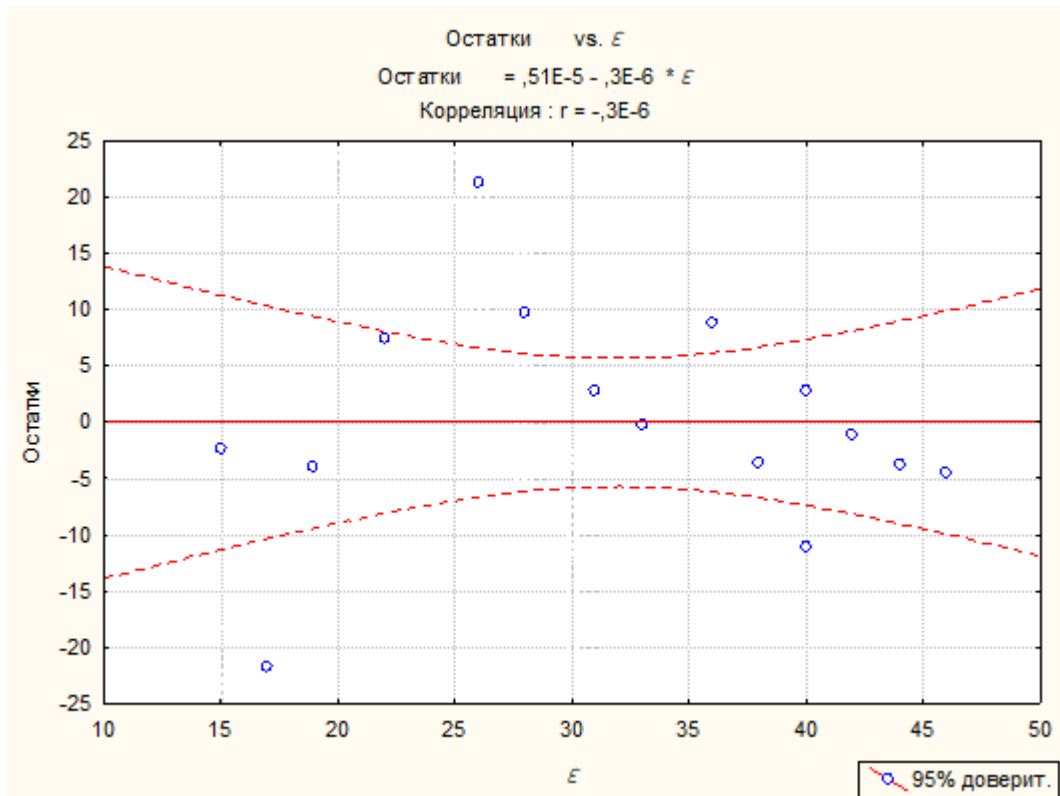


Рисунок 24 – Графік залежності залишків від ступеня деформації ϵ

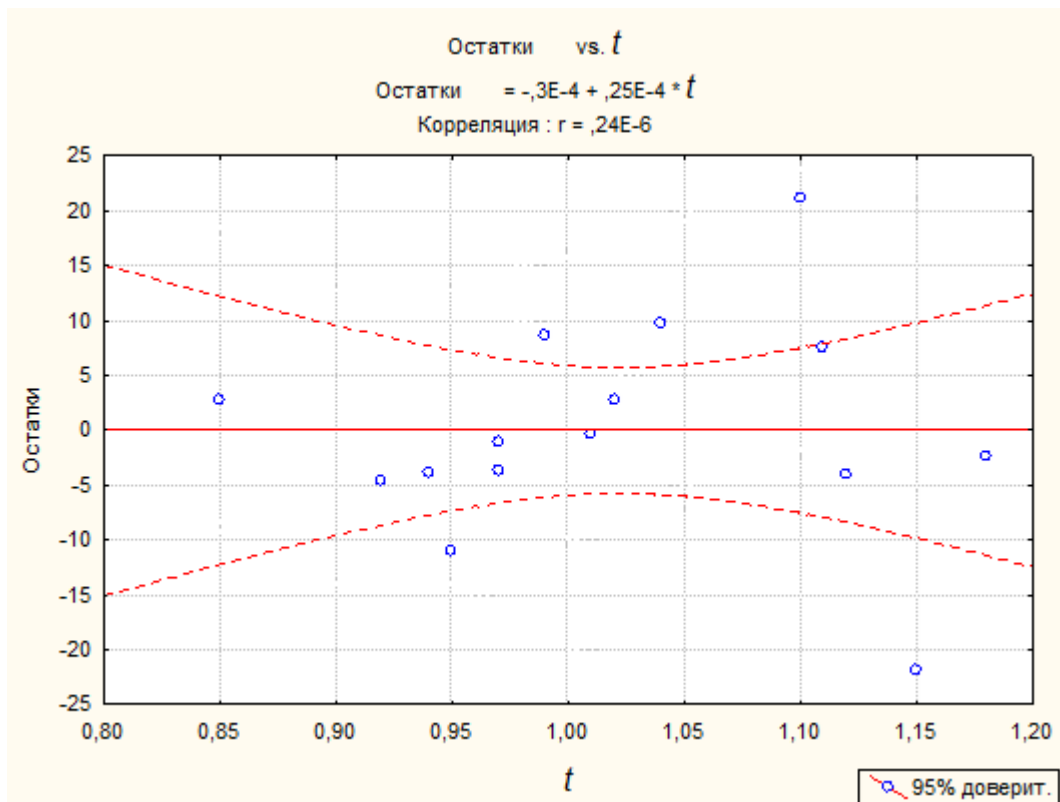


Рисунок 25 – Графік залежності залишків від температури t^*

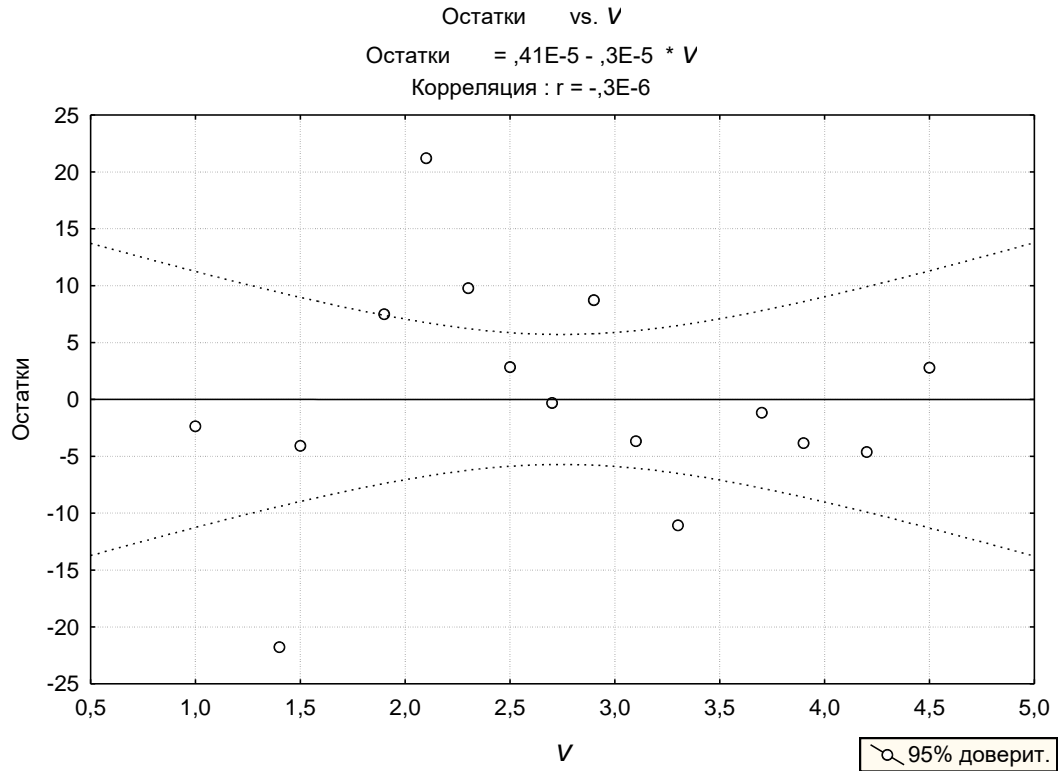


Рисунок 26 – Графік залежності залишків від швидкості V

