

УДК 004.3

КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ВІДХОДІВ ХЛОРОГРАНІЧНОГО СИНТЕЗУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ПАРАМЕТРІВ

Кардашук В.С., Рязанцев О.І.

PROCESS CONTROL WASTE ORGANOCHLORINE SYNTHESIS UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY PARAMETERS

Kardashuk V.S., Ryazantcev O.I.

В статті наведені результати дослідження керування технологічним процесом знешкодження відходів хлороорганічного синтезу в умовах невизначеності параметрів. Технологічний процес представлений у вигляді підсистем для кожної з яких ставляться задачі керування за локальним критерієм. Для рішення задачі керування при обмеженому наборі параметрів спостереження використано стратегію обліку найгіршого порушеного обмеження.

Ключові слова: технологічний процес, параметр, керування, функція належності, вектор стану.

Вступ. При проектуванні автоматизованих систем керування технологічними процесами рідко володіють повною апріорною інформацією про об'єкт керування, необхідною для синтезу системи. Характерною особливістю технологічного процесу (ТП) знешкодження відходів хлороорганічного синтезу є наявність прихованих параметрів, що не підлягають виміру [1]. Для якісного керування необхідно мати оцінку всіх параметрів, які впливають на якість ТП.

1. Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Поведінка такого ТП характеризується деякою невизначеністю в частині параметрів збурення [2]. При наявності експериментальних даних, збурення, що діють на об'єкт керування, можна представити як випадковий процес [3, 4].

Застосування стохастичних методів для контролю та керування ТП ускладнюється відсутністю ймовірнісних розподілів параметрів. У випадку неповної інформації про складний ТП необхідно представити параметри збурення у вигляді нечітких величин.

2. Матеріали та результати дослідження.

Представимо динаміку ТП рівнянням стану [5, 6]:

$$x_{k+1} = F(x_k, u_k), \quad k = \overline{0, N} \quad (1)$$

$$x_k \in X, \quad u_k \in U$$

де X – простір стану;

U – множина допустимих керувань;

F – перехідна нелінійна функція стану.

ТП представлений у вигляді підсистем, для кожної з яких ставляться задачі керування за локальним критерієм (рис.).

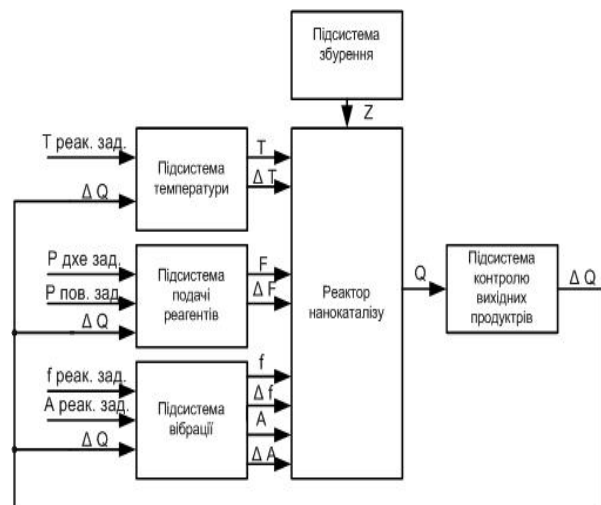


Рис. Підсистеми ТП

Динаміка системи описується нечітким відношенням:

$$F : X \times U \times X \rightarrow [0, 1], \quad (2)$$

яка представляє собою нечітку підмножину декартового добутку $X \times U \times X$.

Величина $F(x_k, u_k, x_{k+1})$ розглядається як інтенсивність переходу або як ступінь приналежності елементу x_{k+1} образу пари (x_k, u_k) при відображенні F . Основною характеристикою являється функція приналежності $\mu(x_{k+1}|x_k, u_k)$.

