
УДК.681.513.2

Рязанцев О. І.¹, Кардашук В. С.²

¹Канд. техн. наук, завідувач кафедри Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля, м. Сєвєродонецьк

²Канд. техн. наук, старший викладач Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля, м. Сєвєродонецьк

МЕТОДИ ТА ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ АЕРОЗОЛЬНОГО НАНОКАТАЛІЗУ

Запропоновано методи керування процесом аерозольного нанокаталізу з використанням сучасних програмно-технічних засобів. Проведено декомпозицію об'єкта керування на підсистеми. Визначено основні задачі автоматизації керування за рахунок підтримки значень змінних – температури, частоти вібрації, амплітуди коливань реактора, компенсації збурень в заданих межах.

Ключові слова: аерозольний нанокаталіз, параметри, підсистеми, динамічне програмування, програмно-технічні засоби.

ВСТУП

Проблема науково обґрунтованого підходу при проектуванні систем автоматизації керування (САК) складними хіміко-технологічними процесами, впровадження методів і алгоритмів керування технологічним процесом аерозольного нанокаталізу для знешкодження широкого спектру відходів хлорорганічного синтезу є актуальною задачею в зв'язку з високими темпами накопичення промислових відходів хімічних виробництв [1].

Актуальність питання знешкодження широкого спектру відходів хлорорганічного синтезу викликана тим фактором, що хімічні сполуки, які утворюються в результаті промислової діяльності, негативно впливають на стан екологічної безпеки і здоров'я людини.

Метою даної статті є аналіз параметрів технологічного процесу аерозольного нанокаталізу, функцій системи автоматизації, обґрунтування та вибір методів керування, оптимізації в підсистемах технологічного процесу та програмно-технічних засобів для їх реалізації.

Дослідження теоретичних основ процесів хімічної технології, широке застосування програмно-технічних засобів (ПТЗ) створюють умови для переходу на якісно нові методи аналізу та проектування системи керування складними хіміко-технологічними процесами. При цьому зменшуються витрати на створення проміжних, дослідно-конструкторських установок, збільшується надійність та екологічна безпека проектних рішень.

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ АЕРОЗОЛЬНОГО НАНОКАТАЛІЗУ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ

З метою розробки методів керування здійснено дослідження кінетики процесу аерозольного нанокаталізу, що проводився в трубчатому безградієнтному каталітичному віброреакторі в газовій фазі. Нагрів реакційного об'єму лабораторної установки проводився електричним нагрівачем (рис. 1).

Для визначення основних характеристик процесу аерозольного нанокаталізу в реактор подавався діхлоретан (ДХЕ – хімічна формула $C_2H_4Cl_2$) як один з основних компонентів відходів виробництва вінілхлориду [2].

При проведенні експериментів проводились дослідження впливу температури, концентрації каталізатора, частоти коливань реактора на процес роз-

кладу ДХЕ. З метою більш глибокого розуміння процесів, що проходять в реакторі, був проведений термодинамічний аналіз основних реакцій, що дозволив виявити умови ефективного здійснення даного процесу і якісно зв'язати весь хлор сировини в хлористий водень.

Встановлено, що температура, співвідношення реагентів, концентрація каталізатора, значення вібрації дозволяють керувати кінетикою процесу. В результаті досліджень отримано залежність швидкості реакції розкладу ДХЕ від частоти коливань реактора (рис. 2).

Дослідження процесу аерозольного нанокаталізу показали, що з перебігом часу склад вихідних газів не змінюється. Це свідчить про те, що процес аерозольного нанокаталізу стійкий з перебігом часу і активність каталізатора не зменшується, а також дозволили визначити значення константи швидкості

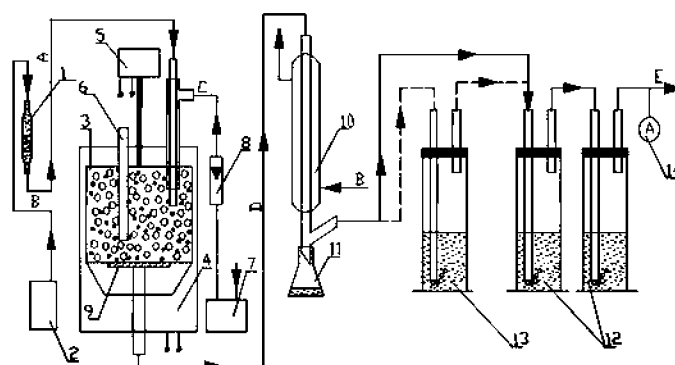


Рис. 1. Структурна схема лабораторної установки аерозольного нанокаталізу:

1 – воронка; 2 – дозатор; 3 – реактор; 4 – електрична пічка; 5 – магнітний пристрій; 6 – карман для термопари; 7 – компресор; 8 – ротаметр; 9 – фільтр; 10 – водяний холодильник; 11 – приймач конденсату; 12 – барботери; 13 – барботер для відбору проб на HCl і Cl_2 ; 14 – точка відбору газових проб, А – 1,2-діхлоретан; В – вода; С – повітря; D – продукти реакції; Е – в атмосферу

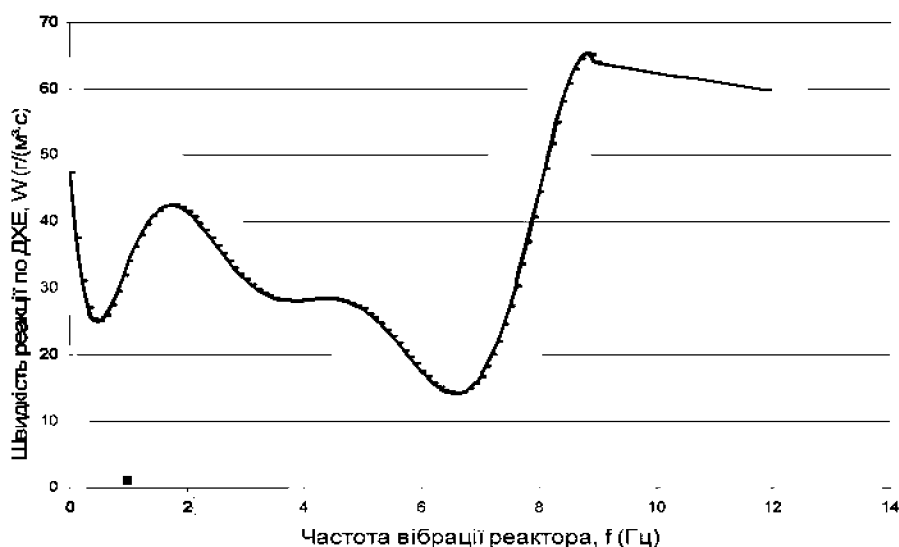


Рис. 2. Залежність швидкості реакції від частоти вібрації реактора

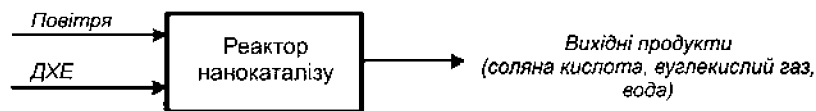


Рис. 3. Матеріальні потоки процесу аерозольного нанокаталізу

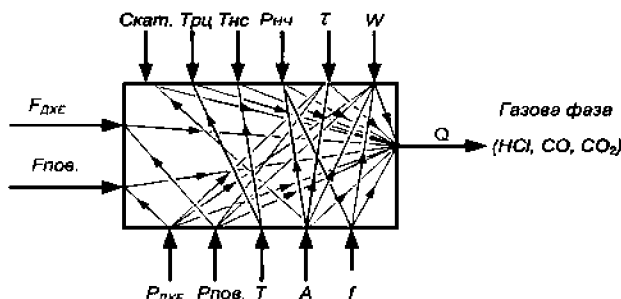


Рис. 4. Параметри процесу аерозольного нанокаталізу

і енергію активації (E) при концентрації каталізатора $2,4 \text{ г/м}^3_{\text{р.об.}}$. Значення енергії активації склало $71,2 \text{ кДж/моль}$. При таких параметрах процес протікає в кінетичній області. Важливо, що в продуктах реакції не виявлено молекулярного хлору.