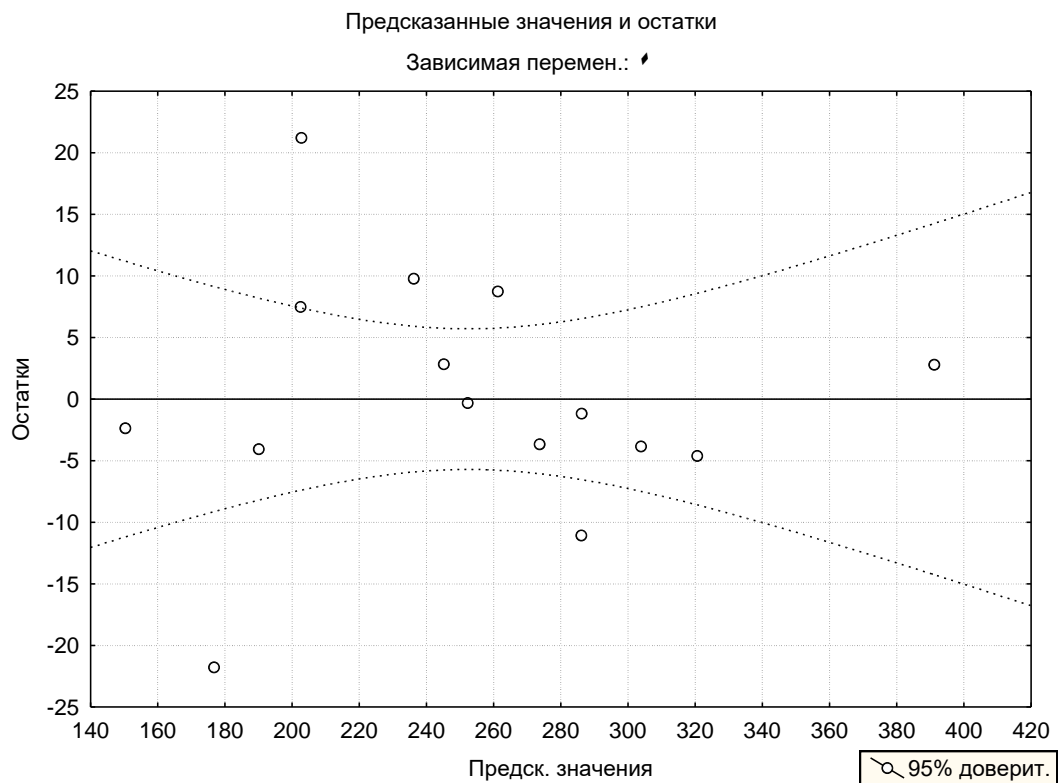


Рисунок 27 – Залежність регресійних залишків від передвіщених значень залежної змінної

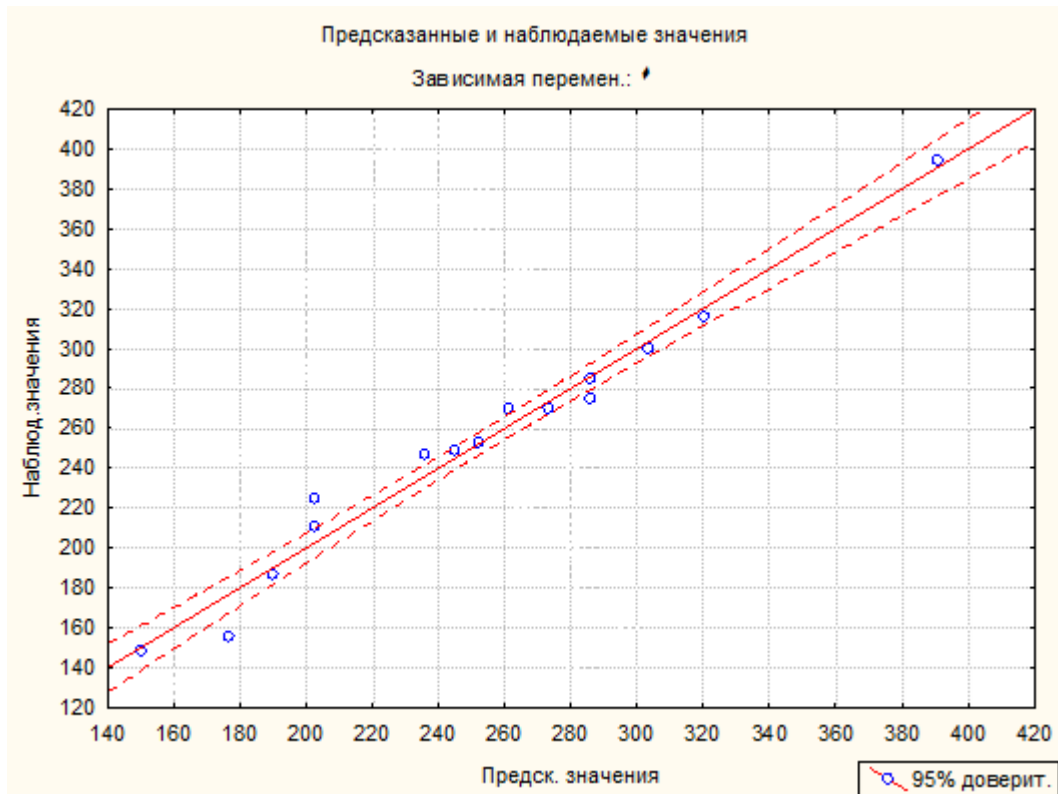
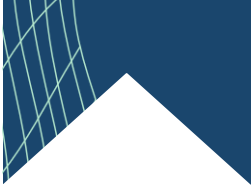


Рисунок 28 – Лінія регресії, дослідні і отримані по регресійному рівнянню значення залежної змінної