Нечіткий вираз є нечітке відношення, яке визначається як:

$$F(x, u) = \min(\mu(x), \lambda(x)) \quad (3)$$

$$\mu: X \rightarrow [0, 1]; \lambda: X \rightarrow [0, 1]$$

Якщо F є нечіткою функцією, то стан нечіткої системи в момент часу $(k+1)$ є умовною по x_k і u_k нечіткою множиною, яка характеризується функцією приналежності $\mu(x_{k+1}|x_k, u_k)$.

Стохастичне керування, в значній мірі, базується на основних положеннях динамічного програмування [7].

Скалярний показник якості ідентифікації визначається як:

$$j = \frac{1}{2} (y_{k+1} - H_{k+1} \cdot x_{k+1,k})^2, \quad (4)$$

де y – вихідні значення;

H – виміри;

X – елемент матриці вхідних значень.

Оцінку вектора стану отримуємо із алгоритму стохастичної апроксимації:

$$x_{k+1,k+1} = x_{k+1,k} - p_{k+1} \frac{\partial j_{k+1}}{\partial x_{k+1,k}} \quad (5)$$

В процесі функціонування системи при заданій умовній функції приналежності $\mu(x_k | \bar{z}_k)$ стану x_k при наявності послідовних вимірів $\bar{z}_k = \{z_0, z_1, \dots, z_k\}$ найкраща чітка оцінка стану в момент часу k може бути найдена з відношення:

$$\mu(x_k^0) = \max_{x_k} \mu(x_k | \bar{z}_k) \quad (6)$$

При наявності відомої умовної функції належності $\mu(x_{k+1} | \bar{z}_k)$ оптимальна оцінка стану системи в момент $(k+1)$ може бути аналогічно визначена:

$$\mu(x_{k+1}^0) = \max_{x_{k+1}} \mu(x_{k+1} | \bar{z}_k) \quad (7)$$

Рекурентне співвідношення для знаходження апостеріорної функції приналежності для нечіткого стану системи на будь-якому кроці $(k+1)$:

$$\mu(x_{k+1} | \bar{z}_{k+1}) = \mu(x_{k+1} | \bar{z}_k) \wedge \sup_{v_{k+1} - H_{k+1}^{-1}(x_{k+1}, z_{k+1})} \mu(v_{k+1}) \quad (8)$$

$$\mu(x_{k+1} | \bar{z}_{k+1}) = \max_{x_k} \{ \mu(x_k | \bar{z}_k) \wedge \sup_{w_k - F_{k+1}^{-1}(x_{k+1}, z_k)} \mu(w_k) \} \quad (9)$$

В ТП носій початкового нечіткого стану – температура реакції, розмір наночастинок, невизначеність по концентрації каталізатора – розширяється.

В загальному випадку, коли функція F і H нелінійні:

$$\mu(x_{k+1,k+1}) = \bigvee_{z_{k+1}} \mu_H(x_{k+1}|z_{k+1}) \wedge \mu(z_{k+1}) \wedge \mu(x_{k+1,k}) \quad (10)$$

$$\mu(x_{k+1,k}) = \bigvee_{x_k} \bigvee_{u_k} \mu_F(x_{k+1,k}|x_k, u_k) \wedge \mu(x_k) \wedge \mu(u_k) \quad (11)$$

Нехай $G_N \subset X$ – нечітка мета, яку необхідно досягнути в момент часу N . Ця мета характеризується функцією приналежності $\mu_{G_N}(u_k)$.

Рішення задачі знайдено з використанням методу динамічного програмування наступною рекурентною процедурою для проміжної мети на момент $N-j$:

$$\mu_{G_{N-j}}(x_{N-j}) = \max_{u_{N-j}} \{ \mu_{C_{N-j}}(u_{N-j}) \wedge \mu_{G_{N-j+1}}(x_{N-j+1}) \} \quad (12)$$

$$\text{де } x_{N-j+1} = F(x_{N-j}, u_{N-j}), \quad j = \overline{1, N}$$

Оптимальні чіткі керуючі впливи u_0^0, u_1^0, u_{N-1}^0 можуть бути визначені наступним чином:

$$\begin{aligned} \mu_D(u_0^0, u_1^0, u_{N-1}^0) &= \max_{u_0, \dots, u_{N-2}, u_{N-1}} \{ \mu_{C_0}(u_0) \wedge \dots \wedge \mu_{C_{N-1}}(u_{N-1}) \wedge \mu_{G_N}(F(x_{N-1}, u_{N-1})) \} = \\ &= \max_{u_0, \dots, u_{N-2}} \{ \mu_{C_0}(u_0) \wedge \dots \wedge \mu_{C_{N-3}}(u_{N-2}) \wedge \mu_{G_{N-1}}(x_{N-1}) \} \quad (13) \end{aligned}$$

$$\text{де } \mu_{G_{N-1}}(x_{N-1}) = \max_{u_{N-1}} \{ \mu_{C_{N-1}}(u_{N-1}) \wedge \mu_{G_N}(F(x_{N-1}, u_{N-1})) \} \quad (14)$$

Функція $\mu_{G_{N-1}}(x_{N-1})$ може розглядатись як функція приналежності для нечіткої мети в момент часу $N-1$ з кінцевою метою G_N для моменту N .

Таким чином, знаючи поточний нечіткий стан $\mu(x_k)$, нечіткі обмеження $\mu_{C_k}(u_k)$ і у нечітку мету $\mu_{C_k}(u_k)$ на момент часу k , знаходимо ефективне чітке управління u_k^0 по (13), (14).

Характерною ознакою зниження якості керування процесом аерозольного нанокаталізу є зменшення або втрата активності каталітичної системи. Границя між початковим та граничним станом цього незворотного процесу є нечіткою, що в значній мірі ускладнює застосування традиційних підходів. В подібній ситуації заміна нечітко заданої величини на детерміновану значно ускладнює процедуру розрахунків та приводить до необхідності використання ітераційного підбору для отримання прийнятних результатів.

Крім того, до складу параметрів і коефіцієнтів рівнянь входять одночасно величини з різним характером невизначеності: інтервальні, нечіткі та ін.

Якщо брати до увагу розглянуту вище цільову постановку задачі керування, то можна зазначити,

що прийнятне рішення на різних рівнях керування залежить від наближення системи до стану, при якому подальша робота неможлива, тобто безпосереднього наближення до граничного стану.

Глобальною умовою включенням цього параметру до параметрів збурення є втрата активності каталітичної підсистеми, що складається з скляних кульок та каталізатора, і як наслідок – зменшення швидкості реакції і наявність у вихідних продуктах молекулярного хлору.

На основі експериментальних даних встановлено, що у відсутності порушень в технологічних зв'язках при оптимальному керуванні ТП граничний стан системи є наслідком зменшення запасу каталізатора.

Алгоритм контролю такого запасу базуватися на оцінці допустимих температурних режимів і кількісній оцінці самого каталізатора.

Як діагностичну функцію введемо функцію $f(x)$, визначену на інтервалі $[0,1]$, яка характеризує ступінь порушення змінної таку, що $f(x)=0$, якщо значення змінної знаходиться в діапазоні нормальної роботи. Тоді задача контролю параметрів каталізатора зводиться до обчислення їх значення:

$$f(x)=1-f(x(t)), \quad t \in G, \quad (15)$$

де множина G – набір інтервальних оцінок.

Для рішення задачі керування при обмеженому наборі параметрів спостереження використаємо стратегію обліку найгіршого порушеного обмеження. В цьому випадку можна використати функцію припустимості компонент у вигляді нормалізованих функцій належності і операції прийняття рішення для нечітких множин, що зводиться до синтезу глобального критерію як функції вхідних критеріїв, які відображають ефективність і допустимі режими ТП.

Рішення задачі контролю параметрів в загальному випадку має наступний вигляд:

$$\mu(x(t)) \rightarrow \min \mu(x_i(t)) \quad \forall t \in T, \quad (16)$$

де $\mu(x_i(t))$ – часткові критерії на підмножині T .

