

УДК 665.66:681.51

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

## **КЕРУВАННЯ АДСОРБЦІЙНИМ ВІДНОВЛЕННЯМ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ОЛИВ І МАСТИЛ В УМОВАХ НЕСТАЦІОНАРНОСТЕЙ**

*У різних галузях виробництва та транспорту постійно зростає попит на оливи та мастильні матеріали, які є шкідливими для довкілля складними речовинами, їх виготовлення вимагає суттєвих фінансових витрат. Актуальною задачею є створення систем керування адсорбційним очищенням відпрацьованих олив і мастил, які зможуть забезпечити вимоги до якості їх регенерування в умовах недостатнього інформаційного забезпечення та нестационарності значної кількості характеристик технологічної системи.*

*Виконано аналіз властивостей сировини, адсорбенту та адсорбера з точки зору необхідного і потенційно можливого інформаційного забезпечення.*

*Виокремлено три основні джерела нестационарностей: періодичне надходження нової за властивостями сировини; випадкові зміни властивостей поточної сировини та адсорбенту; поступові зміни робочих поверхонь адсорбера від взаємодії з адсорбентом та адсорбатом. Перше джерело визнано найбільш суттєвим, тому для загального алгоритму керування передбачено дві складові – керування в режимах змінної та сталої сировини (суттєві та не суттєві зміни властивостей сировини відповідно).*

*Для кожного джерела нестационарності запропоновано відповідний блок адаптування для систем керування тиском і температурою в адсорбері з ПІ-регуляторами. Визначено властивості речовин, які будуть використані для корегування завдань регуляторам і параметрів їх налаштування. Створено систему взаємодії окремих блоків адаптування в обох режимах загального алгоритму керування.*

*Для режиму сталої сировини наведено загальний вид передавальних функцій для каналів керування та запропоновано структуру системи адаптивного керування з виконанням поточної ідентифікації моделі каналу керування та перерахунку параметрів налаштування відповідних ПІ-регуляторів.*

*Отримані результати дозволять зменшити тривалість та амплітуди відхилень показників якості регенерованих речовин від заданих значень, що підвищить ефективність роботи системи керування в цілому. Запропоновані методи можна застосувати для тих технологій, де існує проблема стабілізації властивостей вхідних матеріальних потоків, зокрема в технологіях з використанням вторинної сировини.*

**Ключові слова:** олива, мастило, сировина, очищення, регенерування, адсорбція, керування, нестационарність, адаптування.

**DOI: 10.20535/2617-9741.3.2023.288251**

\* Corresponding author: eugenia.turina@gmail.com

Received 24 August 2023; Accepted 14 September 2023

**Постановка проблеми.** Функціонування машин і механізмів потребує застосування різного роду мастильних матеріалів, які є досить вартісними продуктами складних технологій. З року в рік у них зростає потреба і, на жаль, відповідно зростають обсяги цих забруднених матеріалів. Поновлення властивостей та повернення в обіг відпрацьованих олив і мастил – один з актуальних напрямків ресурсозбереження.

Серед відомих способів очищення найбільш перспективними для промислового використання можна вважати неперервні адсорбційні комплекси.

Оливи та мастила характеризують значною кількістю властивостей. Це пов'язано з достатньо складними умовами їх використання та вимогами до експлуатації тих матеріалів, з якими вони контактують.

Однак, складність і багатопараметричність адсорбційних процесів як технологічних об'єктів керування (ТОК), а також нестабільність характеристик забрудненої сировини створюють проблеми з дотриманням вимог до якості очищення.

Проблема багатопараметричності створює проблему узгодженості вимог за всіма властивостями та недостатнього використання технічних засобів автоматизації (ТЗА) для вимірювань у виробничих умовах. На жаль, властивості забруднених олив і мастил значною мірою нестабільні. Зазначені проблеми не дозволяють зупинитися на звичайних одноконтурних автоматичних системах керування (АСК) і вимагають застосування більш складного математичного забезпечення. Дослідження властивостей джерел нестаціонарності сприятиме розумінню того, яка саме інформація потрібна для керування процесами та які потрібні алгоритми обробки цієї інформації для визначення відповідних керувальних впливів. Суттєвим питанням є створення та використання математичних моделей процесів адсорбційного очищення. В умовах нестаціонарності моделі можуть бути або інформаційно насиченими для врахування всіх факторів впливу на ТОК, або спрощеними і зручними для адаптування до нових умов функціонування ТОК.

Створення алгоритмів і систем керування адсорбційним очищенням, призначених для забезпечення заданого рівня очищення відпрацьованих матеріалів в умовах недостатнього інформаційного забезпечення та нестаціонарності значної кількості факторів впливу, є актуальною задачею.

**Аналіз попередніх досліджень.** Адсорбційні технології є перспективним напрямком для очищення різноманітних матеріалів. У [1 – 3] автори виконали аналіз властивостей процесу очищення з позиції основних теоретичних положень адсорбції. Чисельні праці присвячено створенню моделей процесів масообміну і, зокрема, очищення. Так, у [4 – 6] розглядають моделювання багатокомпонентних сумішей, але запропоновані моделі, через їх складність і нестачу апріорної інформації, незручні для використання в системах керування. У [7 – 9] розглянуто різні алгоритми керування, зокрема адаптивне керування в умовах зміни режимів функціонування апарату. Автори в [10] запропонували алгоритм керування адсорбційним очищенням, але для окремого випадку функціонування виробництва – в режимі «Зміна сировини».

Таким чином, наведені праці описують різні підходи до моделювання адсорбційних процесів і алгоритми їх керування, але при цьому залишається проблема придатності отриманих моделей для створення систем керування й універсальність алгоритмів керування в умовах нестаціонарності адсорбції.

**Метою** статті є створення системи керування процесом адсорбції в умовах нестаціонарностей характеристик сировини, адсорбенту й адсорбера, притаманних нормальному режиму функціонування виробництва.

**Виклад основного матеріалу.** Поставлена мета передбачає розв'язування таких задач:

- а) визначення джерел нестаціонарності процесів адсорбційного очищення та типів їх трендів;
- б) створення структури АСК та алгоритмів її роботи, що враховують наявність нестаціонарностей.

