

ладнання. Вип. № 33. – Івано-Франківськ 1996. – С.160-165.

20. Козырев С.П. Гидроабразивный износ металлов при кавитации. – М.: Машиностроение, 1964. – 140 с.

21. Ханин М.В. Механическое изнашивание материалов. – М.: Издательство стандартов, 1984. – 152 с.

22. Алексеев И.М. Закономерности пластического течения и разрушения металлов при заедании трущихся поверхностей: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.02.04 / Московский ордена октябрьской революции и ордена трудового красного знамени институт нефтехимической и газовой промышленности им. И.М.Губкина. – М., 1983. – 31 с.

вання r всіх факторів приймається постійним і мінімально можливим ($r=2$).

При складанні матриці планування ПФЕ переходять до кодованих значень кожного фактора, що дозволяє здійснювати лінійне перенесення координат факторного простору з перенесенням початку координат в центр дослідження якості поверхневого шару роликів витяжних механізмів: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Одеський національний політехнічний університет. – Одеса, 2002. – 20 с.

23. Зелений А.М. Технологічне забезпечення якості поверхневого шару роликів витяжних механізмів: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.02.08 / Одеський національний політехнічний університет. – Одеса, 2002. – 20 с.

24. Петрина Ю.Д., Яким Р.С., Швадчак А.В. Підвищення довговічності деталей насосів та компресорів нафтогазової промисловості ультразвуковим зміцненням. // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2005. – №3 (12). – С.36-41.

УДК 622.24.058

АЛГОРИТМ ОПТИМІЗАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ІЗ ВСТАВНИМ ВИТКОМ ЗА УМОВ МІЦНОСТІ ТА НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ

В.Я.Василишин

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 43024
e-mail: public@nuing.edu.ua

Предложен графоаналитический алгоритм оптимизации геометрических параметров резьбовых соединений со вставным витком. Для исследования выбраны такие геометрические параметры: диаметр проволоки вставного витка, шаг резьбы, длина нарезки резьбы, длина образующих гладких конических уплотняющих поверхностей.

Graphic and analytic optimization algorithm of geometric parameters for thread joins with a insert turn has been developed. The following geometric parameters have been chosen for research: wire diameter for a insert turn; thread pitch; length for threading; length for generating smooth conical compaction surfaces.

При дослідженні роботоздатності різьбового з'єднання із вставним витком стараються знайти таке поєднання його геометричних параметрів, щоб при найменших затратах матеріальних засобів отримати найбільш точну і повну інформацію про вплив кожного параметра, що досліджується, на функцію $\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$.

Тому на першому етапі дослідження перевіряється можливість описати область зміни незалежних змінних за допомогою лінійної моделі, яка може бути використана для передбачення значення досліджуваної функції в різних точках факторного простору (інтерполяційна модель). Для знаходження лінійної моделі застосовуються плани першого порядку.

Найбільш поширеним планом цієї групи є повний факторний експеримент (ПФЕ) типу 2^k , де k – число досліджуваних факторів, в якому кожний рівень одного фактора комбінується з усіма рівнями решти факторів. Для отримання лінійної моделі число рівнів варію-

ваної області і вибором масштабів по нових осях в одиницях інтервалів варіювання факторів. Для цього використовується залежність

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{0i}}{\Delta x_i},$$

де: x_i – кодоване значення фактора, тобто його безрозмірна величина;

\tilde{x}_i – натуральне значення фактора на верхньому або нижньому рівнях варіювання;

\tilde{x}_{0i} – натуральне значення фактора на нульовому рівні;

Δx_i – натуральне значення інтервалу варіювання фактора

$$\Delta x_i = 0,5(\tilde{x}_{i_{max}} - \tilde{x}_{i_{min}}).$$

Для дослідження вибрані такі геометричні параметри різьбових з'єднань із вставним витком:

d_g – діаметр дроту вставного витка;

t – крок різьби;
 l – довжина нарізки різьби;
 $l_1 = l_2$ – довжина твірних гладких конічних ущільнюючих поверхонь.

Кожен з названих параметрів може бути визначений з врахуванням умов міцності або навантажувальної здатності з'єднання.

В роботі [1] для труб нафтового сортаменту діаметр вставного витка визначався з умови рівності напружень на дні впадини різьбової канавки і на внутрішній поверхні труби (ніпеля) при параболічному розподілі напружень розтягу в небезпечному перерізі. При цьому вважалось, що зовнішнє навантаження повністю передається через вставні витки. При таких умовах діаметр вставного витка для великогабаритних деталей знаходиться в діапазоні $d_e = 2,8...4$ мм.