Екологічна безпека тісно пов'язана з безпекою функціонування хімічно небезпечних об'єктів і залежить від багатьох факторів: надійності систем автоматизації, протиаварійного захисту та ін. Огляд літератури показав, що автоматизація процесів нанохімічних технологій знаходиться на початковому етапі свого розвитку.

Аналіз процесу аерозольного нанокаталізу дозволив провести структурну декомпозицію матеріальних потоків (рис. 3).

Виходячи з рівняння матеріального балансу хімічної реакції, що проходить в реакторі нанокаталізу, розраховано питому вагу кожного компонента в процентному відношенні, яка складає для вхідних продуктів – ДХЕ – 55 %, кисню – 45 %, вихідних продуктів – вуглекислого газу – 49 %, соляної кислоти – 40 %, води – 11 %.

Протікання реакторних процесів характеризується швидкістю реакції (W) і ступенем перетворення початкової сировини в продукти реакції (x_a). На ці показники впливають концентрація реагентів, температура всередині реактора, активність каталітичної системи (каталізатор і скляні кульки), вібрація та ін. Метою керування є одержання заданого складу вихідних продуктів шляхом впливу на ці параметри.

З метою повного використання реагентів в реакторі підтримувалось задане співвідношення їх витрат. При незначній зміні завантаження реактора за допо-

могою САК забезпечувались витрати реагентів, що подаються в реактор.

Як підкреслено в [2], швидкість гетерогенних реакцій пропорційна величині поверхні дотику реагентів. Виходячи з цього, можна зробити висновок, що вібрація в процесі аерозольного нанокаталізу відіграє ключову роль і є предметом подальших досліджень.

Вплив частоти вібрації як пріоритетної змінної керування на швидкість процесу аерозольного нанокаталізу пояснюється зміною активності частинок каталізатора та реагентів. Вібраційним впливом вирішуються дві задачі процесу: активація поверхні та запобігання спіканню каталізатора. Фактично при зміні частоти коливань з'являються нові властивості поверхні каталізатора та активності наночасток [3].

Таким чином, побічний вплив на розмір наночасток здійснюється через температуру, частоту, амплітуду вібрації та співвідношення реагентів. Вплив факторів збурення – концентрації каталізатора, розміру наночасток – є предметом подальших досліджень в області нанокаталізу та нанотехнологій.

В роботі [4] запропоновано метод вирішення задачі контролю за станом об'єкта в умовах невизначеності щодо запасів каталізатора за допомогою теорії нечітких множин та обробки нечіткої інформації в системах прийняття рішень.

На основі проведеного аналізу зроблено висновок, що розглянутий процес є складним багатозв'язним об'єктом керування. Виділено основні групи параметрів, що визначають хід процесу та характеризують його стан (рис. 4) [5].

Проведений аналіз дозволив виділити такі групи параметрів:

а) вхідні параметри – вхідний потік ДХЕ ($F_{\text{ДХЕ}}$), вхідний потік повітря ($F_{\text{пов.}}$);

б) змінні параметри керування – витрати ДХЕ ($P_{\text{ДХЕ}}$), витрати повітря ($P_{\text{пов.}}$), температура (T), частота вібрації (f), амплітуда (A);

в) параметри збурення – концентрація каталізатора ($C_{\text{кат.}}$), температура реакції ($T_{\text{рц.}}$), температура навколишнього середовища ($T_{\text{нс.}}$), розмір наночастинок ($P_{\text{нч.}}$), час контакту (τ), швидкість реакції (I);

г) вихідні параметри – ступінь перетворення x_a , вміст у вихідних продуктах вуглекислого газу (CO_2), чадного газу (CO), соляної кислоти (HCl), хлору (Cl_2).

Таким чином, для якісного керування процесом аерозольного нанокаталізу для параметрів $F_{\text{ДХЕ}}$ і $F_{\text{пов.}}$ необхідно підтримувати співвідношення ДХЕ до кисню як 1 до 2,5 ($\alpha = 1$) при температурі в реакторі 600°C , частоті вібрації 10–12 Гц та амплітуді $8 \cdot 10^{-3}$ м. Об'єм реактора під час проведення експериментів складав $0,0042 \text{ м}^3$.

При проведенні експериментів встановлено, що для незворотності процесу коефіцієнт α в подальших розрахунках необхідно прийняти як 1,02.

