

УДК 665.66,004.021/.6

ЯРОЩУК Л. Д., ТЮРІНА Є. О.*
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕЛЮВАННЯ ТА КЕРУВАННЯ АДСОРБЦІЙНИМ ОЧИЩЕННЯМ ОЛИВ ТА МАСТИЛ У РЕЖИМІ ЗМІНИ СИРОВИНИ

Розвиток виробничої сфери та транспорту обумовлює потребу в регенерації індустриальних і транспортних олив та мастил. Актуальною задачею є створення систем керування процесом очищення цих речовин при надходженні їх з суттєво різними властивостями.

Метою дослідження є підвищення ефективності систем автоматизації адсорбційного очищення шляхом визначення зв'язку між властивостями кожної нової партії сировини та необхідними умовами її очищення. Запропоновано спосіб керування, спрямований на досягнення цієї мети, який ґрунтується на використанні бази даних. Спосіб передбачає такі етапи: пошук у базі даних речовин-аналогів для нової сировини; статистичні дослідження масиву режимних параметрів, знайдених для аналогів; прийняття рішень щодо корегування завдань регуляторам; адаптування параметрів саме до нової сировини; внесення фактів про властивості нової сировини та відповідні параметри в базу даних.

Статистичні дослідження передбачають опис властивостей речовин і процесу очищення в декількох формах (видах моделей) та поступову зміну форм залежно від потужності бази даних. У статті наведено приклад реалізації алгоритму засобами MS Access.

Отримані результати сприятимуть підвищенню ефективності роботи системи керування процесами очищення олив і мастил завдяки скороченню часу та підвищенню точності визначення необхідних умов переробки різноманітної забрудненої сировини. Їх можна використати в умовах переробки інших відходів.

Ключові слова: очищення, регенерація, олива, мастило, сировина, адсорбція, керування, статистика, моделювання.

DOI: 10.20535/2617-9741.3.2022.265361

* Corresponding author: eugenia.turina@gmail.com

Received 13 July 2022; Accepted 2 September 2022

Постановка проблеми. Розвиток промисловості та збільшення кількості транспортних засобів призводить до зростання відпрацьованих індустриальних і транспортних олив та мастил (ВОМ). Очищені оливи та мастила є складними речовинами, до якості яких висувають декілька вимог. Промислове виробництво з регенерації ВОМ вимагає суттєвих капіталовкладень. Найбільш поширеними на цей час є спрощені процедури утилізації ВОМ, такі як спалювання та викидання на сміттєзвалища, що призводять до втрати цінної сировини й забруднення довкілля [1].

Відносно невелику кількість ВОМ наразі очищують в адсорберах з нерухомим шаром адсорбенту. Найбільш перспективним способом очищення суттєвих обсягів забруднених ВОМ можна вважати неперервний адсорбційний процес з рухомими потоками сировини та адсорбенту. Такі виробництва можуть бути використані для очищення забрудненої сировини (ЗС) від різних постачальників, а отже, з різними властивостями. Такі умови надходження сировини вимагають використання більш складного математичного забезпечення систем керування, оскільки кожний набір властивостей вимагає корегування умов очищення (режимних параметрів) в адсорбері.

Аналіз попередніх досліджень. Загальною науковою проблемою, яка постає при вирішенні задач керування різноманітними процесами, є визначення та дотримання необхідних умов їх перебігу. Багато праць присвячено проблемі прийняття рішень та імплементації досвіду фахівців при керуванні такими процесами [2, 3]. Так, у [2] використовують методи прийняття рішень для автоматизації процесу виробництва метанолу за зниженого тиску, що дозволяє визначити оптимальне керування системою та прогнозування її стану. У [4] автори вирішують проблему визначення теплового режиму висушування дисперсного матеріалу на основі інформації про вологість, температуру та витрату сировини. Автори в [5] вирішують задачу визначення налаштувань параметрів регулятора, які є динамічними, на основі впливу вхідних даних на витрату сорбенту при керуванні процесом адсорбції відпрацьованих індустриальних мастил з використанням методів оптимізації за виходом регенованого мастила. У [6] створено інформаційне та математичне забезпечення

для вирішення прямої задачі – визначення температури продуктів згорання газів при відомому складі пального, використовуючи співвідношення витрат, та зворотної – визначення складу спалюваного газу, маючи інформацію про відомі параметри (ті, що можливо виміряти), – співвідношення витрат пального і повітря та температуру продуктів згорання. Такий підхід значно спрощує (а в деяких випадках виявляється єдиним способом ефективної роботи системи керування) налаштування автоматичного регулятора при роботі з невідомими складами сировини. У [7] автор створив алгоритм для системи керування процесом екструзії, який дозволяє визначити оптимальні режимні параметри залежно від властивостей сировини.

Наведені праці, хоча й описують ефективні методи визначення завдань регулятора, але, з огляду на суттєву зміну властивостей BOM, не можуть бути використані в системі керування очищенням цієї специфічної сировини.

Метою статті є підвищення ефективності системи автоматизації адсорбційного очищення BOM шляхом зменшення часу та збільшення точності визначення відповідності між властивостями BOM та умовами їх очищення при надходженні на переробку нової партії забрудненої сировини. Задачами дослідження є створення алгоритму використання технологічної інформації для досягнення поставленої мети, а також визначення та врахування особливостей цього алгоритму для систем керування на різних етапах функціонування виробництва.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо основні процеси й апарати системи адсорбційного очищення за фрагментом схеми його автоматизації (Рис. 1). Охолоджену суміш забрудненої сировини й розчинника направляють знизу адсорбера та забезпечують її неперервний контакт з адсорбентом, який подають у режимі протитечії, тобто зверху адсорбера. На етапах підготовки до адсорбції забезпечують охолодження сировини й адсорбенту в холодильниках R1 і R2 відповідно.

