

5. Солнцев В. П. и др. О механизме спонтанного возникновения пространственно-временной организованной структуры в порошковых реагирующих системах при контактном плавлении компонентов. *Доп. НАНУ*. 2010. №3. С. 105–111.
6. Солнцев В. П., Скороход В. В., Солнцева Т. А. Коллективные процессы при реакционном спекании с участием жидкой фазы. *Порошковая металлургия*. 2010. №3/4. С. 22–29.
7. Solntsev V. P et al. Simulation of thermokinetics of the reactive sintering process in a powder nickel-aluminum mixture. *Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і системах сталого розвитку – КМХТ-2020: Збірник наукових статей Восьмої міжнар. наук. – практ. конф. Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. С.126–132.*
8. Мержанов А. Г. Новые модели горения второго рода. *ДАН СССР*. 1977. Т.223. №6. С. 1130–1133.
9. Солнцев В. П. и др. Развитие физико-химических представлений о природе СВС на основе синергетического подхода. *Прикладная синергетика, фракталы и компьютерное моделирование структур*. Томск: ТГУ. 2002. С. 163–168.
10. Петраш К. Н., Солнцев В. П., Солнцева Т. А. Влияние характера переноса тепла на термокинетические траектории процессов синтеза интерметаллидов NiAl₃ и Ni₃Al. *Математические модели и вычислительный эксперимент в материаловедении*. вып. 20. Киев. 2018. С. 110–114.
11. Петраш К. Н. и др. Роль переноса тепла излучением в высокотемпературных реакционных процессах синтеза интерметаллида NiAl. *Порошковая металлургия*. №7/8. Киев. 2017. С. 39–46.
12. Zhang Ch.-H. et al. Chen's lattice inversion embedded-atom method for Ni-Al alloy. *Chinese Physics Bul.* 2012. Vol. 21. No. 11. P. 113401-1–113401-7. DOI: 10.1088/1674-1056/21/11/113401

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ІОННОГО ОБМІНУ ШЛЯХОМ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ ВИРОБНИЧИХ ДАНИХ

Мердух С. Л.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИОННОГО ОБМЕНА ПУТЕМ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Мердух С. Л.

INVESTIGATION OF THE ION EXCHANGE PROCESS BY STATISTICAL ANALYSIS OF PRODUCTION DATA

Merdukh S. L.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Київ, Україна
merdukh.svetlana@gmail.com

Досліджено процес іонного обміну шляхом статистичного аналізу виробничих даних. Проведено кореляційний аналіз. Визначено ступінь впливу вхідних параметрів на вихідні змінні методом нелінійного оцінювання. Визначено вигляд функцій. Оцінено ступінь залежності обраних параметрів процесу та вихідних змінних.

Ключові слова: атомна електростанція, іонний обмін, статистичний аналіз

Исследован процесс ионного обмена путем статистического анализа производственных данных. Проведен корреляционный анализ. Определена степень влияния входных параметров на выходные переменные методом нелинейного оценивания. Определен вид функций. Оценена степень зависимости выбранных параметров процесса и выходных переменных.

Ключевые слова: атомная электростанция, ионный обмен, статистический анализ

The process of ion exchange has been studied by statistical analysis of production data. Correlation analysis was performed. The degree of influence of input parameters on output variables by the method of nonlinear estimation is determined. A certain type of function. The degree of dependence of the selected process parameters and output variables is estimated.

Keywords: atomic power station, ionny exchange, statistical analysis

ВСТУП

На атомних електростанціях (АЕС) України для обробки робочого середовища використовують низку спеціальних водопідготовчих установок (ВПУ), у яких відбуваються коагуляція, осадження, пом'якшення, фільтрування, іонний обмін та їх сполучення [1].

На сьогодні іонне знесолення водного середовища є найбільш поширеним методом вилучення розчинених у воді домішок [2]. Основними перевагами даного методу є висока продуктивність, забезпечення глибокого очищення водного середовища від більшості іоногенних сполук, проста апаратна реалізація процесу, висока надійність очищення при різному навантаженні обладнання та низькі витрати води.