Отримані під час проведення експериментів значення використані як значення уставок на верхньому рівні автоматизації [6].

ФУНКЦІЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ

Для реалізації задач автоматизації керування з виконанням необхідних вимог (якість керування, точність та ін.) необхідні відповідні ПТЗ, що застосовуються в САК.

САК процесом аерозольного нанокаталізу представлено як програмно-технічний комплекс (ПТК), що об'єднує вимірювальні датчики, виконавчі пристрої,

механізми, програмно-логічний контролер (ПЛК) нижнього рівня ієрархії з робочою станцією верхнього рівня і далі з рівнем керування підприємством. Метою функціонування САК є забезпечення ефективного керування шляхом відповідного вибору керуючих дій.

Для процесу аерозольного нанокаталізу визначено вхідні впливи, встановлено залежності між вхідними та вихідними параметрами об'єкта керування, реалізовано автоматичну зміну вхідних параметрів і керування.

Найбільш поширеною в САК є задача стабілізації, коли потрібно з заданою точністю підтримувати постійними визначені параметри процесу. Для рішення цієї задачі розроблено математичну модель процесу аерозольного нанокаталізу [5].

Задача автоматизації керування процесом аерозольного нанокаталізу вирішена таким чином: за отриманими даними про стан об'єкта керування реалізована така послідовність керуючих впливів, що функціонування САК забезпечило задовільну якість процесу за узагальненим критерієм – відсутності молекулярного хлору у вихідних продуктах (рис. 5).

Реалізація функцій верхнього рівня в САК забезпечується за допомогою робочої станції. Робоча станція займається обробкою, представленням технологічної інформації, її архівуванням, аналізом, а також виконує статистичні, мережеві функції, веде моніторинг стану ПТЗ [6].

Широке застосування в системах автоматизації технологічних процесів знайшли робочі станції фірми Advantech, які виконані на базі відмовостійких платформ серії IPC-610, IPC-615 і забезпечують ступінь захисту IP65.

На основі таких робочих станцій будуються автоматизовані робочі місця операторів-технологів. Розгалужену мережу каналів передачі інформації в системах автоматизації технологічних процесів забезпечують мережеві контролери Ethernet, RS-485 та багатоканальні модулі вводу-виводу інтерфейсу RS-232.

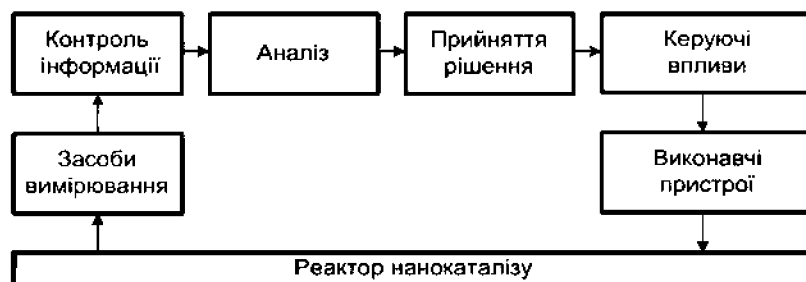


Рис. 5. Загальна схема системи керування процесом аерозольного нанокаталізу

В робочій станції за допомогою мережових пристроїв зв'язку надходить технологічна інформація від ПЛК нижнього рівня, яка вже пройшла первинну обробку і яка служить основою для представлення реального стану процесу на мнемосхемах, реєстрації історії, оптимізаційних розрахунків.

Як операційна система обрана операційна система реального часу QNX фірми QSSL (QNX Software System Ltd.).

Реалізацію функцій нижнього рівня забезпечує ПЛК, який входить до складу технологічної мережі і виконує функції вводу інформації з аналогових і дискретних входних каналів, первинну обробку прийнятої інформації (фільтрацію, лінеаризацію, масштабування, перетворення в фізичні величини сигналів, контроль на достовірність, реєстрацію подій), функції керування (цифрове ПІД-регулювання, керування виконавчими пристроями, інтелектуальне керування), функції технологічного захисту і блокування.

Гнучкість ПЛК полягає в можливості застосування під конкретні задачі широкої номенклатури аналогово-цифрових перетворювачів, модулів формування дискретних сигналів (МФДС), модулів вводу дискретних сигналів (МВДС) та ін. [7].