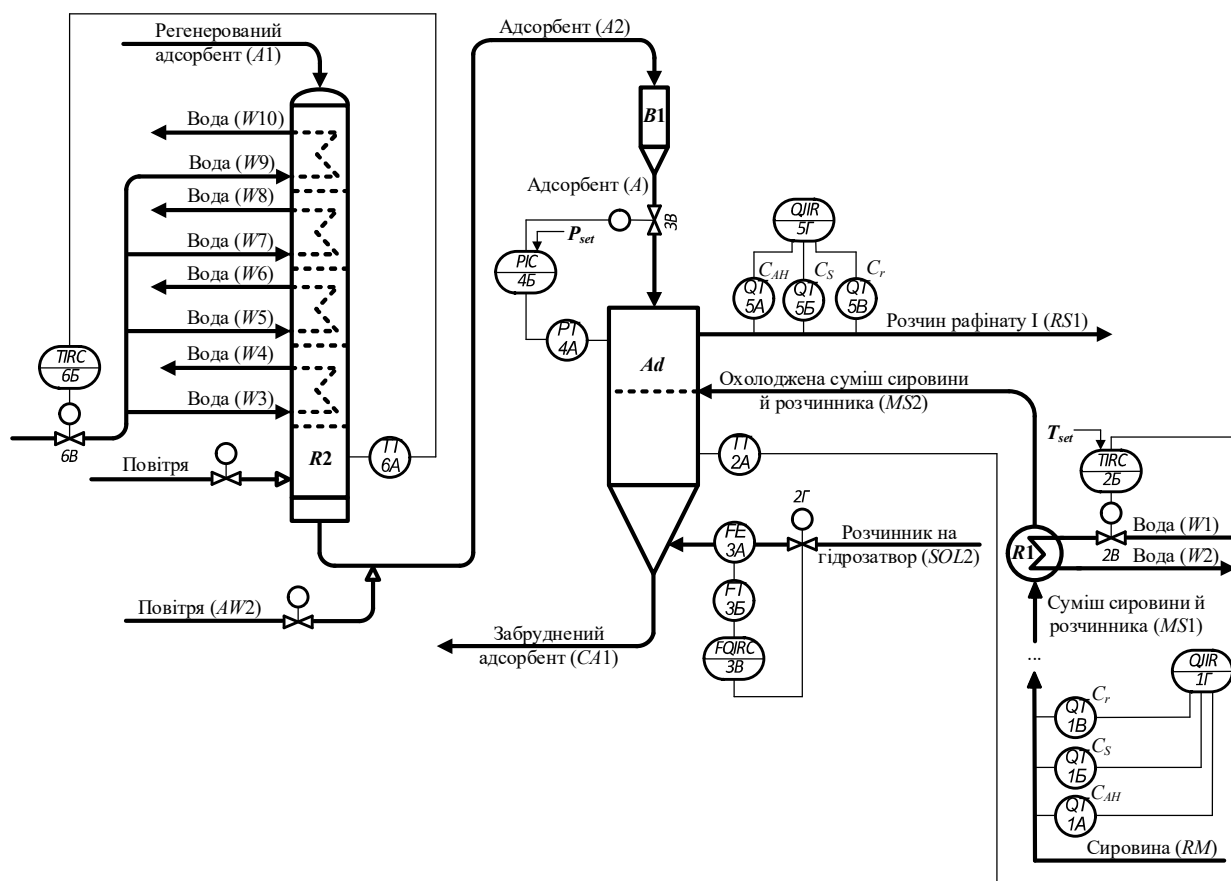


Рис. 1 – Фрагмент схеми автоматизації процесів адсорбційного очищення олив і мастил

Фізико-хімічні властивості очищених матеріалів відрізняються залежно від їх виду і призначення [8]. Для прикладу наведемо основні показники, які використовують для визначення якості різних типів мастил залежно від їх призначення [9]: в'язкість (динамічна, кінематична), індекс в'язкості, температура застигання, протизносні (лужне, фрикційне числа), протіокислювальні (окиснювальна стабільність, кислотне число), мийно-диспергуючі властивості, зольність, вміст механічних домішок і води, корозійна активність.

Наведені характеристики є загальними, в нормативних документах для оцінки якості різних видів оливних і мастильних матеріалів застосовують комплекс таких параметрів.

Партії сировини, що надходять на очищення, мають свої фізико-хімічні властивості, які можуть принципово відрізнятися одна від одної залежно від місця збору (фактично компонентного складу) [8 – 10].

Особливістю цього виробництва є нестабільність властивостей сировини, оскільки її не отримують цілеспрямовано (дотримуючись певних вимог до якості та кількості), а збирають як відходи. В ній містяться як базові складові мастильних матеріалів, так і забруднювачі [9]. Так, до складу сировини входять певні групи вуглеводнів, серед яких можуть бути ароматичні, нафтенно-ароматичні, нафтенно-парафінові, ізопарафінові, та гетероорганічні з'єднання (кисень, сірка, азот). До бажаних компонентів вуглеводнів належать нафтеніві, парафінові, бициклічні ароматичні, моноциклічні ароматичні, ізопарафіни; компонентами забруднювачів є сірчисті з'єднання, поліциклічні ароматичні вуглеводні, смоли.

Залежно від того, які групи переважають у складі оливи або мастила, виділяють декілька їх різновидів: парафінові, нафтеніві, ароматичні та змішані. Так, для виробництва мастильних матеріалів поширеним є використання парафінових мастил, які володіють необхідними в'язкісно-температурними характеристиками [9]. На ступінь адсорбції відпрацьованих матеріалів, а отже і вибір типу адсорбенту, істотно впливає компонентний склад забрудненої оливи або мастила, зокрема, полярність елементів. Так, вуглеводні є неполярними або слабо полярними речовинами, а смоли та сірчисті з'єднання – полярними [8].

Однією з важливих проблем керування є суттєва кількість властивостей сировини, які необхідно враховувати в умовах обмежених керувальних впливів. Основним керувальним впливом, який зазвичай використовують у відомих системах керування, є витрата адсорбенту. Також є варіант із застосуванням витрати сировини як керувального впливу, але він небажаний, оскільки може знизити загальну ефективність процесу очищення з точки зору техніко-економічного обґрунтування системи в цілому. Розглянемо наведену на Рис. 1 систему автоматизації. Назвемо контури керування: контур 2 – «витрата води на вході в холодильник → температура в адсорбері»; контур 3 – керування витратою розчинника на гідрозатвор (дозування); контур 4 – «витрата адсорбенту на вході в адсорбер → тиск в адсорбері»; контур 6 – «витрата води на вході в холодильник → температура в чотириступеневому холодильнику». Контрольовані параметри – концентрації ароматичних вуглеводнів, сірки та смол на вході та виході адсорбера (контури 1 і 5 відповідно).

Зазвичай при узагальненні режимів функціонування обладнання розглядають режими пуску, нормального функціонування та зупинки, але, з огляду на особливості отримання сировини для адсорбційного очищення, розділимо ще й етап нормального функціонування на етапи сталої сировини та зміни сировини.

Режим «**Стала сировина**» – режим експлуатації при відомому й достатньо стабільному складі сировини (режим має місце при надходженні БОМ від одного джерела забруднення).

Режим «**Зміна сировини**» – режим експлуатації при зміні джерела забруднення. При зміні сировини обґрунтовані умови проведення адсорбції деякий час можуть бути невідомі. Цей режим певною мірою вимагає таких дій, що й режим «Пуск».

Згідно з Рис. 1 режимними параметрами [10] можуть бути тиск і температура в адсорбері. Їх значення, що потрібно підтримувати при зміні сировини, називатимемо у подальшому початкові режимні параметри (ПРП) і покажемо як уставки регуляторам P_{set} і T_{set} .

Розглянемо основні задачі алгоритму визначення ПРП, на Рис. 2 наведемо його загальну схему. Ідея алгоритму керування на початку режиму «**Зміна сировини**» базується на принципі «за аналогією» і полягає у пошуку й застосуванні тих режимних параметрів, які добре зарекомендували себе для сировин, подібних за властивостями до нової сировини.

Розглянемо детальніше складові названого вище алгоритму визначення ПРП.

Масиви властивостей сировини та режимних параметрів (база даних) – це значення властивостей БОМ і режимних параметрів, що колись очищувалась в адсорбері, та P_{set} і T_{set} , що були визнані доцільними для очищення. З цим блоком пов'язані питання створення, поповнення та збереження масиву(-ів) даних. Визначення структури цих (а також додаткових службових) даних не є тривіальною задачею. Її розв'язують, враховуючи особливості програмного засобу та алгоритму пошуку.