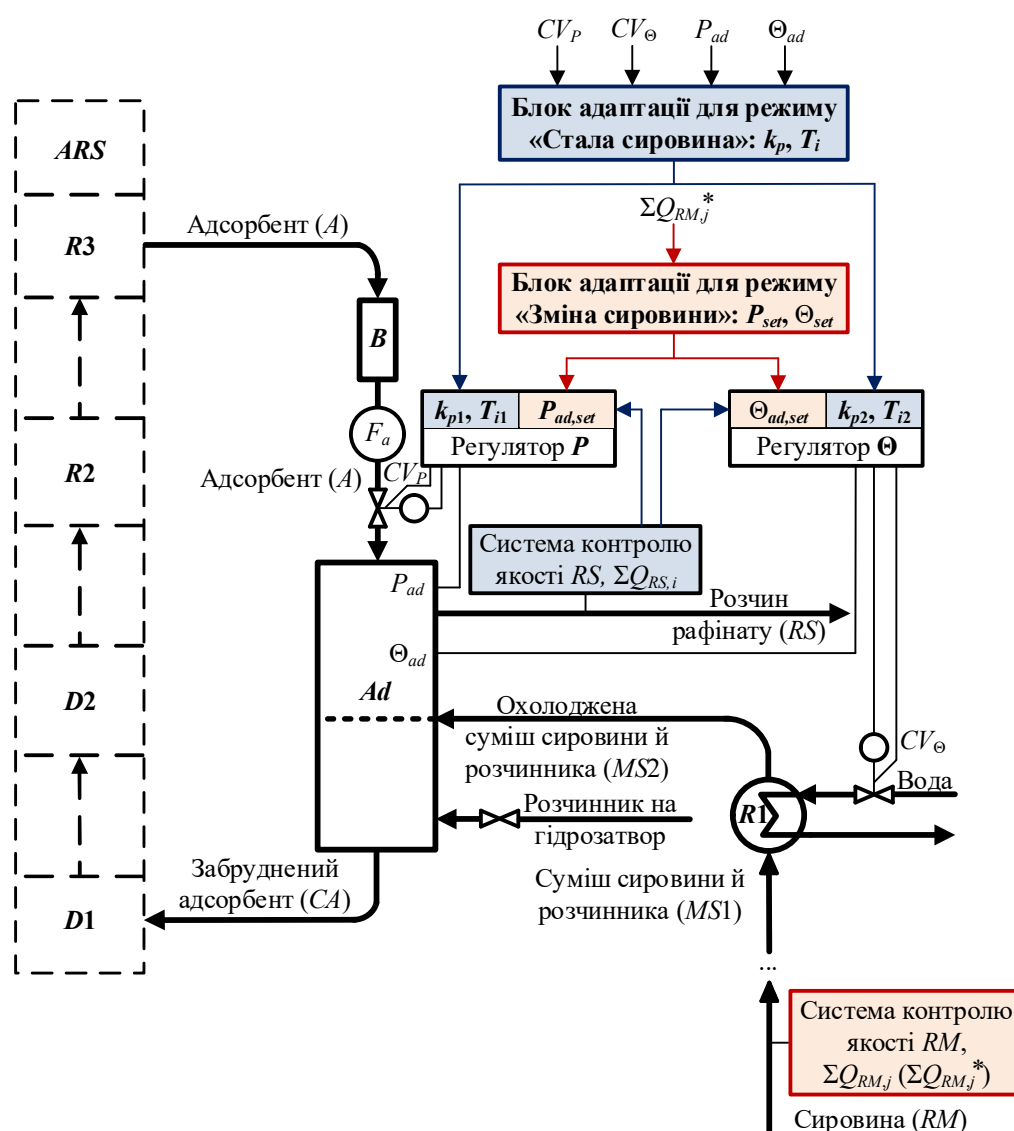
Розглянемо на рис. 1 відділення адсорбційного очищення, в якому здійснюють попередню підготовку сировини (забруднених олив або мастил), яка передбачає змішування з розчинником (на схемі не показано) та охолодження до температури адсорбції в холодильнику ( $R1$ ). Властивості партій сировини можуть відрізнятися одна від одної залежно від джерела їх надходження. Безпосередньо очищення відбувається в адсорбері ( $Ad$ ), в який потоки адсорбенту ( $A$ ) й суміші сировини з розчинником ( $MS2$ ) подають протитечею (адсорбент – зверху апарату, суміш – знизу). Технологія передбачає також відновлення забрудненого адсорбенту ( $CA$ ) – відділення  $ARS$ , в якому послідовно відбуваються етапи десорбції ( $D1$ ), висушування ( $D2$ ), регенерації ( $R2$ ) й охолодження ( $R3$ ) до температури адсорбції. Ці етапи на Рис. 1 наведені схематично. З огляду на вимоги до продукції в системі автоматизації такого виробництва необхідно передбачити системи контролю властивостей речовин, визначальних з позиції отримання продукції належної якості, та систем керування температурою і тиском в адсорбері для нормального функціонування виробництва. До важливих властивостей сировини та рафінату належать, зокрема, концентрації ароматичних вуглеводнів, сірчистих з'єднань, смол.

Джерелами нестаціонарностей процесів адсорбційного очищення можуть бути забруднена сировина, адсорбент та адсорбер. Динаміка саме їх характеристик дає розуміння про типи трендів цих нестаціонарностей. Розглянемо кожне джерело.

**Сировина.** Оливи та мастила є багатокомпонентними матеріалами, їх склад визначають властивості і призначення цільової продукції. При експлуатації вони змінюють свої властивості через накопичення забруднювачів. Тип відпрацьованого мастила відображає як його початковий, так і кінцевий компонентний склад.

Нестабільність властивостей забрудненої оливи або мастила викликана різними факторами, серед яких компонентний склад, ступінь забруднення та характер попередньої експлуатації.

Для оцінювання якості очищеної продукції (рафінату) використовують також цілий комплекс фізико-хімічних властивостей, перелік яких змінюється залежно від її призначення [10].



$Q_{RM,j}$ ,  $Q_{RM,j}^*$  –  $j$ -і показники якості  $RM$  у режимах «Стала сировина» і «Зміна сировини» відповідно;  
 $Q_{RS,i}$  –  $i$ -і показники якості  $RS$ ;  $P_{ad}$ ,  $\Theta_{ad}$  – тиск і температура адсорбції відповідно;  $F_a$  – вимірник витрати адсорбенту;  $ARS$  – відділення відновлення адсорбенту;  $D1$ ,  $D2$ ,  $R2$ ,  $R3$  – десорбція, висушування, регенерація та охолодження адсорбенту відповідно;  $CV_p$ ,  $CV_\Theta$  – ступінь відкриття клапанів регулювання тиску і температури відповідно;  $k_p$ ,  $T_i$  – параметри налаштування регуляторів

Рис. 1 – Фрагмент схеми автоматизації адсорбційного відділення

Властивості сировини залежать від джерел їх надходження. Їх можна вважати нестабільними, тобто такими, що істотно відрізняються від партії до партії [10, 11]. Тому в [10] запропоновано виокремити два режими нормального функціонування: «Стала сировина» і «Зміна сировини».

Розглянемо можливу поведінку властивостей сировини на прикладі концентрації ароматичних вуглеводнів,  $C_{Ah}$ , які є частиною забруднювачів.