На АЕС України реалізований автоматичний хімічний контроль зі збереження експлуатаційних даних у базах даних реального часу. За наявності великої кількості виробничих показників є можливість провести їх якісний статистичний аналіз із метою розроблення автоматизованої системи керування, що враховуватиме особливості реальних технологічних процесів іонного обміну.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

При керуванні іонообмінними процесами на діючих АЕС відсутня дистанційна взаємодія оператора із керуючими пристроями. Тому, актуальною залишається задача модернізації існуючих систем керування шляхом створення людино-машинного інтерфейсу. Створення якісної системи керування необхідно розпочати із дослідження процесу, одним із етапів якого є аналіз існуючих виробничих даних. Результати відповідних досліджень представлені у даній статті.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ

У ході попередніх досліджень було виділено вихідні параметри іонообмінних процесів та фактори, що на них впливають. У якості вихідних параметрів обрано значення питомої електропровідності та водневого показника. Відповідні обґрунтування та використані у дослідженні експлуатаційні дані наведені у [3].

Для ранжування обраних вхідних параметрів процесу було проведено кореляційний аналіз. Дослідження реалізовано за допомогою аналітичної системи *STATISTICA* від *StatSoft*, що призначена для всебічного статистичного аналізу.

На першому етапі було оцінено ступінь впливу вхідних параметрів на вихідні змінні. Визначення впливу на досліджувану ознаку проводилось шляхом нелінійного оцінювання, як методу поглибленого аналізу.

У редакторі відповідного модуля застосованого програмного продукту було введено рівняння, що реалізує користувацький тип моделі (рис. 1).

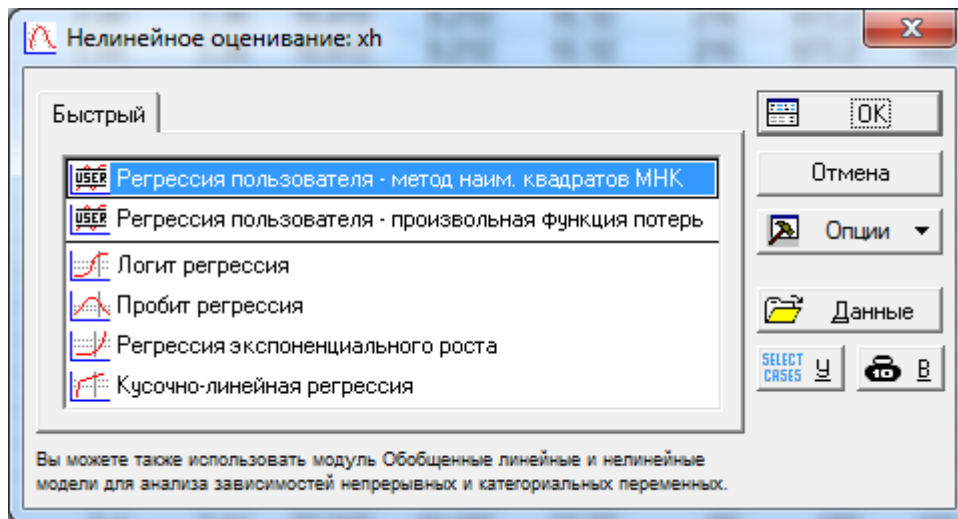


Рис. 1. Інтерактивне вікно модуля нелінійного оцінювання

Для дослідження кожної із обраних вихідних змінних використовувалась регресія користувача, що реалізує метод найменших квадратів (МНК), який широко застосовується на практиці.

Вигляд користувацької функції встановлювався за допомогою спеціального редактора формул (рис. 2).

На першому етапі визначено вигляд оцінюваної функції (рис. 3).