Для накопичення і подальшого використання оперативним персоналом інформації про перебіг процесу і дії персоналу передбачена функція архівації. Архів заповнюється при виникненні зміни стану процесу, а також через певні проміжки часу для фіксації параметрів.

Важливий критерій, який намагаються мінімізувати при обробці сигналів нижнього рівня – додаткова похибка, що вноситься при обробці аналогових сигналів, яка в даній САК не перевищує 0,1–0,15 %.

При проектуванні і розробці САК разом з правильним вибором ПТЗ, мережевого обладнання, програмних протоколів керування мережею велике значення має і розподілення програмних модулів між робочою станцією та ПЛК. При коректному розпо-

діленні задач можна збільшити продуктивність САК, зменшити час реакції на події.

МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ АЕРОЗОЛЬНОГО НАНОКАТАЛІЗУ

Особливістю сучасних процесів хімічної технології є велика швидкість протікання реакцій при високих температурах та їх складність, що насамперед полягає у нелінійній залежності між входними і вихідними параметрами. При швидкому перебігу процесу ефективна САК є вирішенням проблеми досягнення необхідної швидкодії процесів керування.

Процес аерозольного нанокаталізу належить до маловивчених і складних, що визначило експериментально-аналітичний метод дослідження з проведенням активного експерименту для розробки методів керування.

Моделювання як метод дослідження є важливим етапом при проектуванні САК (рис. 6).

На основі розробленої математичної моделі виконано аналіз технологічних підсистем об'єкта керування [5].

При аналізі спеціальної літератури не виявлено математичного опису процесу аерозольного нанокаталізу, тому в подальшому для його опису використані рівняння, що описують кінетику реактора змішування та рівняння, що описують функціональні підсистеми процесу аерозольного нанокаталізу [5].

Згідно з функціональним призначенням були визначені такі основні підсистеми процесу аерозольного нанокаталізу:

- а) нагріву;
- б) змішування реагентів;
- в) вібрації.

Слід відзначити необхідність використання адаптації в підсистемах процесу аерозольного нанокаталізу, що викликано залежністю змінних від стану процесу.

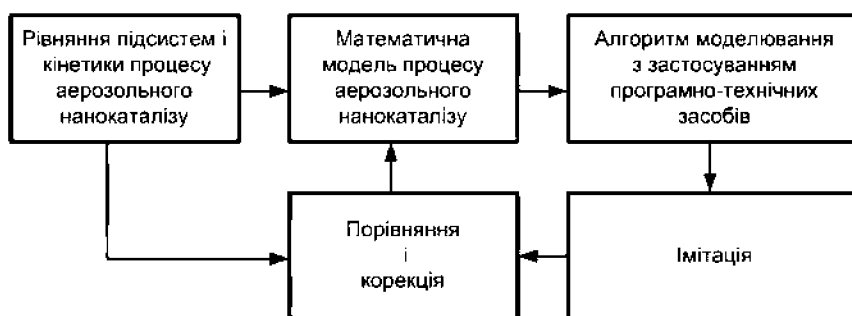


Рис. 6. Структура схема математичного моделювання

Для реалізації запропонованого методу створюються канали керування підсистемами, за допомогою яких здійснюється вплив на об'єкт керування

$$Y = F(X, U), \quad (1)$$

де F – функціональна залежність між вхідними параметрами X та вихідними параметрами Y , яка враховує керування U .

Залежність (1) є основою для створення методів керування, визначення форми її реалізації та необхідного ступеню автоматизації.

Для автоматизації керування з використанням ПЛК визначено мету Z^* керування, а також розроблено алгоритм керування φ , що дозволяє досягти поставленої мети на підставі поточної інформації про стан об'єкта керування та середовища:

$$U = \varphi(X, Y, Z^*). \quad (2)$$

Об'єкт керування сприймає навколишнє середовище як сукупність значень деякого набору параметрів

$$S = (S_1, S_2, \dots, S_n), \quad (3)$$

кожний з яких може бути змінений:

$$S(U) = (S_1(U), S_2(U), \dots, S_n(U)). \quad (4)$$

Процес моделювання передбачає знаходження характеру залежності стану об'єкта F від його вхідних параметрів X , параметрів збурення G і керування U :

$$Y = F(X, G, U). \quad (5)$$

Експертний метод рішення є основним в структурному аналізі моделі і передбачає упорядкування вхідних і вихідних параметрів об'єкта керування.