Можливі приклади реалізації випадкового процесу адсорбції для концентрації ароматичних вуглеводнів у сировині,  $C_{ah0}$ , та в очищеному продукті,  $C_{ah1}$ , в режимах «Зміна сировини» та «Стала сировина» наведено на рис. 2 та 3 відповідно.

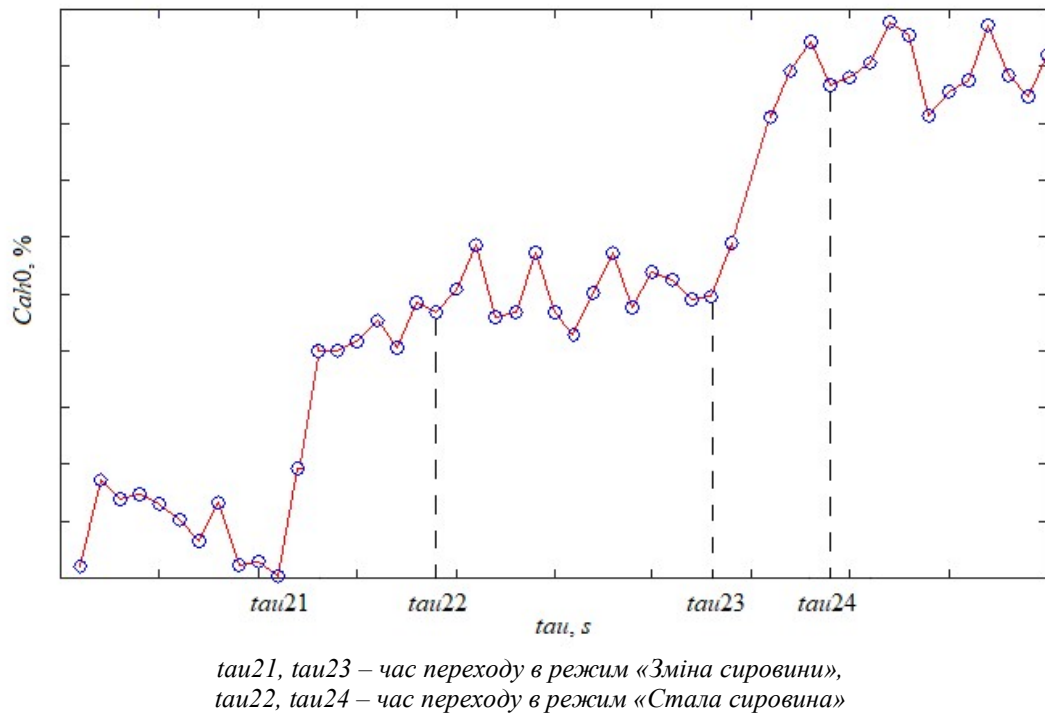


Рис. 2 – Реалізація випадкового процесу адсорбції для концентрації ароматичних вуглеводнів у сировині,  $C_{ah0}$ , в режимах «Зміна сировини» та «Стала сировина»

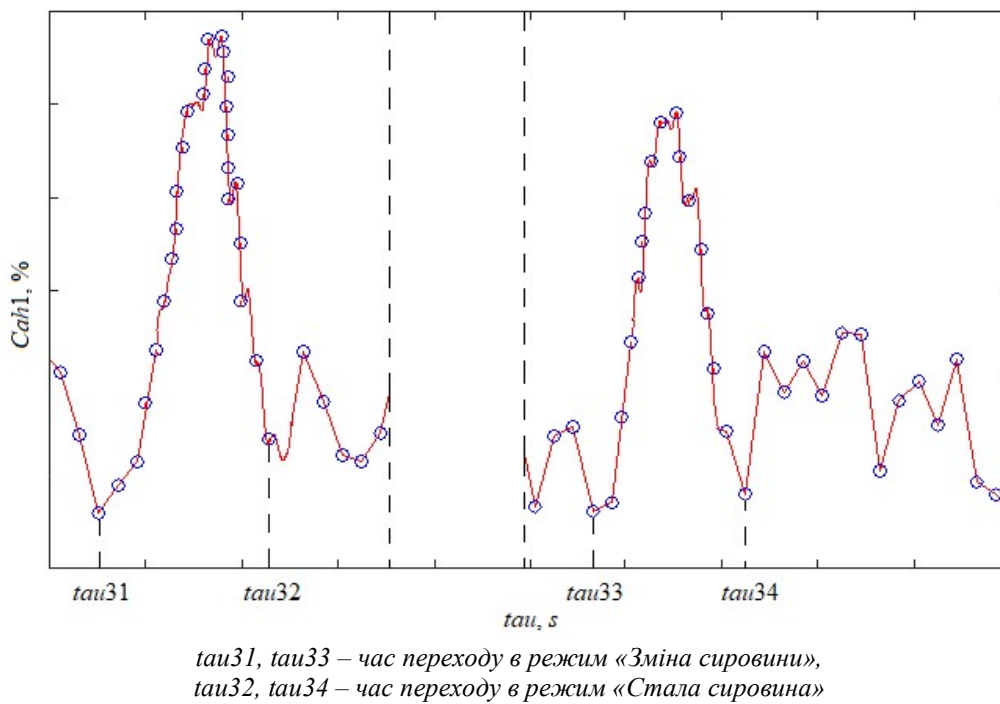


Рис. 3 – Реалізація випадкового процесу адсорбції для концентрації ароматичних вуглеводнів в очищеному продукті,  $C_{ah1}$ , в режимах «Зміна сировини» та «Стала сировина»

З рис. 2 та 3 видно, що тип нестационарностей, пов'язаних із сировиною, в цих двох режимах різний.

**Адсорбент.** Адсорбент неперервно циркулює в технологічних ланках виробництва в такій послідовності: адсорбція, десорбція, стадії підготовки (висушування, регенерація, охолодження) й знову адсорбція.

Характеристиками адсорбенту є, зокрема, ступінь його відновлення, тобто співвідношення між його початковою і кінцевою адсорбційною здатністю (залежить від компонентного складу адсорбенту й особливостей адсорбату – концентрацій ароматичних вуглеводнів, сірки та смол).

При очищенні відпрацьованих олив або мастил використовують синтетичні адсорбенти, зокрема, дрібнопористий алюмосилікатний каталізатор [10, 12], властивості якого змінюються при неперервній циркуляції від адсорбції до процесу охолодження.

На рис. 4 наведено можливий приклад реалізації випадкового процесу для концентрації смол ( $C_{r0}$ ) в адсорбенті на вході адсорбера.