Рис. 2 – Загальна схема алгоритму визначення ПРП

Пошук аналогів нової сировини полягає у перегляді минулих ситуацій адсорбційного очищення забруднених речовин і пошуку речовин, близьких до нової речовини за властивостями. Ця частина алгоритму, має наступні задачі:

- визначення переліку властивостей, за якими доцільно проводити пошук;
- визначення міри близькості між кожною властивістю нової та попередньої речовин;
- формулювання умов спрощення пошуку аналогів у разі відсутності аналога за початковими мірами близькості;
- формування масиву даних, який містить відібрані властивості для аналогів нової ЗС та відповідні їм режимні параметри.

Пошук аналогів – поширена задача в інформаційних технологіях. Вона може бути розв'язана засобами алгоритмічних мов, керування баз даних, математичних процесорів. Схему алгоритму пошуку вибирають, виходячи з конкретної мети пошуку, властивостей даних, типу програм і технічних можливостей системи керування.

Схему узагальненого алгоритму пошуку аналогів сировини наведено на Рис. 3.

Уведемо перелік загальних позначень, які використовують в алгоритмі, та розшифруємо їх: AH – ароматичні вуглеводні; S – сірка; r – смоли; C_{AH} , C_S , C_r – поточне значення концентрацій ароматичних вуглеводнів, сірки та смол у сировині відповідно; A – кількість збігів за результатами пошуку; a_{AH} , a_S , a_r – кількість збігів по AH , S , r за результатами пошуку відповідно.

Верхню та нижню межі діапазону пошуку ароматичних вуглеводнів, сірки, смол, розраховують за формулами системи (1).

$$\begin{aligned} C_{AH,l} &= C_{AH}k_{AH,l}, C_{AH,h} = C_{AH}k_{AH,h}, \\ C_{S,l} &= C_Sk_{S,l}, C_{S,h} = C_Sk_{S,h}, \\ C_{r,l} &= C_rk_{r,l}, C_{r,h} = C_rk_{r,h}. \end{aligned} \quad (1)$$

де l , h – індекси нижньої/верхньої межі діапазону пошуку по AH , S і r відповідно; $k_{AH,l}/k_{AH,h}$, $k_{S,l}/k_{S,h}$, $k_{r,l}/k_{r,h}$ – коефіцієнти для розрахунку нижньої/верхньої меж діапазону пошуку по AH , S і r відповідно.

Перевірку знаходження концентрацій забруднювачів у діапазонах пошуку наведено у формулах (2–4) відповідно.

$$C_{AH,l} < C_{AH,min}; C_{AH,h} > C_{AH,max}, \quad (2)$$

$$C_{S,l} < C_{S,min}; C_{S,h} > C_{S,max}, \quad (3)$$

$$C_{r,l} < C_{r,min}; C_{r,h} > C_{r,max}, \quad (4)$$

де min , max – індекси обмеження нижньої/верхньої меж діапазону пошуку по AH , S і r відповідно.

Перевірка, чи входить значення концентрацій ароматичних вуглеводнів, сірки, смол таблиці БД у діапазони пошуку по j -ому рядку, має вигляд системи (5).

$$\begin{aligned} C_{AH,l} &< C_{AH,z} < C_{AH,h}, \\ C_{S,l} &< C_{S,z} < C_{S,h}, \\ C_{r,l} &< C_{r,z} < C_{r,h}, \end{aligned} \quad (5)$$

де $C_{AH,z}$, $C_{S,z}$, $C_{r,z}$ – відповідно значення концентрацій ароматичних вуглеводнів, сірки і смол у z -ому полі запису БД.

У загальному вигляді перевірка для i -ої речовини:

$$C_{i,l} < C_z < C_{i,h}. \quad (6)$$

Збільшення діапазонів пошуку ароматичних вуглеводнів, сірки, смол виконують за формулами (7–9) відповідно.

$$C_{AH,l} = C_{AH,i}(1 - k_{AH,cor}); C_{AH,h} = C_{AH,i}(1 + k_{AH,cor}), \quad (7)$$

$$C_{S,l} = C_{S,i}(1 - k_{S,cor}); C_{S,h} = C_{S,i}(1 + k_{S,cor}), \quad (8)$$

$$C_{r,l} = C_{r,i}(1 - k_{r,cor}); C_{r,h} = C_{r,i}(1 + k_{r,cor}), \quad (9)$$

де $k_{AH,cor}$, $k_{S,cor}$, $k_{r,cor}$ – коригувальні коефіцієнти діапазону пошуку по AH , S і r відповідно.