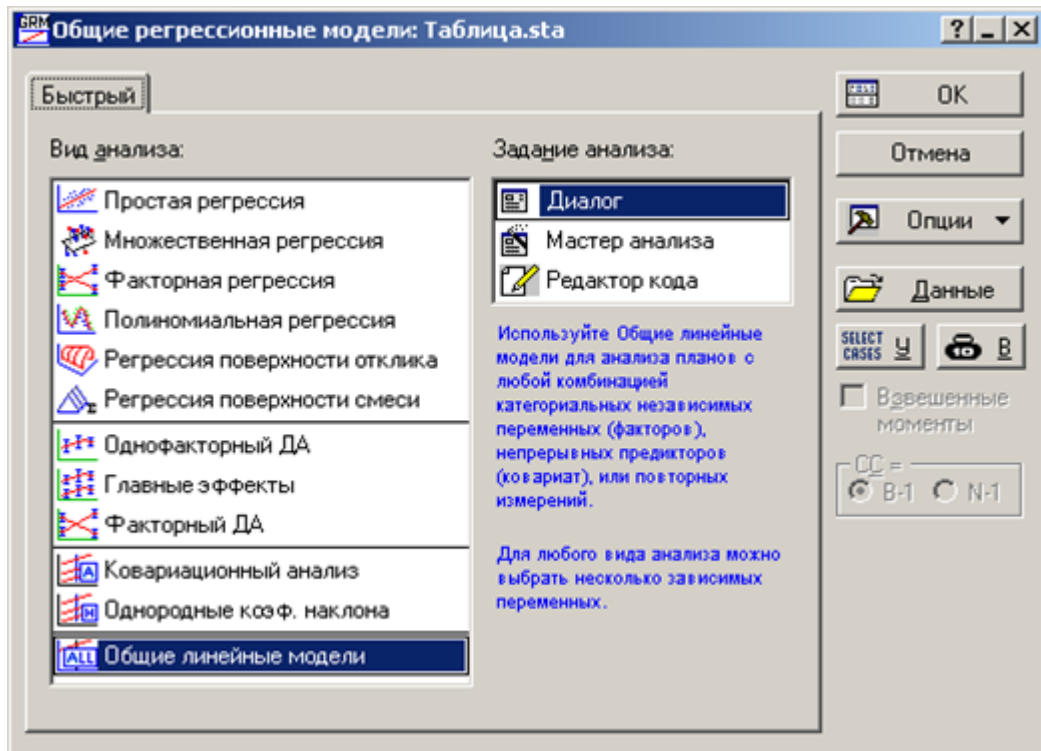


Рисунок 29 – Вікно «Общие регрессионные модели»

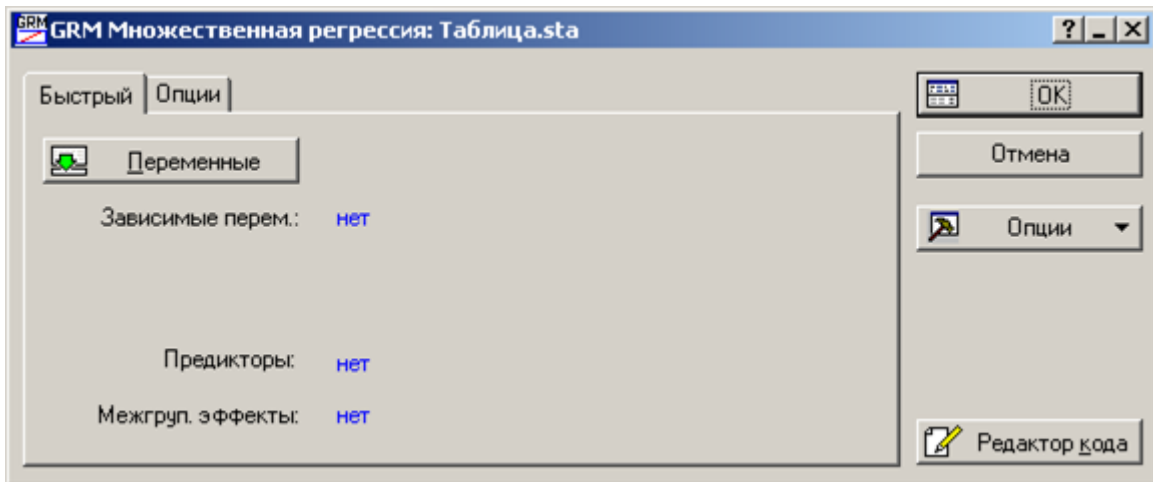


Рисунок 30 – Вікно «Множественная регрессия»

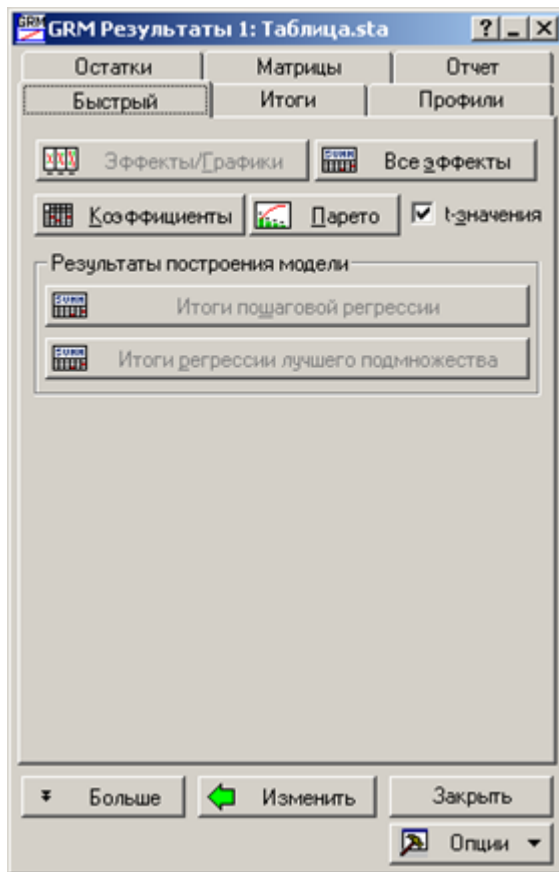



Рисунок 31 – Вікно «Результаты»

Зависим. Перемен.	SS модели и SS остатков (Таблица.sta)										
	Множест. R	Множест. R2	Скоррект R2	SS Модель	сс Модель	MS Модель	SS Остаток	сс Остаток	MS Остаток	F	p
σ	0,987747	0,975644	0,969002	54646,74	3	18215,58	1364,193	11	124,0175	146,8791	0,000000

Рисунок 32 – Статистичні оцінки моделі



В перших трьох стовпцях виведені коефіцієнти кореляції (див. рис. 16).

В четвертому стовпці – «SS_{модель} (SS_{model})», обчислюємо по формулі:

$$SS_{\text{модель}} = \sum_{i=1}^n \left(y_i^{\text{расч}} - y^{\text{ср}} \right)^2,$$

де $y_i^{\text{расч}}$, $y^{\text{ср}}$ – розрахункові значення і середнє значення y .

В п'ятому стовпці – число ступенів свободи для моделі $CC_{\text{модель}}$ (CC_{model}):

$$CC_{\text{модель}} = k - 1,$$

де k – число параметрів (коефіцієнтів) моделі.

У шостому стовпці – дисперсія щодо середнього $MS_{\text{модель}}$ (MS_{model}), обчислюємо по формулі:

$$MS_{\text{модель}} = \frac{SS_{\text{модель}}}{CC_{\text{модель}}}.$$

У сьомому стовпці – сума квадратів відхилень $SS_{\text{остаток}}$ (SS_{resid}), обчислюємо по формулі:

$$SS_{\text{остаток}} = \sum_{i=1}^n \left(y_i^{\text{он}} - y_i^{\text{расч}} \right)^2,$$

де $y_i^{\text{он}}$ – дослідні значення.

У восьмому стовпці – число ступенів свободи для залишків $CC_{\text{остаток}}$ (CC_{resid}):

$$CC_{\text{остаток}} = n - k,$$

де n – число дослідів.

У дев'ятому стовпці – дисперсія адекватності $MS_{\text{остаток}}$ (MS_{resid}), що обчислює по формулі:

$$MS_{\text{остаток}} = \frac{SS_{\text{остаток}}}{CC_{\text{остаток}}}.$$

У десятому стовпці – розрахункове значення критерію Фішера F :

$$F = \frac{MS_{\text{модель}}}{MS_{\text{остаток}}}.$$

У одинадцятому стовпці – p -імовірність нульовий гіпотези для F -критерію.

