

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ЗАВДАНЬ
«МЕТОДИ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ
В ХІМІЧНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ»
ЗА КУРСАМИ МАТЕМАТИЧНОГО ТА КОМП'ЮТЕРНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ

для студентів хімічних спеціальностей усіх форм навчання

ЗАТВЕРДЖЕНО
редакційно-видавничою
радою університету
протокол № 3 від 22.12.2016 року

Харків
НТУ «ХПІ»
2017

Методичні вказівки до виконання розрахункових завдань «Методи планування експерименту в хімічній технології» за курсами математичного та комп'ютерного моделювання для студентів хімічних спеціальностей усіх форм навчання / уклад. Т. Г. Бабак, О.А. Голубкіна, Є.Д. Пономаренко. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – 72 с.

Укладачі: Т.Г. Бабак
О.А. Голубкіна
Є.Д. Пономаренко

Рецензент І.Б. Рябова

Кафедра інтегрованих технологій, процесів та апаратів

ВСТУП

Експеримент посідає центральне місце в наукових дослідженнях, тому дуже важливим є питання, наскільки ефективно він проводиться. Розрізняють пасивний і активний експерименти.

Пасивний експеримент припускає постановку дослідів довільним способом, коли експериментальні точки у факторному просторі вибираються на основі інтуїції або яких-небудь випадкових обставин. У цьому випадку фактори є контрольованими. До пасивного експерименту належить також збирання вихідного статистичного матеріалу в режимі звичайного функціонування об'єкта. При цьому фактори є тільки вимірюваними. У цьому випадку можуть виникати потенційно небезпечні ситуації. Від цих недоліків урятований активний експеримент, що ставиться на підставі теорії планування експерименту. При проведенні активного експерименту фактори є повністю керованими – їхні значення чітко встановлюють й змінюють відповідно до плану експерименту.

Активний експеримент служить підвищенню ефективності досліджень, він заснований на математичній теорії планування експерименту.

Планування експерименту – це процедура вибору кількості й умов проведення дослідів, необхідних і достатніх для розв'язання поставленої задачі з необхідною точністю. При цьому мінімізується загальна кількість дослідів; одночасно змінюються всі змінні, що визначають процес, за спеціальними правилами – алгоритмами; використовується математичний апарат, що формалізує більшість дій експериментатора; є можливість вибору чіткої стратегії, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення після кожної серії експериментів, а також можливість постановки *екстремального експерименту*.

Математичні моделі, побудовані на підставі даних активного експерименту, можна використовувати для прогнозування значень досліджуваного відгуку, для керування процесом, для знаходження найкращих значень відгуку й умов перебігу досліджуваного процесу.

МЕТА РОЗРАХУНКОВОГО ЗАВДАННЯ

Засвоєння методів побудови математичних моделей за результатами повного та дробового факторного експерименту, виконання розрахунків та проведення аналізу отриманих результатів, прийняття рішень щодо отриманих результатів.

Методи планування експерименту

Велика кількість експериментальних задач у хімії та хімічній технології має на меті побудову оптимальним чином математичної моделі досліджуваного процесу. Отримана модель звичайно використовується в цілях екстраполяції (у невеликих межах), оптимізації (пошуку локального оптимуму) і для інтерполяції.

Оптимальне розташування точок у факторному просторі й лінійне перетворення координат дозволяє подолати недоліки класичного регресійного аналізу, зокрема, кореляцію між коефіцієнтами рівняння регресії. Вибір плану експерименту визначається постановкою задачі дослідження й особливостями об'єкта. Планування експерименту дозволяє варіювати одночасно всі фактори й одержувати кількісні оцінки основних ефектів і ефектів взаємодії. Ефекти, що цікавлять, – коефіцієнти математичної моделі – визначаються з меншою помилкою, ніж при традиційних методах дослідження. При цьому кількість дослідів найчастіше зменшується. В остаточному підсумку, застосування методів планування експерименту значно підвищує ефективність експерименту.

Одними з найпоширеніших методів планування експерименту є повний факторний експеримент (ПФЕ) і дробовий факторний експеримент (ДФЕ) першого порядку, що дозволяють отримати математичні моделі досліджуваних процесів такого вигляду:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{j=1}^k b_j x_j + \sum_{\substack{u, j=1 \\ u \neq j}}^k b_{uj} x_u x_j + \dots \quad (1)$$

Повний факторний експеримент першого порядку

При плануванні за схемою ПФЕ першого порядку реалізуються всі можливі комбінації факторів на двох обраних для дослідження рівнях. Необхідна кількість дослідів N при ПФЕ визначається зі співвідношення

$N = 2^k$, де k – кількість факторів; 2 – означає, що кожен фактор має два рівні варіювання. Рівні факторів являють собою границі досліджуваної області за даним технологічним параметром.

Наприклад, вивчається вплив на вихід продукту $Y, \%$ трьох факторів: температури Z_1 (100–200 °С), тиску Z_2 ($2 \cdot 10^5$ – $6 \cdot 10^5$ Па) і часу перебування Z_3 (10–20 хв). Верхній рівень за температурою дорівнює 200 °С, нижній – 100 °С, тоді для Z_1 маємо:

$$z_1^0 = \frac{z_{1\max} + z_{1\min}}{2} = 150 \text{ °С}, \quad \Delta z_1 = \frac{z_{1\max} - z_{1\min}}{2} = 50 \text{ °С}.$$

Взагалі для будь-якого фактора Z_j :

$$z_j^0 = \frac{z_{j\max} + z_{j\min}}{2}, \quad (2)$$

$$\Delta z_j = \frac{z_{j\max} - z_{j\min}}{2}. \quad (3)$$

Точка з координатами $(z_1^0, z_2^0, \dots, z_k^0)$ називається центром плану, Δz_j – інтервал варіювання за j -м фактором.

Перейдемо до безрозмірної системи координат за формулою

$$x_j = \frac{z_j - z_j^0}{\Delta z_j}, \quad j = 1, 2, \dots, k. \quad (4)$$

Для безрозмірної системи координат $x_{j\max} = +1$, $x_{j\min} = -1$, $x_j^0 = 0$, де $x_{j\max}$ – верхній рівень j -го фактора (максимальне значення); $x_{j\min}$ – нижній рівень j -го фактора (мінімальне значення); x_j^0 – середнє значення j -го фактора.

У розглянутому прикладі $k = 3$. Кількість дослідів, що складає кількість усіх можливих комбінацій рівнів факторів, $N = 2^3 = 8$. План проведення експерименту (матрицю планування) записують у вигляді таблиці (табл. 1). У наведеному плані x_0 – фіктивна змінна, що дорівнює одиниці; кожний з N дослідів повторюється m раз, тобто проводиться m паралельних дослідів, що дозволяє розрахувати помилку експерименту й оцінити надалі адекватність рівняння регресії. Цей план дозволяє одержати коефіцієнти лінійного рівняння регресії

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3. \quad (5)$$

Таблиця 1

номер досліду	x_0	x_1	x_2	x_3	y
1	+1	-1	-1	-1	$y_{11} \dots y_{1m}$
2	+1	-1	-1	+1	$y_{21} \dots y_{2m}$
3	+1	-1	+1	-1	$y_{31} \dots y_{3m}$
4	+1	-1	+1	+1	$y_{41} \dots y_{4m}$
5	+1	+1	-1	-1	$y_{51} \dots y_{5m}$
6	+1	+1	-1	+1	$y_{61} \dots y_{6m}$
7	+1	+1	+1	-1	$y_{71} \dots y_{7m}$
8	+1	+1	+1	+1	$y_{81} \dots y_{8m}$

Наведена матриця планування має властивості:

- ортогональності

$$\sum_{i=1}^N x_{iu} x_{ij} = 0, \quad u \neq j, \quad u, j = 0, 1, \dots, k, \quad (6)$$

- симетричності

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 0, \quad j = 1, 2, \dots, k; \quad j \neq 0, \quad (7)$$

- нормування

$$\sum_{i=1}^N x_{ij}^2 = N, \quad j = 0, 1, \dots, k, \quad (8)$$

які зменшують труднощі, пов'язані з розрахунками коефіцієнтів рівняння регресії.

Ортогональні плани ПФЕ (для лінійних моделей) мають також властивість рототабельності. Останнє передбачає рівність і мінімальність дисперсій значень вихідної змінної, що розраховані за рівнянням регресії для всіх точок факторного простору. За законом накопичення помилок для дисперсії розрахованих значень вихідної змінної можна записати:

$$s_y^2 = s_{b_0}^2 + s_{b_1}^2 x_1^2 + \dots + s_{b_k}^2 x_k^2. \quad (9)$$

Дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії рівні між собою й, отже, $s_{\hat{y}}^2 = s_{b_j}^2(1 + \sum_{j=1}^k x_j^2)$, або з урахуванням того, що $\sum_{j=1}^k x_j^2 = \rho^2$ (ρ – радіус сфери), $s_{\hat{y}}^2 = s_{b_j}^2(1 + \rho^2)$. Звідси випливає, що дисперсія розрахованого значення вихідної змінної залежить тільки від радіуса сфери.

Якщо розглядати розширене рівняння регресії з урахуванням взаємодії факторів

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3 + b_7x_1x_2x_3, \quad (10)$$

то для визначення коефіцієнтів b_4, b_5, b_6, b_7 необхідно розширити матрицю планування таким чином (табл. 2):

Таблиця 2

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	$y_{11} \dots y_{1m}$
2	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	$y_{21} \dots y_{2m}$
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	$y_{31} \dots y_{3m}$
4	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	$y_{41} \dots y_{4m}$
5	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	$y_{51} \dots y_{5m}$
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	$y_{61} \dots y_{6m}$
7	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	$y_{71} \dots y_{7m}$
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	$y_{81} \dots y_{8m}$

Значення елементів у додаткових стовпцях розширеної матриці планування (див. табл. 2) являють собою парний або потрійний добуток елементів відповідних основних стовпців.

Алгоритм обробки результатів ПФЕ

1. У кожному рядку матриці планування розраховуються середні значення за m паралельними дослідями і порядкова або вибіркова дисперсія:

$$\bar{y}_i = \sum_{u=1}^m y_{iu} / m, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (11)$$

$$S_i^2 = \sum_{u=1}^m (y_{iu} - \bar{y}_i)^2 / (m-1), \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (12)$$

2. Перевіряється однорідність вибірових дисперсій за критерієм Кохрена:

$$G_{\text{рас}} = S_{i\text{max}}^2 / \sum_{i=1}^N S_i^2. \quad (13)$$

Отримане значення порівнюється з табличним $G_{\text{табл}}(f_1, f_2)$. $f_1 = N$, $f_2 = m-1$ – числа степенів вільності, за якими визначається табличне значення.¹ Якщо $G_{\text{рас}} < G_{\text{табл}}$, то дисперсії однорідні. Це означає, що всі досліди були проведені з однаковою точністю й розрахунок може бути продовжений. Якщо гіпотеза про однорідність дисперсій не підтверджується, то одним з рішень є збільшення кількості паралельних дослідів, зміна методу контролю вихідної змінної, масштабування вихідної змінної.

3. Визначається похибка досліду або дисперсія відтворюваності:

$$S_0^2 = \sum_{i=1}^N S_i^2 / N. \quad (14)$$

4. Коефіцієнти рівняння регресії визначають за формулою:

$$b_j = \sum_{i=1}^N x_{ij} \bar{y}_i / N, \quad j = 0, 1, \dots, n-1, \quad (15)$$

де n – кількість стовпців матриці планування.

Для оцінки значущості коефіцієнта b_j обчислюється його дисперсія – однакове значення для всіх коефіцієнтів:

$$S_{bj} = \sqrt{S_0^2 / mN} \quad (16)$$

і розрахункове значення критерію Стьюдента:

$$t_j = |b_j| / S_{bj}, \quad j = 0, 1, \dots, n-1. \quad (17)$$

Якщо розрахункове значення критерію Стьюдента більше табличного значення $t_j > t_{\text{табл}}(f_0)$, $f_0 = N(m-1)$, то j -й коефіцієнт вважають значущим, якщо $t_j < t_{\text{табл}}(f_0)$, то j -й коефіцієнт прирівнюють нулю, тобто відповідний фактор або взаємодія факторів виключається з рівняння регресії. Виключення незначущого коефіцієнта не позначиться на

¹ Тут і надалі табличні значення критеріїв визначаються при рівні значущості $q = 0,05$.

інших коефіцієнтах, при цьому вибіркові коефіцієнти b_j виявляються так званими незмішаними оцінками для відповідних коефіцієнтів генеральної сукупності β_j : $b_j \rightarrow \beta_j$, тобто коефіцієнти рівняння регресії характеризують внесок кожного фактора й взаємодії факторів у вихідний параметр. Причини незначущості коефіцієнтів рівняння регресії можуть бути такі:

- 1) фактор x_j включений у розгляд помилково й він не впливає на вихідний параметр у;
- 2) було обрано занадто малий інтервал варіювання Δx_j .