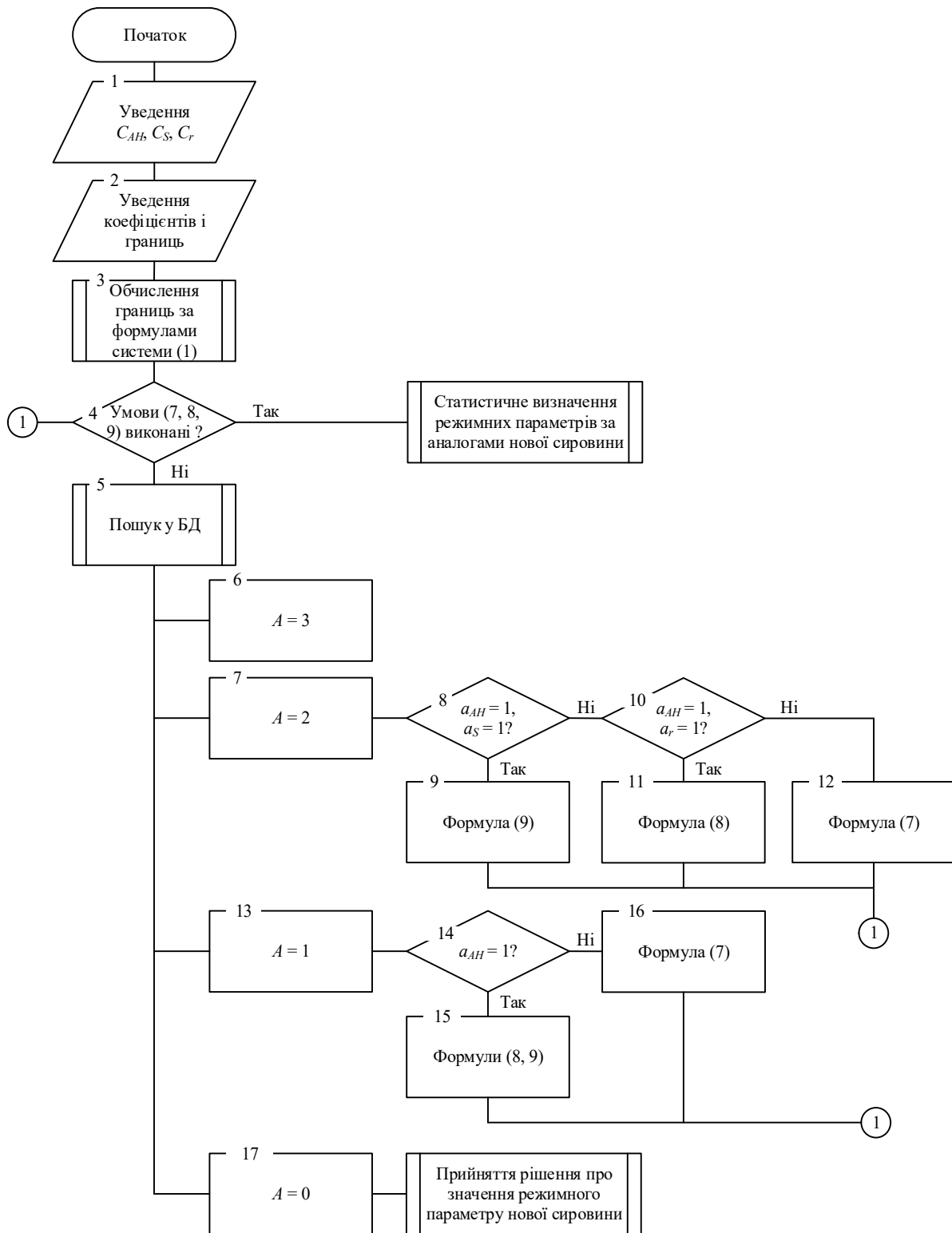


Рис. 3 – Схема спрощеного алгоритму пошуку аналогів сировини

Блок 1 передбачає введення властивостей сировини C_{AH} , C_S , C_r . Ці значення відомі, їх визначають на попередньому етапі підготовки сировини. У **блок 2** вводять коефіцієнт для обчислення верхньої та нижньої меж кожної із зазначених концентрацій для поточного пошуку та припустимі межі концентрацій. У випадку їх перевищення вважається недоцільним продовжувати пошук. У **блоці 3** виконують обчислення верхньої та нижньої меж діапазонів пошуку C_{AH} , C_S , C_r . Далі у **блоці 4** виконують послідовну перевірку входження C_{AH} , C_S , C_r у припустимі діапазони, задані в **блоці 2**. Якщо умови (7–9) виконуються на першому етапі (до обробки у блоці 5), алгоритм передбачає перехід до прийняття рішення стосовно подальших дій. В інших випадках переходять до статистичного визначення режимних параметрів за аналогами нової сировини. Якщо результат перевірки в **блоці 4** виявився негативним, то переходять до наступного. **Блок 5** містить алгоритм пошуку записів у БД концентрацій, які відповідають заданим діапазонам. Пошук виконують по рядках, починаючи з першого. Результати записують в окремий масив, з якого можна отримати інформацію про кількість збігів концентрацій у кожному з рядків, та які саме концентрації пройшли перевірку. **Блоки 6, 7, 13 і 17** запускають процедуру подальшої роботи алгоритму залежно від випадків (*Case*), коли кількість збігів за концентраціями має значення відповідно 3, 2, 1 або 0 (немає збігів). Випадок у **блоці 6** означає, що в БД знайшлися записи, які відповідають вимогам за всіма концентраціями, тому їх передають далі на частину статистичної обробки даних. **Блок 7** означає, що в БД є збіги за двома концентраціями. **Блок 8** перевіряє, чи це C_{AH} і C_S . Якщо так, у **блоці 9** задають коригувальний коефіцієнт для меж діапазону C_r і обчислюють розширений діапазон для зазначеної концентрації. Якщо ні, то переходять у **блок 10**, в якому перевіряють, чи це C_{AH} і C_r ; у позитивному випадку задають коригувальний коефіцієнт та розширюють діапазон значень концентрації C_r у **блоці 11**. У **блоках 8, 10** виконують логічну перевірку (параметри в блоках можуть приймати значення 1 або 0): $a_{AH} = 1$, $a_S = 1$ (**блок 8**), $a_{AH} = 1$, $a_r = 1$ (**блок 10**). Якщо у **блоках 8, 10** умови не виконуються, то переходять до **блоку 12**, в якому задають коригувальний коефіцієнт для C_{AH} і змінюють діапазон пошуку цієї концентрації. Випадок у **блоці 13** означає збіг за однією концентрацією. В цьому випадку в **блоці 14** виконують перевірку, чи це збіг за C_{AH} . Якщо так, у **блоці 15** задають коригувальні коефіцієнти по C_S і C_r й обчислюють діапазони за вказаними концентраціями. Якщо ні, задають коригувальний коефіцієнт по C_{AH} та обчислюють для нього розширені межі в **блоці 16**. З **блоків 9, 11, 12, 15, 16** інформацію направляють знову в **блок 4** на перевірку відкоригованих діапазонів. **Блок 17** означає, що після всіх перевірок у базі даних не знайшлося збігів за жодною з концентрацій, тому введені дані передають на блок прийняття рішень про значення режимного параметру нової сировини.

Загальний опис *Case* для *M*-компонентної сировини.

1. *Case* «Збіг за *M* елементами сировини» означає, що знайдено відповідність за всіма введеними компонентами сировини, отже далі доцільно передати інформацію на статистичну обробку знайдених записів.

2. *Case* «Збіг за *M* – 1 елементами сировини» ... «Збіг за 1 елементом сировини» потребує надання пріоритетності кожному з компонентів. У цьому випадку пошук починають комбінаціями, в яких присутні компоненти з найвищим пріоритетом, а для решти – розширюють діапазон. Якщо таких комбінацій не знайшлося – розширюють діапазон за елементом з найвищим пріоритетом.

3. *Case* «Збігів не знайдено» означає, що немає припустимих комбінацій в обмеженнях за кожним з діапазонів пошуку. Це найгірший випадок, він потребує прийняття рішення стосовно визначення режимних параметрів на основі експертних оцінок та вимог технологічного регламенту.

Статистичне визначення режимних параметрів за аналогами нової сировини передбачає відповідно визначення режимних параметрів для нової забрудненої сировини на основі параметрів, знайдених для її аналогів. Ця складова алгоритму передбачає розгляд таких питань:

- а) аналіз даних у БД як випадкових величин (ВВ);
- б) вибір типів статистичних оцінок для визначення режимних параметрів очищення нової сировини;
- в) математичне моделювання зв'язків між властивостями сировини та режимними параметрами для різних потужностей (кардинальностей) БД.

Перелічені задачі можуть бути по-різному розв'язані в різні періоди функціонування виробничої системи. Оскільки ефективність системи автоматизації важлива в кожний з періодів, то запропоновано такі алгоритми статистичної обробки.

Відповідно до цієї схеми база даних буде наповнюватися фактами про сировину й режимні параметри поступово. Так, на початку роботи виробництва база даних порожня, потім у ній з'являються поодинокі записи, які стосуються тієї чи іншої сировини. До досягнення кількості значень N_1 вважатимемо вибірку нерепрезентативною, а надійність (інформативність) її статистичних результатів дуже низькою – довірчий

інтервал оцінок буде досить широким, а гістограми складно буде інтерпретувати. Тому автори рекомендують для цього етапу зовсім просту модель зв'язків, яка складається з декількох точкових числових характеристик: наприклад, середніх арифметичних режимних параметрів (M_x) аналогів сировини (як незсунену, ефективну та обґрунтовану точкову оцінку математичного сподівання для законів розподілу ймовірностей випадкових величин) та мод (M_o). Позначимо таку систему окремих залежностей як *SysMod-1*.