Згідно з (3.10) оптимальне значення $\mu(x^*(t))$ визначається як $\min_t (\mu_K(T^0), \mu_K(Q))$.

Функція належності, що характеризує ризик спікання каталізатора була побудована у вигляді:

$$\mu(T^0) = \begin{cases} 0, & T^0 \leq T_N \\ \frac{T^0 - T_N}{T_L - T_N}, & T_N < T < T_L \\ 1, & T^0 \geq T_N \end{cases} \quad (17)$$

де T_N – регламентне значення температури;

T_L – максимально допустиме значення температури.

Тоді функція належності для допустимих режимів роботи ТП для каталізатора по температурі має вигляд:

$$\mu_K(T^0) = 1 - \mu(T^0). \quad (18)$$

Побудований згідно з (17) критерій є показником ступеню належності визначеного режиму роботи системи до підмножини допустимих або ефективних режимів.

З метою отримання кількісної оцінки активності каталізатора було проведено загрузку реактора у відповідності з технологічними вимогами, а після закінчення експериментального дослідження проведено вимір концентрації каталізатора при якій подальша робота не ефективна.

В таблиці наведено дані для розрахунку температурного режиму і оцінки активності каталізатора.

Т а б л и ц я

Дані для розрахунку температурного режиму і оцінки активності каталізатора

| Найменування параметру | Значення параметру |
|--|--------------------|
| Оптимальне значення температури, °C | 600 |
| Максимально допустиме значення температури, °C | 700 |
| Концентрація каталізатора на момент запуску, $g/M^3_{p.o.}$ | 2,4 |
| Мінімальна концентрація каталізатора при якій подальша робота не ефективна, $g/M^3_{p.o.}$ | 0,08 |

Каталітичні характеристики ТП залежать від температури, шару каталізатора, часу контакту, об'ємної швидкості і стехіометричного (мольного) співвідношення.

Функція належності стану каталітичної підсистеми до різних рівнів запасів каталізатору має вигляд:

$$\mu(Q) = \frac{Q_k}{Q_{k_L}}, \quad (19)$$

де Q_k – поточна концентрація каталізатора;

Q_{k_L} – максимально допустима концентрація каталізатора.

Функція належності, отримана згідно з загальним рівнянням матеріального балансу по каталітичним характеристикам, має вигляд:

$$\mu_K(Q) = \frac{Q_k - Q_{k_{\min}}}{Q_{k_{\max}} - Q_{k_{\min}}}, \quad (20)$$

де $Q_{k_{\max}}$ – концентрація каталізатора на момент запуску;

$Q_{k \min}$ – мінімальна концентрація каталізатора, при якому подальша експлуатація не ефективна.

Проведемо оцінку вимірних параметрів за двома критеріями. На підставі рівнянь (17–20) обчислюється показник ступені належності параметрів до підмножини допустимих режимів [8]. Для значень, заданих в табл. 1, ризик спікання каталізатора при температурі 680 °С складає $\mu(T^0)=0,8$, відповідно по (18) функція належності для допустимих режимів $\mu_k(T^0)=0,2$.

Відповідно до критерію оцінки каталітичних характеристик проводиться розрахунок ступені належності системи до граничного стану по запасу каталізатора, згідно (20).

Оцінка ступеню належності системи до граничного стану по запасу каталізатора складає:

$$\mu_k(Q) = \frac{Q_k - Q_{k \min}}{Q_{k \max} - Q_{k \min}} = 0,043.$$

Розрахунок глобального критерію, що відображає ефективність та допустимість роботи, виконується згідно (16):

$$\mu(p^*(t)) = \min(\mu_k(T^0), \mu_k(Q)) = \mu_k(T^0). \quad (21)$$

Висновки. Досліджено ТП знешкодження відходів хлороорганічного синтезу в умовах невизначеності параметрів керування як складний багатозв'язний об'єкт керування. Наведено структурну схему та взаємозв'язок основних параметрів ТП.