Стандартна помилка оцінки (моделі або рівняння) (Standard error of estimate) або Середньоквадратичне відхилення (рис.16), що обчислює по формулі:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i^{on} - y_i^{расч})^2}{n - k}} = \sqrt{MS_{остаток}}$$

Якщо у вікні Результати (рис. 31) натиснути кнопку «Парето», то з'явиться карта Парето (рис. 33). Члени моделі дають значимі ефекти, якщо перетинають вертикальну лінію, що представляє 95%-ю довірчу ймовірність. З рис. 33 слід, що всі параметри моделі значимі, причому для даних досліджень найбільший вплив на опір деформації σ_s надає наведена температура t^* , потім ступінь деформації ε , і нарешті, швидкість прокатки v .

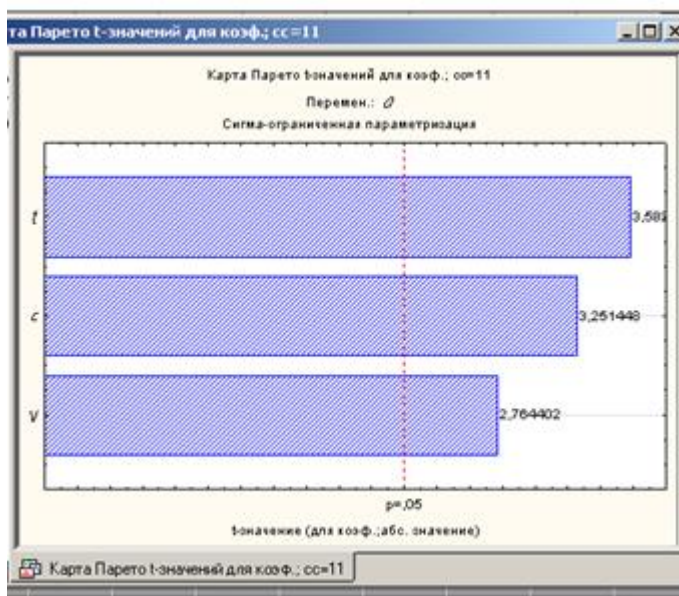


Рисунок 33 – Карта Парето

При пошуку кращої регресійної моделі варто керуватися наступними найбільш загальними вимогами:

1. Регресійна модель повинна пояснювати не менш 80% варіації залежної змінної, тобто $R_2=0,8$.
2. Стандартна помилка оцінки залежної змінної по рівнянню повинна становити не більше 5% середнього значення залежної змінної.
3. Коефіцієнти рівняння регресії і його вільний член повинні бути значимі на 5%-ом рівні.
4. Залишки від регресії повинні бути без помітної автокореляції ($r < 0,30$), нормально розподілені й без систематичної складової. Чим менше сума квадратів залишків, чим менше стандартна помилка оцінки й чим більше R_2 , тим краще рівняння регресії.

Варіанти індивідуальних завдань

Нехай є спостереження залежності y від x_1 , x_2 та x_3 – $y = f(x_1, x_2, x_3)$. В відповідності з варіантом завдання (табл. 6.1) створити файл з вихідними даними. Вибрати залежну і незалежні змінні. Провести обчислення. Провести всебічний аналіз отриманих результатів.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для проведення регресійного аналізу за допомогою модуля множинна регресія

Номера варіантов			1	2	3	4	5	6
x_1	x_2	x_3	y	y	y	y	y	y
1160	11,7	1,5	51,5	85,6	2155	344,2	379,1	2077
1150	18,8	3,2	64,1	92,4	5812	683,3	759,9	3268
1140	16,9	3,7	66,0	94,1	5114	515,6	575,6	2723
1130	15,2	3,8	66,9	94,8	4450	387,5	434,3	2055
1100	26,4	5,9	89,7	131,2	7550	799,3	892,2	4393
1090	35,2	8,4	101,9	161,2	8703	865,5	965,4	5207
1080	29,3	9,7	103,7	170,1	6743	501,6	564,9	3070
1060	29,8	12,9	114,6	201	6719	426,7	483,9	2883
1040	19,5	14,2	114,5	191	4053	166,1	191,3	1375
1020	16,6	17,0	121,1	202,6	3529	119,6	139,4	1170
1000	12,8	17,7	123,8	203	2828	77,0	91,2	832,1
980	18,7	24,2	147,0	266,7	4196	128,2	150,5	1450

Номера варіантов			7	8	9	10	11	12
x_1	x_2	x_3	y	y	y	y	y	y
1180	33,3	7,4	80,6	103	1811	203,1	223,7	2193
1170	25,0	7,8	79,1	108	1418	112,6	124,7	1223
1160	8,8	4,3	63,0	98,6	472,5	29,2	32,5	382,4
1150	25,0	12,3	87,4	118	1326	94,2	104,5	1435
1130	16,7	10,9	84,1	115	999,5	53,4	59,9	729,2
1090	46,0	12,3	110,9	176	2322	175,2	63,7	1546
1070	4,1	2,5	63,6	112	108,7	4,01	1,76	50,7
1050	32,8	20,4	122,7	201	1605	75,9	39,6	957,7
1020	35,4	45,2	147,6	259	1734	66,7	40,4	1541
1000	2,6	19,5	90,5	140	156,4	1,15	1,43	43,5
990	27,7	75,2	162,8	292	1197	32,6	30,6	1138
980	4,9	44,8	117,5	168	220,5	2,19	2,01	99,5

Продовження таблиці 6.1

Номера варіантів			13	14	15	16	17	18
x_1	x_2	x_3	у	у	у	у	у	у
1200	17,9	0,4	37,4	58,8	3911	640,8	707,7	629,0
1180	21,8	0,6	43,3	64,7	4413	721,9	797,3	815,0
1172	7,1	0,3	30,2	53,5	1368	158,9	176,6	196,3
1169	11,3	0,5	36,5	58,7	1880	264,3	292,6	396,7
1165	14,5	0,7	41,5	62,7	2066	293,3	324,7	505,1
1150	23,8	1,4	53,6	75,5	2743	423,7	467,2	1099
1145	24,8	2,0	57,7	81,2	2666	366,3	404,7	1164
1142	40,0	3,7	71,7	99,0	3640	545,2	601,4	2201
1130	35,5	6,9	78,5	110,8	2497	227,9	251,9	1711
1125	26,4	6,6	73,2	112,8	2560	233,7	263,0	1099
1120	19,2	8,2	70,7	108,1	1811	121,5	138,5	730
1110	2,3	5,2	39,7	70,2	252	3,64	4,37	55,4
1090	9,9	9,9	64,6	93,4	1009	43,5	50,9	332,9
1060	9,7	13,4	74,2	103,3	719	19,9	22,8	338,1
1045	5,04	7,6	60,2	83,03	581	16,1	19,5	149,1
1020	4,92	11,8	67,8	101,8	473	8,7	10,2	173,2
1000	7,6	11,0	78,7	114,1	939	30,3	36,2	309,4
965	6,47	11,3	82,8	118,5	871	24,9	30,2	274,6

Лабораторна робота №7 РОЗРАХУНОК СЕНЕСОРИВ (ПРИЛАДІВ) ДЛЯ ВИМІРУ ТЕМПЕРАТУРИ

Загальні теоретичні відомості

Температура — найважливіший технологічний параметр процесів гарячої обробки металів тиском і, зокрема, прокатки.

