

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ КЕРОВАНОГО МАГНІТНОГО ВПЛИВУ НА ВОДНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Вступ

Магнітна обробка рідинного середовища застосовується в багатьох галузях промисловості, що підтверджує її ефективність. Проте відсутні визначені критерії ефективності такої обробки. Існує ряд суперечливих теорій, що розкривають лише певну частину фізичних або хімічних процесів, проте не пояснюють загального ефекту магнітної обробки рідинного середовища.

Вибір факторів та змінних стану об'єкта дослідження

Досліджуються закономірності керованого магнітного впливу на домішки водного середовища аксіально-симетричного поперечного магнітного поля.

Якість очищення водного середовища для технологічних цілей промисловості визначається концентрацією домішок в ньому [1], тому змінною стану обрано концентрацію домішок водного середовища m .

На концентрацію домішок у водному середовищі при проходженні аксіально-симетричного магнітного поля впливають наступні групи чинників: параметри домішок (маса, об'єм, щільність, валентність, заряд), параметри гідросистеми (витрата рідини, тиск, площа перерізу, форма перерізу) та параметри магнітної системи (індукція, напруженість, енергія). Основні вимоги до об'єкта дослідження – керованість (необхідно враховувати чинники об'єкту досліджень, що можна змінювати) та однозначність (чинники не повинні залежати один від одного). Цим вимогам відповідають наступні чинники, які обрані як головні: x_1 – витрата рідини в гідросистемі, м³/с; x_2 – індукція магнітного поля системи, Тл; x_3 – кількість магнітів (довжина розповсюдження магнітного поля L , м).

Постановка задачі оптимізації

Задача оптимізації – знайти умови процесу очистки водного середовища під дією постійного аксіально-симетричного поперечного магнітного поля, які б забезпечили мінімальне значення концентрації домішок у водному середовищі при визначених обмеженнях на головні чинники.

Вимоги до математичної моделі: точність передбачення не повинна залежати від напрямку дослідження (адекватна модель) та простота моделі (аналітичність). Цим вимогам відповідають степеневі ряди (поліноми). Чим вище степінь поліному – тим більше коефіцієнтів регресії, і тим більше необхідно виконати дослідів для їх визначення. Для задач визначення оптимуму використовують поліном першого степеня.

Аналіз та синтез критеріїв оптимальності та планів дослідження

Для побудови плану експерименту необхідно визначати критерій оптимальності. Критерій оптимальності ділять на дві основні групи: пов'язані з помилками оцінки коефіцієнтів рівняння регресії та помилкою оцінки відгуку (змінної стану).

Критерії першої групи використовуються для виділення домінуючих параметрів на початкових етапах рішення задачі оптимізації або для видалення несуттєвих параметрів при рішенні задач встановлення закономірності функціонування об'єкта. Геометрично тлумачення оцінки помилок коефіцієнтів рівняння регресії пов'язано з властивостями еліпсоїда їх розсіяння, що визначається математичним сподіванням та дисперсією значень помилок. Просторове розташування, форма та розмір еліпсоїда залежить від плану експерименту. Критерію D-оптимальності відповідає мінімальний об'єм еліпсоїда розсіяння помилок (мінімум добутку всіх дисперсій коефіцієнтів рівняння регресії). Такий план мінімізує очікувану помилку передбачення функції відгуку. Критерію A-оптимальності відповідає план з мінімальною сумарною дисперсією всіх коефіцієнтів рівняння регресії. Критерію E-оптимальності – план, в якому максимальна дисперсія коефіцієнтів рівняння регресії мінімальна.

Критерії другої групи використовують для вирішення задач опису відгуку (змінної стану), визначення обмежень на значення головних чинників. Основним є критерій G-оптимальності, котрий дозволяє побудувати план з мінімальним значенням найбільшої помилки при описі функції відгуку. В зоні планування відсутні точки з надмірно великою помилкою опису функції.

Серед класів планів головна увага приділяється ортогональним та рототабельним. Для ортогонального плану виконується умова парної ортогональності стовпчиків матриці планування.

При цьому коефіцієнти поліному визначаються незалежно один від одного. Еліпсоїд розсіяння орієнтовано в просторі таким чином, що напрямки його осей збігаються з напрямками осей координат простору параметрів. Використання рототабельних планів забезпечує рівнозначність точності оцінки функції відгуку для будь-якого напрямку від центру експерименту (сталість дисперсії передбачення) на рівних відстанях від центру експерименту.

За співвідношенням між кількістю оцінюваних невідомих параметрів моделі і кількістю точок плану експерименту плани ділять на: ненасичені – кількість чинників менше кількості точок плану; насичені – обидві величини однакові; наднасичені – кількість чинників більше кількості точок плану.

Окрім розглянутих критеріїв, в плануванні експериментів використовується критерій мінімуму кількості дослідів, тобто мінімальної кількості дослідів при дотриманні вимог до якості оцінки функції або чинників [2].

Найпростішим планом експерименту є повночинниковий експеримент (ПЧЕ) типу 2^k , в якому досліджувані змінні варіюються на двох рівнях – максимальному (+1) та мінімальному (-1), розташовані симетрично відносно деякого нульового рівня. Кількість дослідів визначається як $N=2^k$ (k – кількість чинників). У всіх дослідах кожен фактор повинен порівну побувати на верхніх та нижніх рівнях. Фактор x_0 – фіктивна змінна, що допомагає спростити розрахунки коефіцієнтів рівняння регресії [3].