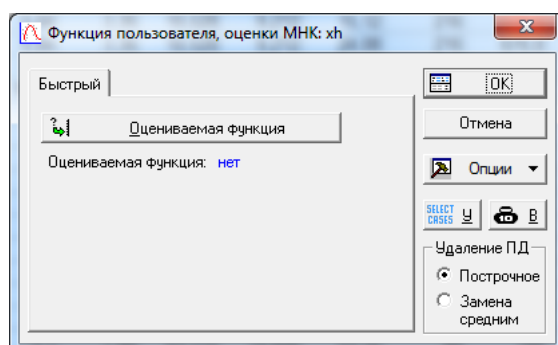


Рис. 2. Меню вибору функції користувача

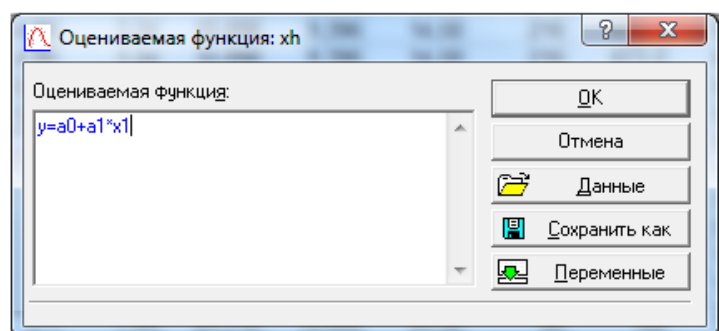


Рис. 3. Редактор введення досліджуваної функції

Параметри для оцінювання поточної моделі, такі як метод оцінювання, максимальне число ітерацій, критерій збіжності та початкові значення, встановлені за замовчуванням (рис. 4).

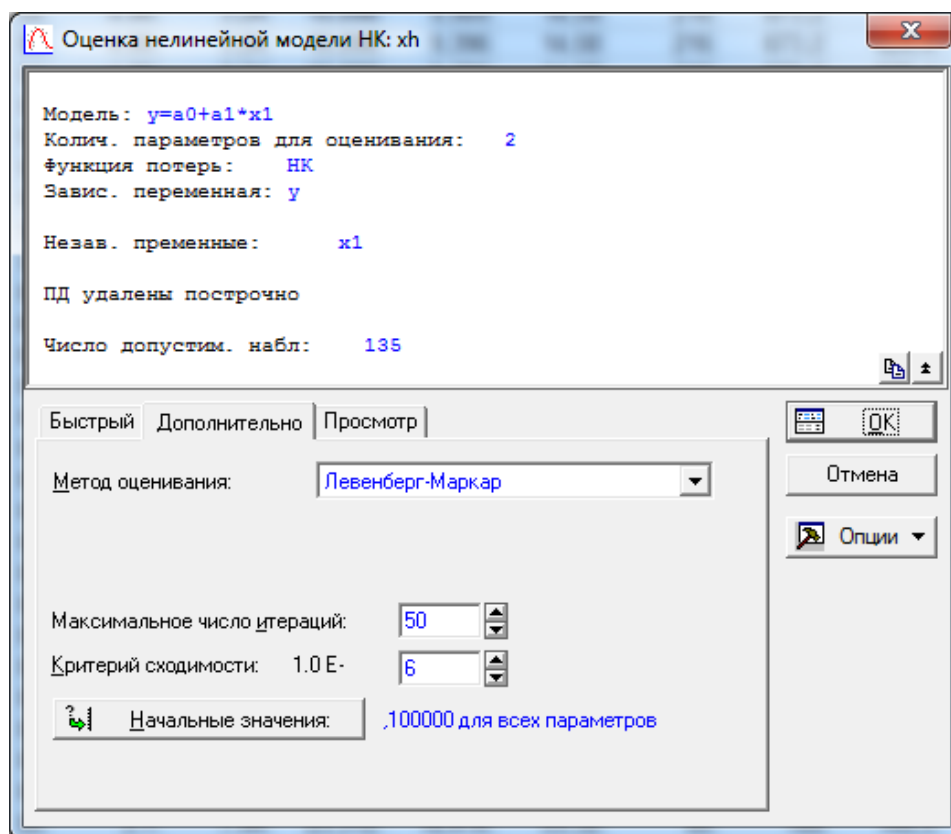


Рис. 4. Вікно встановлення параметрів оцінювання моделі

Результати проведених розрахунків представлені на рисунку 5. Основними параметрами оцінювання є коефіцієнти детермінації та кореляції, що визначають ступінь залежності обраних параметрів процесу та вихідних змінних.

Аналогічні розрахунки було проведено для всіх факторів процесу та їх парних впливів на вихідні змінні. У результаті проведення кореляційного аналізу виявлено фактори та їх взаємодії, що мають прийнятну тісноту зв'язку.

Наглядно ступінь їх впливу на значення питомої електропровідності можна зобразити наступним чином:

$$X1 > X1 \times X4 > X1 \times X6 > X1 \times X3 > X4 > X2 \times X5,$$

де $X1$ – концентрація іонів натрію, $X2$ – концентрація гідрозину, $X3$ – концентрація іонів феруму, $X4$ – температура конденсату, $X5$ – концентрація іонів хлору, $X6$ – концентрація іонів сульфату.