5. Після того як рівняння регресії отримано в остаточному вигляді, перевіряється його адекватність. Для цього розраховується дисперсія адекватності:

$$S_{ад}^2 = m \sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 / (N - L), \quad (18)$$

де \hat{y}_i – значення вихідного параметра, який розраховано за отриманим рівнянням регресії; L – кількість значущих коефіцієнтів у рівнянні регресії. Далі розраховується значення критерію Фішера:

$$F_{роз} = S_{ад}^2 / S_0^2. \quad (19)$$

Якщо $F_{роз} < F_{табл}(f_{ад}, f_0)$, $f_{ад} = N - L$, $f_0 = N(m - 1)$, то отримане рівняння адекватно описує досліджуваний процес. При неадекватності моделі найбільш часто приймають рішення про зменшення інтервалу варіювання факторів і повторення експерименту. Таке рішення хоча й зменшує кривизну поверхні відгуку, однак може призвести до появи незначущих коефіцієнтів. Дуже ефективно включати в план експерименту новий фактор із тих, що були відсіяні при попередніх експериментах.

Розкодування рівняння регресії

Нехай у результаті обробки результатів ПФЕ (табл. 2) було отримано рівняння регресії:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3 + b_7x_1x_2x_3. \quad (20)$$

Фактори x_1, x_2, x_3 входять до рівняння в кодованому вигляді. Щоб одержати рівняння в натуральному масштабі, скористаємося формулами (4):

$$x_1 = \frac{z_1 - z_1^0}{\Delta z_1}, \quad x_2 = \frac{z_2 - z_2^0}{\Delta z_2}, \quad x_3 = \frac{z_3 - z_3^0}{\Delta z_3}.$$

Після підстановки їх у рівняння (20), отримаємо

$$\hat{y} = b_0 + b_1 \frac{z_1 - z_1^0}{\Delta z_1} + b_2 \frac{z_2 - z_2^0}{\Delta z_2} + b_3 \frac{z_3 - z_3^0}{\Delta z_3} + b_4 \frac{z_1 - z_1^0}{\Delta z_1} \frac{z_2 - z_2^0}{\Delta z_2} + \\ + b_5 \frac{z_1 - z_1^0}{\Delta z_1} \frac{z_3 - z_3^0}{\Delta z_3} + b_6 \frac{z_2 - z_2^0}{\Delta z_2} \frac{z_3 - z_3^0}{\Delta z_3} + b_7 \frac{z_1 - z_1^0}{\Delta z_1} \frac{z_2 - z_2^0}{\Delta z_2} \frac{z_3 - z_3^0}{\Delta z_3}.$$

Після проведення арифметичних перетворень отримаємо рівняння регресії в натуральному масштабі

$$\hat{y} = a_0 + a_1 z_1 + a_2 z_2 + a_3 z_3 + a_4 z_1 z_2 + a_5 z_1 z_3 + a_6 z_2 z_3 + a_7 z_1 z_2 z_3.$$

Коефіцієнти $a_0, a_1, a_2 - a_7$ набуті при арифметичних перетвореннях при переході від рівняння регресії в кодованих факторах до рівняння регресії в натуральних факторах.

Особливий випадок проведення ПФЕ з паралельними дослідями в одній точці факторного простору

Цей план проведення експерименту застосовується у тих випадках, коли об'єкт досліджується не вперше й заздалегідь відома гарна відтворюваність результатів, тобто немає гострої необхідності проводити паралельні досліди для кожного рядка матриці планування. У цих випадках досить виконати три-чотири досліди в центрі плану, тобто при значеннях факторів, що дорівнюють основному або нульовому рівню, або в іншій точці досліджуваної області факторного простору.

Похибка досліду розраховується за формулою

$$S_0^2 = \sum_{u=1}^{m_0} (y_{0u} - \bar{y}_0)^2 / (m_0 - 1), \quad (21)$$

де $\bar{y}_0 = \sum_{u=1}^{m_0} y_{0u} / m_0$; y_{0u} , $u = 1, \dots, m_0$, – значення вихідного параметра в

паралельних дослідях; m_0 – кількість проведених в одній точці паралельних дослідів.

Алгоритм обробки результатів у цьому випадку визначається за пп. 4, 5 з алгоритму обробки результатів ПФЕ. При цьому в розрахункові формули необхідно внести такі зміни:

$$S_{bj} = \sqrt{S_0^2 / N}, \quad (22)$$

$$S_{ад}^2 = \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 / (N - L). \quad (23)$$

Кількість степенів вільності для визначення табличних значень критеріїв Стьюдента й Фішера $f_0 = m_0 - 1$.

Дробовий факторний експеримент

Повний факторний експеримент є досить ефективним засобом одержання математичної моделі досліджуваного об'єкта, особливо при кількості факторів $k > 3$. Однак збільшення кількості факторів приводить до різкого збільшення кількості дослідів. Так, ПФЕ 2^6 вимагає постановки 64 дослідів, а 2^7 – 128 дослідів. Звичайно, точність моделі при збільшенні кількості дослідів також зростає, однак це призводить до великих витрат коштів і часу.

Практика показує, що для одержання досить точних оцінок коефіцієнтів регресії можна обійтися малою кількістю дослідів, якщо ввести поняття дробового факторного експерименту або дробових реплік, який являє собою деяку частину (1/2, 1/4, 1/8 та ін.) від повного факторного експерименту.

Скорочення кількості дослідів спричиняє появу кореляції між оцінками коефіцієнтів. Ця обставина не дозволяє окремо оцінювати ефекти факторів і ефекти взаємодії. Утворюються так звані змішані оцінки.

Для дробових реплік використовуються спеціальні алгебричні співвідношення, що полегшують виявлення змішаних ефектів. Вони називаються генеруючими співвідношеннями й визначальними контрастами.

Генеруючим називається співвідношення, яке показує, яке із взаємодій факторів прийняте незначущим за впливом на вихідну змінну, а тому може бути замінене в матриці планування новою незалежною змінною. Наприклад, замість плану 2^3 можна використати його напіврепліку – план 2^{3-1} . Якщо як генеруюче співвідношення вибрати

$$x_3 = x_1 x_2, \quad (24)$$

то для побудови рівняння регресії достатньо чотирьох дослідів, а як план можна використати розширену матрицю планування для експерименту 2^2 (табл. 3).

Таблиця 3

номер досліду	x_0	x_1	x_2	$x_3 = x_1x_2$
1	+1	-1	-1	+1
2	+1	-1	+1	-1
3	+1	+1	-1	-1
4	+1	+1	+1	+1

3 генеруючими співвідношеннями можна робити алгебричні операції: помножити ліву й праву частину на будь-які ефекти – лінійні та ефекти взаємодії. Якщо фактор входить у рівняння у квадраті або іншому парному ступені, то він замінюється одиницею. Помножимо обидві частини генеруючого співвідношення (2^4) на x_3 . Одержимо $x_3^2 = x_1x_2x_3$ або

$$1 = x_1x_2x_3. \quad (25)$$

Це і є визначальний контраст, співвідношення, яке задає елементи першого стовпця.

Якщо знаємо визначальний контраст, то можна одержати систему змішаних оцінок для цієї дробової репліки. Для цього визначальний контраст помножується на кожний фактор і взаємодії факторів. У розглянутому прикладі для напіврепліки від плану 2^3 змішані оцінки коефіцієнтів рівняння регресії задаються такими співвідношеннями:

$$x_1 = x_1^2x_2x_3 = x_2x_3, \quad x_2 = x_1x_2^2x_3 = x_1x_3, \quad x_3 = x_1x_2x_3^2 = x_1x_2, \quad (26)$$

що відповідає оцінкам

$$b_1 \rightarrow \beta_1 + \beta_{23}, \quad b_2 \rightarrow \beta_2 + \beta_{13}, \quad b_3 \rightarrow \beta_3 + \beta_{12}. \quad (27)$$

Ефективність системи змішування факторів і взаємодії факторів визначається так званою розв'язувальною здатністю матриці. Вона вважається максимальною, якщо лінійні ефекти змішані з ефектами взаємодії найбільш високих порядків.

Для побудови дробових реплік більшого ступеня дробовості (2^{k-p} , p – кількість знову введених у розгляд факторів) необхідно задати стільки генеруючих співвідношень або визначальних контрастів, скільки ефектів взаємодії замінюються новими незалежними факторами. Наприклад, у плані типу 2^{5-2} можуть бути задані такі генеруючі співвідношення:

$$x_4 = x_1x_2x_3, \quad x_5 = x_1x_2. \quad (28)$$

Визначальні контрасти для цієї репліки будуть такі:

$$1 = x_1 x_2 x_3 x_4, 1 = x_1 x_2 x_5. \quad (29)$$

Якщо перемножити визначальні контрасти між собою, то одержимо так званий узагальнюючий визначальний контраст, який з урахуванням (29) повністю характеризує розв'язувальну здатність репліки високого ступеня дрібності:

$$1 = x_1 x_2 x_3 x_4 = x_1 x_2 x_5 = x_3 x_4 x_5. \quad (30)$$

При цьому утворюється така система змішаних оцінок для лінійних ефектів

$$\begin{aligned} x_0 &= x_1 x_2 x_3 x_4 = x_1 x_2 x_5 = x_3 x_4 x_5, & b_0 &\rightarrow \beta_0 + \beta_{1234} + \beta_{125} + \beta_{345}, \\ x_1 &= x_2 x_3 x_4 = x_2 x_5 = x_1 x_3 x_4 x_5, & b_1 &\rightarrow \beta_1 + \beta_{234} + \beta_{25} + \beta_{1345}, \\ x_2 &= x_1 x_3 x_4 = x_1 x_5 = x_2 x_3 x_4 x_5, & b_2 &\rightarrow \beta_2 + \beta_{134} + \beta_{15} + \beta_{2345}, \\ x_3 &= x_1 x_2 x_4 = x_1 x_2 x_3 x_5 = x_4 x_5, & b_3 &\rightarrow \beta_3 + \beta_{124} + \beta_{1235} + \beta_{45}, \\ x_4 &= x_1 x_2 x_3 = x_1 x_2 x_4 x_5 = x_3 x_5, & b_4 &\rightarrow \beta_4 + \beta_{123} + \beta_{1245} + \beta_{35}, \\ x_5 &= x_1 x_2 x_3 x_4 x_5 = x_1 x_2 = x_3 x_4, & b_5 &\rightarrow \beta_5 + \beta_{12345} + \beta_{12} + \beta_{34}. \end{aligned}$$

Обробка результатів ДФЕ здійснюється за тим же алгоритмом, що й ПФЕ – співвідношення (11)–(19).

Приклад розробки математичної моделі методом ПФЕ за результатами експериментального обстеження об'єкта хімічної технології

Досліджувалася межа міцності при стисканні зразків цементів фосфатного твердіння, обрана вихідним параметром (σ , МН/м²).

Факторами були: Z_1 – температура термообробки, °С; Z_2 – час термообробки, год; Z_3 – кількість сполучень, %.

Необхідно одержати математичний опис процесу за ПФЕ вигляду

$$\hat{y} = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_1 Z_2 + b_5 Z_1 Z_3 + b_6 Z_2 Z_3 + b_7 Z_1 Z_2 Z_3$$

і оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 500; Z_{20} = 3; Z_{30} = 25; \Delta Z_1 = 200; \Delta Z_2 = 2; \Delta Z_3 = 8.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_1	y_2
1	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	79,30	75,35
2	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	85,10	83,35
3	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	59,40	60,33
4	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	72,50	77,79
5	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	42,30	45,70
6	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	48,70	42,56
7	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	62,50	63,46
8	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	51,40	59,79

1. Розрахунки середніх значень за формулою (11), $m = 2$:

$$\begin{aligned} \bar{y}_1 &= (79,3 + 75,35) / 2 = 77,325; & \bar{y}_5 &= (42,3 + 45,7) / 2 = 44; \\ \bar{y}_2 &= (85,1 + 83,35) / 2 = 84,225; & \bar{y}_6 &= (48,7 + 42,56) / 2 = 45,63; \\ \bar{y}_3 &= (59,4 + 60,33) / 2 = 59,865; & \bar{y}_7 &= (62,5 + 63,46) / 2 = 62,98; \\ \bar{y}_4 &= (72,5 + 77,79) / 2 = 75,145; & \bar{y}_8 &= (51,44 + 59,79) / 2 = 55,595. \end{aligned}$$

2. Визначення порядкової дисперсії за формулою (12):

$$\begin{aligned} S_1^2 &= (79,3 - 77,325)^2 + (75,35 - 77,325)^2 = 7,8013; \\ S_2^2 &= (85,1 - 84,225)^2 + (83,35 - 84,225)^2 = 1,5313; \\ S_3^2 &= (59,4 - 59,865)^2 + (60,33 - 59,865)^2 = 0,433; \\ S_4^2 &= (72,50 - 75,145)^2 + (77,79 - 75,145)^2 = 13,992; \\ S_5^2 &= (42,3 - 44)^2 + (45,7 - 44)^2 = 5,78; \\ S_6^2 &= (48,7 - 45,63)^2 + (42,56 - 45,63)^2 = 18,85; \\ S_7^2 &= (62,5 - 62,98)^2 + (63,46 - 62,98)^2 = 0,4608; \\ S_8^2 &= (51,4 - 55,595)^2 + (59,79 - 55,595)^2 = 35,196. \end{aligned}$$

3. Перевірка однорідності порядкових дисперсій за критерієм Кохрена (13):

$$S_{i\max}^2 = 35,196, \quad \sum_{i=1}^N S_i^2 = 84,0437, \quad G_{\text{рас}} = 0,4188.$$

Значення, що отримали, порівнюють з табличним значенням $G_T(f_1, f_2) = 0,6798$, $f_1 = 8$, $f_2 = 1$. Оскільки $0,4188 < 0,6798$, це означає, що дисперсії однорідні.