Параметричний аналіз моделі пов'язаний з визначенням параметрів $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ моделі:

$$Y = F(X, G, U, C), \quad (6)$$

де вибрана на попередньому етапі структура St відображена в модельному операторі. При такому підході, очевидно, треба мати інформацію про поведінку цих параметрів. Тут можливі два підходи: ідентифікація та планування експерименту.

Ідентифікація параметрів моделі F пов'язана з оцінкою чисельних значень параметрів в стаціонарному режимі, тобто без організації керуючих впливів на нього. Вихідною інформацією для ідентифікації є структура St та спостереження за поведінкою входу $X(t)$ та виходу $Y(t)$.

Таким чином, пара

$$J(t) = \langle X(t), Y(t) \rangle, \quad (7)$$

отримана в режимі нормального функціонування системи, є основним джерелом інформації при ідентифікації.

Для з'ясування залежності виходу $Y(t)$ від параметрів $X(t)$, $G(t)$, $U(t)$ може бути застосовано експеримент.

В САК збурення, як правило, не носять хаотичний характер. Вони або повільно змінюються в часі, або є стрибкоподібними. Якщо попередньо що-небудь сказати про характер збурення не можна, то при розробці системи розрахунок ведеться для деяких типових збурень. Одним з таких типових збурень є збурення типу «стрибок». Для визначення динамічних властивостей об'єкта керування визначається реакція величини, що регулюється, на типові збурення. Найбільш поширеним є використання кривої розгону – функції зміни параметра в часі, яка викликана разовим стрибкоподібним збуренням на вході [8].

Процес керування передбачає прийняття рішення для значення U , щоб в ситуації S , що склалась, досягнути заданої мети Z^* . Це рішення базується на використанні моделі F , мети Z^* , отриманої інформації про стан X , Y , а також на наявності ресурсів керування R , які є обмеженнями, що накладаються на U . Адаптація є частковим випадком керування і полягає в зміні фактора керування U таким чином, щоб підтримувати деякі функціонали об'єкта керування в потрібному стані, незалежно від дії всякого роду зовнішніх та внутрішніх дій. При цьому специфіка об'єкта накладає на керування вимогу

$$U \in S, \quad (8)$$

де S – множина допустимих керувань.

При аналізі методів, що використовуються для оптимізації параметрів ТП, важливу роль відіграє проблема розмірності векторів стану та керуючих впливів. Так, метод динамічного програмування дав можливість розбити задачу вибору оптимального керування всього об'єкта $U^{(t)}$ ($t = 1, 2, \dots, n$) на n задач, в кожній з яких вибирається тільки одне керування $U^{(t)}$ [9].

Адаптація для процесу аерозольного нанокаталізу виникає в тому випадку, коли відсутня інформація, необхідна для оптимізації об'єкта керування (рис. 7).

При дослідженні процесу аерозольного нанокаталізу встановлено, що ефективність кожної підсистеми оцінюється скалярною величиною

$$r_i = r_i^*(x^i, u^i), \quad (9)$$

заданою у вигляді функції від змінних стану підсистеми x^i та застосованого в цій підсистемі керування u^i .

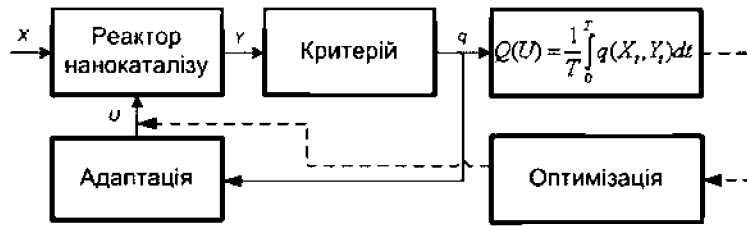


Рис. 7. Структурна схема адаптації та оптимізації

Результуюча оцінка ефективності в цілому визначена як адитивна функція результатів, отриманих від кожної підсистеми:

$$R_n = \sum_{i=1}^n r_i(x^s, u^s), \quad (10)$$

де r_i – критерій оптимальності підсистеми; x^i – технологічні параметри підсистеми; u^i – оптимальне керування технологічними параметрами підсистеми.