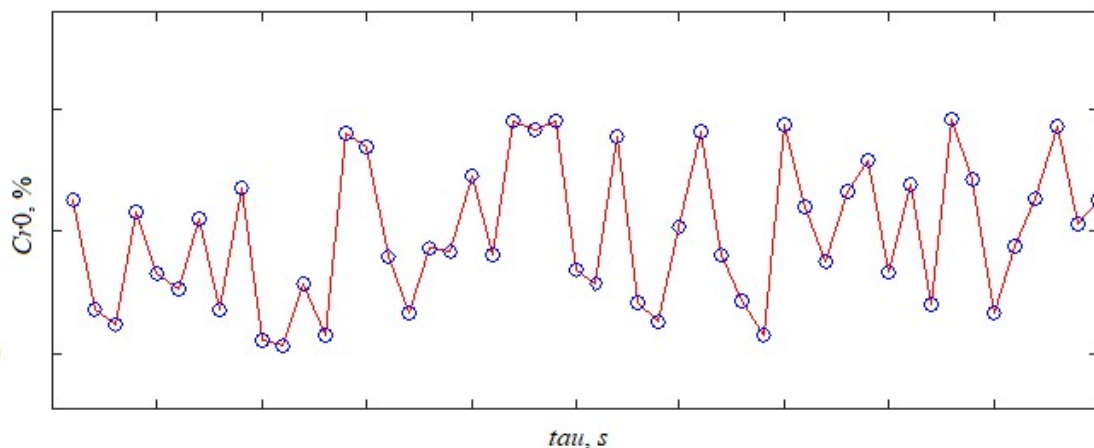


Рис. 4 – Реалізація випадкового процесу для концентрації смол в адсорбенті на вході адсорбера

**Адсорбер.** У технології очищення відпрацьованих олив або мастил використовують розподілені по висоті за зонами (секціями) адсорбери неперервної дії. Зони відокремлені одна від одної розподільними тарілками – трубчастими решітками [12].

Зміни параметрів конструкційних елементів апарату (збурення) можуть бути викликані налипанням речовин на стінках адсорбера, забиванням прохідних перерізів між тарілками та механізмів подачі адсорбенту (форсунок) тощо. Ці збурення знижують показники ефективності процесу очищення сировини та є функціями часу,  $t$ . Показниками можуть бути питомі витрати адсорбенту на одиницю зменшення концентрацій забруднювачів, спеціально визначений узагальнений коефіцієнт ефективності очищення (чи функціонування технологічної системи) тощо, але питання вибору критерію не є задачею цієї публікації.

Зміни в розмірах, конфігураціях і масі конструктивних елементів адсорбера призводять до зміни видів зв'язку в каналах ТОК. Це можна ілюструвати прикладами перехідних характеристик (рис. 5) каналу « $F_a \rightarrow C_{ah1}$ » на різних етапах процесу очищення.

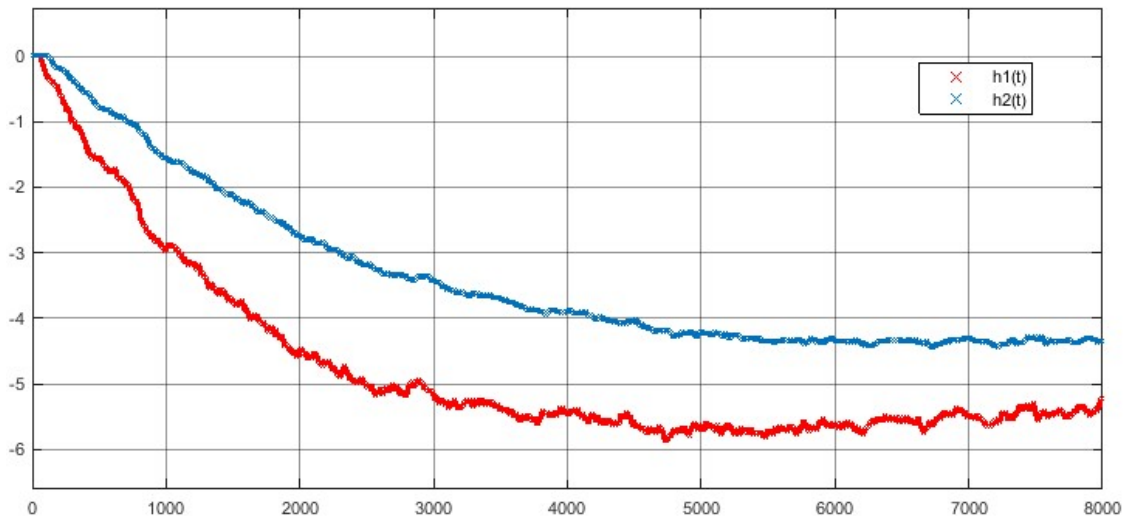
Отже, зміни в часі властивостей сировини, адсорбенту та поверхонь елементів адсорбера розглядатимемо як нестационарні процеси.

Ознайомлення з типами ліній тренду (рис. 2 – 5) дозволяє визначити, які саме математичні і логічні операції треба виконувати в АСК для компенсації впливу нестационарностей на якість керування.

Так, рис. 2 вказує на стрибкоподібну лінію тренду однієї з характеристик (концентрація в адсорбенті ароматичних вуглеводнів,  $C_{ah0}$ ), пов'язаної з надходженням нової сировини (від іншого джерела забруднення).

У режимі «*Стала сировина*» часовими змінами характеристик сировини й адсорбенту можна знехтувати, а зміни властивостей внутрішніх поверхонь адсорбера призведуть до змін властивостей цього апарату з точки зору ТОК. Таке джерело нестационарності вимагає адаптування параметрів налаштування ПІ-регулятора ( $k_{p1}$ ,  $T_{i1}$ ) АСК тиску в адсорбенті (тут і далі для спрощення тексту називатимемо тільки цю АСК). Корегування вказаних параметрів в тій або іншій мірі потрібне і при зміні складу сировини, оскільки різні хімічні елементи

по-різному адсорбуються. Склад забруднювачів, вважаємо, стосується головним чином  $k_{p1}$ . Різноманіття алгоритмів адаптації АСК дозволяє вибрати найбільш ефективну пару  $k_{p1}, T_{i1}$ .



$h_1(t), h_2(t)$  – перехідні характеристики, визначені для раннього та пізнього етапів перебігу очищення відповідно

Рис. 5 – Графіки перехідних характеристик каналу керування

На рис. 6 наведено схему зв'язків між конкретним типом нестационарності і задачами (блоками) адаптації.