4. Визначення похибки досліду або дисперсії відтворюваності – формула (14):

$$S_0^2 = 84,0437 / 8 = 10,5055.$$

5. Обчислення коефіцієнтів рівняння регресії – формула (15):

$$b_0 = (77,325 + 84,225 + 59,865 + 75,145 + 44 + 45,63 + 62,98 + 55,596) / 8 = 63,09656;$$

$$b_1 = (-77,325 + 84,225 + 59,865 + 75,145 - 44 - 45,63 - 62,98 + 55,596) / 8 = 5,61188;$$

$$b_2 = (77,25 + 84,225 - 59,865 + 75,14 - 44 - 45,63 + 62,98 - 55,596) / 8 = 11,82312;$$

$$b_3 = (77,325 + 84,225 + 59,865 - 75,145 + 44 - 45,63 - 62,98 - 55,596) / 8 = 3,25812;$$

$$b_4 = (-77,325 + 84,225 - 59,865 + 75,145 + 44 + 45,63 - 62,98 - 55,596) / 8 = -0,84562;$$

$$b_5 = (-77,325 + 84,225 + 59,865 - 75,145 - 44 + 45,63 + 62,98 - 55,596) / 8 = 0,07937;$$

$$b_6 = (77,325 + 84,225 - 59,865 - 75,145 - 44 + 45,63 - 62,98 + 5,596) / 8 = 2,59812;$$

$$b_7 = (-77,325 + 84,225 - 59,865 - 75,145 + 44 - 45,63 + 62,98 + 55,596) / 8 = -1,39563.$$

6. Обчислення дисперсії коефіцієнтів рівняння регресії й розрахункових значень критерію Стьюдента за формулами (16)–(17):

$$S_{bj} = \sqrt{10,5055 / (2 \cdot 8)} = 0,8103;$$

$$t_0 = 63,09563 / 0,8103 = 77,867;$$

$$t_1 = 5,61188 / 0,8103 = 6,926;$$

$$t_2 = 11,82312 / 0,8103 = 14,591;$$

$$t_3 = 3,25812 / 0,8103 = 4,021;$$

$$t_4 = 0,84562 / 0,8103 = 1,044;$$

$$t_5 = 0,07937 / 0,8103 = 0,098;$$

$$t_6 = 2,59812 / 0,8103 = 3,206;$$

$$t_7 = 1,39563 / 0,8103 = 1,722.$$

7. Перевірка значущості коефіцієнтів рівняння регресії:

$$t_{\text{табл}}(f_0 = 8) = 2,31.$$

$$t_0 > 2,31; \quad t_2 > 2,31; \quad t_4 < 2,31; \quad t_6 > 2,31;$$

$$t_1 > 2,31; \quad t_3 > 2,31; \quad t_5 < 2,31; \quad t_7 < 2,31.$$

Отже, приймаємо $b_4 = 0$, $b_5 = 0$, $b_7 = 0$, тому що вони є незначущі за критерієм Стьюдента.

8. Отримане рівняння регресії має вигляд:

$$\hat{y} = 63,09656 + 5,61188x_1 + 11,82312x_2 + 3,25812x_3 + 2,59812x_2x_3.$$

Визначимо розрахункові значення вихідного параметра для кожного досліджу за рівнянням регресії:

$$\hat{y}_1 = 63,0953 - 5,61188 + 11,82312 + 3,25812 + 2,59812 = 75,163;$$

$$\hat{y}_2 = 63,0953 + 5,1188 + 11,82312 + 3,25812 + 2,59812 = 86,382;$$

$$\hat{y}_3 = 63,0953 + 5,61188 - 11,82312 + 3,25812 - 2,59812 = 57,544;$$

$$\hat{y}_4 = 63,0953 + 5,61188 + 11,82312 - 3,25812 - 2,59812 = 74,624;$$

$$\hat{y}_5 = 63,0953 - 5,61188 - 11,82312 + 3,25812 - 2,59812 = 46,21;$$

$$\hat{y}_6 = 63,0953 - 5,61188 - 11,82312 - 3,25812 + 2,59812 = 45,001;$$

$$\hat{y}_7 = 63,0953 - 5,61188 + 11,82312 - 3,25812 - 2,59812 = 63,451;$$

$$\hat{y}_8 = 63,0953 + 5,61188 - 11,82312 - 3,25812 + 2,59812 = 56,224.$$

8. Розрахуємо дисперсію адекватності за формулою (18):

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{2}{3}((77,325 - 75,163)^2 + (84,225 - 86,387)^2 + (59,865 - 57,544)^2 + (75,145 - 74,674)^2 + (44 - 46,321)^2 + (45,63 - 45,001)^2 + (42,98 - 63,451)^2 + (55,595 - 56,224)^2) = 14,2355.$$

9. Визначення розрахункового значення критерію Фішера за формулою (19):

$$F_{\text{роз}} = 14,2355 / 10,50546 = 1,3551.$$

10. Перевірка адекватності отриманого рівняння за критерієм Фішера: $F_{\text{табл}}(f_{\text{ад}} = 3, f_0 = 8) = 4,067$, $F_{\text{роз}} < F_{\text{табл}}$. Отже, отримана модель адекватно описує процес стискання зразків цементів фосфатного твердіння.

Матриця планування

$$x := \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

$$x_{i,4} := x_{i,1} \cdot x_{i,2}$$

$$x_{i,5} := x_{i,1} \cdot x_{i,3}$$

$$x_{i,6} := x_{i,2} \cdot x_{i,3}$$

$$x_{i,7} := x_{i,1} \cdot x_{i,2} \cdot x_{i,3}$$

Значення вихідного параметра

Матриця планування розширена

$$x = \begin{pmatrix} 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$y := \begin{pmatrix} 79.30 & 75.35 \\ 85.10 & 83.35 \\ 59.40 & 60.33 \\ 72.50 & 77.79 \\ 42.30 & 45.70 \\ 48.70 & 42.56 \\ 62.50 & 63.46 \\ 51.40 & 59.79 \end{pmatrix}$$

Середні значення та вибіркві дисперсії

$$y_{m_i} := \frac{1}{m} \cdot \left(\sum_{u=0}^{m-1} y_{i,u} \right)$$

$$S2_i := \frac{1}{m-1} \cdot \left[\sum_{u=0}^{m-1} (y_{i,u} - y_{m_i})^2 \right]$$

$$y_m^T = (77.325 \quad 84.225 \quad 59.865 \quad 75.145 \quad 44 \quad 45.63 \quad 62.98 \quad 55.595)$$

$$S2^T = (7.801 \quad 1.531 \quad 0.432 \quad 13.992 \quad 5.78 \quad 18.85 \quad 0.461 \quad 35.196)$$

Критерій Кохрена

$$\max(S2) = 35.196 \quad \sum_i S2_i = 84.044 \quad G_{\text{рас}} := \frac{\max(S2)}{\left(\sum_i S2_i\right)} = 0.419$$

$$G_{\text{таб}} := 0.6798$$

Похибка досліду $S2_0 := \frac{\sum_i S2_i}{N} = 10.505$

Розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії

$$b_j := \frac{\sum_i (y_{m_i} \cdot x_{i,j})}{N}$$

$$b^T = (63.096 \quad 5.612 \quad 11.823 \quad 3.258 \quad -0.846 \quad 0.079 \quad 2.598 \quad -1.396)$$

Розрахунок похибки визначення коефіцієнтів $sb_j := \sqrt{\frac{S2_0}{m \cdot N}} = 0.81$

Табличне значення критерію Стьюдента

$$t_{\text{таб}} := \text{qt}\left[1 - \frac{0.05}{2}, N \cdot (m - 1)\right] = 2.306$$

Розрахунок значень критерію Стьюдента $t_j := \frac{|b_j|}{sb_j}$

$$t^T = (77.867 \quad 6.926 \quad 14.591 \quad 4.021 \quad 1.044 \quad 0.098 \quad 3.206 \quad 1.722)$$

Оцінка значущості коефіцієнтів

$$b_j := \text{if}(t_j > t_{\text{таб}}, b_j, 0)$$

$$b^T = (63.096 \quad 5.612 \quad 11.823 \quad 3.258 \quad 0 \quad 0 \quad 2.598 \quad 0)$$

Визначення кількості значущих коефіцієнтів

$$L := \sum_j \text{if}(b_j \neq 0, 1, 0) = 5$$

Визначення розрахункових значень вихідного параметра

$$y_{r_i} := \sum_j (b_j \cdot x_{i,j})$$

$$y_r^T = (75.163 \quad 86.387 \quad 57.544 \quad 74.674 \quad 46.321 \quad 45.001 \quad 63.451 \quad 56.224)$$

$$y_m^T = (77.325 \ 84.225 \ 59.865 \ 75.145 \ 44 \ 45.63 \ 62.98 \ 55.595)$$

$$\text{Дисперсія адекватності} \quad S_{2ad} := m \cdot \frac{\sum_i (y_{mi} - y_{\bar{1}})^2}{N - L} = 14.235$$

$$\text{Критерій Фішера} \quad F_{\text{роз}} := \frac{S_{2ad}}{S_{20}} = 1.355$$

Табличне значення критерію Фішера

$$F_{\text{tab}} := qF[0.95, N - L, N \cdot (m - 1)] = 4.066$$

Модель адекватна, тому що $F_{\text{роз}} < F_{\text{tab}}$

Приклад обробки результатів експериментального обстеження об'єкта хімічної технології методом повного факторного експерименту з паралельними дослідями в одній точці факторного простору

Досліджується процес відновлення сульфату натрію газовою сумішшю, що складається з 25 % CO і 75 % H. Як вихідний параметр було обрано вихід цільового продукту.

Факторами були:

Z_1 – температура досліду, К;

Z_2 – швидкість газу, м/с;

Z_3 – час, с.

Необхідно одержати математичний опис процесу в безрозмірній системі координат за ПФЕ (особливий випадок) такого вигляду:

$$\hat{y} = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_1 Z_2 + b_5 Z_1 Z_3 + b_6 Z_2 Z_3 + b_7 Z_1 Z_2 Z_3$$

і оцінити адекватність отриманої моделі.

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	59,6
2	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	83,0
3	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	80,5
4	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	85,0
5	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	73,0
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	84,0
7	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	90,0
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	83,0
9	+1	0	0	0					79,5
10	+1	0	0	0					84,0
11	+1	0	0	0					81,0
12	+1	0	0	0					84,0

Середнє значення вихідного параметра з паралельних дослідів, що проведені у центрі плану, дорівнює:

$$\bar{y}_0 = (79,5 + 84 + 81 + 84) / 4 = 82,125.$$

Похибка дослідів розраховується за паралельними дослідями у центрі плану за формулою (23):

$$S_0^2 = \frac{1}{3} ((79,5 - 82,125)^2 + 2 \cdot (84 - 82,125)^2 + (81 - 82,125)^2) = 5,063.$$

Визначаємо табличне значення критерію Стюдента $t_{\text{табл}}(f_0 = 3) = 3,18$.

Програма обробки результатів повного факторного експерименту з паралельними дослідями в одній точці факторного простору в середовищі Mathcad

Обробка результатів повного факторного експерименту (особливий випадок)

Значення вихідного параметра в паралельних дослідях, що були проведені у центрі плану

$$y_0 := \begin{pmatrix} 79,5 \\ 84 \\ 81 \\ 84 \end{pmatrix}$$

Кількість паралельних дослідів у центрі плану

$$m0 := 4$$

Визначення середнього значення з паралельних дослідів у центрі плану

$$y0_{cr} := \frac{\sum_{k=0}^{m0-1} y0_k}{m0}$$

$$y0_{cr} = 82.125$$

$$\sum_{k=0}^{m0-1} (y0_k - y0_{cr})^2$$

Похибка дослідів $S02 := \frac{\sum_{k=0}^{m0-1} (y0_k - y0_{cr})^2}{m0 - 1} = 5.063$

Кількість основних дослідів

$$N := 8$$

$$i := 0..N-1$$

Кількість стовпців матриці планування

$$n := 8$$

$$j := 0..n-1$$

Матриця планування

$$x := \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$x_{i,4} := x_{i,1} \cdot x_{i,2}$$

$$x_{i,5} := x_{i,1} \cdot x_{i,3}$$

$$x_{i,6} := x_{i,2} \cdot x_{i,3}$$

$$x_{i,7} := x_{i,1} \cdot x_{i,2} \cdot x_{i,3}$$

Матриця планування розширена

$$x = \begin{pmatrix} 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Значення вихідного параметра

$$y := \begin{pmatrix} 59.6 \\ 83 \\ 80.5 \\ 85 \\ 73 \\ 84 \\ 90 \\ 83 \end{pmatrix}$$

Розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії

$$b_j := \frac{\sum_i (y_i \cdot x_{i,j})}{N}$$

$$b^T = (79.763 \quad 2.737 \quad 4.863 \quad 3.987 \quad -0.863 \quad -2.988 \quad -4.613 \quad 0.113)$$

Розрахунок похибки визначення коефіцієнтів $sb_j := \sqrt{\frac{S_{02}}{N}} = 0.795$

Табличне значення критерію Стьюдента

$$t_{таб} := qt\left[1 - \frac{0.05}{2}, (m_0 - 1)\right] = 3.182$$

Розрахунок значень критерію Стьюдента $t_j := \frac{|b_j|}{sb_j}$

$$t^T = (100.268 \quad 3.441 \quad 6.113 \quad 5.013 \quad 1.084 \quad 3.756 \quad 5.798 \quad 0.141)$$

Оцінка значущості коефіцієнтів

$$b_j := \text{if}(t_j > t_{таб}, b_j, 0)$$

$$b^T = (79.763 \quad 2.737 \quad 4.863 \quad 3.987 \quad 0 \quad -2.988 \quad -4.613 \quad 0)$$

Визначення кількості значущих коефіцієнтів

$$L := \sum_j \text{if}(b_j \neq 0, 1, 0) = 6$$

Визначення розрахункових значень вихідного параметра

$$y_{r1} := \sum_j (b_j \cdot x_{i,j})$$

$$y_r^T = (60.575 \quad 83.75 \quad 79.525 \quad 84.25 \quad 72.025 \quad 83.25 \quad 90.975 \quad 83.75)$$

Дисперсія адекватності

$$S_{2ad} := \frac{\sum_i (y_i - y_{r1})^2}{N - L} = 3.026$$

Критерій Фішера $F_{роз} := \frac{S_{2ad}}{S_{02}} = 0.598$

Табличне значення критерію Фішера

$$F_{таб} := qF[0.95, N - L, (m_0 - 1)] = 9.552$$

Модель адекватна, тому що $F_{роз} < F_{таб}$

ЗАВДАННЯ 1 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

При розробці цементів фосфатного твердіння досліджується межа міцності при стисканні зразків, прийнята як вихідний параметр (σ , МН/м²).