Мінімальна висота профілю стандартних різьб насосно-компресорних труб дорівнює 1,412 мм [2], а максимальна глибина виточки під вставний виток дорівнює половині діаметра вставного витка, тому можна прийняти мінімальний діаметр вставного витка рівним приблизно 2,8 мм. Таким чином, діаметр вставного витка для труб нафтового сортаменту можна вибирати в межах від 2,8 мм до 4 мм.

Крок різьби залежить від діаметра вставного витка

$$t = d_b + b,$$

де b – ширина смужки між сусідніми витками, мм.

Крок різьби бажано вибирати з того стандартного ряду, який рекомендується для труб нафтового сортаменту, щоб для нарізання різьби використовувати існуючі трубонарізні верстати. Тому $t > d_b$, тобто крок різьби вибирається із стандартного ряду більшим від діаметра вставного витка.

Гладкі ущільнюючі конічні поверхні відіграють в з'єднанні такі основні функції: приймають частину зовнішнього навантаження при згині, розвантажуючи при цьому різьбу; передають частину зовнішнього навантаження за рахунок пресової посадки, збільшуючи при цьому навантажувальну здатність з'єднання; герметизують з'єднання.

Таким чином, число незалежних змінних може приймати значення $k = 2; 3; 4$. Тоді функції, що досліджуються, відповідно будуть $\eta_2 = f(x_1, x_2)$; $\eta_3 = \psi(x_1, x_2, x_3)$; $\eta_4 = \xi(x_1, x_2, x_3, x_4)$.

Варіаційна функція має вигляд

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i \leq k} \beta_i x_i + \sum_{i < j \leq k} \beta_{ij} x_i x_j + \dots + \beta_{1,2,\dots,k} x_1 x_2 \dots x_k, \quad (1)$$

де: β_i – коефіцієнт регресії, що називається лінійним ефектом змінної x_i ;

$x_i x_j (i \neq j)$ – парна взаємодія факторів x_i та x_j .

Рівняння (1), крім вільного і лінійних членів, містить всі взаємодії до $(k - 1)$ -го порядку включно. Число невідомих коефіцієнтів $N = 2^k$.

Математичну модель 2-го порядку у загальному вигляді можна записати так:

$$B = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2, \quad (2)$$

де: B – вибіркова оцінка функції, що вивчається;

b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – вибіркові коефіцієнти регресії (оцінки) для генеральних значень коефіцієнтів регресії $\beta_0, \beta_i, \beta_{ij}, \beta_{ii}$;

x_i, x_j – незалежні змінні;

k – загальне число незалежних змінних.

Загальне число коефіцієнтів регресії для моделі 2-го порядку виражається так: $N_k = (k - 1)(k + 2) / 2$.

При виборі області визначення фактора треба звертати особливу увагу на вибір центра експерименту, нульової точки або нульового рівня, який є вихідним при пошуку оптимуму. Враховуючи формалізацію апріорної інформації за нульову точку, приймається така точка, яка відповідає найкращому відомому значенню параметра оптимізації в досліджуваній області [3].

При проведенні дослідів використовуються математичні методи планування, які дозволяють розкрити вплив досліджуваних геометричних параметрів та їх взаємодії на міцність та навантажувальну здатність різьбових з'єднань із вставним витком.

При розв'язуванні конкретної оптимізаційної задачі відповідні величини записуються у вигляді таблиці для умов кожного експерименту, який поставлений відповідно до плану другого порядку.

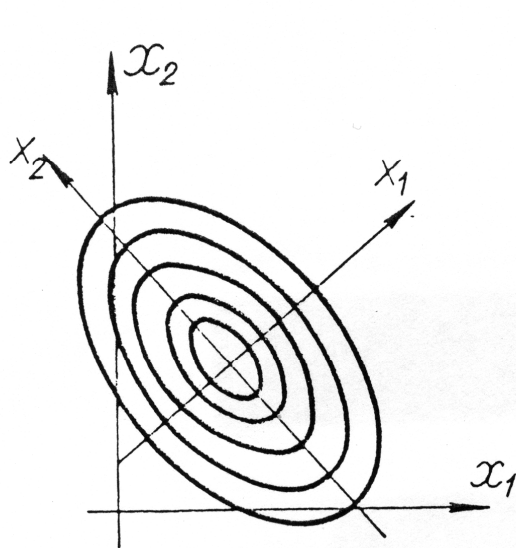
Математична обробка цих даних дає змогу знайти коефіцієнти рівняння регресії.