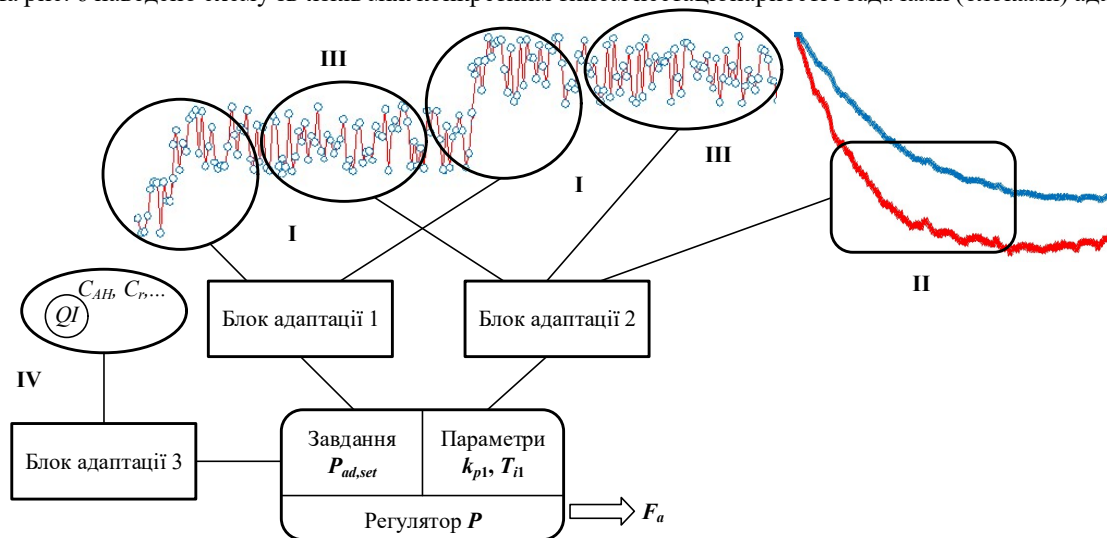


Рис. 6 – Схема зв'язків між конкретною нестационарністю і задачами адаптації

З рис. 6 видно, що в системі керування тиском передбачено три блоки адаптації.

**Блок адаптації 1** (БА1), пов'язаний з позиціями I, діє в режимі «Зміна сировини». На час надходження нової сировини регулятор АСК тиску в адсорбері має завдання (уставку),  $P_{ad,set}$ , яке відповідає тиску для попередньої сировини. Невідповідність тисків викличе погіршення умов адсорбції для нової сировини. Отже, це джерело нестационарності викликає необхідність завчасного корегування  $P_{ad,set}$ . Описаний в [10] алгоритм роботи БА1 системи керування базується на застосуванні уставки  $P_{ad,set}$ , що мала місце раніше при очищенні сировин, які за хімічним складом були близькі (але не тотожні) до нової сировини. Цей алгоритм передбачає пошук аналогів нової партії сировини в спеціально створеній базі даних (БД).

Однак ефективний з точки зору швидкості визначення уставки, цей алгоритм має недолік, а саме, він стосується лише аналогів, а не саме нової сировини. Тому  $P_{ad,set}$  потребує уточнення (див. опис до БА3).

Під час роботи БА1 треба припинити корегування  $P_{ad,set}$  за результатами вимірювання властивостей очищеної речовини (рафінату).

**Блок адаптації 2 (БА2)** діє в режимі «*Стала сировина*» (позиції II та III). Його призначення – поточна ідентифікація динамічних властивостей адсорбційного очищення як ТОК і наступне корегування параметрів регулятора  $k_{p1}, T_{i1}$ .

**Блок адаптації 3 (БА3)** діє в режимі «*Стала сировина*» (позиція IV). Блок призначений для уточнення отриманої в БА1 уставки  $P_{ad,set}$  (на основі аналогів), яке відбувається шляхом поновлення корегувальних впливів на регулятор від вимірювачів показників якості очищеного продукту. Тільки після цього в БД вносять новим окремим записом дані про властивості нової сировини та відповідний  $P_{ad,set} (RM - P_{ad,set})$ .

Враховуючи, що аналітичну математичну залежність  $P_{ad,set} = \psi(RM)$  з об'єктивних виробничих причин визначити неможливо, для корегування  $P_{ad,set}$  у БА3 пропонується використати нечіткі моделі й *fuzzy logic*.

Тобто БА1 та БА3 треба реалізовувати не одночасно.

З рис. 6 зрозуміло, що БА1 і БА3 призначені для корегування уставки, а БА2 – параметрів налаштування ПІ-регулятора.

На Рис. 1 блоки БА2 і БА3 об'єднані в один узагальнювальний «Блок адаптації для режиму «*Стала сировина*», БА1 для однотипності термінології отримав назву «Блок адаптації для режиму «*Зміна сировини*». Рис. 1 дозволяє усвідомити необхідні інформаційні зв'язки в системі автоматизації, що зменшать час та значення відхилення від заданих властивостей рафінату впродовж неперервної експлуатації обладнання.

При виборі типу адаптивної АСК (АДАСК) для режиму «*Стала сировина*» потрібно прийняти до уваги особливості функціонування ТОК, властивості інформаційних потоків та можливості існуючих ТЗА.

Зазначені аспекти пов'язані, зазвичай, з неповнотою апріорної та поточної інформації стосовно:

- зовнішніх впливів (як корисних, так і збурювальних);
- виду (для поточної ідентифікації – параметрів) моделей ТОК;
- сукупності п. а та п. б.

З опису технології та аналізу джерел нестаціонарностей, притаманних описаному виробництву, зрозуміло, що необхідність адаптування відповідає п. в.

Наразі розв'язання задач нестаціонарності на основі адаптивного керування забезпечено вже цілою низкою алгоритмів, достатньо опрацьованими теоретично і перевіреними практично. Існує достатньо ідей щодо реалізації адаптивного керування, які об'єднують за різними класифікаційними ознаками [13, 14]. Результати застосування певного алгоритму залежать від врахування в ньому особливостей технологічних процесів.

При виборі типу АДАСК до уваги була взята потреба у поточній моделі ТОК для інших задач контролю та керування, зокрема для аналізу і прогнозування перебігу процесів.

Тому для керування очищенням в режимі «*Стала сировина*» обрано адаптивну систему керування ідентифікаційного типу. Алгоритм керування в такому випадку передбачає використання поточної моделі каналу керування, яку будуть ідентифікувати реальній поведінці каналу ТОК та використовувати для корегування параметрів налаштування регулятора.

У [15] обґрунтовано структуру імітаційної моделі ТОК за каналом «Витрата адсорбенту,  $F_a \rightarrow$  Концентрація  $C_{ah1}$ ».

Як початкову використаємо таку ж структуру моделі за каналом «Витрата адсорбенту,  $F_a \rightarrow$  Тиск в адсорбері,  $P_{ad}$ »:

$$W_2(s, t) = k_{22}(t) e^{-\tau_2 s} / (T_{22}(t) s^2 + T_{12}(t) s + 1), \quad (1)$$

де  $k_{22}(t)$ ,  $\tau_2$ ,  $T_{22}(t)$ ,  $T_{12}(t)$  – коефіцієнт передачі, транспортне запізнювання та сталі часу відповідно.