Факторами були:

Z_1 – температура термообробки, °С;

Z_2 – час термообробки, год;

Z_3 – кількість сполучення, %.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_1 Z_2 + b_5 Z_1 Z_3 + b_6 Z_2 Z_3 + b_7 Z_1 Z_2 Z_3$$

і оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 500; Z_{20} = 3; Z_{30} = 25; \Delta Z_1 = 200; \Delta Z_2 = 2; \Delta Z_3 = 8.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y_1	y_2
1	+1	+1	+1	+1					85	83,4
2	+1	-1	+1	+1					79,4	75,2
3	+1	+1	-1	+1					59,3	60,2
4	+1	-1	-1	+1					42,2	41,8
5	+1	+1	+1	-1					72,4	77,8
6	+1	-1	+1	-1					62,3	61,4
7	+1	+1	-1	-1					51,3	54,8
8	+1	-1	-1	-1					48,8	42,4

ЗАВДАННЯ 2 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

При розробці корундових виробів досліджується дійсна пористість зразків, прийнята як вихідний параметр (Y , %).

Факторами були:

Z_1 – температура спікання, °C;

Z_2 – кількість добавки спікання TiO_2 , %;

Z_3 – час випалу, ч.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_1Z_2 + b_5Z_1Z_3 + b_6Z_2Z_3 + b_7Z_1Z_2Z_3$$

і оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 1600; Z_{20} = 1; Z_{30} = 4; \Delta Z_1 = 100; \Delta Z_2 = 0,5; \Delta Z_3 = 2.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_1	y_2
1	+1	-1	-1	-1					3,75	3,68
2	+1	-1	+1	+1					2,75	2,79
3	+1	-1	+1	-1					0,5	0,53
4	+1	-1	-1	+1					2,25	2,28
5	+1	+1	-1	-1					2,75	2,72
6	+1	+1	-1	+1					0,75	0,7
7	+1	+1	+1	-1					1,0	0,96
8	+1	+1	+1	+1					0,5	0,48

ЗАВДАННЯ 3 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

При розробці жаростійких покриттів титанових сплавів на основі фосфатних сполучних оцінюється їхня термостійкість, обумовлена кількістю теплосмін у режимі 700 °С – вода до появи ознак руйнування, прийнята як вихідний параметр (Y).

Факторами були:

Z_1 – рН сполучення;

Z_2 – кількість сполучення, %;

Z_3 – співвідношення компонентів у наповнювачі.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_1Z_2 + b_5Z_1Z_3 + b_6Z_2Z_3 + b_7Z_1Z_2Z_3$$

й оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 2; Z_{20} = 30; Z_{30} = 1 : 1; \Delta Z_1 = 1; \Delta Z_2 = 10; \Delta Z_3 = 1 : 5.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_1	y_2
1	+1	+1	+1	+1					7	8
2	+1	+1	+1	-1					33	42
3	+1	+1	-1	+1					44	48
4	+1	+1	-1	-1					66	73
5	+1	-1	-1	+1					50	56
6	+1	-1	+1	-1					41	37
7	+1	-1	+1	+1					62	64
8	+1	-1	-1	-1					86	80

ЗАВДАННЯ 4 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

При вивченні кінетики подрібнення глинозему досліджується намел заліза у сталевих млинах сталевими кулями, прийнята як вихідний параметр (Y , %).

Факторами були:

Z_1 – час подрібнювання, год;

Z_2 – діаметр тіл, що мелють, мм;

Z_3 – співвідношення глинозем – кулі.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_1 Z_2 + b_5 Z_1 Z_3 + b_6 Z_2 Z_3 + b_7 Z_1 Z_2 Z_3$$

й оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 25; Z_{20} = 15; Z_{30} = 1 : 2; \Delta Z_1 = 5; \Delta Z_2 = 5; \Delta Z_3 = 1 : 3.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	X_x	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y_1	y_2
1	+1	-1	-1	-1					3	3,1
2	+1	+1	-1	-1					2,7	2,9
3	+1	-1	+1	-1					2,6	2,2
4	+1	+1	+1	-1					2,2	2,0
5	+1	-1	-1	+1					3,8	4,1
6	+1	+1	-1	+1					3,64	3,9
7	+1	-1	+1	+1					3,4	3,7
8	+1	+1	+1	+1					3,09	3,22

ЗАВДАННЯ 5 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

При синтезі керметів системи W–Al₂O₃ досліджується межа міцності при стисканні зразків, що прийнята як вихідний параметр (σ , МН/м²).

Факторами були:

Z₁ – співвідношення W : Al₂O₃;

Z₂ – кількість добавки спікання Zr, %;

Z₃ – температура спікання у вакуумі, °С.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_1 Z_2 + b_5 Z_1 Z_3 + b_6 Z_2 Z_3 + b_7 Z_1 Z_2 Z_3$$

й оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 1 : 2; Z_{20} = 5; Z_{30} = 1800; \Delta Z_1 = 1 : 4; \Delta Z_2 = 2; \Delta Z_3 = 100.$$

Матриця планування

номер досліджу	x ₀	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁ x ₂	x ₁ x ₃	x ₂ x ₃	x ₁ x ₂ x ₃	y ₁	y ₂
1	+1	-1	-1	-1					90	130
2	+1	+1	-1	-1					280	299
3	+1	-1	+1	-1					245	260
4	+1	+1	+1	-1					490	495
5	+1	-1	-1	+1					250	150
6	+1	+1	-1	+1					425	400
7	+1	-1	+1	+1					300	325
8	+1	+1	+1	+1					600	640

ЗАВДАННЯ 6 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджуваний процес – екстракція в системі рослинний матеріал – рідина; як вихідний параметр розглядається ступінь добування твердої фази (Y , %).

Факторами були:

Z_1 – співвідношення фаз, т/р;

Z_2 – кількість обертів мішалки, об/хв;

Z_3 – діаметр часток, см.

Необхідно одержати математичний опис процесу за ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_1Z_2 + b_5Z_1Z_3 + b_6Z_2Z_3 + b_7Z_1Z_2Z_3$$

й оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 0,015; Z_{20} = 550; Z_{30} = 0,0505; \Delta Z_1 = 0,005; \Delta Z_2 = 450;$$

$$\Delta Z_3 = 0,0495.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_1	y_2
1	+1	+1	+1	+1					80,2	77,6
2	+1	+1	-1	+1					76,2	77,6
3	+1	-1	+1	+1					86,8	89,4
4	+1	-1	-1	+1					81,0	81,3
5	+1	+1	+1	-1					87,6	87,4
6	+1	+1	-1	-1					89,7	91,6
7	+1	-1	+1	-1					91,3	91,6
8	+1	-1	-1	-1					94,3	93,8

ЗАВДАННЯ 7 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується процес гідратації діізопропілового ефіру з метою одержання ізопропілового спирту. Як вихідний параметр вибирається вихід ізопропілового спирту (Y , %).

Факторами були:

Z_1 – температура процесу, °C;

Z_2 – витрата діізопропілового ефіру, л/хв;

Z_3 – концентрація діізопропілового ефіру, %.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатом ПФЕ (особливий випадок) такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_1 Z_2 + b_5 Z_1 Z_3 + b_6 Z_2 Z_3 + b_7 Z_1 Z_2 Z_3$$

й оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 250; Z_{20} = 0,3; Z_{30} = 0,5; \Delta Z_1 = 15; \Delta Z_2 = 0,05; \Delta Z_3 = 0,1.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	X_x	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y
1	+1	-1	-1	-1					72,2
2	+1	+1	-1	-1					71,3
3	+1	-1	+1	-1					49,1
4	+1	+1	+1	-1					70,46
5	+1	-1	-1	+1					19,63
6	+1	+1	-1	+1					32,58
7	+1	-1	+1	+1					57,55
8	+1	+1	+1	+1					46,02
9	+1	0	0	0					85,9
10	+1	0	0	0					86
11	+1	0	0	0					87,9

ЗАВДАННЯ 8 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується процес отруєння каталізатора сірчаними сполученнями. Як вихідний параметр ухвалюється критерій стабільності каталізатора.

Факторами були:

Z_1 – концентрація паладію, %;

Z_2 – концентрація селену, %;

Z_3 – концентрація сірки, %.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ (особливий випадок) такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_1Z_2 + b_5Z_1Z_3 + b_6Z_2Z_3 + b_7Z_1Z_2Z_3$$

й оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 0,55; Z_{20} = 1,0; Z_{30} = 0,033; \Delta Z_1 = 0,45; \Delta Z_2 = 0,5; \Delta Z_3 = 0,027.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y
1	+1	+1	-1	+1					1,43
2	+1	-1	-1	+1					2,42
3	+1	+1	+1	+1					1,33
4	+1	-1	+1	+1					2,86
5	+1	+1	-1	-1					1,40
6	+1	-1	-1	-1					6,67
7	+1	+1	+1	-1					1,56
8	+1	-1	+1	-1					4,40
9	+1	+1	+1	+1					1,34
10	+1	+1	+1	+1					1,32
11	+1	+1	+1	+1					1,35

ЗАВДАННЯ 9 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується ізотермічний процес кристалізації фториду алюмінію з водяних розчинів у промислових умовах його одержання. Як вихідний параметр вибирають середню швидкість кристалізації за час досліду.

Факторами були:

Z_1 – температура розчину, °С;

Z_2 – концентрація розчину, %;

Z_3 – час, ч.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ (особливий випадок) такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_1 Z_2 + b_5 Z_1 Z_3 + b_6 Z_2 Z_3 + b_7 Z_1 Z_2 Z_3$$

й оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 90; Z_{20} = 22; Z_{30} = 10; \Delta Z_1 = 4; \Delta Z_2 = 4; \Delta Z_3 = 0,5.$$

Матриця планування

номер досліду	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y
1	+1	+1	+1	+1					9,86
2	+1	-1	+1	+1					9,09
3	+1	+1	-1	+1					6,35
4	+1	-1	-1	+1					6,41
5	+1	+1	+1	-1					15,0
6	+1	-1	+1	-1					12,02
7	+1	+1	-1	-1					15,48
8	+1	-1	-1	-1					9,52
9	+1	0	0	0					9,12
10	+1	0	0	0					10,3
11	+1	0	0	0					10,25

ЗАВДАННЯ 10 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується процес відновлення сульфату натрію газовою сумішшю, що складається з 25 % CO і 75 % H. Як вихідний параметр вибирають витрати.

Факторами були:

Z_1 – температура дослідів, К;

Z_2 – швидкість газу, м/с;

Z_3 – час, с.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ (особливий випадок) такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_1Z_2 + b_5Z_1Z_3 + b_6Z_2Z_3 + b_7Z_1Z_2Z_3$$

й оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 1373; Z_{20} = 0,274; Z_{30} = 480; \Delta Z_1 = 100; \Delta Z_2 = 0,106; \Delta Z_3 = 120.$$

Матриця планування

номер дослідів	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y
1	+1	-1	-1	-1					115,89
2	+1	-1	-1	+1					76,18
3	+1	-1	+1	-1					78,77
4	+1	-1	+1	+1					84,1
5	+1	+1	-1	-1					79,08
6	+1	+1	-1	+1					70,2
7	+1	+1	+1	-1					70,32
8	+1	+1	+1	+1					82,08
9	+1	0	0	0					79,925
10	+1	0	0	0					75,62
11	+1	0	0	0					78,45
12	+1	0	0	0					75,66

ЗАВДАННЯ 11 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується процес відновлення сульфату натрію газовою сумішшю, що складається з 25 % CO і 75 % Н. Як вихідний параметр вибирають вихід цільового продукту.