У таблиці 7.1 приведені найбільш розповсюджені в даний час термометричні властивості і відповідні їм промислові методи виміру температур.

Застосування методів 1—6 вимагає безпосереднього контакту термоприймача з досліджуванним тілом чи уведення термоприймача в досліджуване середовище. Інші не вимагають безпосереднього контакту приймача з досліджуванним середовищем і дозволяють здійснювати дистанційний вимір температур з деякої відстані від об'єкта.

Найбільше поширення в прокатному виробництві одержали контактні методи 4 і 5 та безконтактні 7 і 8, у яких зміна температури перетворюється в зміну електричної величини.

Вимір температури металу в прокатному виробництві відрізняється деякими особливостями, основними з яких є наступні.

Таблиця 7.1 – Промислові методи виміру температур

№	Метод виміру	Вимір температури, °С	Термометричні властивості
1	Рідинного скляного термометра	До 700	Об'ємне розширення тіл
2	Манометричних та газових термометрів	До 550	Зміна тиску робочої рідини
3	Дилатометричний	До 1200	Лінійне розширення тіл
4	Термометр опору	До 2500	Електричний опір провідників
5	Термоелектричний	До 2500	Термоелектричні явища
6	Реперних крапок	До 2800	Зміна агрегатного стану тіл
7	Оптичної та радіаційної пірометрії	Від 100 та вище	Інтенсивність теплового випромінювання тіл
8	Кольорової пірометрії	Від 400 та вище	Розподілення енергії у спектрі теплового випромінювання тіл
9	Вимір температур полум'я та плазми	Від 400 та вище	Закономірності спектрального випромінювання газоподібних тіл

По-перше, діапазон вимірюваних температур метала надзвичайно широкий: від 100—250 °С при “теплій” прокатці до 1200 °С та вище при гарячій прокатці легуваних сталей, титана й інших матеріалів. По-друге, середовище, у якій функціонують прилади, характеризується підвищеною вологістю (випар великої кількості води при гидрозбиві окалини й охолодженні прокатних валків), а також непрозорістю (запиленість через наявність часток окалини, масляний туман і т.п.). По-третє, об'єкт (зливоч, заготовка, прокат), температура якого вимірюється, найчастіше переміщується з досить високою швидкістю. По-четверте, на металі при гарячій прокатці, як правило (виключенням є прокатка у вакуумі й у середовищі з захисною атмосферою), мається окалина або первинна після нагрівання в печах, або вторинна, що утворюється на поверхні металу в процесі прокатки.

Тому, при гарячій прокатці для виміру температури металу звичайно застосовують швидкодіючі прилади, засновані на безконтактних методах (оптичні і фотоелектричні пірометри). Для виміру температури печей широко використовують термоелектричні і радіаційні пірометри.

Крім того, у деяких випадках необхідно в прокатному виробництві контролювати такі параметри, як температура травильних ванн, температура валків (при підтримці їх профілювання), температура охолоджувальної води і технологічного змащення. Для зазначених

цілей широко застосовують контактні методи, у тому числі і термометри опору і термоелектричні пірометри.

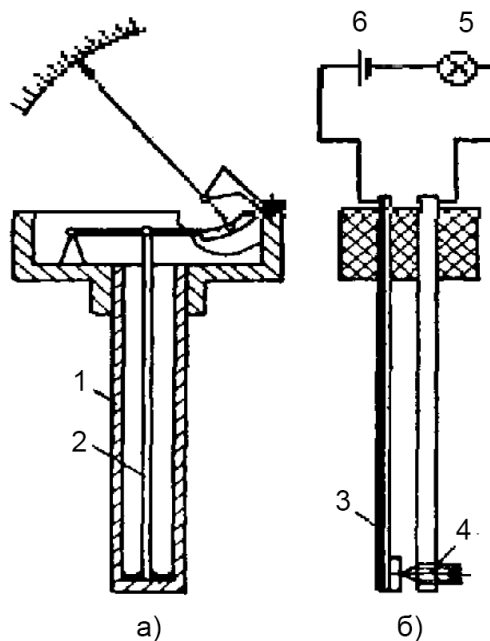
Дилатометричні і біметалічні термометри

Принцип дії дилатометричних і біметалічних термометрів заснований на зміні лінійних розмірів твердих тіл у залежності від зміни їхньої температури.

Так, якщо при 0°C довжина тіла L , то з підвищенням температури до $t^{\circ}\text{C}$ довжина тіла зміниться.


Схема пристрою дилатометричного термометра показана на рисунку 34, а. Основні частини термометра: сталева чи мідна трубка, що знаходиться в середовищі, температура якого вимірюється, і стрижень, один кінець якого приварений до дна трубки, а інший шарнірно з'єднаний зі стрілкою термометра. Трубку дилатометричного термометра звичайно виготовляють з матеріалу, коефіцієнт лінійного розширення якого значно перевищує коефіцієнт лінійного розширення матеріалу стрижня (алюміній, латунь, червона мідь, інвар).

Принцип дії контактної біметалічної термометра яскравий зі схеми, приведеної на рисунку 34, б. Зі збільшенням температури біметалічна пластина термометра, що може бути виготовлена з міді і інвару чи зі сталі й інвару, згинається. При визначеній температурі відбувається розмикання контакту. Сигнальна лампа гасне, сигналізуючи про досягнення заданої температури.



1–трубка; 2–стрижень; 3–біметалічна пластина; 4–контакт;
5 – сигнальна лампа; 6 – джерело енергії

Рисунок 34 – Схема пристрою дилатометричного (а) та біметалічного термометра (б)



Дилатометричні і біметалічні термометри звичайно використовують у виді температурних реле, їх застосовують для сигналізації граничних температур, а також у схемах автоматичних регуляторів температури (наприклад, розчинів у травильних ваннах і технологічному мастилi).

Термометри опору

Принцип дії термометрів опору заснований на властивості металів змінювати свій електроопір при зміні температури.

Знаючи залежність опору провідника від температури і вимірюючи цей опір яким-небудь приладом, можна вимірювати температуру середовища, у якому знаходиться цей провідник. Термометри опору використовують для виміру температури води, пару і газу в нагрівальних і термічних печах прокатних цехів, а також температури олії в циркуляційних системах прокатних станів. Звичайно чуттєвий елемент намотано на каркас, що поміщений у захисну трубку зі сталі 20 чи 1X18H10T. У більшості випадків каркас зроблений зі слюди, кварцу чи порцеляни.

Межі виміру температур термометрами опору залежать від матеріалу чуттєвого елемента і його конструкції:

Матеріал чуттєвого елемента	Pt	Cu	Ni	Fe
Нижня межа, °C	-200	-50	-50	-50
Верхня межа, °C	500	100	200 – 250	100 – 150

В даний час для виміру температур у різних областях промисловості все більше розповсюдження одержують напівпровідникові термометри опору (термістори). Перевага термісторів перед термометрами опору, виготовленими з металевих дротів, полягає в дуже високій їхній чутливості до температурних змін. Матеріали, використовувані для виготовлення термісторів, дуже різноманітні: суміші окислів сульфідів різних металів чи рідкоземельних елементів.

Однак термістори мають порівняно невисоку стабільність їх градуированих характеристик, що часто обмежує точність виміру температури.

Термоелектричні пірометри

Термоелектричним пірометром називають термопару з підключеним до неї вимірювальним приладом. За допомогою термоелектричних пірометрів вимірюють температури від 100 до 1300°C. Великими достоїнствами термоелектричних пірометрів є:

високий ступінь точності, можливість централізації контролю температур з автоматичним записом, а також можливість градування шкали вимірювального приладу на будь-який температурний інтервал у межах припустимих температур.