Скористаємось також структурою залежностей  $k_{22}(t)$ ,  $T_{22}(t)$ ,  $T_{12}(t)$  від умов перебігу процесу адсорбції (режимних параметрів  $P_{ad}$ ,  $\Theta_{ad}$ ) та з метою узагальнення математичних виразів для АДАСК запишемо (1), замінивши традиційні для передавальних функцій позначення на позначення, притаманні алгебраїчним рівнянням:

$$W_2(s, t) = [b_{10}(t) + b_{11}(t) e^{b_{12}(t)\Theta_{ad}} + b_{13} P_{ad}^{b_{14}(t)}] e^{-\tau_2 s} / [b_{22}(t) s^2 + b_{21}(t) s + 1]. \quad (2)$$

З (2) отримаємо  $W_2(s, t)$ , як функцію від векторів параметрів та  $\Theta_{ad}$ ,  $P_{ad}$

$$W_2(s, t) = \varphi[\mathbf{B}_1(t), \mathbf{B}_2(t), \Theta_{ad}, P_{ad}], \quad (3)$$

де  $\mathbf{B}_1(t)$ ,  $\mathbf{B}_2(t)$  – вектори параметрів у чисельнику та знаменнику передавальної функції каналу керування « $F_a \rightarrow P_{ad}$ » відповідно.

За результатами роботи промислового об'єкта може бути прийнято рішення щодо спрощення моделей за каналами керування.

На рис. 7 наведено структурну схему АДАСК  $P_{ad}$  для режиму «Стала сировина» з ідентифікацією моделі ТОК

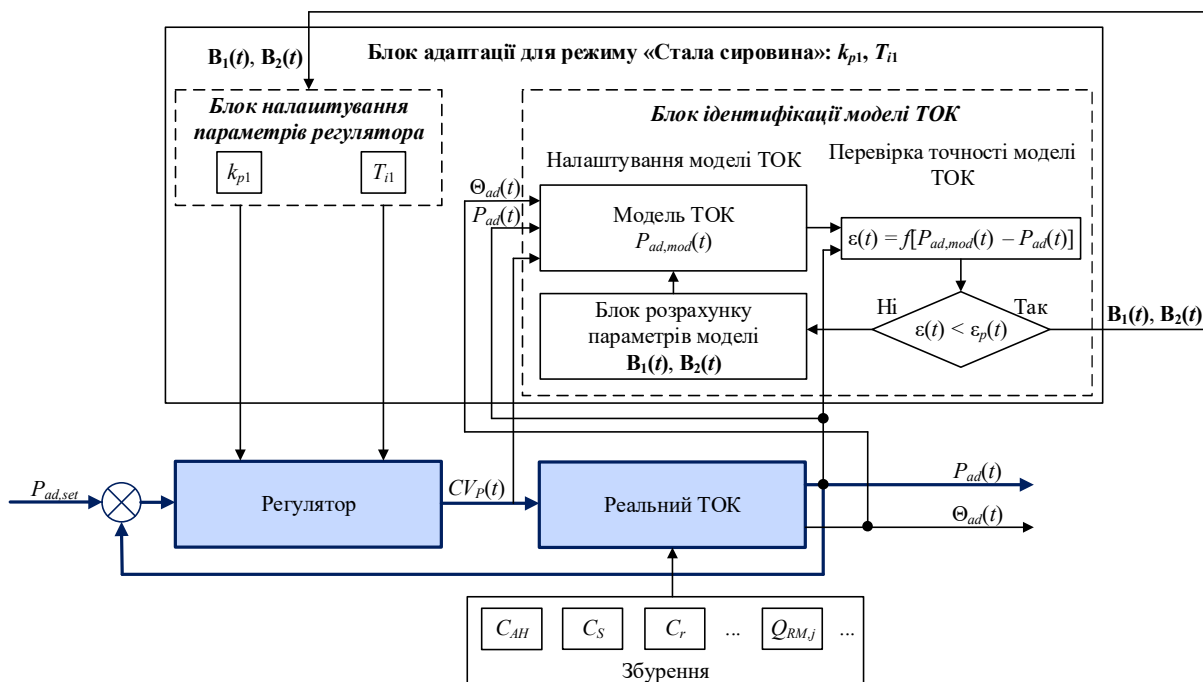


Рис. 7 – Структурна схема АДАСК  $P_{ad}$  для режиму «Стала сировина» з ідентифікацією моделі ТОК

Враховуючи об'єктивну причину певної періодичності зміни режимів адсорбційного очищення, система автоматизації повинна забезпечити відповідну логіку алгоритму керування. Рис. 8 ілюструє потрібну черговість активації/деактивації блоків адаптації, яка забезпечує дотримання цієї логіки.

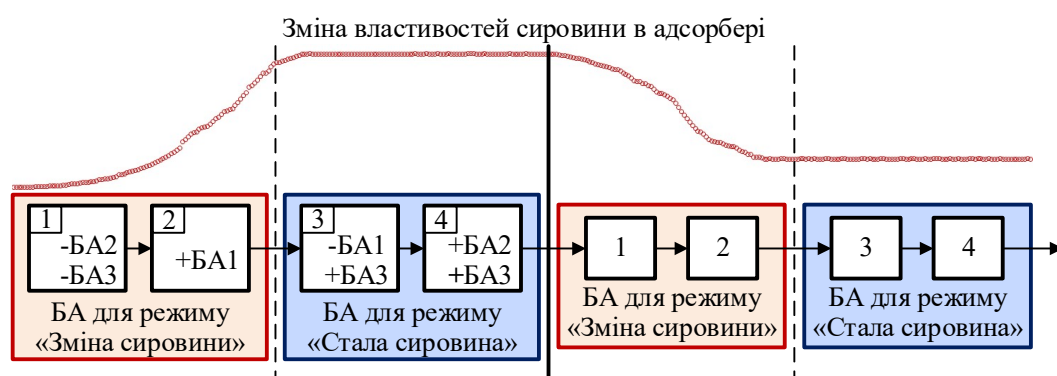


Рис. 8 – Схема відповідності робочих циклів очищення партій сировини й активування блоків адаптації



**Висновки та обговорення.** У статті досліджено особливості перебігу процесів адсорбційного очищення, пов'язані з наявністю та типом трендів характеристик матеріальних потоків і конструктивних елементів адсорбера.

Предметом дослідження було створення системи автоматизації процесом адсорбції, яка б дозволяла реалізовувати неперервне автоматичне керування очищенням при будь-якому типі нестационарності чи їх комплексі.