Відносно змінної водневого показника отримано наступні результати:

$$X2 > X2 \times X3 > X3 > X1 \times X3,$$

де $X1$ – концентрація гідрозину, $X2$ – температура конденсату, $X3$ – концентрація іонів феруму.

Усі інші параметри процесу виключено із подальших досліджень.

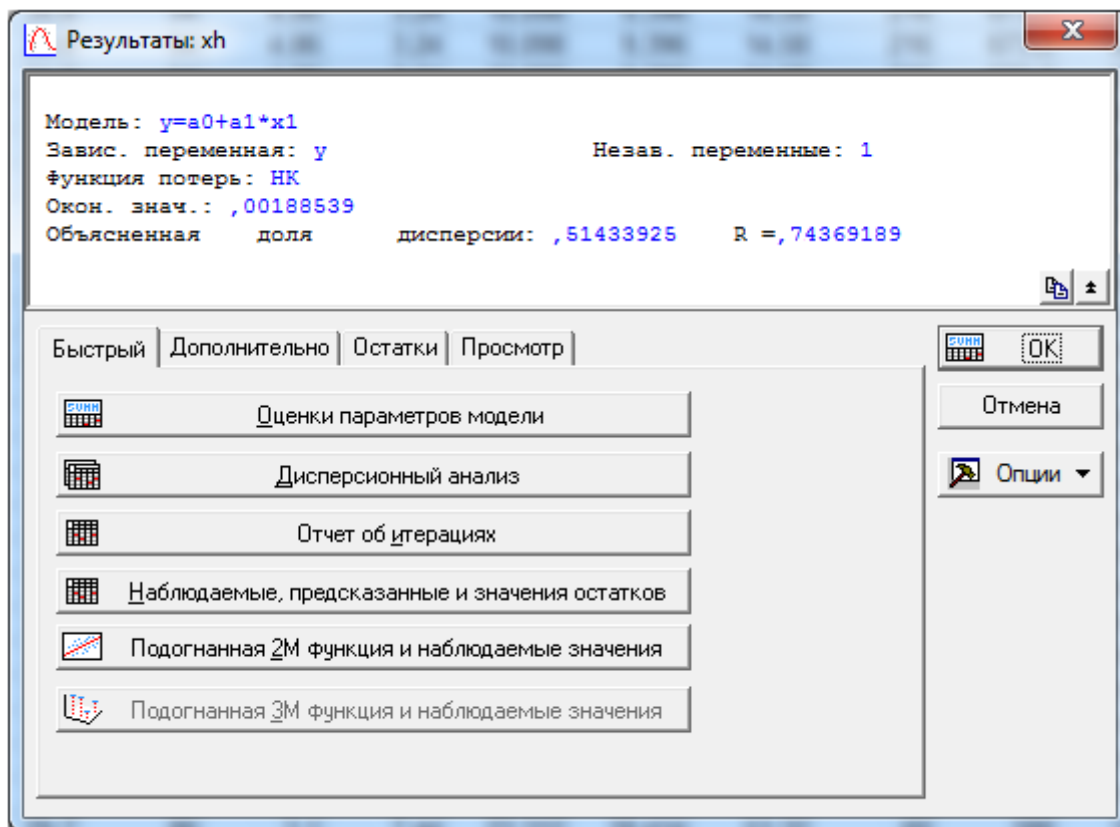


Рис. 5. Критерії придатності поточного оцінювання

ВИСНОВКИ

За результатами досліджень процесу іонного обміну на основі статистичного аналізу виробничих даних виявлено вхідні параметри та їх взаємодії, що суттєво впливають на обрані вихідні змінні. Отримані дані були використані при побудові відповідних математичних моделей. Також ця інформація дозволить оптимізувати систему керування іонообмінними фільтрами при створенні мнемосхем людино-машинного інтерфейсу, що значно спростить та підвищить якість ведення процесу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гужулев Э. П., Шалай В. В., Гриценко В. И., Таран М. А. Водоподготовка и водно-химические режимы в теплоэнергетике: Учеб. пособие. Омск: ОмГТУ, 2005. 384 с.
2. Гребенюк В. Д., Мазо А. А. Обессоливание воды ионитами. М.: Химия, 1980. 256 с.
3. Мердуч С. Л. Керування блочно-знесолюючою установкою у другому контурі АЕС із ВВЕР-1000 : дис. ... канд. техн. наук.: 05.13.07 / Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського». Київ, 2017. 139 с.