Таким чином, задача оптимізації сформульована як задача знаходження оптимальної стратегії:

$$\tilde{U}_{n_{\text{опт}}} = (U_{1_{\text{опт}}}, U_{2_{\text{опт}}}, \dots, U_{n_{\text{опт}}}), \quad (11)$$

яка максимізує величину R_n .

Позначимо через F_n максимальне значення критерію R_n , яке можна отримати при використанні оптимальної стратегії керування $\tilde{U}_{n_{\text{max}}}$. Очевидно, що F_n також залежить від стану всіх підсистем процесу і може бути визначена як

$$F_n(x) = \max R_n x^i. \quad (12)$$

Процедура застосування принципу оптимальності для процесу аерозольного нанокаталізу, який складається з n підсистем, починається з останньої стадії, для котрої не існує наступних стадій, які, згідно принципу оптимальності, не можуть вплинути на вибір оптимального керування.

Для реалізації пошуку оптимальних значень змінних в підсистемах для процесу аерозольного нанокаталізу застосовано метод пошуку максимального значення функції за сіткою змінних, суть якого для функції однієї змінної полягає в тому, що значення функції $x(t)$ розраховується для n рівновіддалених значень незалежної змінної t в інтервалі її зміни $t(0) \leq t \leq t(n)$. Очевидно, що при застосуванні такого методу похибка в визначенні положення зменшується із збільшенням кількості вимірів n .

В даному методі виникає проблема визначення самої величини n . Збільшення її значення призводить до надмірних операцій обчислення, що позначається на продуктивності всієї системи, оскільки є ще інші параметри, які також треба обчислювати.

Задача ускладнюється, якщо шукається екстремум функції двох змінних $x(t_1)$ та $x(t_2)$ в області зміни параметрів, які характеризуються нерівностями

$$t_1^{(0)} \leq t_1 \leq t_1^{(n)}, \quad t_2^{(0)} \leq t_2 \leq t_2^{(n)}. \quad (13)$$

При такій постановці задачі значення функції в усіх вузлах сітки дорівнює n^2 .

Для САК процесом аерозольного нанокаталізу зазначено, що кожна підсистема оптимізує свою цільову функцію, а верхній рівень координує рішення підсистем нижнього рівня для досягнення оптимального критерію глобальної цільової функції та реалізації методу чіткої (жорсткої) координації, який полягає в тому, що для параметра, який координується, в кожен момент часу встановлюється вимога

$$K(t) = K. \quad (14)$$

ВИСНОВКИ

В результаті аналізу процесу аерозольного нанокаталізу та запропонованих методів керування отримано такі практичні результати.

1. Досліджено процес аерозольного нанокаталізу як складний багатозв'язний об'єкт керування, здійснено аналіз методів та програмно-технічних засобів реалізації задач керування. Наведено структурну схему та взаємозв'язок основних параметрів процесу аерозольного нанокаталізу.

2. Проведено декомпозицію процесу на підсистеми стабілізації температури, вібрації, амплітуди та змішування реагентів. Виділено основні задачі автоматизації керування за рахунок регулювання температури, частоти вібрації, амплітуди коливань реактора, співвідношення реагентів в заданих межах та компенсації збурень з метою забезпечення максимального питомого виходу цільового продукту та повної відсутності хлору у вихідних продуктах.

3. Відзначено доцільність використання для автоматизації керування методу динамічного програмування, що дозволяє розбити загальну задачу керування технологічним процесом на n задач, в кожній з яких визначається лише одна змінна керування.

4. Показано, що ефективність кожної підсистеми може бути оцінена скалярною величиною, заданою у вигляді функції від технологічних параметрів підсистеми та застосованого в ній керування. Загальна оцінка ефективності технологічного процесу в цілому визначена як адитивна функція результатів, отриманих від кожної підсистеми. Сформульовано задачу знаходження оптимальної стратегії керування, яка максимізує таку глобальну функцію.