Термоелектричні пірометри знаходять широке застосування при вимірі температури різних зон нагрівальних і термічних печей прокатних цехів, а також при визначенні температури металу і технологічного інструмента як у промислових умовах, так і при лабораторних дослідженнях.

Під термопарою прийнято розуміти два різнорідних провідники (термоелектроди), що контактують між собою, принаймні, у двох точках з температурами t_1 і t_2 , причому t_1 не дорівнює t_2 . При рівності температур t_1 і t_2 термопара підкоряється закономірностям ряду Вольта, для якого в ізотермічному замкнутому ланцюзі сумарна електрорушійна сила дорівнює нулю.

При нерівності температур t_1 і t_2 термічна електрорушійна сила термопари, складеної з термоелектродів **а** та **б**, визначається різницею між значеннями температур t_1 і t_2 .

Таким чином, термопара є нескладним перетворювачем температури в електричну величину – різницю потенціалів.

Місце контактування термоелектродів, що поміщається в середовище з вимірюваною температурою t_2 , одержало назву робочого кінця «гарячого спаю» термопари. Інший спай термопари, температура якого підтримується постійною t_1 , називають її вільним кінцем чи «холодним спаєм» термопари.

Для виміру термічної електрорушійної сили, що розвивається термопарою, у її ланцюг включають вимірювальний прилад між вільними кінцями термопари (рис. 35).

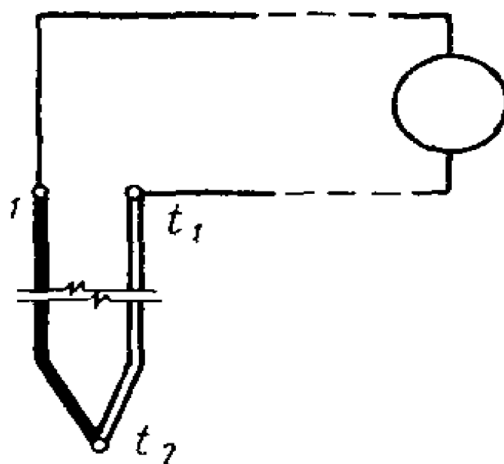


Рисунок 35 – Схема підключення вимірювального приладу

У таблиці 7.2 приведено склад ряду провідників термоелектродів, і граничні температури їх застосування.

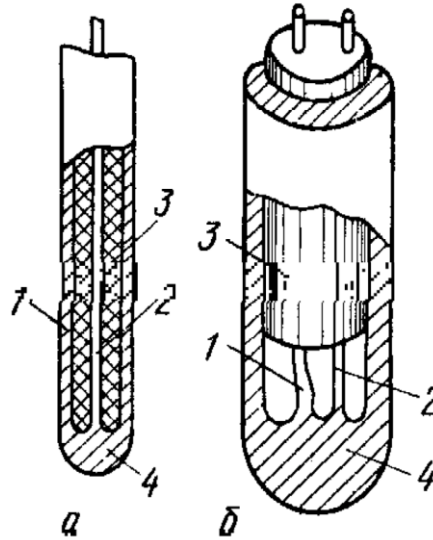
Таблиця 7.2 – Властивості термоелектродів

Найменування матеріалу	Позначення (склад), %	Гранична температура використання, °С	
		довготривала	короткотривала
Копель	56Cu + 44Ni	600	800
Алюмель	95Ni + 5(Al, Si, Mg)	1000	1250
Золото	Au	700	900
Платина	Pt	1300	1600
Платинородій	90Pt + 10Rh	1300	1600
Хромель	90Ni + 10Cr	1000	1250

Термопари виготовляють з: 1) благородних металів; 2) неблагородних металів; 3) металевих термоелектродів у парі з неметалами і хімічними сполуками.

Термопари з благородних металів (платинородій-платинова, золото-платинова й ін.) застосовуються в основному як еталонні і зразкові. Термоелектроди з неблагородних металів найчастіше застосовують у сполученнях: мідь-копелева (довготривале використання - 350 °С; короткотривале використання – 500 °С); хромель-копелева (довготривале використання – 600 °С; короткотривале використання – 800 °С); хромель-алюмелева (довготривале використання – 900 °С; короткотривале використання – 1250 °С). Термопари третьої групи (вольфрам-графітові, молібден-графітові) використовують для виміру температур до 2000 °С.

Робочий спай термопар виготовляють або електрозварюванням за допомогою електричної дуги, або спайкою в струмені ацетилену чи гримучого газу. Термопара може бути трубчастої конструкції (рис. 36, а), коли один з термоелектродів виконаний у вигляді трубки, а інший – у вигляді дроту. На всьому протязі аж до робочого спаю зовнішній термоелектрод відділений від внутрішнього ізоляційною прокладкою. На рис. 36, б показана термопара з робочим спаєм, привареним до дна захисної трубки, зробленої з міді, бронзи, сталі чи інших матеріалів. Ізоляційний матеріал обирають у залежності від верхніх граничних температур, при яких працює термопара; ними можуть бути гума (до 80 °С), шовк (до 120 °С), емаль (до 150 °С), скляні кульки (до 500 °С), кварцові трубки (до 1500° С).



1, 2–термоелектроди; 3–ізоляційний матеріал; 4–робочий спай
Рисунок 36 – Конструкція термопар

Методика проведення заняття

На початку заняття викладається теоретичний матеріал стосовно теми роботи та проводиться опитування про зміст основних термінів, характеристик та сфер застосування приладів для вимірювання температури, що використовують на виробництві та побуті.

Далі, кожен здобувач освіти отримує завдання відповідно до свого номеру варіанту та виконує розрахунки відповідно до прикладу.

Приклад розрахунку

Розрахуйте товщини складових елементів біметалічного термометра, прогин пластини та чутливість елемента, якщо температура вимірюваного середовища складає $t = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$; довжина пластини $l = 60\text{ мм}$; загальна товщина біметалевої пластини $h = 1\text{ мм}$; модуль пружності першого матеріалу пластини $E_1 = 16,3 \cdot 10^{10}\text{ Па}$; модуль пружності другого металу пластини $E_2 = 19,6 \cdot 10^{10}\text{ Па}$; різниця між коефіцієнтами лінійного розширення матеріалів біметалевої пластини


$$\alpha_1^t - \alpha_2^t = 12 \cdot 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}.$$

Розв'язання:

З підвищенням температури середовища біметал згинається у бік шару з меншим коефіцієнтом. При цьому прогин кінця біметалевої пластини визначається залежністю

$$\lambda = \frac{3}{2} (\alpha_1^t - \alpha_2^t) \frac{t \cdot l^2}{2h},$$

де α_1^t і α_2^t – коефіцієнти лінійного розширення першого та другого металів біметалевої пластини відповідно, $\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$; t – температура, $^{\circ}\text{C}$; l –



довжина біметалевої пластини, мм; h – загальна товщина біметалевої пластини, мм.

Допустима точність розрахунку витримується при ширині біметалевої пластини менше однієї третини її довжини. Найбільшу

чутливість $\delta = \frac{\lambda}{t}$ має нормальний біметал, коли

$$\frac{h_1}{h_2} = \sqrt{\frac{E_2}{E_1}},$$

де h_1 та h_2 – товщини кожного з металів у біметалевій пластині відповідно, мм; E_1 та E_2 – модулі пружності кожного матеріалу пластини відповідно, Па.