З часом кількість записів БД, пов'язаних з певною сировиною від кожного постачальника, збільшуватиметься від N_1 до N_2 , формуючи хоч і малі, але для складних виробничих умов умовно репрезентативні вибірки. В таких ситуаціях автори рекомендують надавати особі, яка приймає рішення (ОПР), статистичні рекомендації у вигляді декількох характеристик положення режимних параметрів і показників якості сировини: моди (M_o), медіани, середні арифметичні (M_x), а також довірчі інтервали для математичних сподівань, виходячи з надійності таких оцінок. Враховуючи те, що стандартне відхилення параметрів невідоме, для визначення цих інтервалів використовуємо критерій Стюдента:

$$P\left[\left|(M_x - \mu_x) / \left(S_x / \sqrt{N}\right)\right| < t_{\text{tabl}}\right] = P_{\text{дов}}, \quad (10)$$

де μ_x , M_x – математичне сподівання та його точкова оцінка відповідно; S_x – вибіркове стандартне відхилення; t_{tabl} – табличне значення критерію Стюдента; P , $P_{\text{дов}}$ – ймовірність події $\left|(M_x - \mu_x) / \left(S_x / \sqrt{N}\right)\right|$, довірча ймовірність відповідно.

Виходячи з (10), можна визначити довірчий інтервал для μ_x кожної властивості сировини й режимного параметра:

$$\left(M_x - t_{\text{tabl}} \frac{S_x}{\sqrt{N}}, M_x + t_{\text{tabl}} \frac{S_x}{\sqrt{N}}\right), \quad (11)$$

Враховуючи досвід залучення технологічного персоналу до керування виробничими процесами [11, 12], автори пропонують на етапі малої вибірки наводити для ОПР також гістограми для емпіричних законів розподілу ймовірностей випадкових величин. На Рис. 4 наведено зразки гістограм, які дають уяву про можливі їх види. Ці графічні моделі допоможуть ОПР краще зрозуміти семантичний зв'язок між властивостями сировини та умовами її очищення.

Загалом на етапі умовно репрезентативної вибірки автори пропонують наступний спектр статистичних показників перебігу адсорбції як методів її моделювання: M_x , M_o , $M_x \pm t_{\text{tabl}} S_x / \sqrt{N}$, гістограми. Таку систему окремих залежностей позначимо як *SysMod-2*.

Велика кількість даних для кожного типу сировини, яка з'явиться при тривалій роботі виробництва, дозволяє досліджувати тісноту і форми зв'язків між параметрами та властивостями сировини.

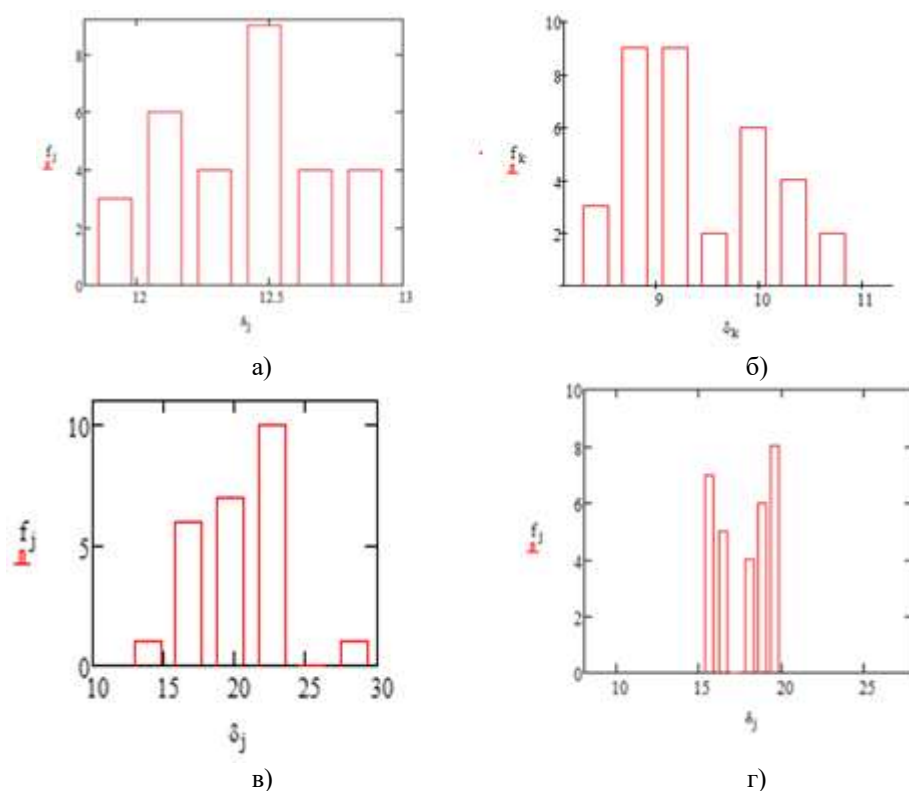
Особливості моделювання адсорбційних процесів, пов'язаних з очищенням різного виду відходів, можна ілюструвати схемою на Рис. 5.

Третій етап моделювання, згідно з задумом авторів, настає при суттєвому збільшенні обсягу вибірки ($N > N_2$) і дозволяє перевірити закони розподілу ймовірностей випадкових величин та застосувати кореляційний аналіз для отримання регресійних залежностей між властивостями сировини та режимними параметрами:

$$\mathbf{Y}_{rp} = F(\mathbf{X}_{rmp}),$$

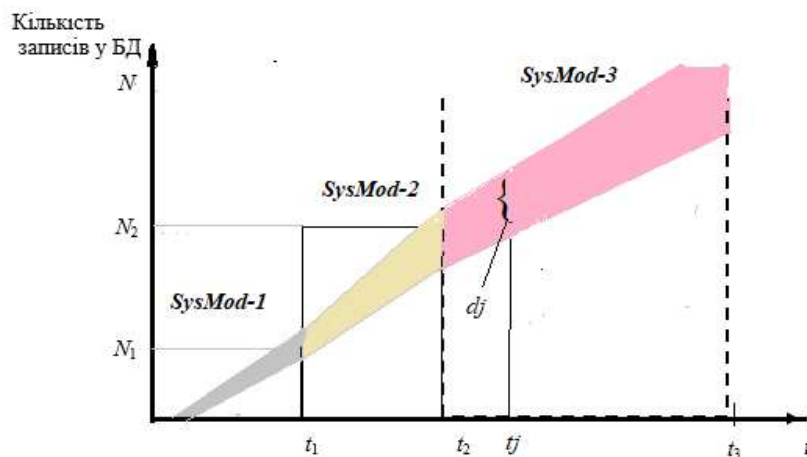
де \mathbf{Y}_{rp} – вектор режимних параметрів; \mathbf{X}_{rmp} – матриця властивостей сировини; F – функціонал зв'язку.

На третьому етапі моделювання спектр статистичних форм може бути наступним: M_x , $M_x \pm t_{\text{tabl}} S_x / \sqrt{N}$, гістограми, $\mathbf{Y}_{rp} = F(\mathbf{X}_{rmp})$ тощо. Позначимо такий перелік функцій *SysMod-3*.