Порядок проведення статистичного аналізу рівняння регресії такий:

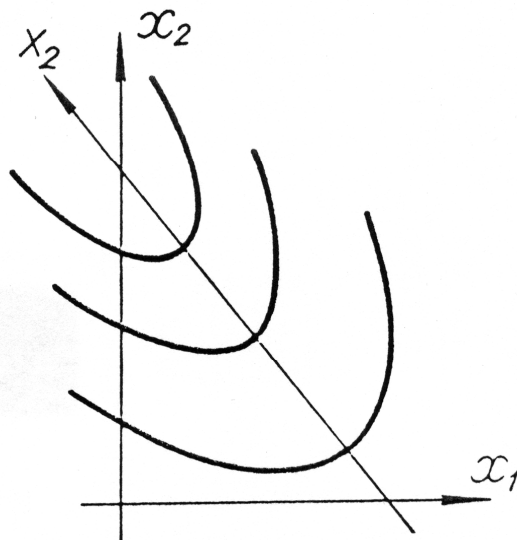
- 1) визначається дисперсія дослідів;
- 2) визначається дисперсія похибки визначення коефіцієнтів регресії;
- 3) визначаються довірчі інтервали коефіцієнтів регресії;
- 4) визначається дисперсія, що характеризує неадекватність моделі;
- 5) здійснюється перевірка гіпотези про адекватність представлення результатів експерименту рівнянням регресії за допомогою F -критерія Фішера.

Розрахункове значення F -критерія порівнюється з табличним. Якщо $F > F_{табл}$, то гіпотеза про адекватність відкидається.

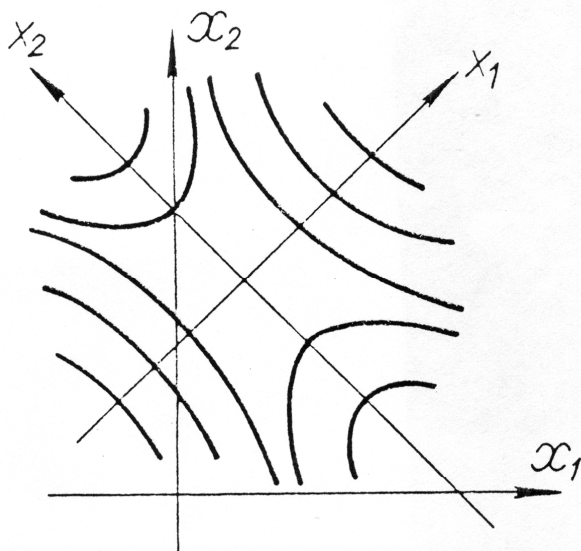
Після знаходження адекватної графоаналітичної моделі необхідно дослідити поверхню відклику в околі оптимуму методами аналітичної геометрії і лінійної алгебри, які дають змогу встановити форму цієї поверхні і накреслити шляхи оптимізації даного процесу.



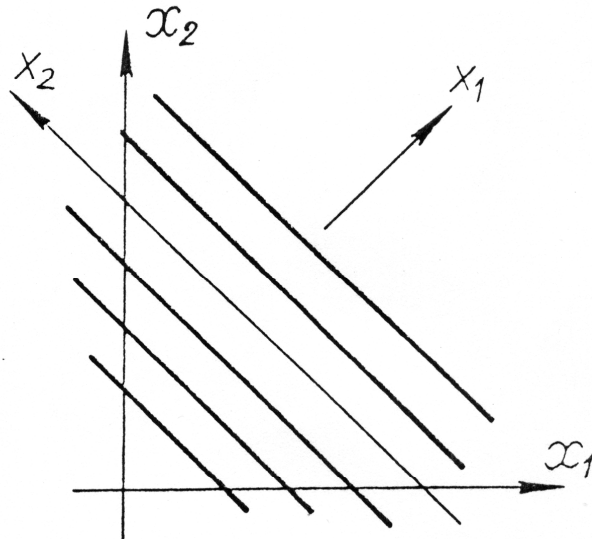
Еліпси



Параболи



Гіперболи



Паралельні прямі

Рисунок 1 – Типові двовимірні перерізи для поверхні відклику

Дослідження поверхні відклику починається з перетворення рівняння другого порядку (2) в канонічну форму, тобто знаходження рівняння, що характеризує форму поверхні і дає можливість поділити всі k -вимірні відображені поверхні на: 1) такі, що мають екстремум; 2) міні-максні; 3) типу зростаючого підвищення (“гребня”).