Факторами були:

Z_1 – температура досліду, К;

Z_2 – швидкість газу, м/с;

Z_3 – час, с.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ (особливий випадок) такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_1 Z_2 + b_5 Z_1 Z_3 + b_6 Z_2 Z_3 + b_7 Z_1 Z_2 Z_3$$

й оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 1373; Z_{20} = 0,274; Z_{30} = 480; \Delta Z_1 = 100; \Delta Z_2 = 0,106; \Delta Z_3 = 120.$$

Матриця планування

номер досліду	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y
1	+1	-1	-1	-1					49,6
2	+1	-1	-1	+1					81,0
3	+1	-1	+1	-1					80,5
4	+1	-1	+1	+1					85,0
5	+1	+1	-1	-1					73,0
6	+1	+1	-1	+1					88,0
7	+1	+1	+1	-1					90,0
8	+1	+1	+1	+1					83,0
9	+1	0	0	0					79,5
10	+1	0	0	0					84,0
11	+1	0	0	0					81,0
12	+1	0	0	0					84,0

ЗАВДАННЯ 12 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується процес розподілу емульсії в гравітаційному відстійнику з насадкою. Вихідним параметром Y є час поділу емульсії у відстійнику.

Факторами були:

Z_1 – діаметр крапель емульсії, м;

Z_2 – лінійна швидкість руху емульсії у відстійнику, м/с;

Z_3 – співвідношення фаз на вході у відстійник.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_1 Z_2 + b_5 Z_1 Z_3 + b_6 Z_2 Z_3 + b_7 Z_1 Z_2 Z_3$$

й оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 0,75 \cdot 10^{-3}; Z_{20} = 14,025 \cdot 10^{-3}; Z_{30} = 1 : 1; \Delta Z_1 = 0,25 \cdot 10^{-3};$$

$$\Delta Z_2 = 1,775 \cdot 10^{-3}; \Delta Z_3 = 1 : 3.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y_1	y_2
1	+1	+1	+1	+1					5,36	5,65
2	+1	+1	-1	+1					6,4	6,69
3	+1	-1	+1	+1					10,1	10,456
4	+1	-1	-1	+1					12,95	13,37
5	+1	+1	+1	-1					4	4,2
6	+1	+1	-1	-1					4,9	5,35
7	+1	-1	+1	-1					6,52	6,82
8	+1	-1	-1	-1					8,026	8,471

ЗАВДАННЯ 13
для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується процес хлорування 4-етил-5(β-оксиетил)-тіазолу. Вихідним параметром Y є вихід 4-мітил-5(β-оксиетил)-тіазолу з гемітіамина. Кожний дослід проводився тричі, що дозволило визначити помилку досліду $S_0^2 = 6,19$.

Факторами були:

Z_1 – тривалість витримки при кипінні, год;

Z_2 – надлишок хлористого тіанілу проти стехіометричної кількості, %;

Z_3 – температура реакцій, °С.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_1Z_2 + b_5Z_1Z_3 + b_6Z_2Z_3 + b_7Z_1Z_2Z_3$$

й оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 2; Z_{20} = 2; Z_{30} = 5; \Delta Z_1 = 1; \Delta Z_2 = 0,5; \Delta Z_3 = 5.$$

Матриця планування

номер досліду	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	$Y_{\text{сер}}$
1	+1	+1	+1	+1					67,91
2	+1	-1	+1	+1					65,67
3	+1	+1	-1	+1					63,16
4	+1	-1	-1	+1					67,14
5	+1	+1	+1	-1					83,04
6	+1	-1	+1	-1					74,23
7	+1	+1	-1	-1					71,37
8	+1	-1	-1	-1					65,25

ЗАВДАННЯ 14 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується процес ацилювання аніліну хлорангідридом 9-флуоренон-4-карбонової кислоти. Вихідним параметром Y (%) є вихід при аналізі хлорангідриду 9-флуоренон-4-карбонової кислоти.

Факторами були:

Z_1 – температура реакції, °С;

Z_2 – тривалість реакції, хв;

Z_3 – кількість розчинника, г.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_1Z_2 + b_5Z_1Z_3 + b_6Z_2Z_3 + b_7Z_1Z_2Z_3$$

й оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 120; Z_{20} = 75; Z_{30} = 20; \Delta Z_1 = 10; \Delta Z_2 = 45; \Delta Z_3 = 10.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_1	y_2
1	+1	-1	-1	-1					79,5	81
2	+1	+1	-1	-1					84,8	84,4
3	+1	-1	+1	-1					85,4	85,6
4	+1	-1	-1	+1					83,1	82,1
5	+1	+1	+1	-1					90,3	88,9
6	+1	+1	-1	+1					83,5	84,4
7	+1	-1	+1	+1					85,2	85,6
8	+1	+1	+1	+1					88,3	89,5

ЗАВДАННЯ 15 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується процес виділення ртуті з відпрацьованого електроліту. Вихідним параметром Y , %, є степінь очищення розчину від ртуті.

Факторами були:

Z_1 – час контакту, хв;

Z_2 – кількість іонообмінної смоли, завантаженої в апарат, г;

Z_3 – витрата аналіту, л/с.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_1Z_2 + b_5Z_1Z_3 + b_6Z_2Z_3 + b_7Z_1Z_2Z_3$$

і оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 5; Z_{20} = 11; Z_{30} = 1,25; \Delta Z_1 = 0,5; \Delta Z_2 = 1,5; \Delta Z_3 = 0,25.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_1	y_2
1	+1	+1	+1	+1					93,18	92,62
2	+1	-1	+1	+1					94,43	96,4
3	+1	+1	-1	+1					80,99	77,61
4	+1	-1	-1	+1					84,20	82,8
5	+1	+1	+1	-1					96,65	94,95
6	+1	-1	+1	-1					99,07	97,93
7	+1	+1	-1	-1					89,25	92,75
8	+1	-1	-1	-1					92,91	90,09

ЗАВДАННЯ 16 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується автоматичний контроль визначення концентрації води в оцтовокислих сиропах при одержанні ацетатів целюлози безперервним методом. Вихідним параметром Y є швидкість поширення ультразвуку.

Факторами були:

Z_1 – концентрація води в розчинах, %;

Z_2 – концентрація триацетату целюлози, %;

Z_3 – концентрація сірчаної кислоти, %;

Z_4 – температура розчину, °С.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_4 + b_5 Z_1 Z_2 + b_6 Z_1 Z_3 + b_7 Z_1 Z_4 + b_8 Z_2 Z_3 + b_9 Z_2 Z_4 + b_{10} Z_3 Z_4 + b_{11} Z_1 Z_2 Z_3 + b_{12} Z_1 Z_2 Z_4 + b_{13} Z_1 Z_3 Z_4 + b_{14} Z_2 Z_3 Z_4 + b_{15} Z_1 Z_2 Z_3 Z_4$$

і оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$Z_{10} = 3,4$; $Z_{20} = 25$; $Z_{30} = 5$; $Z_{40} = 60$; $\Delta Z_1 = 0,8$; $\Delta Z_2 = 5$; $\Delta Z_3 = 0,5$;

$\Delta Z_4 = 10$.

Матриця планування

номер дослід	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_2x_3	x_2x_4	x_3x_4	$x_1x_2x_3$	$x_1x_2x_4$	$x_1x_3x_4$	$x_2x_3x_4$	$x_1x_2x_3x_4$	y
1	+1	-1	-1	-1	-1												1041,9
2	+1	+1	+1	-1	-1												1185,2
3	+1	+1	-1	+1	-1												1157,4
4	+1	+1	-1	-1	+1												1126,0
5	+1	-1	+1	+1	-1												1068,1
6	+1	-1	+1	-1	+1												1037,3
7	+1	-1	-1	+1	+1												1012,0
8	+1	+1	+1	+1	+1												1155,4
9	+1	+1	-1	-1	-1												1156,7
10	+1	-1	+1	-1	-1												1168,4
11	+1	-1	-1	+1	-1												1040,8
12	+1	-1	-1	-1	+1												1013,2
13	+1	+1	+1	+1	-1												1184,5
14	+1	-1	+1	+1	+1												1037,3
15	+1	+1	-1	+1	+1												1126,0
16	+1	+1	+1	-1	+1												1153,9
17	+1	0	0	0	0												1099,4
18	+1	0	0	0	0												1098,7
19	+1	0	0	0	0												1099,4
20	+1	0	0	0	0												1098,1
21	+1	0	0	0	0												1097,9

ЗАВДАННЯ 17 для розрахункової робот

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується процес оксихлорування стиролу. Вихідним параметром Y є вихід цільового продукту.

Факторами були: Z_1 – витрата стиролу, л/год;

Z_2 – співвідношення стиролу й гіпохлориту кальцію;

Z_3 – температура процесу, °С;

Z_4 – рН середовища.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_4 + b_5Z_1Z_2 + b_6Z_1Z_3 + b_7Z_1Z_4 + b_8Z_2Z_3 + b_9Z_2Z_4 + b_{10}Z_3Z_4 + b_{11}Z_1Z_2Z_3 + b_{12}Z_1Z_2Z_4 + b_{13}Z_1Z_3Z_4 + b_{14}Z_2Z_3Z_4 + b_{15}Z_1Z_2Z_3Z_4$$

й оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані: $Z_{10} = 150$; $Z_{20} = 13$; $Z_{30} = 38$; $Z_{40} = 4,5$; $\Delta Z_1 = 30$;

$\Delta Z_2 = 0,7$; $\Delta Z_3 = 10$; $\Delta Z_4 = 0,5$;

Матриця планування

НОМЕР ДОСЛІДУ	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_2x_3	x_2x_4	x_3x_4	$x_1x_2x_3$	$x_1x_2x_4$	$x_1x_3x_4$	$x_2x_3x_4$	$x_1x_2x_3x_4$	Y_1	Y_2
	1	+1	+1	+1	+1	+1												77,1
2	+1	-1	+1	+1	+1												90,5	85,5
3	+1	+1	-1	+1	+1												76,1	79,8
4	+1	-1	-1	+1	+1												74,4	80,7
5	+1	+1	+1	-1	+1												57,4	62,5
6	+1	-1	+1	-1	+1												70,5	71,5
7	+1	+1	-1	-1	+1												80,1	79,2
8	+1	-1	-1	-1	+1												74,2	78,0
9	+1	+1	+1	+1	-1												78,4	76,0
10	+1	-1	+1	+1	-1												86,0	90,0
11	+1	+1	-1	+1	-1												77,0	77,3
12	+1	-1	-1	+1	-1												78,5	76,2
13	+1	+1	+1	-1	-1												75,5	79,8
14	+1	-1	+1	-1	-1												83,5	72,1
15	+1	+1	-1	-1	-1												58,0	60,5
16	+1	-1	-1	-1	-1												73,2	75,6

ЗАВДАННЯ 18
для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

При синтезуванні виробів з окису магнію вивчається усадка зразків Y , %, прийнята як вихідний параметр.

Факторами були:

Z_1 – температура спікання, °С;

Z_2 – тиск пресування, Н/м²;

Z_3 – витримка при температурі випалу, год;

Z_4 – кількість добавки спікання, %.

Необхідно одержати математичний опис процесу такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_4,$$

використовуючи напіврепліку від ПФЕ 2^4 із визначальним контрастом $1=x_1 x_2 x_3 x_4$ та оцінити адекватність отриманої моделі. Визначити систему змішаних оцінок.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 1600; Z_{20} = 300; Z_{30} = 4; Z_{40} = 2; \Delta Z_1 = 80; \Delta Z_2 = 100; \Delta Z_3 = 2;$$

$$\Delta Z_4 = 2.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	X_4	y_1	y_2
1	+1	-1	-1	-1	-1	4,7	4,83
2	+1	+1	-1	+1	-1	3,6	3,7
3	+1	-1	-1	+1	+1	5,0	5,14
4	+1	-1	+1	-1	+1	3,4	3,6
5	+1	+1	+1	-1	-1	2,3	2,4
6	+1	+1	-1	-1	+1	2,2	2,4
7	+1	-1	+1	+1	-1	5,2	5,01
8	+1	+1	+1	+1	+1	2,2	2,3

ЗАВДАННЯ 19 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Вивчається межа міцності при вигині виливків із пластифікованих парафіном суспензій із окису алюмінію. Вихідний параметр – σ , Н/м².

Факторами були:

Z_1 – дисперсність глинозему, см²/г;

Z_2 – температура нагрівання шлікеру, °С;

Z_3 – кількість парафіну в шлікері, %;

Z_4 – кількість поверхнево-активної добавки, %.

Необхідно одержати математичний опис процесу такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_4,$$

використовуючи напіврепліку від ПФЕ 2⁴ з генеруючим співвідношенням $x_4 = x_1 x_2 x_3$ і оцінити адекватність отриманої моделі. Визначити систему змішаних оцінок.

Вихідні дані:

$Z_{10} = 8150$; $Z_{20} = 54$; $Z_{30} = 15$; $Z_{40} = 0,7$; $\Delta Z_1 = 850$; $\Delta Z_2 = 4$; $\Delta Z_3 = 3$;

$\Delta Z_4 = 0,3$.

Матриця планування

номер дослідю	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2
1	+1	-1	-1	-1	-1	3,90	3,95
2	+1	+1	-1	+1	-1	3,36	3,334
3	+1	-1	-1	+1	+1	2,54	2,52
4	+1	-1	+1	-1	+1	3,58	3,67
5	+1	+1	+1	-1	-1	4,6	4,5
6	+1	+1	-1	-1	+1	2,05	2,01
7	+1	-1	+1	+1	-1	4,98	5,08
8	+1	+1	+1	+1	+1	2,97	2,94

ЗАВДАННЯ 20 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Вивчається відкрита пористість термопресованих алюмосилікатних вогнетривів Y , %.