Проведено декомпозицію процесу на підсистеми та виділено основні задачі автоматизації керування за рахунок регулювання температури, частоти вібрації, амплітуди коливань реактора, стехіометричного співвідношення реагентів в заданих межах та компенсації збурень з метою забезпечення максимального питомого виходу цільового продукту та повної відсутності хлору у вихідних продуктах [8].

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

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 ТП в цілому визначена як адитивна функція результатів отриманих від кожної підсистеми. Сформульовано задачу знаходження оптимальної стратегії керування, яка максимізує таку глобальну функцію.

Згідно з проведеною декомпозицією зазначена необхідність створення відповідних каналів керування, за допомогою яких здійснюється вплив на стан ТП [9, 10].

За результатами дослідження каталітичної підсистеми можна зробити наступні висновки:

– при стабілізації параметрів ТП кількісна оцінка відхилення параметрів показує, що найгіршим випадком є втрата активності каталізатора;

– розроблена модель дозволяє при ТП враховувати вплив збурення каталітичної системи шляхом організації контролю по запасам каталізатора;

– при значному збільшенні температури виникає незворотний процес спікання каталізатора.

Вчасний контроль параметрів та вибір допустимих температурних режимів роботи системи дозволяє скоротити розхід реагентів і час на спроби відновлення параметрів за рахунок зупинки та перезапуску ТП.

Література

1. Кардашук В. С. Керування технологічним процесом аерозольного нанокаталізу у віброзрідженому шарі в умовах стохастичної невизначеності / В. С. Кардашук // Стратегія якості в промисловості і освіті : матеріали V міжнар. конф., 6-13 черв. 2009 р., Варна, Болгарія : матеріали у 2 т. – Дніпропетровськ, 2009. – Т. 2. – С. 567 – 569.
2. Гликин М. А. Оксидегидрохлорирование отходов. Аэрозольный нанокаталіз с утилизацией хлора / М. А. Гликин, Л. А. Баранова, И. Н. Сологуб // Хімічна промисловість України. – 2006. – № 2. – С. 19–25.
3. Рязанцев О. І. Керування процесом аерозольного нанокаталізу в умовах невизначеності по запасам каталізатора / Рязанцев О. І., Кардашук В. С. // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2010. – № 6 (148), ч. 2. – С. 94–98.
4. Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. / С. А. Орловский – М. : Наука, 1981. – 208 с.
5. Рязанцев О. І. Побудова математичної моделі технологічного процесу аерозольного нанокаталізу у віброзрідженому шарі для організації керування / Рязанцев О. І., Кардашук В. С. // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2009. – № 6 (136), ч. 1. – С. 274–279.
6. Рязанцев О. І. Математичне моделювання процесу аерозольного нанокаталізу / Рязанцев О. І., Кардашук В. С. // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2011. – № 10 (164), ч. 2. – С. 142–149.
7. Рязанцев О. І. Застосування методу динамічного програмування для реалізації задачі оптимізації технологічного процесу аерозольного нанокаталізу у віброзрідженому шарі / Рязанцев О. І., Кардашук В. С. // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2009. – № 12 (142), ч. 2. – С. 109–116.
8. Рязанцев О. І. Моделювання впливу параметру фільтру на швидкість виміру аналогового сигналу для процесу аерозольного нанокаталізу / О. І. Рязанцев, В. С. Кардашук // Комп'ютерно-інтегровані технології : освіта, наука, виробництво. – 2011. – № 6. – С. 216–220.

9. Рязанцев О. И. Методы та програмно-технічні засоби автоматизації керування процесом аерозольного нанокаталізу / Рязанцев О. И., Кардашук В. С. // Радиоэлектроника, информатика, управління. – 2011. – № 1 (24). – С. 164–171.
10. Рязанцев А. И. Функциональная и структурная организация системы автоматизации управления процессом аерозольного нанокаталіза / Рязанцев А. И., Иванов А. Н., Кардашук В. С. // Межвузовский сборник научных трудов ФГБОУВПО "Воронежский государственный технический университет". – Воронеж, 2011. – С. 140-145.