а) значення вимірювань, зосереджені симетрично навколо середнього арифметичного; б) перевага значень, менших за середнє арифметичне; в) відсутність певних великих значень випадкової величини; г) відсутність певних значень, близьких до середнього арифметичного

Рис. 4 – Приклади гістограм для відображення емпіричних законів розподілу випадкових величин у малих вибірках



t – час функціонування виробництва; N_1 , N_2 – граничні обсяги вибірок; d_j – інтервал кількості даних у вибірці на час t_j

Рис. 5 – Схема формування моделі визначення режимних параметрів адсорбційного очищення при зміні властивостей сировини

Для виробництв, які будуть очищувати сировину з відносно сталими властивостями, третій етап настане за невеликий час t .

Отже, статистичне визначення режимних параметрів запропоновано виконувати комбінаційно та еволюційно, тобто за такими принципами:

- опис властивостей речовин і процесу очищення виконують у декількох формах (видах моделей);
- зміну форм виконують при зростанні потужності бази даних.

У даному дослідженні мова йде про 3 періоди зміни форм статистичної інформації. Насправді, вибір числа періодів залежить від особливостей виробництва та потребує додаткових досліджень.

Прийняття рішення про значення режимних параметрів для нової сировини передбачає порівняння рекомендованих значень режимних параметрів, розрахованих на попередньому етапі алгоритму, з тими, що визначені іншим чином (додатково), зокрема на основі технологічного регламенту, емпіричних знань особи, що приймає рішення (ОПР), рекомендацій експертної системи тощо.

Уведення цього етапу підвищить надійність системи керування.

Адаптування режимних параметрів до нової сировини виконують шляхом аналізу роботи системи керування адсорбцією при прийнятих (див. попередній етап алгоритму) режимних параметрах та їх корегування за допомогою показників керування. Таким чином для конкретної сировини знаходять найкращий вектор параметрів.

Деталізація цього етапу потребує таких досліджень:

- а) визначення показників якості керування для кожного контуру;
- б) визначення методу адаптування режимних параметрів.

Внесення адаптованих значень режимних параметрів у масив аналогів сировини та режимних параметрів (базу даних). У масив вносять нові дані – властивості нової сировини і відповідні їм режимні параметри.

Загальна структура алгоритму (Рис. 3) дає розуміння необхідних операцій накопичення й обробки інформації та дозволяє вибрати програмні засоби для його реалізації.

Пошук аналогів можна виконати засобами алгоритмічних мов, систем керування базами даних, математичних процесорів.

На початку функціонування виробництва, коли БД невелика, ще не обґрунтований перелік необхідних розрахунків і немає складних обчислень, можна використати *MS Access* чи *MS Excel*, які містять стандартні засоби і скоротять час розробки.

На Рис. 6 наведені інформаційні об'єкти (б, а, б, в), схема даних (б, г) і вікно перегляду зв'язаних таблиць БД (б, д), створеної в *MS Access* (для $N < N_1$).

Властивості сировини					
Зв'язки					
ПОСТАЧАЛЬНИК					
СИРОВИНА					
Номер	Тип	Дата перед	Фірма	Опис сиров	
1	Моторне масло 1	01.08.2022	10	Опис1	
2	Олива 2	22.07.2022	10	Опис2	
3	Масило 1	21.07.2022	20	Опис3	
4	Масило 2	19.08.2022	30	Опис4	
5	Олива 3	10.08.2022	20	Опис5	
6	Масило 1	19.08.2022	20	Опис6	
7	Моторне масло 2	12.08.2022	10	Опис7	

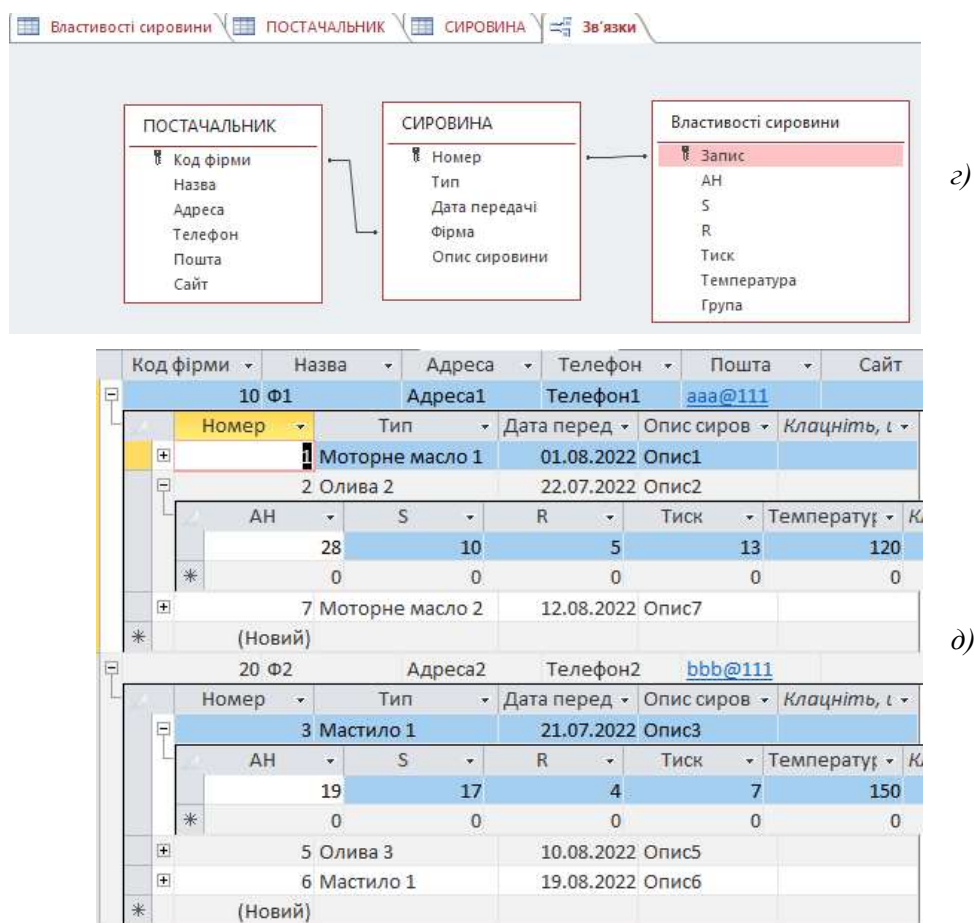
а)

Властивості сировини					
Зв'язки					
ПОСТАЧАЛЬНИК					
СИРОВИНА					
Код фірми	Назва	Адреса	Телефон	Пошта	
10	Ф1	Адреса1	Телефон1	aaa@111	
20	Ф2	Адреса2	Телефон2	bbb@111	
30	Ф3	Адреса3	Телефон3	ccc@111	

б)

Властивості сировини					
Запис	АН	S	R	Тиск	Температур
1	15	7	10	100	
2	28	10	5	13	120
3	19	17	4	7	150
4	21	10	50	14	100

в)



а) – в) – таблиці СИРОВИНА, ПОСТАЧАЛЬНИК, ВЛАСТИВОСТІ СИРОВИНИ відповідно;
г) схема даних; д) вікно перегляду БД

Рис. 6 – Об'єкти БД, реалізовані засобами MS Access

На Рис. 7 наведено вікно запиту для реалізації алгоритму пошуку аналогів засобами MS Access.