Факторами були:

Z_1 – співвідношення між розмірами зерен у шихті 3–2 мм і 1–0,5 мм;

Z_2 – кількість фракцій менше 0,2 мм у шихті, %;

Z_3 – співвідношення між кіровською і часов'ярською глиною;

Z_4 – кількість владимирського каоліну в масі, %;

Z_5 – температура пресування, °С;

Необхідно одержати математичний опис процесу такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_4 + b_5Z_5,$$

використовуючи чверть репліку від ПФЕ 2^5 з генеруючими співвідношеннями $x_4 = x_1x_2x_3$, $x_5 = -x_2x_3$, і оцінити адекватність отриманої моделі. Визначити систему змішаних оцінок.

Вихідні дані:

$Z_{10} = 1 : 2$; $Z_{20} = 20$; $Z_{30} = 1 : 5$; $Z_{40} = 30$; $Z_{50} = 1350$; $\Delta Z_1 = 1 : 5$;
 $\Delta Z_2 = 10$; $\Delta Z_3 = 1 : 10$; $\Delta Z_4 = 20$; $\Delta Z_5 = 50$.

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y_1	y_2
1	+1	-1	-1	-1	-1	-1	4,06	4,4
2	+1	-1	-1	+1	+1	+1	8,4	8,75
3	+1	-1	+1	-1	+1	+1	5,64	5,88
4	+1	-1	+1	+1	-1	-1	6,34	6,42
5	+1	+1	-1	-1	+1	-1	5,54	5,24
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	3,90	3,83
7	+1	+1	+1	-1	-1	+1	1,78	1,51
8	+1	+1	+1	+1	+1	-1	6,96	7,20

ЗАВДАННЯ 21 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується процес екстракції в системі тверде тіло – рідина.
Вихідним параметром Y , %, є вихід цільового продукту.

Факторами були:

Z_1 – температура процесу, °C;

Z_2 – час, хв;

Z_3 – дисперсність матеріалу, мм;

Z_4 – співвідношення розчинник – матеріал.

Необхідно одержати математичний опис процесу такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_4,$$

використовуючи напіврепліку від ПФЕ 2^4 із генеруючим співвідношенням $x_4 = -x_1 x_2$ і оцінити адекватність отриманої моделі. Визначити систему змішаних оцінок.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 52,5; Z_{20} = 80; Z_{30} = 0,325; Z_{40} = 30; \Delta Z_1 = 7,5; \Delta Z_2 = 10;$$

$$\Delta Z_3 = 0,025; \Delta Z_4 = 10.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2
1	+1	-1	-1	-1	-1	6,78	6,73
2	+1	+1	-1	-1	+1	8,91	9,35
3	+1	-1	+1	-1	+1	7,88	8,48
4	+1	+1	+1	-1	-1	6,34	6,59
5	+1	-1	-1	+1	-1	7,25	7,37
6	+1	+1	-1	+1	+1	10,23	10,26
7	+1	-1	+1	+1	+1	9,07	9,3
8	+1	+1	+1	+1	-1	6,75	6,67

ЗАВДАННЯ 22 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується процес екстракції в системі тверде тіло – рідина.
Вихідним параметром Y , %, є вихід цільового продукту.

Факторами були:

Z_1 – степінь подрібнювання сировини, мм;

Z_2 – температура процесу, °C;

Z_3 – кількість циклів екстракції;

Z_4 – співвідношення об'ємів компонентів діхлоретану й етанолу;

Z_5 – час екстракції, год.

Необхідно одержати математичний опис процесу такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_4 + b_5Z_5,$$

використовуючи дробову репліку від ПФЕ 2^{5-2} із генеруючими співвідношеннями $x_4 = x_1x_2x_3$, $x_5 = -x_1x_2$, й оцінити адекватність отриманої моделі. Визначити систему змішаних оцінок.

Вихідні дані:

$Z_{10} = 70$; $Z_{20} = 30$; $Z_{30} = 5$; $Z_{40} = 1,25$; $Z_{50} = 6$; $\Delta Z_1 = 15$; $\Delta Z_2 = 10$;

$\Delta Z_3 = 2$; $\Delta Z_4 = 0,25$; $\Delta Z_5 = 2$.

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y_1	y_2
1	+1	-1	-1	-1	-1	-1	33,4	31,8
2	+1	+1	+1	-1	-1	-1	44,8	45,2
3	+1	-1	-1	+1	+1	-1	69,1	68,3
4	+1	+1	-1	+1	-1	+1	74,4	74,1
5	+1	-1	+1	+1	-1	+1	75,5	74,8
6	+1	+1	-1	-1	+1	+1	88,8	89,2
7	+1	-1	+1	-1	+1	+1	91,3	90,8
8	+1	+1	+1	+1	+1	-1	83,20	82,60

ЗАВДАННЯ 23 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується процес екстракції живиці з кори ялиці азеотропом хлористого метилену з етиловим спиртом. Вихідним параметром Y , %, є вихід живиці.

Факторами були:

Z_1 – час попереднього настоювання, год;

Z_2 – кількість циклів екстракції;

Z_3 – ступінь подрібнювання сировини, мм;

Z_4 – завантажувальна густина, г/см³;

Z_5 – співвідношення твердої й рідкої фаз.

Необхідно одержати математичний опис процесу такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_4 + b_5Z_5,$$

використовуючи дробову репліку від ПФЕ 2^{5-2} з генеруючими співвідношеннями $x_4 = -x_1x_2$, $x_5 = -x_1x_2x_3$, та оцінити адекватність отриманої моделі. Визначити систему змішаних оцінок.

Вихідні дані:

$Z_{10} = 2$; $Z_{20} = 8$; $Z_{30} = 2$; $Z_{40} = 0,67$; $Z_{50} = 1 : 2,5$; $\Delta Z_1 = 1$; $\Delta Z_2 = 4$;

$\Delta Z_3 = 1$; $\Delta Z_4 = 0,15$; $\Delta Z_5 = 1 : 5$.

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y_1	y_2
1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	95,7	95,7
2	+1	+1	+1	-1	-1	+1	97,8	94,6
3	+1	-1	+1	+1	+1	+1	98,9	98,9
4	+1	+1	+1	+1	-1	-1	100,0	100,0
5	+1	+1	-1	-1	+1	-1	97,8	94,6
6	+1	-1	-1	-1	-1	+1	85,8	85,9
7	+1	-1	-1	+1	-1	-1	93,5	91,3
8	+1	+1	-1	+1	+1	+1	95,5	94,5

ЗАВДАННЯ 24 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

При виборі раціональних параметрів процесу плазмового напилювання порошку карбіду ніобію вивчається коефіцієнт використання цього порошку, прийнятий як вихідний параметр Y , %.

Факторами були:

Z_1 – середньоінтегральна дисперсність порошку, мкм;

Z_2 – відстань від зрізу сопла до поверхні, що напилюють, м;

Z_3 – витрата плазмотвірного газу, г/с;

Z_4 – витрата порошку карбіду ніобію, г/с;

Z_5 – струм в установці, А.

Необхідно одержати математичний опис процесу такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_4 + b_5Z_5,$$

використовуючи дробову репліку від ПФЕ 2^{5-2} із узагальнюючим контрастом $1 = x_1x_2x_3x_4 = -x_1x_2x_5 = -x_3x_4x_5$, та оцінити адекватність отриманої моделі. Визначити систему змішаних оцінок.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 70; Z_{20} = 0,1; Z_{30} = 0,75; Z_{40} = 40; Z_{50} = 400; \Delta Z_1 = 30; \Delta Z_2 = 0,05;$$

$$\Delta Z_3 = 0,25; \Delta Z_4 = 10; \Delta Z_5 = 100.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y_1	y_2
1	+1	-1	-1	-1	-1	-1	50	50,4
2	+1	+1	+1	-1	-1	-1	57	57,3
3	+1	-1	-1	+1	+1	-1	47,7	48,1
4	+1	+1	-1	+1	-1	+1	51	50,4
5	+1	-1	+1	+1	-1	+1	63	63,8
6	+1	+1	-1	-1	+1	+1	44,3	44,9
7	+1	-1	+1	-1	+1	+1	56	56,8
8	+1	+1	+1	+1	+1	-1	53	53,8

ЗАВДАННЯ 25 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

При синтезі кордієритової кераміки вивчається межа міцності при стисканні (σ , МН/м²), прийнята як вихідний параметр Y , %.

Факторами були:

Z_1 – співвідношення між тальком і глиною (розраховуючи на повну дегідратацію);

Z_2 – кількість глинозему в шихті, %;

Z_3 – співвідношення між фракцією 3–2 мм і 0,5–0,2 мм;

Z_4 – кількість фракцій менше 0,06 мм, %;

Z_5 – температура випалу, °С;

Необхідно одержати математичний опис процесу такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_4 + b_5Z_5,$$

використовуючи чверть репліку від ПФЕ 2^5 із генеруючими співвідношеннями $x_4 = -x_1x_2$, $x_5 = x_1x_3$, та оцінити адекватність отриманої моделі. Визначити систему змішаних оцінок.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 1 : 3,5; Z_{20} = 25; Z_{30} = 2,5 : 1; Z_{40} = 30; Z_{50} = 1350; \Delta Z_1 = 1 : 5;$$

$$\Delta Z_2 = 10; \Delta Z_3 = 0,5 : 1; \Delta Z_4 = 10; \Delta Z_5 = 50.$$

Матриця планування

номер дослідів	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y_1	y_2
1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	138	136
2	+1	+1	-1	-1	+1	-1	175,5	177
3	+1	-1	+1	-1	+1	+1	211	212
4	+1	+1	+1	-1	-1	-1	226	228
5	+1	-1	-1	+1	-1	-1	126	128
6	+1	+1	-1	+1	+1	+1	110,5	109
7	+1	-1	+1	+1	+1	-1	203,8	202,2
8	+1	+1	+1	+1	-1	+1	160	157

ЗАВДАННЯ 26 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджувалися процеси засолювання, механічної обробки й дозрівання м'яса при виробленні пастеризованих консервів з яловичини. Спостережуваний фактор Y – вихід твердої фази (м'яса) або відношення кількості рідкої фази до твердої (безрозмірний коефіцієнт).

Факторами були:

Z_1 – тривалість первинної механічної обробки, хв;

Z_2 – тривалість первинного дозрівання, год;

Z_3 – кількість розсолу, що додається, % від об'єму.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_1Z_2 + b_5Z_1Z_3 + b_6Z_2Z_3 + b_7Z_1Z_2Z_3$$

та оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 22,5; Z_{20} = 24,5; Z_{30} = 17,5; \Delta Z_1 = 17,5; \Delta Z_2 = 23,5; \Delta Z_3 = 7,5.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_1	y_2	y_3
1	+1	-1	-1	-1					84,38	86,28	85,48
2	+1	+1	-1	-1					72,558	71,85	74,48
3	+1	-1	+1	-1					78,248	81,01	77,08
4	+1	+1	+1	-1					72,542	71,801	72,08
5	+1	-1	-1	+1					87,242	88,801	86,08
6	+1	+1	-1	+1					74,2	76,1	74,56
7	+1	-1	+1	+1					83,02	78,23	81,06
8	+1	+1	+1	+1					75,02	75,33	72,04

ЗАВДАННЯ 27
для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Основними якісними показниками гідрованих високотвердих жирів, що застосовуються у кондитерській промисловості, є температура плавлення й твердість саломасу. Досліджувався процес гідрогенізації бавовняного масла. В отриманих саломасах визначали температуру плавлення, прийняту як вихідний параметр Y .

Факторами були:

Z_1 – температура процесу, °С;

Z_2 – тиск водню, кПа;

Z_3 – швидкість подачі масла, що гідрирується, год⁻¹.

Необхідно одержати математичний опис процесу такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3,$$

використовуючи напіврепліку від ПФЕ 2³ із генеруючим співвідношенням $x_3 = x_1 x_2$ та оцінити адекватність отриманої моделі. Визначити систему змішаних оцінок.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 190; Z_{20} = 200; Z_{30} = 1,5; \Delta Z_1 = 10; \Delta Z_2 = 100; \Delta Z_3 = 0,5.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x	x_2	x_3	y_1	y_2
1	+1	+1	+1		36,5	36,7
2	+1	-1	-1		32,1	32,3
3	+1	+1	-1		34,6	35
4	+1	-1	+1		35,3	35,4

ЗАВДАННЯ 28 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Основними якісними показниками гідрованих високотвердих жирів, що застосовуються у кондитерській промисловості, є температура плавлення й твердість саломасу. Досліджувався процес гідрогенізації бавовняного масла. В отриманих саломасах визначали твердість саломасу, прийняту як вихідний параметр Y .

Факторами були:

Z_1 – температура процесу, °C;

Z_2 – тиск водню, кПа;

Z_3 – швидкість подачі масла, що гідриують, година⁻¹.