Тоді спочатку визначаємо співвідношення товщини компонентів пластини біметалу, що забезпечить максимальну чутливість елементу

$$\frac{h_1}{h_2} = \sqrt{\frac{E_2}{E_1}} = \sqrt{\frac{19,6 \cdot 10^{10}}{16,3 \cdot 10^{10}}} = 1,1.$$

Тоді можемо записати для загальної товщини пластини

$$h = h_1 + h_2 = 1,1h_2 + h_2 = 2,1h_2.$$

Звідки

$$h_2 = h / 2,1 = 1 / 2,1 = 0,48 \text{ мм};$$

$$h_1 = 1 \cdot 0,48 = 0,52 \text{ мм}.$$

Прогин кінця пластини біметалу при $t = 300 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\lambda = \frac{3}{2} (12 \cdot 10^{-6}) \frac{300 \cdot 60^2}{2 \cdot 1} = 9,7 \text{ мм}.$$

Чутливість елементу

$$\delta = \frac{9,7}{300} = 0,032 \frac{\text{мм}}{^\circ\text{C}}.$$

Завдання для самостійної роботи


Розрахувати товщини складових елементів біметалічного термометра, прогин пластини та чутливість елемента для умов відповідно до номера варіанту, наведених у таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Вихідні дані для розрахунку біметалічного термометра

№	t, °C	l, мм	h, мм	E ₁ , ·10 ¹⁰ Па	E ₂ , ·10 ¹⁰ Па	(α ₁ ^t - α ₂ ^t), ·10 ⁻⁶ $\frac{1}{°C}$
1	150	40	0,5	16,6	19,3	8,0
2	160	41	0,6	16,7	19,2	8,5
3	170	42	0,7	16,8	19,1	9,0
4	180	43	0,8	16,9	19,0	9,5
5	190	44	0,9	17,0	18,9	10,0
6	200	45	1,0	17,1	18,8	10,5
7	210	46	1,1	17,2	19,7	11,0
8	220	47	1,2	17,3	19,6	11,5
9	230	48	1,3	17,4	19,5	12,0
10	240	49	1,4	17,5	19,4	12,5
11	250	50	1,5	17,6	19,3	8,0
12	260	51	0,5	17,7	19,2	8,5
13	270	52	0,6	17,8	19,1	9,0
14	280	53	0,7	17,9	16,0	9,5
15	290	54	0,8	18,0	16,9	10,0
16	300	55	0,9	18,1	16,7	10,5
17	310	56	1,0	18,2	16,6	11,0
18	320	57	1,1	18,3	16,5	11,5
19	330	58	1,2	18,4	16,4	12,0
20	150	59	1,3	18,5	16,3	12,5
21	160	60	1,4	18,6	16,2	8,0
22	170	61	1,5	18,7	16,1	8,5
23	180	62	0,5	18,8	17,1	9,0
24	190	63	0,6	18,9	16,0	9,5
25	200	64	0,7	19,0	16,2	10,0
26	210	65	0,8	19,1	16,3	10,5
27	220	66	0,9	19,2	16,4	11,0
28	230	67	1,0	19,3	17,0	12,5

Питання для контролю знань

1. Назвіть методи виміру температури, які використовуються у сучасній промисловості.
2. Наведіть переваги та недоліки методів виміру температури.
3. Які властивості повинні мати пристрої виміру температури, котрі призначені для використання у прокатному виробництві?
4. Опишіть принцип дії дилатометричного та біметалічного вимірювача температури.
5. Опишіть принцип дій термометрів опору.
6. Опишіть принцип дії термоелектричних вимірювачів температури робочого середовища.



Лабораторна робота №8

МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ.

СЕНСОРИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ

Загальні теоретичні відомості

При дослідженні промислових станів застосовують ручний тахометр, стаціонарний тахогенератор чи датчик імпульсів. Ручний тахометр зручно застосовувати лише в тих випадках, коли швидкість обертання електродвигуна постійна. При мінливій швидкості обертання електродвигуна використовують стандартний тахогенератор. Тахогенератор являє собою звичайний колекторний генератор постійного струму з незалежним збудженням. Електрорушійну силу на виході з якоря тахогенератора можна визначити по формулі:

$$E_{я} = C \cdot \Phi \cdot n,$$

де C – постійна, залежна від конструкції тахогенератора; Φ – потік збудження; n – частота обертання якоря генератора.

Якщо $\Phi = \text{const}$, то $E_{я} = f(n)$, тобто електрорушійна сила тахогенератора є мірою швидкості обертання якоря.

Точність виміру швидкості обертання електродвигуна за допомогою тахогенератора звичайно складає 3 – 4 %.

Для збільшення точності виміру швидкості обертання електродвигуна застосовують датчик імпульсів. Найпростіший датчик імпульсів складається з металевого диска з ізолюючою вставкою, укріпленого на кінці валу двигуна (або прокатного валка, або ролика рольганга тощо) і нерухомого контакту. При влученні контакту на ізолюючу вставку розривається ланцюг гальванометра і на фотоплівці (або на екрані комп'ютера, або у файлі) записується імпульс у виді виступу. Частота обертання рухливої деталі (при одній ізолюючій вставці) визначають по формулі, об./хв.:

$$n = \frac{60}{\tau},$$

де τ – відстань між сусідніми виступами, час від початку одного імпульсу до початку наступного, с.

Якщо до диску встановлено z ізолюючих вставок, то частота визначається по формулі, об./хв.:

$$n = \frac{60}{z \cdot \tau}.$$

Цим методом особливо зручно користатися в тих випадках, коли швидкість електродвигуна залишається практично постійної в процесі прокатки. Погрішність виміру складає 1 – 1,5 %.

При налагодженні безперервних станів необхідно знати швидкість обертання прокатних валків. У цьому випадку для збільшення точності

виміру швидкості обертання застосовують цифрові тахометри. Вимір швидкості цифровим тахометром засновано на рахунку імпульсів датчика, встановленого на приводному валу. Найбільше часто використовуються фотоімпульсні датчики, що складаються з обертового диска з радіальними прорізами, з одного боку якого розташований випромінювач лазерного світла, а з іншого – фотодатчик.

Для прикладу розглянемо розрахунок кутової швидкості відцентрового тахометра.

Статична характеристика чутливого елемента відцентрового тахометра розраховується на основі результатів виміру відцентрових сил інерції, що виникають при обертанні твердого тіла. При цьому стала кутова швидкість обертання вхідного валу (рис. 37) відповідає відцентровим силам, що утворюються рухомими вантажами, та врівноважується силою пружної протидії пружини:

$$\omega^2 = \frac{4gc_{ж}z}{m_2n(z_0 - z) \left[1 + \frac{2r_m}{\sqrt{4l_m^2 - (z_0 - z)^2}} \right]},$$

де ω – кутова швидкість обертання валу тахометра, рад/с; g – прискорення вільного падіння, см/с²; $c_{ж}$ – жорсткість пружини, г/см; z – пересування рухливої муфти, см; m_2 – маса вантажу, г; n – кількість вантажів (парне число); z_0 – довжина пружини у вільному стані, см; r_m – постійна відстань від осі обертання до шарніра тяги, см; l_m – довжина тяг, см.

Коефіцієнт жорсткості пружини обчислюється за формулою:

$$c_{ж} = \frac{4 \frac{D_{cp}}{d_{dp}} + 2}{4 \frac{D_{cp}}{d_{dp}} - 3} \cdot 10^3,$$

де D_{cp} – середній діаметр пружини, см;

d_{dp} – діаметр дроту пружини, см.