Дослідження дало такі результати:

- з'ясовано, що за часом виникнення та характером прояву можна виділити три джерела нестационарностей;

- визначено задачі адаптації системи керування для кожного прояву нестационарності; запропоновано уведення трьох відповідних структурно-функціональних елементів АСК (блоки адаптації 1-3), які повинні реалізовувати відповідні задачі;

- запропонована адаптивна система керування тиском в адсорбері на основі поточної ідентифікації моделі каналу керування;

- на основі специфічних БА1 – БА3 створено комплексні блоки адаптації режимів «Стала сировина» та «Зміна сировини», сукупність яких дозволить неперервно підтримувати якість очищення для неперервного виробництва.

Наукова новизна дослідження полягає в наступному: виокремлено типи нестационарності, які потребують різних способів керування; визначено способи обробки інформації для кожного типу нестационарності і визначення керувальних впливів, які спрямовані на задані показники очищення сировини; створено спосіб керування процесом очищення відпрацьованих олив і мастил, який передбачає виконання корегування параметрів ПІ-регулятора та його уставки в режимах «Стала сировина» та «Зміна сировини», при цьому в режимі «Стала сировина» корегування параметрів передбачено на основі поточної ідентифікації моделі каналу керування.

Реалізація запропонованого способу керування підвищить ефективність очищення за рахунок більш оперативного визначення й нанесення потрібних керувальних впливів у відповідь на прояви нестационарностей технологічної системи.

У статті висвітлені питання, пов'язані з автоматизацією виробництва з регенерації цінних але збіднених у процесі їх використання речовин. Тематика ресурсозбереження при постійному зменшенні природних ресурсів стає однією з найважливіших тем для вдосконалення систем керування, а тому отримані результати і пропозиції можуть бути з користю застосовані в інших виробництвах для регенерації відходів.

**Перспективи подальших досліджень.** Отримані результати щодо визначення джерел, показників та типів нестационарності процесів очищення олив і мастил, а також використання окремих блоків і в цілому структур АдАСК режимними параметрами в адсорбері свідчать про те, що наступними кроками в автоматизації виробництва повинні бути обґрунтування та імплементація методів поточної ідентифікації в АдАСК тиску та температури, корегування уставок регуляторів АдАСК за властивостями рафінату, а також узгодження в часі окремих алгоритмів адаптивного керування.

#### **Список використаної літератури**

1. Сабадаш В. В. Теоретичні основи сорбційних процесів на природних та синтетичних сорбентах: дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук: 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології / Віра Василівна Сабадаш; Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2019. 474 с.
2. Wu X., Ma H., Zhang L. and Wang F. Adsorption properties and mechanism of mesoporous adsorbents prepared with fly ash for removal of Cu (II) in aqueous solution // Applied Surface Science. 2012. Vol. 261. P. 902-907. DOI: 10.1016/j.apsusc.2012.08.122.
3. Корж Є. О. Сорбція та біосорбція фармацевтичних речовин на активованому вугіллі для ефективного їх вилучення з води: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата хімічних наук: 21.06.01 – екологічна безпека / Корж Євген Олександрович; НАН України, Ін-т колоїд. хімії та хімії води ім. А. В. Думанського. Київ, 2017. 147 с.
4. Alagappan B. Assessing Different Zeolitic Adsorbents for their Potential Use in Kr and Xe Separation. Master of Science Thesis // UNLV Theses, Dissertations, Professional Papers, and Capstones, 1967. 2013. DOI: 10.34917/5363849.
5. Wanigarathna, J. A. D. K. Adsorption-based fluorocarbon separation in zeolites and metal organic frameworks. Doctoral thesis, Nanyang Technological University, Singapore. 2018. doi: 10.32657/10356/75807, URL: <http://hdl.handle.net/10356/75807>.
6. Іваненко І. М., Донцова Т. А., Феденко Ю. М. Адсорбція, адсорбенти і каталізатори на їх основі : підручник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 232 с.

7. Матвейкин В. Г., Ишин А. А., Скворцов С. А., Дворецкий С. И. Автоматизация процесса адсорбционного разделения газовых смесей и получение водорода // Вестник ТГТУ. 2017. Том 23, вып. 4. С. 548 – 556. doi: 10.17277/vestnik.2017.04.pp.548-556.
  8. 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.
  9. Жученко О. А. Автоматизація процесів керування екструзією полімерних матеріалів в умовах зміни режимів функціонування: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.13.07. Київ, 2013. 20 с.
  10. Ярошук Л. Д., Тюріна Є. О., Моделювання та керування адсорбційним очищенням оливи та мастил у режимі зміни сировини // Вісник НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2022. Вип. 3. С. 56 – 68, 2022. doi: 10.20535/2617-9741.3.2022.265361.
  11. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення. Книга 2. Системи забезпечення якості паливо-мастильних матеріалів / Чабанний В. Я. та ін.; під редакцією Чабанного В. Я. Кіровоград: Кіровоградський національний технічний університет, 2008. 500 с.
  12. Schönbacher A. Thermische Verfahrenstechnik: Grundlagen und Berechnungsmethoden für Ausrüstungen und Prozesse. Berlin: Springer, 2002. P. 1030.
  13. Мовчан А. П., Степанець О. В. Адаптивні та параметрично-оптимальні системи управління: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2011. 108 с.
  14. Попович М. Г., Ковальчук О. В. Теорія автоматичного керування: підручник, 2-ге вид., перероб. і доп. Київ: Либідь, 2007. 656 с.
  15. Yaroshchuk L., Tiurina Y. Simulation of the Industrial Oil Adsorption Purification Process for Automation Tasks // Modelling and Simulation in Engineering, 2022. Vol. 2022. Article ID 2738654, 13 pages. doi: 10.1155/2022/2738654.
  16. Бильфельд Н. В. Пассивная идентификация объектов управления средствами TOOLBOX IDENT // *Juvenis scientia*. 2016. № 3. С. 4 – 7. URL: [https://docs.wixstatic.com/ugd/1b55c8\\_acffc56071e74fbaa4f67ee440d7892d.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/1b55c8_acffc56071e74fbaa4f67ee440d7892d.pdf).
- 

***Liudmyla Yaroshchuk, Yevheniia Tiurina***

#### **CONTROL OF OILS AND GREASES ADSORPTIVE RECOVERY IN CONDITIONS OF NON-STATIONARITY**

*In various fields of production and transport, the demand for oils and greases, which are complex substances harmful to the environment, is constantly growing, and their production requires significant financial costs.*

*An actual task is the creation of control systems for adsorptive purification of used oils and greases, which will be able to meet the requirements of their regeneration quality in conditions of insufficient information provision and non-stationarity of a significant number of characteristics of the technological system.*

*The analysis of properties of raw materials, adsorbent and adsorber from the point of view of the necessary and potentially possible information support was carried out.*

*Three main sources of non-stationarity are singled out: periodic arrival of raw material with new properties; random changes in properties of current raw materials and adsorbent; gradual changes of the working surfaces of the adsorber due to interaction with adsorbent and adsorbate. The first source is recognized as the most significant, therefore, two components are provided for the general control algorithm – control in the modes of variable and stable raw materials (significant and non-significant changes in properties of raw materials, respectively).*