Необхідно одержати математичний опис процесу такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3,$$

використовуючи напіврепліку від ПФЕ 2^3 з генеруючим співвідношенням $x_3 = x_1 x_2$ та оцінити адекватність отриманої моделі. Визначити систему змішаних оцінок.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 190; Z_{20} = 200; Z_{30} = 1,5; \Delta Z_1 = 10; \Delta Z_2 = 100; \Delta Z_3 = 0,5.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	y_1	y_2
1	+1	+1	+1		620	580
2	+1	-1	-1		450	480
3	+1	+1	-1		520	550
4	+1	-1	+1		580	540

ЗАВДАННЯ 29 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджувався процес гідрування рослинної олії на суміші каталізаторів. Функцією відгуку Y обрана швидкість гідрування, що виражається зниженням показника переломлення масла за одну годину досліду – $\Delta n \cdot 10^4$, год⁻¹.

Факторами були:

Z_1 – температура гідрування, °С;

Z_2 – масова частка каталізатора 1, %;

Z_3 – масова частка каталізатора 2, %.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_1 Z_2 + b_5 Z_1 Z_3 + b_6 Z_2 Z_3 + b_7 Z_1 Z_2 Z_3$$

та оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 185; Z_{20} = 0,1; Z_{30} = 0,005; \Delta Z_1 = 15; \Delta Z_2 = 0,05; \Delta Z_3 = 0,005.$$

Для оцінки помилки досліду були проведено три серії дослідів при різних комбінаціях значень факторів. У кожній серії за результатами п'яти повторних дослідів визначена дисперсія функції відгуку. Отримані такі значення дисперсій: 1серія – 1,2; 2 серія – 1,5; 3 – 1,0.

Матриця планування

номер досліду	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y
1	+1	+1	+1	+1					60
2	+1	-1	+1	+1					36
3	+1	+1	-1	+1					30
4	+1	-1	-1	+1					21
5	+1	+1	+1	-1					48
6	+1	-1	+1	-1					19
7	+1	+1	-1	-1					15
8	+1	-1	-1	-1					0

ЗАВДАННЯ 30
для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

При дослідженні процесу безперервної екстракції плантаглюциду був поставлений ПФЕ в умовах дослідно-промислової установки.

Як змінну стану Y обраний вихід діючих речовин у відсотках від маси сировини.

Факторами були обрані:

Z_1 – температура T , °C;

Z_2 – середній діаметр часток $d \cdot 10^3$, м;

Z_3 – час процесу τ , хв.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_1 Z_2 + b_5 Z_1 Z_3 + b_6 Z_2 Z_3 + b_7 Z_1 Z_2 Z_3$$

та оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 86; Z_{20} = 061; Z_{30} = 15; \Delta Z_1 = 10; \Delta Z_2 = 0,282; \Delta Z_3 = 110.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y_1	y_2	y_3
1	+1	-1	-1	-1					10,44	12,71	11,91
2	+1	+1	-1	-1					16,11	17,41	14,71
3	+1	-1	+1	-1					10,92	10,66	11,86
4	+1	+1	+1	-1					17,04	15,46	16,42
5	+1	-1	-1	+1					16,43	17,26	15,24
6	+1	+1	-1	+1					14,13	14,96	13,97
7	+1	-1	+1	+1					15,64	16,33	16,76
8	+1	+1	+1	+1					13,86	14,02	14,57

ЗАВДАННЯ 31 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

При розробці цементу фосфатного твердіння досліджується межа міцності при стисканні зразків, прийнята як вихідний параметр (σ , МН/м²).

Факторами були:

Z_1 – температура термообробки, °С;

Z_2 – час термообробки, год;

Z_3 – кількість зв'язування, %.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_1 Z_2 + b_5 Z_1 Z_3 + b_6 Z_2 Z_3 + b_7 Z_1 Z_2 Z_3$$

та оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 500; Z_{20} = 3; Z_{30} = 25; \Delta Z_1 = 200; \Delta Z_2 = 2; \Delta Z_3 = 8.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y_1	y_2
1	+1	-1	+1	+1					75,9	76
2	+1	+1	+1	+1					84,9	83,4
3	+1	+1	-1	+1					59,1	60,1
4	+1	+1	+1	-1					73,2	77,5
5	+1	-1	-1	+1					42,4	41,5
6	+1	-1	-1	-1					48,4	43,1
7	+1	-1	+1	-1					62,2	61,6
8	+1	+1	-1	-1					52,1	54,5

ЗАВДАННЯ 32
для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

При розробці корундових виробів досліджується дійсна пористість зразків, прийнята як вихідний параметр (Y , %).

Факторами були:

Z_1 – температура спікання, °C;

Z_2 – кількість опікаючої добавки TiO_2 , %;

Z_3 – час випалу, ч.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_1 Z_2 + b_5 Z_1 Z_3 + b_6 Z_2 Z_3 + b_7 Z_1 Z_2 Z_3$$

та оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 1600; Z_{20} = 1; Z_{30} = 4; \Delta Z_1 = 100; \Delta Z_2 = 0,5; \Delta Z_3 = 2.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y_1	y_2
1	+1	-1	+1	+1					2,71	2,77
2	+1	+1	+1	+1					0,48	0,46
3	+1	+1	-1	+1					0,73	0,68
4	+1	+1	+1	-1					0,98	1,4
5	+1	-1	-1	+1					2,25	2,27
6	+1	-1	-1	-1					3,71	4,02
7	+1	-1	+1	-1					0,51	0,58
8	+1	+1	-1	-1					4,73	5,18

ЗАВДАННЯ 33 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

При розробці жаростійких покриттів титанових сплавів на основі фосфатних сполучних оцінюється їх термостійкість, обумовлена кількістю теплотмін у режимі 700 °С – вода до появи ознак руйнування, прийнята як вихідний параметр (Y).

Факторами були:

Z_1 – рН сполуки;

Z_2 – кількість сполучення, %;

Z_3 – співвідношення компонентів у наповнювачі.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_1Z_2 + b_5Z_1Z_3 + b_6Z_2Z_3 + b_7Z_1Z_2Z_3$$

і оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 2; Z_{20} = 30; Z_{30} = 1 : 1 ; \Delta Z_1 = 1; \Delta Z_2 = 10; \Delta Z_3 = 1 : 0,5.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_1	y_2
1	+1	+1	+1	+1					10	12
2	+1	-1	+1	+1					60	64
3	+1	+1	+1	-1					46	38
4	+1	+1	-1	+1					55	65
5	+1	-1	-1	+1					43	56
6	+1	-1	-1	-1					85	81
7	+1	-1	+1	-1					48	58
8	+1	+1	-1	-1					65	63

ЗАВДАННЯ 34
для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

При вивченні кінетики подрібнення глинозему досліджується намел заліза в сталевих млинах сталевими кулями, прийнятий як вихідний параметр (Y , %).

Факторами були:

Z_1 – час подрібнювання, год;

Z_2 – діаметр тіл, що мелють, мм;

Z_3 – співвідношення глинозем – кулі .

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_1 Z_2 + b_5 Z_1 Z_3 + b_6 Z_2 Z_3 + b_7 Z_1 Z_2 Z_3$$

й оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 25; Z_{20} = 15; Z_{30} = 1 : 2; \Delta Z_1 = 5; \Delta Z_2 = 5; \Delta Z_3 = 1 : 3.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y_1	y_2
1	+1	-1	-1	-1					2,9	3
2	+1	+1	+1	-1					2,1	2
3	+1	+1	-1	+1					3,5	3,7
4	+1	-1	-1	+1					3,5	4,0
5	+1	-1	+1	-1					2,5	2,3
6	+1	+1	-1	-1					2,6	2,7
7	+1	-1	+1	+1					3,6	3,8
8	+1	+1	+1	+1					2,0	3,5

ЗАВДАННЯ 35 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

При синтезі керметів системи $W-Al_2O_3$ досліджується межа міцності при стисканні зразків, що прийнята як вихідний параметр (σ , МН/м²).

Факторами були:

Z_1 – співвідношення $W:Al_2O_3$;

Z_2 – кількість опікаючої добавки Zr, %;

Z_3 – температура спікання у вакуумі, °С.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_1Z_2 + b_5Z_1Z_3 + b_6Z_2Z_3 + b_7Z_1Z_2Z_3$$

й оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 1 : 2; Z_{20} = 5; Z_{30} = 1800; \Delta Z_1 = 1 : 4; \Delta Z_2 = 2; \Delta Z_3 = 100.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_1	y_2
1	+1	-1	-1	-1					125	130
2	+1	+1	-1	-1					289	295
3	+1	+1	+1	-1					490	495
4	+1	+1	-1	+1					410	400
5	+1	-1	-1	+1					250	225
6	+1	-1	+1	-1					240	250
7	+1	-1	+1	+1					300	315
8	+1	+1	+1	+1					520	540

Завдання 36
для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджуваний процес – екстракція в системі рослинний матеріал – рідина; як вихідний параметр розглядається ступінь добування твердої фази (Y , %).

Факторами були:

Z_1 – співвідношення фаз, т/р;

Z_2 – кількість обертів мішалки, об/хв;

Z_3 – діаметр часток, см.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_1Z_2 + b_5Z_1Z_3 + b_6Z_2Z_3 + b_7Z_1Z_2Z_3$$

й оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 0,015; Z_{20} = 550; Z_{30} = 0,0505; \Delta Z_1 = 0,005; \Delta Z_2 = 450;$$

$$\Delta Z_3 = 0,0495.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	y_1	y_2
1	+1	+1	+1	+1					78,3	77,5
2	+1	+1	-1	+1					80,1	77,4
3	+1	+1	-1	-1					80,5	82,7
4	+1	+1	+1	-1					87,1	88,8
5	+1	-1	-1	+1					81,2	81,4
6	+1	-1	+1	-1					89,4	90,6
7	+1	-1	+1	+1					91,1	90,5
8	+1	-1	-1	-1					91,8	95,9

ЗАВДАННЯ 37 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується процес розподілу емульсії у гравітаційному відстійнику з насадкою. Вихідним параметром Y є час розподілу емульсії у відстійнику.

Факторами були:

Z_1 – діаметр крапель емульсії, м;

Z_2 – лінійна швидкість руху емульсії у відстійнику, м/с;

Z_3 – співвідношення фаз на вході у відстійник.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_1 Z_2 + b_5 Z_1 Z_3 + b_6 Z_2 Z_3 + b_7 Z_1 Z_2 Z_3$$

та оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 0,75 \cdot 10^{-3}; Z_{20} = 14,025 \cdot 10^{-3}; Z_{30} = 1 : 1; \Delta Z_1 = 0,25 \cdot 10^{-3};$$

$$\Delta Z_2 = 1,775 \cdot 10^{-3}; \Delta Z_3 = 1 : 5.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y_1	y_2
1	+1	+1	+1	+1					5,31	5,69
2	+1	+1	-1	+1					6,35	6,7
3	+1	-1	+1	+1					10,2	10,55
4	+1	+1	+1	-1					4,05	4,21
5	+1	-1	-1	+1					12,91	13,35
6	+1	-1	-1	-1					8,1	8,9
7	+1	-1	+1	-1					6,5	6,81
8	+1	+1	-1	-1					4,8	5,6

ЗАВДАННЯ 38
для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується процес ацилування аніліну хлорангідридом 9-флуоренон-4-карбонової кислоти. Вихідним параметром Y , %, є вихід при аналізі хлорангідриду 9-флуоренон-4-карбонової кислоти.

Факторами були:

Z_1 – температура реакції, °С;

Z_2 – тривалість реакції, хв;

Z_3 – кількість розчинника, г.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_1Z_2 + b_5Z_1Z_3 + b_6Z_2Z_3 + b_7Z_1Z_2Z_3$$

й оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_1 = 120; Z_{20} = 75; Z_{30} = 20; \Delta Z_1 = 10; \Delta Z_2 = 45; \Delta Z_3 = 10.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y_1	y_2
1	+1	-1	-1	-1					79,3	81
2	+1	+1	-1	-1					85	84,4
3	+1	-1	+1	-1					85,1	85,5
4	+1	-1	-1	+1					83,1	82,9
5	+1	-1	+1	+1					85,1	84,7
6	+1	+1	+1	+1					88,1	89,4
7	+1	+1	-1	+1					83,9	84,5
8	+1	+1	+1	-1					90,3	90,9

ЗАВДАННЯ 39 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується процес виділення ртуті з відпрацьованого електроліту. Вихідним параметром Y , %, є степінь очищення розчину від ртуті.

Факторами були:

Z_1 – час контакту, хв;

Z_2 – кількість іонообмінної смоли, завантаженої в апарат, г;

Z_3 – витрата аналіту, л/с.

Необхідно одержати математичний опис процесу за результатами ПФЕ такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_1 Z_2 + b_5 Z_1 Z_3 + b_6 Z_2 Z_3 + b_7 Z_1 Z_2 Z_3$$

і оцінити адекватність отриманої моделі.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 5; Z_{20} = 11; Z_{30} = 1,25; \Delta Z_1 = 0,5; \Delta Z_2 = 1,5; \Delta Z_3 = 0,25.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y_1	y_2
1	+1	+1	+1	+1					93,2	92,6
2	+1	-1	+1	+1					94,4	96,3
3	+1	+1	-1	+1					81,0	77,6
4	+1	-1	-1	+1					84,0	82,3
5	+1	-1	-1	-1					92,9	91,0
6	+1	+1	-1	-1					89,3	92,7
7	+1	-1	+1	-1					99,0	98,1
8	+1	+1	+1	-1					96,7	95,0

ЗАВДАННЯ 40
для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

При синтезуванні виробів з окису магнію вивчається усадка зразків Y , %, прийнята як вихідний параметр.

