

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ НАФТИ З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Путятін Р. О., Цапар В. С.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, r.putyatin-ktpza24@iit.kpi.ua

Перед переробкою нафту потрібно очищувати від води та розчинених солей, аби запобігти корозії обладнання та підвищити якість продукції. Це роблять на електрознесолювальних установках (ЕлЗУ), на яких основним апаратом є електродегідратор. Сировина надходить як емульсія: нафта є дисперсійним середовищем, а дисперсною фазою є вода у вигляді дрібних краплинок. Суть процесу полягає в прокачуванні емульсії через електричне поле, завдяки чому краплини води зливаються й осідають на дно дегідратору. Існують жорсткі вимоги до вмісту води й солей у нафті, тому важливе якісне керування процесом.

Найуспішніші сучасні підходи до керування ґрунтуються на використанні математичних моделей процесу для передбачення його поведінки. Сюди належать зокрема: керування зі внутрішньою моделлю; звичайне й адаптивне модельно-прогнозне керування; керування з використанням цифрових двійників.

Аналітичних моделей «вхід – вихід» для електродегідратора ще не розроблено. На рівні апарату процес моделюють, використовуючи диференційне рівняння балансу населеності. Отриману систему рівнянь розв'язують числовими методами. Для використання такої моделі в керуванні її потрібно звести до вигляду «вхід – вихід», використовуючи методи ідентифікації систем.

Доцільно застосовувати методи ідентифікації «чорного ящика». Класичний підхід передбачає попередній вибір структури моделі: передавальної функції (ПФ), моделі в просторі станів, системи різницевих рівнянь тощо. Цей підхід залежить від правильного вибору порядку моделі, її вигляду та кількості параметрів. Однак не можна вибрати складну структуру «із запасом»: надлишок параметрів унеможливить однозначну ідентифікацію [1].

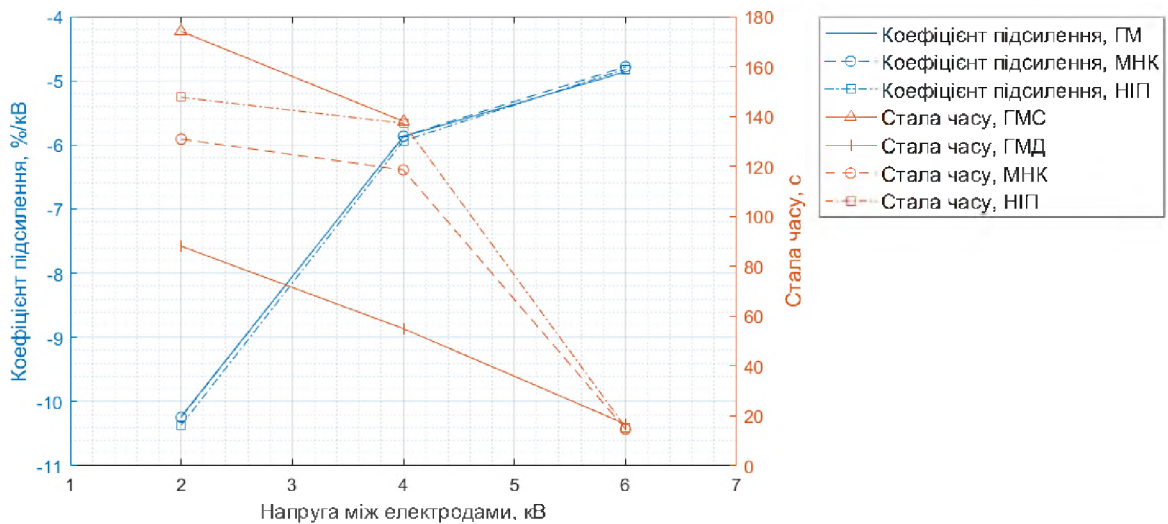
В [2] за дослідними даними отримано квазілінійну модель першого порядку для процесу осадження води для нової конструкції дегідратору. ПФ має вигляд

$$W(s) = \frac{K(u)}{T(u)s + 1} \cdot e^{-\tau s}$$

де u – сигнал керування; K – коефіцієнт підсилення; T – стала часу; τ – запізнення.

На рисунку наведено графіки залежностей $K(u)$ та $T(u)$ від напруги між електродами, визначених графічним методом (на легенді ГМС та ГМД), методом найменших квадратів для малої (МНК) та великої кількостей точок (НІП). З них випливає, що нелінійність моделі є значною, і потрібно добирати нелінійні структури.

Сучасні підходи – з використанням машинного навчання – засновані на цікавому явищі, а саме: якщо кількість параметрів моделі набагато більша (на порядки) за їхню кількість для самого об'єкту, тоді точність моделювання в певну мить знову почне зростати з подальшим ускладненням моделі [3].



Залежність параметрів моделі осадження від напруги

Серед моделей машинного навчання особливе місце посідають нейронні мережі (надалі – «НМ»). Для задач ідентифікації вони мають такі переваги:

1. Розмаїтість архітектур НМ, що з одного боку дозволяє по-різному втілювати ті самі моделі (деякі архітектури НМ легше навчати, ніж інші), а з іншого – надає великий вибір доступних моделей.

2. Можливість утілення як класичних лінійних структур: ARX (англ. “AutoRegressive Exogeneous”, укр. «авторегресійна екзогенна»), OE (англ. “Output Error”, укр. «помилка вихідного сигналу»), FIR (англ. “Finite Input Response”, укр. «скінченний відгук на вхідний сигнал») тощо – так і довільних нелінійних, наперед невідомих.

3. Блокова будова НМ, що спрощує перенесення їх на схожий об’єкт із невеликими змінами, наприклад, донавчивши лише частину шарів НМ.

Розробка НМ для ідентифікації пов’язані з такими задачами:

1. Вибір архітектури: видів шарів, кількості нейронів та зв’язків між шарами.
2. Вибір функції втрати – цільової функції в задачі оптимізації ваг НМ.
3. Вибір методу навчання.
4. Збирання та оброблення навчальних даних. Треба врахувати обмежені можливості проведення активних експериментів на робочому встаткуванні та спиратися насамперед на дані, типові для пасивних експериментів.
5. Задача, нетипова для задач ідентифікації загалом, особлива саме для процесів переробки нафти: врахування властивостей нафти під час ідентифікації.
6. Вибір кількості епох та інших параметрів навчання і, власне, навчання.

1. Lennart Ljung, *System identification: theory for the user*, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: PTR Prentice Hall, 1999.

2. Р. О. Путятін, В. С. Цапар. «Моделювання електродегідратора високої швидкодії на основі експериментальних даних», CHEERS, вип. 2, с. 39–52, Чер 2023. doi: 10.20535/2617-9741.2.2023.283523.

3. Gianluigi Pillonetto, Aleksandr Aravkin, Daniel Gedon, Lennart Ljung, Antônio H. Ribeiro, Thomas B. Schön, arXiv (2024, Mar. 25). Deep networks for system identification: a Survey. [Preprint]. Available: <https://arxiv.org/abs/2301.12832>.