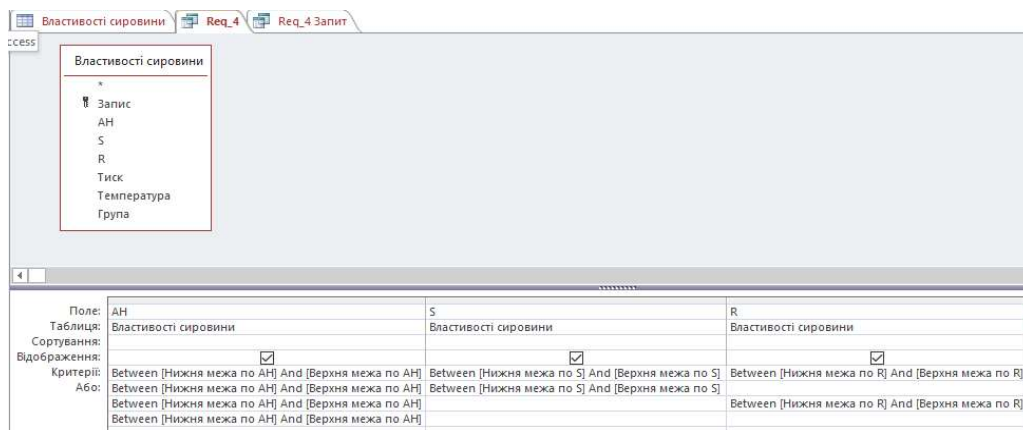


Рис. 7 – Приклад запиту для реалізації алгоритму пошуку в MS Access

На Рис. 8 наведено приклад запиту для реалізації статистичної функції «середнє арифметичне» для розрахунку P_{set} і T_{set} засобами MS Access.

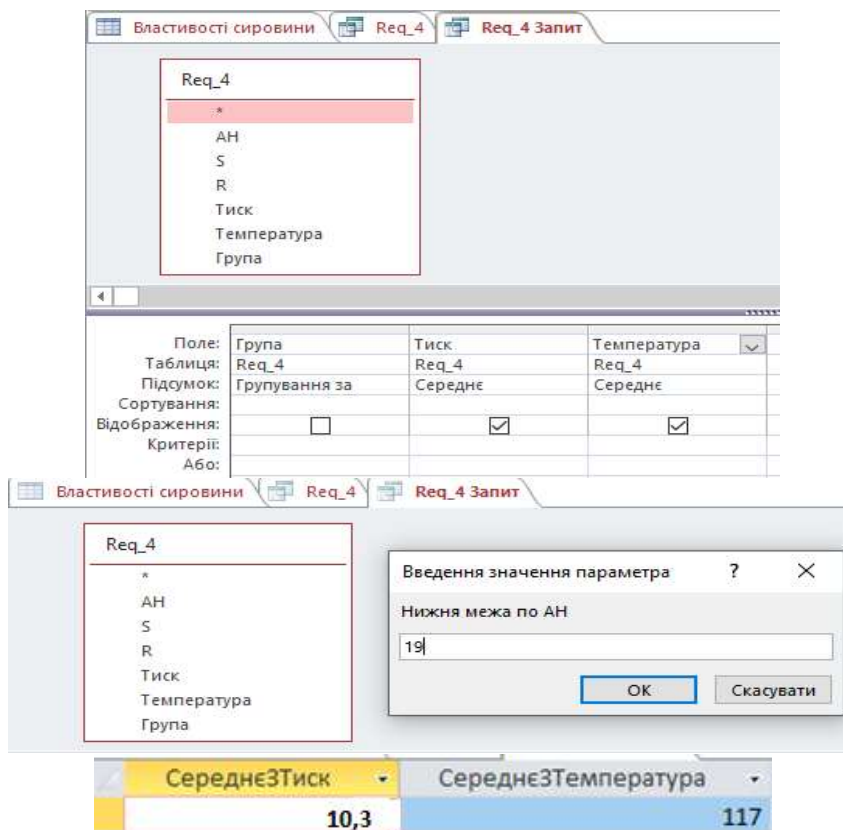


Рис. 8 – Приклад реалізації запиту для виконання статистичної функції «середнє арифметичне» в MS Access

Висновки та обговорення. У наведеній статті розглянуті питання створення системи керування процесами адсорбційного очищення відпрацьованих індустріальних олів, які є загальними для виробництв по регенерації цінних відходів. Піднята тематика наразі дуже актуальна, оскільки такі виробництва тільки починають активно створюватися і дається взнаки відсутність досвіду переробки сировини, яка не проходить технологічних стадій стабілізації її властивостей.

Предметом досліджень була система керування очищенням ВОМ в умовах надходження нової партії сировини. В результаті дослідження були отримані такі результати:

- обґрунтовані причини необхідності спеціального способу керування для етапу «Зміна сировини»;
- запропоновано загальний алгоритм керування цим етапом, в основу якого покладено базу даних з сутностями, в записях яких наведені властивості сировини й режимні параметри, які відповідають цим властивостям;
- створено алгоритм пошуку в БД сировин-аналогів для нової сировини;
- визначені форми статистичної обробки записів БД для моделювання властивостей сировини, режимних параметрів та їх зв'язків;
- запропоновано спосіб уведення в БД фактів щодо нової сировини.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в наступному: у виокремленні надходження нової сировини як окремого режиму функціонування об'єкта керування; у способі формування завдань регуляторам з використанням бази даних сировин-аналогів; у застосуванні різних форм зв'язку між властивостями речовин і режимними параметрами залежно від потужності бази даних.

Отримані результати дозволяють підвищити ефективність роботи систем керування виробництв з регенерації відходів за рахунок скорочення часу та підвищення точності визначення необхідних умов переробки різноманітної забрудненої сировини.

Перспективи подальших досліджень. Запропонований підхід до визначення режимних параметрів технологічного процесу можна використовувати не тільки для керування очищенням відпрацьованих оливних або мастильних матеріалів, а й для інших технологій, що мають нестабільні властивості з точки зору об'єкта автоматизації.