5. Згідно з проведеною декомпозицією створено відповідні канали керування, за допомогою яких здійснюється вплив на стан технологічного процесу.

6. Визначено мету та алгоритм функціонування програмно-логічного контролера, що функціонує в складі загальної системи автоматизації для забезпечення ефективного керування на основі інформації про стан процесу аерозольного нанокаталізу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Рязанцев, А. И.* Применение современных технологий при проектировании многоканальных блоков ввода-вывода для систем экологического мониторинга / А. И. Рязанцев, В. С. Кардашук // Системы контроля и управления технологическими процессами: сб. науч. статей; под общей ред. В. В. Елисеева. – Луганск: Світлиця, 2006. – С. 258–265.
2. *Гликин, М. А.* Оксидегидрохлорирование отходов. Аэрозольный нанокаталлиз с утилизацией хлора / М. А. Гликин, Л. А. Баранова, И. Н. Сологуб // Хімічна промисловість України. – 2006. – № 2. – С. 19–25.
3. *Рязанцев, О. І.* Дослідження та застосування методу керування підсистемою вібрації для процесу аерозольного нанокаталізу / О. І. Рязанцев, В. С. Кардашук // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2010. – № 9(151). – С. 184–189.
4. *Рязанцев, О. І.* Керування процесом аерозольного нанокаталізу в умовах невизначеності по запасам каталізатора / О. І. Рязанцев, В. С. Кардашук // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2010. – № 6(148). – Ч. 2. – С. 94–98.
5. *Рязанцев, О. І.* Побудова математичної моделі технологічного процесу аерозольного нанокаталізу у віброзрідженному шарі для організації керування / О. І. Рязанцев, В. С. Кардашук // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2009. – № 6(136). – Ч. 1. – С. 274–279.
6. *Рязанцев, О. І.* Система автоматизації керування технологічним процесом аерозольного нанокаталізу у віброзрідженному шарі / О. І. Рязанцев, В. С. Кардашук // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2010. – № 1(22). – С. 164–172.
7. *Рязанцев, А. И.* Система управления на базе современных программно-технических средств процессами утилизации отходов химических производств по технологии нанокаталлиза / А. И. Рязанцев, В. С. Кардашук // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2008. – № 8(126). – Ч. 1. – С. 318–326.
8. *Кардашук, В. С.* Методи керування підсистемою температури для процесу аерозольного нанокаталізу в системах утилізації відходів хлорорганічного синтезу / Кардашук В. С., Рязанцев О. І. // Технологія-2010: XIII Всеукраїнська наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих вчених з міжнар. участю, 22–23 квітня 2010 р.: матеріали. – Сєвєродонецьк, 2010. – Ч. 1. – С. 97–99.
9. *Рязанцев, О. І.* Застосування методу динамічного програмування для реалізації задачі оптимізації технологічного процесу аерозольного нанокаталізу у віброзрідженному шарі / О. І. Рязанцев, В. С. Кардашук // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2009. – № 12(142). – Ч. 2. – С. 109–116.

Надійшла 16.11.2010

Рязанцев А. И., Кардашук В. С.

МЕТОДЫ И ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ АЭРОЗОЛЬНОГО НАНОКАТАЛИЗА

Предложены методы управления процессом аэрозольного нанокаталлиза с применением современных программно-технических средств. Проведена декомпозиция объекта управления на подсистемы. Определены основные задачи автоматизации управления за счет поддержания значений переменных – температуры, частоты вибрации, амплитуды колебаний реактора, компенсации возмущений – в заданных пределах.

Ключевые слова: аэрозольный нанокаталлиз, параметры, подсистемы, динамическое программирование, программно-технические средства.

Ryazantsev A. I., Kardashuk V. S.

METHODS AND PROGRAM-TECHNICAL MEANS FOR AEROSOL NANOCATALYSIS AUTOMATIC CONTROL

The authors propose the method of aerosol nanocatalysis control using modern program-technical means. The object of control is resolved into subsystems. The main tasks of control automation are realized by maintaining the values of variables – temperature, vibration frequency, reactor vibration amplitude, disturbances compensation – within the specified limits.

Key words: aerosol nanocatalysis, parameters, subsystems, dynamic programming, program-technical means.