Використання лінійних планів дозволяє досягти оціл точки оптимуму. Пошук оптимального рішення в цій зоні потребує переходу від лінійних моделей до моделей високого порядку. Побудова такої моделі потребує використання плану, в якому кожна змінна приймає хоч би три різних значення. Плани ПЧЕ типу 3^k характеризуються надмірною надлишковістю, оскільки необхідна кількість дослідів складає $3^3=27$. Тому планування доцільно здійснювати шляхом додавання спеціально підібраних точок до «ядра», яке утворено плануванням для лінійного наближення. Такі плани називають композиційними (послідовними), вони дозволяють використовувати інформацію, отриману в результаті реалізації лінійного плану.

Використовують ортогональні або рототабельні центральні композиційні плани (ЦКП). Поняття «центральної» означає, що фактори приймають значення, симетричні відносно центру плану. Ці плани використовують як «ядро» повний чинниковий експеримент. На практиці широке застосування знайшли два типи ЦКП: плани Бокса та Хартлі. Ядром плану Бокса є ПЧЕ 2^k (при $k < 5$) або дрібний чинниковий експеримент (ДЧЕ). До ядра додається одна точка в центрі плану з координатами $(0, 0, \dots, 0)$ та $2k$ «зіркових» точок з координатами $(\pm g, 0, \dots, 0), \dots, (0, 0, \dots, \pm g)$. Побудований таким чином план буде ЦКП другого порядку. Шляхом підбору зіркового плеча g ЦКП Бокса можна зробити або ортогональним, або рототабельним.

Плани типу B_n являють собою симетричні плани другого порядку з ядром у вигляді ПЧЕ 2^k , доповненні зірковими точками з плечем $g=1$ та дослідями в центрі плану. Загальна кількість точок складає $N=N_0+2k+1$ ($N_0=2^k$ – кількість точок ядра плану). При $k=3$ кількість дослідів $N=2^3+2\cdot 3+1=15$. В кожній точці проводиться рівна кількість дослідів. Плани цього типу мають мінімальну кількість рівнів варіювання чинників, рівну трьом, що дозволяє більш точно витримувати режими роботи при натурних дослідах порівняно з планами, в яких необхідна велика кількість рівнів зміни керованих змінних. Плани B_n наближені до D- та G- оптимальних планів. Зазвичай результати дослідів в нульовій точці слугують для перевірки гіпотези про адекватність моделі експериментальним даним [2].

Властивості матриці планування [3]: коефіцієнти рівняння регресії мають бути найкращими і точність передбачення значень змінної стану однакова в будь-якому напрямку чинникового простору (умови ортогональності та рототабельності).

З побудови матриці планування витікають наступні наслідки[3]:

$$\text{властивість симетричності: } \sum_{u=1}^N x_{iu} = 0,$$

де $i=1, 2, \dots, n$; n – число чинників;

u – номер дослідів; N – число дослідів;

$$\text{властивість нормування: } \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 = N;$$

ортогональність: $\sum_{i=1}^N x_{ki} x_{mi} = 0, \quad k \neq m, \quad k, m = 1, 2, \dots, N;$

точність передбачення однакова на різних відстанях від центру плану.

На підставі проведеного аналізу та синтезу для експериментального дослідження керованого магнітного впливу на домішки водного середовища обрано:

- критерій мінімуму кількості дослідів – для проведення мінімальної кількості дослідів при дотриманні вимог до якості оцінки функції або чинників;
 - ненасичений ЦКП типу B_n , що має мінімальну (достатню) кількість рівнів варіювання чинників – 3 рівні;
 - ядром плану є ПЧЕ типу $2^3 - 3$ чинники, 15 дослідів.
- В таблиці 1 наведено матрицю планування експерименту в умовних змінних.

Таблиця 1

Матриця планування експерименту в умовних змінних

№ дослідів	x_0	Планування									
		x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	$x_1 x_1$	$x_2 x_2$	$x_3 x_3$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	1	1	1
2	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	1	1	1
3	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	1	1	1
4	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	1	1	1
5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	1	1	1
6	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	1	1	1
7	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	1	1	1
8	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	1	1	1
9	+1	+1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
10	+1	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
11	+1	0	+1	0	0	0	0	0	0	1	0
12	+1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0
13	+1	0	0	+1	0	0	0	0	0	0	1
14	+1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1
15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Висновки

1. Змінною стану обрано концентрацію домішок у водному середовищі.
2. Обрано основні чинники: витрата рідини в гідросистемі, індукція магнітного поля системи, кількість магнітів (довжина розповсюдження магнітного поля).
3. Для визначення оптимальної ефективності магнітної обробки водного середовища обрано математичну модель оптимізації у вигляді поліному першого степеня.
4. Для дослідження обрано критерій мінімуму кількості дослідів при дотриманні вимог до якості оцінки функції або чинників, ненасичений ЦКП типу B_n , що має мінімальну (достатню) кількість рівнів варіювання чинників – 3 рівні, ядром плану є ПЧЕ типу $2^3 - 3$ чинники, 15 дослідів.

Література

1. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води. – К.: «Вища школа», 2005. – 671 с
2. Ходасевич Г.Б., Планирование эксперимента. http://pds.sut.ru/electronic_manuals/pe/index.htm.
3. Бондарь А.Г., Статюха Г.А. Планирование эксперимента в химической технологии, К: «Вища школа», 1976. – 184 с.