Список використаної літератури

1. Корчак Б. О. Регенерація відпрацьованих мінеральних моторних олив : дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.17.07. Львів, 2018. 207 с.
2. Ковалюк Д. О., Осіпа Р. А., Кондратова В. І. Прийняття рішень в системах керування на основі методів аналізу даних // Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Серія: «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». 2021. Вип. 4. С. 30–38. doi: 10.20535/2617-9741.4.2021.248902.
3. Жученко А. І., Ярошук Л. Д., Попович Н. В., Попович О. В. Задачі автоматизації технологічних процесів при створенні системи ISO // Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2020. Вип. 3. С. 42–51. doi: 10.20535/2617-9741.3.2020.217904.
4. С. Т. Антипов, А. В. Журавлев, Д. А. Нестеров, А. С. Марухин. Алгоритм управления процессом сушки дисперсных материалов в аппарате с закрученными потоками теплоносителя и СВЧ-энергоснабжением // Вестник ВГУИТ. 2015. Вып. 1. С. 86–89.
5. Сохибов А. Б. Моделирование и оптимизация параметров адсорбции отработанных масел природными сорбентами месторождения Шаршар : дисс. на соискание уч. степени канд. техн. наук : 05.13.01. Душанбе, 2021. 132 с.
6. Бутенко О. В. Автоматизована система керування установкою піролізу на основі ідентифікації складу твердих побутових відходів : дис. на здобуття наук. ступеня доктора філософії : 151. Одеса, 2021. 161 с.
7. Жученко О. А. Автоматизація процесів керування екструзією полімерних матеріалів в умовах зміни режимів функціонування : дис. на здобуття наук. ступеня доктора філософії : 05.13.07. Київ, 2013. 200 с.
8. Л. Д. Ярошук, Є. О. Тюріна. Вербальне моделювання мікропроцесів неперервної адсорбційної регенерації олив та мастил // Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського". Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2020. Вип. 2. С. 78–88, 2020. doi: 10.20535/2617-9741.2.2020.208058.
9. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: справочник / Анисимов И. Г. и др.; под редакцией Школьников В. М. Москва: Техинформ, 1999. 596 с.
10. Ярошук Л. Д., Тюріна Є. О. Ієрархія задач керування неперервним процесом адсорбційного відновлення мастильних матеріалів // Вісник Черкаського державного технологічного університету. 2021. Вип. 2, С. 49–62. doi: 10.24025/2306-4412.2.2021.239200.
11. Кумэ Х. Статистические методы повышения качества. Москва: Финансы и статистика, 1990. 304 с.
12. Исигава К. Японские методы контроля качества. Москва: Экономика, 1988. 199 с.

Yaroshchuk Liudmyla, Tiurina Yevheniia

MODELING AND CONTROL OF OILS AND GREASES ADSORPTIVE PURIFICATION IN THE CHANGING RAW MATERIALS MODE

The development of the production sphere and transport determines the need for industrial and transport oils and greases regeneration. A feature of production processes for purification waste is the significant unstable properties of raw materials that come in for purification.

An urgent task is to create control systems for the purification of these substances when they arrive with significantly different properties.

The purpose of the study is to improve efficiency of automation systems of adsorption purification by determining relationship between properties of each new batch of raw materials and necessary conditions for its purification.

Analysis of the adsorption purification technology, typical solutions of control systems and raw materials properties made it possible to justify the need to create a special mathematical support for control of the changing raw materials stage.

A control method aimed at achieving this goal is proposed, which is based on the use of a database. The method involves following stages: searching in the database of substances-analogs for new raw materials; statistical studies of the regime parameters array found for analogues; making decisions on correcting tasks for controllers; parameters

adaptation specifically to new raw materials; entering facts about properties of new raw materials and relevant parameters into the database.

Statistical studies involve the description of substances properties and the purification process in several forms (types of models) and a gradual change of forms depending on the database capacity. The article provides an example of the algorithm implementation using MS Access.

The results are obtained on the basis of methods of system analysis, statistical studies, control systems design and databases. The scientific novelty of obtained results is as follows: in singling out the arrival of new raw materials as a separate operation mode of the control object; in the method of forming tasks for controllers using database of analogue raw materials; in the application of various forms of connection between the properties of substances and mode parameters depending on the database capacity.

The obtained results make it possible to increase efficiency of the control systems of waste regeneration productions by reducing time and increasing the accuracy of determining necessary conditions for the processing of various contaminated raw materials.

Keywords: *purification, regeneration, oil, grease, raw material, adsorption, control, statistics, modeling.*

References

1. Korchak, B. O. (2018). Reheneratsiia vidpratsovanykh mineralnykh motornykh olyv [Regeneration of used mineral motor oils]. Dissertation for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences, 05.17.07 – Chemical Technology of Fuel and Fuel-grease Materials, Lviv Polytechnic National University MES of Ukraine, Lviv.
2. Kovaliuk, D., Osipa, R. and Kondratova V. (2021) “Decision making in control systems based on data analysis”, Bulletin of NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Series “Chemical engineering, ecology and resource saving”, no. 4, pp. 30–38. doi: 10.20535/2617-9741.4.2021.248902.
3. Zhuchenko, A. I., Yaroshchuk, L. D., Popovych, N. V. and Popovych, O. V. (2020) “Technological processes automation problems under ISO system development”, Bulletin of NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Series “Chemical engineering, ecology and resource saving”, no. 3, pp. 42–51. doi: 10.20535/2617-9741.3.2020.217904.
4. Antipov, S. T., Zhuravlev, A. V., Nesterov, D. A. and Maruhin, A. S. (2015). Algoritm upravlenija processom sushki dispersnykh materialov v apparate s zakruchennymi potokami teplonositelja i SVCh-jenergopodvodom [Control algorithm for the Process of drying disperse materials in an apparatus with swirling coolant flows and microwave energy supply], Proceedings of VSUET, no. 1, pp. 86–89.
5. Sohibov, A. B. (2021). Modelirovanie i optimizacija parametrov adsorpcii otrabotannykh masel prirodnymi sorbentami mestorozhdenija Sharshar [Modeling and optimization of the parameters of used oils adsorption by natural sorbents of the Sharshar field]. Dissertation for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences, 05.13.01 – System analysis, Control and Information Processing, Tajik Technical University named after academician M.S.Osimi MES of Republic of Tajikistan, Dushanbe.
6. Butenko, O. V. (2021). Avtomatyzovana systema keruvannja ustanovkoju pirolizu na osnovi identyfikatsii skladu tverdykh pobutovykh vidkhodiv [Automated pyrolysis plant control system based on identification of municipal solid waste composition]. Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy, 151 – Automation and computer-integrated technologies, Odessa Polytechnic National University MES of Ukraine, Odessa.
7. Zhuchenko, O. A. (2013) Avtomatyzatsiia protsesiv keruvannja ekstruziieu polimernykh materialiv v umovakh zminy rezhymiv funkcionuvannja. Dissertation for obtaining the scientific degree of Candidate of Technical Sciences, 05.13.07 – Automation of management processes, National University of Food Technologies MES of Ukraine, Kiev.
8. Yaroshchuk, L. D. and Tiurina, Y. O. (2020) “Verbal modeling of microprocesses of continuous oil and grease adsorption”, Bulletin of NTUU “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Series “Chemical engineering, ecology and resource saving”, no 2, pp. 78–88. doi: 10.20535/2617-9741.2.2020.208058.
9. Anisimov, I. G., Badyshova, K. M., Bnatov, S. A., et al. (1999). Topliva smazochnye materialy tekhnicheskije zhidkosti Assortiment i primenenie [Fuels, lubricants, technical fluids. Assortment and application], in Shkolnikov, V. M. (Ed.), Tekhinform, Moscow, Russia.
10. Yaroshchuk, L. D. and Tiurina, Y. O. (2021). “Hierarchy of Control Tasks for Continuous Process of Adsorption Regeneration of Lubricants”, Bulletin of Cherkasy State Technological University, no. 2, pp. 49–62. doi: 10.24025/2306-4412.2.2021.239200.
11. Kumje, H. (1990). Statisticheskie metody povyshenija kachestva [Statistical quality improvement methods], Finansy i statistika, Moscow, USSR.
12. Isikava, K. (1988). Japonskie metody kontrolja kachestva [Japanese quality control methods], Jekonomika, Moscow, USSR.