Кожну квадратичну форму можна привести до канонічного вигляду за допомогою перетворення прямокутних координат [4]. Щоб привести квадратичну форму від трьох аргументів до канонічного вигляду, необхідно розв’язати рівняння

$$\begin{vmatrix} b_{11} - \lambda & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} - \lambda & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & b_{33} - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

та знайти характеристичні числа $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$; вони й будуть коефіцієнтами в канонічному виді форми. Координатні осі треба спрямувати по головних напрямках форми. Якщо осі абсцис, ординат і аплікату спрямовані відповідно по першому, другому і третьому головних напрямках, то λ_1 буде коефіцієнтом при квадраті абсциси, λ_2 – при квадраті ординати, λ_3 – при квадраті аплікату.

Таблиця 1 – Геометрична інтерпретація канонічної форми рівнянь

№ п/п	Співвідношення коефіцієнтів	Знаки		Крива	Геометрична інтерпретація	Особлива точка
		λ_1	λ_2			
1	$\lambda_1 = \lambda_2$	–	–	Коло	Кругла опуклість	Максимум
2	$\lambda_1 = \lambda_2$	+	+	Коло	Кругла вгнутість	Мінімум
3	$\lambda_1 > \lambda_2$	–	–	Еліпс	Еліпсовидна опуклість	Максимум
4	$\lambda_1 > \lambda_2$	+	+	Еліпс	Еліпсовидна вгнутість	Мінімум
5	$\lambda_1 = \lambda_2$	+	–	Гіпербола	Симетричне сідло	Сідловидна точка
6	$\lambda_1 > \lambda_2$	+	–	Гіпербола	Витягнуте сідло	Сідловидна точка
7	$\lambda_1 \neq 0, \lambda_2 = 0$	–		Пряма	Стаціонарний гребінь	
8	$\lambda_1 \neq 0, \lambda_2 = 0$	–		Парабола	Зростаючий гребінь	

Якщо в результаті канонічного перетворення отримано рівняння, всі коефіцієнти якого мають один знак, то поверхня, що досліджується, має екстремум і належить до поверхонь *першого типу*. Дослідження такої поверхні закінчується постановкою додаткової серії дослідів в її центрі, метою яких є перевірка надійності співпадання значень, що передбачаються рівнянням регресії, з даними експерименту.

Поверхня належить до поверхонь *другого типу*, якщо коефіцієнти канонічної форми λ_i мають різні знаки і центр поверхні, що досліджується, знаходиться поблизу центра експерименту. У цьому випадку виникає задача з відшукування умовного екстремуму в досліджуваній області факторного простору, при розв'язуванні якої допускається незначна екстраполяція рівняння регресії з експериментальною перевіркою передбачених значень функції виходу в цих точках. Для виходу з мінімаксу можна скористатися рухом з центра фігури в напрямі тих координатних осей x_i , для яких коефіцієнти регресії в канонічній формі мають додатні знаки.

Якщо один або декілька коефіцієнтів регресії в канонічній формі близькі до нуля, а центр поверхні лежить далеко за межами досліджуваної області факторного простору, то ця поверхня належить до поверхонь *третього типу*.

Запропонована методика канонічного перетворення може бути повністю використана при аналізі багатовимірних поверхонь відклику за допомогою двовимірних перерізів. У цьому випадку для дослідження впливу двох яких-небудь факторів на досліджувану функцію всі решта незалежні змінні в рівнянні (2) фіксуються на оптимальних рівнях, що дає змогу перейти до дослідження рівняння кривих 2-го порядку і значно спростити розрахунки.

Типові двовимірні перерізи для поверхні відклику, яка описана рівнянням другого порядку, зображені на рис. 1, а геометрична

інтерпретація канонічної форми цього рівняння подана в табл. 1.

Література

1. Крыжановский Е.И. Исследование и повышение сопротивления усталости буровых колонн при вращательном бурении скважин: Дис. ... докт. техн. наук. – М., 1990. – 480 с.
2. Трубы нефтяного сортамента: Справочное руководство / А.Е.Сароян, Н.Д.Щербюк, Н.В.Якубовский и др. / Под. ред. А.Е.Сарояна. – М.: Недра, 1987. – 488 с.
3. Душинский В.В., Пуховский Е.С., Радченко С.Г. Оптимизация технологических процессов в машиностроении. – К.: Техніка, 1977. – 176 с.
4. Ефимов Н.В. Квадратичные формы и матрицы. – М.: Физматгиз, 1963. – 160 с.