Число обертів деталі обчислюється за формулою, об./хв.:

$$N_o = 30 \frac{\omega}{\pi}.$$

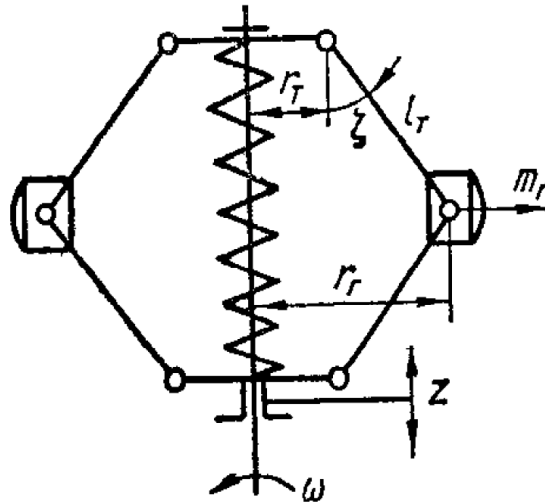


Рисунок 37 – Відцентровий чутливий елемент

Методика проведення заняття

На початку заняття проводиться опитування про основні розуміння стосовно визначення швидкості пересування в прокатному виробництві. Визначаються місця де важливо визначити швидкість прокатки та обертання деталей прокатного стану. Визначаються деталі прокатного стану що обертаються та частота обертів підлягає обов'язковому вимірюванню.

Далі розглядається приклад розрахунку. Після чого, кожен здобувач освіти отримує завдання відповідно до свого номеру варіанту та виконує розрахунки відповідно до прикладу.

Приклад розрахунку

Збудувати статичну характеристику відцентрового тахометра для наступних даних: $r_m = 0,8$ см; $l_m = 4$ см; $m_z = 10$ г; $d_{op} = 0,1$ см; $D_{cp} = 1$ см; $z_0 = 6$ см. При цьому прийняти прискорення вільного падіння рівним 981 см/с², число вантажів дорівнює 2.

Розв'язання:

Коефіцієнт жорсткості пружини

$$c_{же} = \frac{4 \frac{1}{0,1} + 2}{4 \frac{1}{0,1} - 3} \cdot 10^3 = 1,14 \cdot 10^2 \frac{г}{см}$$

Кутова швидкість валу

$$\omega^2 = \frac{4 \cdot 981 \cdot 1,14 \cdot 10^2 z}{10 \cdot 2 \cdot (6 - z) \left[1 + \frac{2 \cdot 0,8}{\sqrt{4 \cdot 4^2 - (6 - z)^2}} \right]} =$$



$$= \frac{2,16 \cdot 10^5 z}{(6-z) \left[1 + \frac{1,6}{\sqrt{64 - (6-z)^2}} \right]}$$

Задаючись переміщенням рухливої муфти, обчислюємо відповідні значення окружної швидкості та частоти обертання, що одержує деталь при даному значенні переміщення:

z , см	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50
ω , рад/с	89	124	184	264	297	356
N_o , об./хв.	852	1190	1757	2522	2838	3400

За цими даними будуємо статичну характеристику (рис. 38).

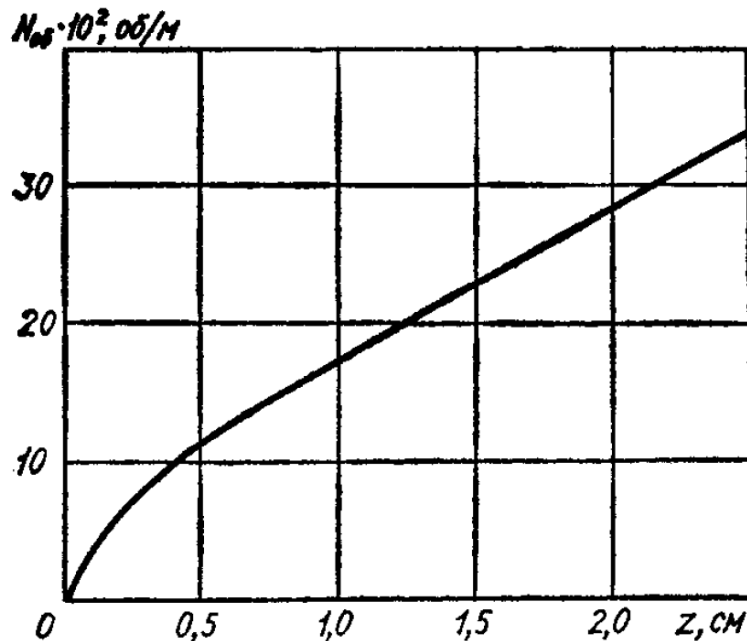


Рисунок 38 – Статична характеристика відцентрового чутливого елемента

Робочою ділянкою шкали є діапазон 1000-3500 об./хв., що відповідає практично лінійній ділянці статичної характеристики. При цьому початкова точка шкали забезпечується попереднім стиском пружини на 0,38 см.

Завдання для самостійної роботи

Збудувати статичну характеристику відцентрового тахометра для даних з табл. 8.1 відповідно до номера варіанту. При цьому прийняти прискорення вільного падіння рівним 981 см/с^2 , число вантажів дорівнює 2.

Таблиця 8.1 – Вихідні дані для розрахунку статичної характеристики відцентрового чутливого елемента

№	r_m , см	l_m , см	m_z , г	d_{dp} , см	D_{cp} , см	z_0 , см
1	0,50	2,0	10	0,11	0,5	3,0
2	0,55	2,5	11	0,12	0,6	3,5
3	0,60	3,0	12	0,13	0,7	4,0
4	0,65	3,5	13	0,14	0,8	4,5
5	0,70	4,0	14	0,15	0,9	5,0
6	0,75	4,5	15	0,16	1,0	5,5
7	0,80	5,0	16	0,17	1,1	6,0
8	0,85	5,5	17	0,18	1,2	6,5
9	0,90	6,0	18	0,19	1,3	7,0
10	0,95	6,5	19	0,20	1,4	7,5
11	1,00	7,0	20	0,21	1,5	8,0
12	1,05	7,5	21	0,11	1,6	8,0
13	1,10	8,0	22	0,12	1,5	8,5
14	1,15	8,5	23	0,13	1,4	9,0
15	1,20	8,0	24	0,14	1,3	9,5
16	0,50	7,5	25	0,15	1,2	3,0
17	0,55	7,0	26	0,16	1,1	3,5
18	0,60	6,5	27	0,17	1,0	4,0
19	0,65	6,0	28	0,18	2,9	4,5
20	0,70	5,5	29	0,19	2,8	5,0
21	0,75	5,0	30	0,20	2,7	5,5
22	0,80	4,5	29	0,21	2,6	6,0
23	0,85	4,0	28	0,16	2,5	6,5
24	0,90	3,5	27	0,17	2,4	7,0
25	0,95	3,0	25	0,18	2,3	7,5
26	1,00	2,5	20	0,19	2,2	8,0
27	1,05	2,0	15	0,20	2,1	8,0
28	1,10	7,0	10	0,21	2,0	8,5

Питання для контролю знань

1. Перерахуйте методи виміру частоти обертання деталей приладів прокатного стану.
2. Наведіть переваги та недоліки методів виміру швидкості обертання.
3. Яким чином здійснюється вибір пристрою виміру швидкості обертання для конкретних виробничих або лабораторних умов?
4. Опишіть принцип дії відцентрового тахометра.
5. Опишіть принцип дій імпульсного тахометра.