*For each source of non-stationarity, a corresponding adaptation block for pressure and temperature control systems in adsorber with PI-controllers is proposed. The properties of the substances that will be used to correct controllers tasks and their setting parameters have been determined. A system of individual adaptation blocks interaction in both modes of the general control algorithm has been created.*

*For the stable raw materials mode, general view of transfer functions for control channels is given and the adaptive control system structure is proposed with implementation of current identification of the control channel model and calculation of the corresponding PI-controllers setting parameters.*

*The obtained results will allow to reduce duration and amplitudes of quality indicators deviations of regenerated substances from the set values, which will increase control system efficiency as a whole. The proposed methods can be applied to those technologies where there is a problem of stabilizing properties of input material flows, in particular, in technologies using secondary raw materials.*

**Keywords:** *oil, grease, raw material, purification, regeneration, adsorption, control, non-stationarity, adaptation.*

### References

1. Sabadash, V. V. (2019), “*Teoretychni osnovy sorbtsiinykh protsesiv na pryrodnykh ta syntetychnykh sorbentakh*” [Theoretical bases of sorption processes on natural and synthetic sorbents], dissertation for obtaining scientific degree of the doctor of technical sciences: 05.17.08 – processes and the equipment of chemical technology, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine.
2. Wu, X., Ma, H., Zhang, L. and Wang, F. (2012), “Adsorption properties and mechanism of mesoporous adsorbents prepared with fly ash for removal of Cu (II) in aqueous solution”, *Applied Surface Science*, vol. 261, pp. 902–907. doi: 10.1016/j.apsusc.2012.08.122.
3. Korzh, Ye. O. (2017), “*Sorbtsiia ta biosorbtsiia farmatsevtichnykh rehovyn na aktyvovanomu vuhilli dlia efektyvnoho yikh vyluchennia z vody*” [Sorption and biosorption of pharmaceutical substances on activated carbon for their effective extraction from water], dissertation for obtaining scientific degree of the candidate of chemical sciences: 21.06.01 – ecological safety, The National Academy of Sciences of Ukraine, A. V. Dumanskyi Institute of Colloid Chemistry and Water Chemistry, Kyiv, Ukraine, 2017.
4. Alagappan, B. (2013), “Assessing Different Zeolitic Adsorbents for their Potential Use in Kr and Xe Separation”, UNLV Theses, Dissertations, Professional Papers, and Capstones. doi: 10.34917/5363849.
5. J. A. D. K. Wanigarathna (2018), “Adsorption-based fluorocarbon separation in zeolites and metal organic frameworks”. Doctoral thesis, Nanyang Technological University, Singapore. doi: 10.32657/10356/75807, URL: <http://hdl.handle.net/10356/75807>.
6. Ivanenko, I. M., Dontsova, T. A. and Fedenko, Yu. M. (2018), “*Adsorbtsiia, adsorbenty i katalizatory na yikh osnovi*” [Adsorption, adsorbents and catalysts based on them], Igor Sikorsky KPI, Kyiv, Ukraine.
7. Matvejkin, V. G., Ishin, A. A., Skvorcov, S. A. and Dvoreckij, S. I. (2017), “Automation of the process of adsorption separation of gas mixtures and hydrogen production”, *Proceedings of TSTU*, vol. 23, no. 4, pp. 548–556. doi: 10.17277/vestnik.2017.04. pp. 548–556.
8. Butenko, O. V. (2021). “*Avtomatyzovana systema keruvannia ustanovkoiu pirolizu na osnovi identyfikatsii skladu tverdykh pobutovykh vidkhodiv*” [Automated pyrolysis plant control system based on identification of municipal solid waste composition], dissertation for obtaining scientific degree of Doctor of Philosophy, 151 – Automation and computer-integrated technologies, Odessa Polytechnic National University MES of Ukraine, Odessa.
9. Zhuchenko, O. A. (2013) “*Avtomatyzatsiia protsesiv keruvannia ekstruziieiu polimernykh materialiv v umovakh zminy rezhymiv funktsionuvannia*” [Automation of polymer material extrusion control processes under conditions of changing operating modes], dissertation abstract for obtaining scientific degree of Candidate of Technical Sciences, 05.13.07 – Automation of management processes, National University of Food Technologies MES of Ukraine, Kyiv.
10. Yaroshchuk, L. D. and Tiurina, Y. O. (2022). Modeling and control of oils and greases adsorptive purification in the changing raw materials mode. *Bulletin of NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Series «Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving», (3)*, pp. 56–68. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.3.2022.265361>.
11. Chabannyi, V. Ya., Mahopets, S. O., Osypov, I. M., Aulin, V. V., Mazheika, O. Y., Solovykh, Ye. K., Pavliuk-Moroz, V. A., Popov, H. A. and Katerynych, S. Ye. (2008). *Palyvo-mastylni materialy, tekhnichni ridyny ta systemy yikh zabezpechennia. Knyha 2. Systemy zabezpechennia yakosti palyvo-mastylnykh materialiv* [Fuels, lubricants, technical fluids and their supply systems. Book 2. Fuel and lubricant quality assurance systems], in Chabannyi, V. Ya. (Ed.), Kirovohrad National Technical University, Kirovohrad, Ukraine.
12. Schönbacher, A. (2002). *Thermische Verfahrenstechnik: Grundlagen und Berechnungsmethoden für Ausrüstungen und Prozesse* [Thermal process engineering: basics and calculation methods for equipment and processes], Springer, Berlin, Germany.
13. Movchan, A. P. and Stepanets, O. V. (2011). *Adaptyvni ta parametrychno-optymalni systemy upravlinnia* [Adaptive and parametrically optimal control systems], NTUU “KPI”, Kyiv, Ukraine.
14. Popovych, M. H. and Kovalchuk, O. V. (2007). *Teoriia avtomatychnoho keruvannia* [Automatic control theory], Lybid, Kyiv, Ukraine.
15. Yaroshchuk L. and Tiurina Y. (2022). “Simulation of the Industrial Oil Adsorption Purification Process for Automation Tasks”, *Modelling and Simulation in Engineering*. Vol. 2022. Article ID 2738654, 13 pages. doi: 10.1155/2022/2738654.
16. Bil'fel'd, N. V. (2016). *Passivnaja identifikacija objektov upravlenija sredstvami TOOLBOX IDENT* [Passive identification of control objects using TOOLBOX IDENT], *Juvenis scientia*, no 3, pp. 4 – 7. URL: [https://docs.wixstatic.com/ugd/1b55c8\\_acffc56071e74fbaa4f67ee440d7892d.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/1b55c8_acffc56071e74fbaa4f67ee440d7892d.pdf).