Факторами були:

Z_1 – температура спікання, °С;

Z_2 – тиск пресування, Н/м²;

Z_3 – витримка при температурі випалу, год.;

Z_4 – кількість спікливої добавки, %.

Необхідно одержати математичний опис процесу такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_4,$$

використовуючи напіврепліку від ПФЕ 2⁴ із визначальним контрастом $1 = x_1 x_2 x_3 x_4$ та оцінити адекватність отриманої моделі. Визначити систему змішаних оцінок.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 1600; Z_{20} = 300; Z_{30} = 4; Z_{40} = 2; \Delta Z_1 = 80; \Delta Z_2 = 100; \Delta Z_3 = 2;$$

$$\Delta Z_4 = 2.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2
1	+1	+1	+1	+1	+1	2,21	2,31
2	+1	-1	+1	+1	-1	5,21	5,0
3	+1	+1	-1	+1	-1	3,62	3,7
4	+1	-1	-1	+1	+1	5,1	5,04
5	+1	-1	-1	-1	-1	4,7	4,83
6	+1	+1	-1	-1	+1	2,2	2,45
7	+1	-1	+1	-1	+1	3,45	3,65
8	+1	+1	+1	-1	-1	2,3	2,6

ЗАВДАННЯ 41 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Вивчається межа міцності при вигині виливків із пластифікованих парафіном суспензій із окису алюмінію. Вихідний параметр – σ , Н/м².

Факторами були:

Z_1 – дисперсність глинозему, см²/г;

Z_2 – температура нагрівання шлікера, °С;

Z_3 – кількість парафіну у шлікері, %;

Z_4 – кількість поверхнево активної добавки, %.

Необхідно одержати математичний опис процесу такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_4,$$

використовуючи напіврепліку від ПФЕ 2⁴ з генеруючим співвідношенням $x_4 = x_1 x_2 x_3$ і оцінити адекватність отриманої моделі. Визначити систему змішаних оцінок.

Вихідні дані:

$Z_{10} = 8150$; $Z_{20} = 54$; $Z_{30} = 15$; $Z_{40} = 0,7$; $\Delta Z_1 = 850$; $\Delta Z_2 = 4$; $\Delta Z_3 = 3$;

$\Delta Z_4 = 0,3$.

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2
1	+1	-1	-1	-1	-1	3,90	3,96
2	+1	+1	-1	+1	-1	3,3	3,35
3	+1	-1	-1	+1	+1	2,51	2,53
4	+1	-1	+1	+1	-1	4,98	5,10
5	+1	+1	-1	-1	+1	2,04	2,11
6	+1	-1	+1	-1	+1	3,56	3,67
7	+1	+1	+1	-1	-1	4,80	4,65
8	+1	+1	+1	+1	+1	3,15	2,94

ЗАВДАННЯ 42 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Вивчається відкрита пористість термопресованих алюмосилікатних вогнетривів Y , %.

Факторами були:

Z_1 – співвідношення між розмірами зерен у шихті 3–2 мм і 1–0,5 мм;

Z_2 – кількість фракцій менш 0,2 мм у шихті, %;

Z_3 – співвідношення між кіровською і часов'ярською глиною;

Z_4 – кількість владимирського каоліну в масі, %;

Z_5 – температура пресування, °С.

Необхідно одержати математичний опис процесу такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + b_3Z_3 + b_4Z_4 + b_5Z_5,$$

використовуючи чверть репліку від ПФЕ 2^5 з генеруючими співвідношеннями $x_4 = x_1x_2x_3$, $x_5 = -x_2x_3$, і оцінити адекватність отриманої моделі. Визначити систему змішаних оцінок.

Вихідні дані:

$$Z_{10} = 1 : 2; \quad Z_{20} = 20; \quad Z_{30} = 1 : 5; \quad Z_{40} = 30; \quad Z_{50} = 1350; \quad \Delta Z_1 = 1 : 5; \\ \Delta Z_2 = 10; \Delta Z_3 = 1 : 10; \Delta Z_4 = 20; \Delta Z_5 = 50.$$

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y_1	y_2
1	+1	-1	-1	-1	-1	-1	4,06	4,39
2	+1	-1	-1	+1	+1	+1	8,4	8,5
3	+1	-1	+1	-1	+1	+1	5,64	5,87
4	+1	-1	+1	+1	-1	-1	6,34	6,39
5	+1	+1	-1	-1	+1	-1	5,54	5,2
6	+1	+1	-1	+1	-1	+1	3,90	3,83
7	+1	+1	+1	-1	-1	+1	1,79	1,5
8	+1	+1	+1	+1	+1	-1	6,96	7,20

ЗАВДАННЯ 43 для розрахункової роботи

Видане студенту групи _____ ПІБ _____

Досліджується процес екстракції в системі тверде тіло – рідина.
Вихідним параметром Y , %, є вихід цільового продукту.

Факторами були:

Z_1 – температура процесу, °С;

Z_2 – час, хв;

Z_3 – дисперсність матеріалу, мм;

Z_4 – співвідношення розчинник – матеріал.

Необхідно одержати математичний опис процесу такого вигляду:

$$Y = b_0 + b_1 Z_1 + b_2 Z_2 + b_3 Z_3 + b_4 Z_4,$$

використовуючи напіврепліку від ПФЕ 2^4 із генеруючим співвідношенням $x_4 = -x_1 x_2$ і оцінити адекватність отриманої моделі. Визначити систему змішаних оцінок.

Вихідні дані:

$Z_{10} = 52,5$; $Z_{20} = 80$; $Z_{30} = 0,325$; $Z_{40} = 30$; $\Delta Z_1 = 7,5$; $\Delta Z_2 = 10$;

$\Delta Z_3 = 0,025$; $\Delta Z_4 = 10$.

Матриця планування

номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	y_1	y_2
1	+1	-1	-1	-1	-1	6,78	6,73
2	+1	+1	-1	-1	+1	8,91	9,35
3	+1	-1	+1	-1	+1	7,8	8,48
4	+1	+1	+1	-1	-1	6,3	6,59
5	+1	+1	-1	+1	+1	10,2	10,26
6	+1	-1	-1	+1	-1	7,27	7,37
7	+1	-1	+1	+1	+1	9,05	9,3
8	+1	+1	+1	+1	-1	6,75	6,78

Зміст розрахункового завдання

1. Титульний аркуш.
2. Мета роботи.
3. Завдання за варіантом.
4. Обробка результатів планованого експерименту за завданням.
5. Висновки.

Контрольні запитання

1. Що таке планований експеримент?
2. У чому полягає відмінність дробового факторного експерименту від повного факторного експерименту?
3. Що таке дробові репліки?
4. Які властивості матриці планування ви знаєте?
5. Які рішення слід прийняти у випадку неоднорідності вибірових дисперсій?
6. Які рішення слід прийняти у випадку, коли основний фактор виявляється незначущим?
7. Які рішення слід прийняти у випадку неадекватності отриманої математичної моделі?
8. Що таке генеруюче співвідношення, визначальний контраст і система змішаних оцінок?
9. В яких випадках потрібно проводити експеримент з паралельними дослідженнями?

Список літератури

1. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л. Комп'ютерне моделювання у хімічній технології: навч. посіб. / Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, Т. Г. БАБАК, О. О. ГОЛУБКІНА [та ін.]. – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – 606 с.
2. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л. Лабораторний практикум «Комп'ютерні технології в інженерній хімії»: учебн. пособ./ Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, Т. Г. БАБАК, В. А. КОЦАРЕНКО [и др.]. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2002. – 364 с.

ДОДАТКИ

Додаток 1. Таблиця розподілу Кохрена при $q = 0,05$

$f_1 \backslash f_2$	1	2	3	4	5
2	0,9985	0,9750	0,9392	0,9057	0,8585
3	0,9669	0,8709	0,7977	0,7457	0,7071
4	0,9065	0,7679	0,6841	0,6287	0,5895
5	0,8412	0,6838	0,5881	0,5440	0,5063
6	0,7808	0,6161	0,5321	0,4803	0,4447
7	0,7271	0,5612	0,4800	0,4307	0,3907
8	0,6798	0,5157	0,4377	0,3910	0,3595
9	0,6385	0,4775	0,4027	0,3584	0,3286
10	0,6020	0,4450	0,3733	0,3311	0,3029
12	0,5410	0,3924	0,3264	0,2880	0,2624
15	0,4709	0,3346	0,2758	0,2419	0,2195
20	0,3894	0,2705	0,2205	0,1921	0,1735
24	0,3434	0,2354	0,1907	0,1656	0,1493
30	0,2929	0,1980	0,1593	0,1377	0,1237
40	0,2370	0,1576	0,1259	0,1082	0,0968

Додаток 2. Таблица розподілу Стьюдента

$f_0 \backslash q$	10 %	5 %	2 %	1 %
1	6,31	12,71	31,82	63,66
2	2,92	4,30	6,96	9,92
3	2,35	3,18	4,54	5,84
4	2,13	2,78	3,75	4,60
5	2,02	2,57	3,36	4,03
6	1,94	2,45	3,14	3,71
7	1,89	2,36	3,00	3,50
8	1,86	2,31	2,90	3,36
9	1,83	2,26	2,82	3,25
10	1,81	2,23	2,76	3,17
11	1,80	2,20	2,72	3,11
12	1,78	2,18	2,68	3,05
13	1,77	2,16	2,65	3,01
14	1,76	2,14	2,62	2,98
15	1,75	2,13	2,60	2,95
16	1,75	2,12	2,58	2,92
17	1,74	2,11	2,57	2,90
18	1,73	2,10	2,55	2,88
19	1,73	2,09	2,54	2,86
20	1,72	2,09	2,53	2,85
21	1,72	2,08	2,52	2,83
22	1,72	2,07	2,51	2,82
23	1,71	2,07	2,50	2,81
24	1,71	2,06	2,49	2,80
25	1,71	2,06	2,49	2,79
26	1,71	2,06	2,48	2,78
27	1,70	2,05	2,47	2,77
28	1,70	2,05	2,47	2,76
29	1,70	2,05	2,46	2,76
30	1,70	2,04	2,46	2,75
40	1,68	2,02	2,42	2,70
60	1,67	2,00	2,39	2,66
120	1,66	1,98	2,36	2,62

Додаток 3. Таблиця розподілу Фишера при $q = 0,05$

$f_{ад}$	1	2	3	4	5	6	8	12	24	—
f_0										
1	161,40	199,50	215,70	224,60	230,20	234,00	238,90	243,90	249,00	254,30
2	18,51	19,00	19,16	19,25	19,30	19,33	19,37	19,41	19,45	19,50
3	10,13	9,55	9,28	9,12	9,01	8,94	8,84	8,74	8,64	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,39	6,76	6,16	6,04	5,91	5,77	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,82	4,68	4,53	4,36
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,15	4,00	3,84	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,73	3,57	3,41	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,44	3,28	3,12	2,93
9	5,12	4,26	3,86	3,63	3,48	3,37	3,24	3,07	2,90	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,07	2,91	2,74	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	2,95	2,79	2,61	2,40
12	4,75	3,88	3,49	3,26	3,11	3,00	2,85	2,69	2,50	2,30
13	4,67	3,80	3,41	3,18	3,02	2,92	2,77	2,60	2,42	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,70	2,53	2,35	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,64	2,48	2,29	2,07
16	4,49	3,63	3,24	3,01	2,82	2,74	2,59	2,42	2,24	2,01
17	4,45	3,59	3,20	2,96	2,81	2,70	2,55	2,38	2,19	1,96
18	4,41	3,55	3,16	2,93	2,77	2,66	2,51	2,34	2,15	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,48	2,31	2,11	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,45	2,28	2,08	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,42	2,25	2,05	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,40	2,23	2,03	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,38	2,20	2,00	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,36	2,18	1,98	1,73
25	4,24	3,38	2,99	2,76	2,60	2,49	2,34	2,16	1,96	1,71
26	4,22	3,37	2,98	2,74	2,59	2,47	2,32	2,15	1,95	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,30	2,13	1,93	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,56	2,44	2,29	2,12	1,91	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,54	2,43	2,28	2,10	1,90	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,27	2,09	1,89	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,18	2,00	1,79	1,52
60	4,00	3,15	2,76	2,52	2,37	2,25	2,10	1,92	1,70	1,39
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,02	1,88	1,61	1,25

Навчальне видання

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ЗАВДАНЬ
«МЕТОДИ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ
В ХІМІЧНІЙ ТЕХНОЛОГІЇ»
ЗА КУРСАМИ МАТЕМАТИЧНОГО ТА КОМП'ЮТЕРНОГО
МОДЕЛЮВАННЯ**

для студентів хімічних спеціальностей усіх форм навчання

БАБАК Тетяна Геннадіївна
ГОЛУБКІНА Ольга Олександрівна
ПОНОМАРЕНКО Євгенія Дмитрівна

Відповідальний за випуск В.Є. Ведь
Роботу до друку рекомендував О.М. Рассоха

Редактор Н.В. Верстюк

План 2017 р., поз. 17

Підп. до друку 27.04.2017 р.. Формат 60x84 1/16. Папір офсет.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк.
Наклад 50 прим. Зам. № Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХП».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 3657 від 24.12.2009 р.
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2

Друкарня НТУ «ХП». 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2