References

1. Kardashuk V. S. Keruvannya tehnologichnim procesom aerezolnogo nanokatalizu u vibrozridzhenomu shari v umovah stohastichnoi nevyznachenosti / V. S. Kardashuk // Strategija yakosti v promyslovosti i osviti : materialy V mizhnarodnoi konf., 6-13 cherv. 2009 r., Varna, Bolgarija : materialy u 2 t. – Dnipropetrovsk, 2009. – T. 2. – S. 567 – 569.
2. Glikin M.A. Oksidegidrohlorirovanie othodov. Ajerazolnyj nanokataliz s utilizaciej hlora / M. A. Glikin, L. A. Baranova, I. N. Sologub // Himichna promislivost Ukrainy. – 2006. – № 2. – S. 19–25.
3. Ryazantsev O. I. Keruvannya procesom aerezolnogo nanokatalizu v umovah nevyznachenosti po zapasam katalizatora / Rjazancev O. I., Kardashuk V. S. // Visnyk Shidnoukrainskogo nacionalnogo universytetu im. Volodymyra Dalja. – 2010. – № 6 (148), ch. 2. – S. 94–98.
4. Orlovskij S. A. Problemy prinjatija reshenij pri nechetkoj ishodnoj informacii. / S. A. Orlovskij– M. : Nauka, 1981. – 208 s.
5. Ryazantsev O. I. Pobudova matematichnoi modeli tehnologichnogo procesu aerezolnogo nanokatalizu u vibrozridzhenomu shari dlja organizacii keruvannya / Ryazantsev O. I., Kardashuk V. S. // Visnyk Shidnoukrainskogo nacionalnogo universytetu im. Volodymyra Dalja. – 2009. – № 6 (136), ch. 1. – S. 274–279.
6. Ryazantsev O. I. Matematichne modeljuvannya procesu aerezolnogo nanokatalizu / Ryazantsev O. I., Kardashuk V. S. // Visnyk Shidnoukrainskogo nacionalnogo universytetu im. Volodymyra Dalja. – 2011. – № 10 (164), ch. 2. – S. 142–149.
7. Ryazantsev O. I. Zastosuvannya metodu dinamichnogo programuvannya dlja realizacii zadachi optimizacii tehnologichnogo procesu aerezolnogo nanokatalizu u vibrozridzhenomu shari / Ryazantsev O. I., Kardashuk V. S. // Visnyk Shidnoukrainskogo nacionalnogo universytetu im. Volodymyra Dalja. – 2009. – № 12 (142), ch. 2. – S. 109–116.
8. Ryazantsev O. I. Modeljuvannya vplyvu parametru filtru na shvidkodiju vymiru analogovogo sygnalu dlja procesu aerezolnogo nanokatalizu / O. I. Ryazantsev, V. S. Kardashuk // Kompjuterno-integrovani tehnologii : osvita, nauka, vyrobnyctvo. – 2011. – № 6. – S. 216–220.
9. Ryazantsev O. I. Metody ta programno-tehnichni zasoby avtomatizacii keruvannya procesom aerezolnogo nanokatalizu / Ryazantsev O. I., Kardashuk V. S. //

Radioelektronika, informatyka, upravlinnja. – 2011. – № 1 (24). – S. 164–171.

10. Ryazantsev A. I. Funkcionalnaja i strukturnaja organizacija sistemy avtomatizacii upravlenija processom ajerazolnogo nanokataliza / Ryazantsev A. I., Ivanov A. N., Kardashuk V. S. // Mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov FGBOUVPO "Voronezhskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet". – Voronezh, 2011. – S. 140-145.

Кардашук В. С., Рязанцев А. И. Управление технологическим процессом утилизации отходов хлорорганического синтеза в условиях неопределенности параметров

В статье приведены результаты исследования управления технологическим процессом утилизации отходов хлорорганического синтеза в условиях неопределенности параметров. Технологический процесс представлен в виде подсистем для каждой из которых ставятся задачи управления по локальному критерию. Для решения задачи управления при ограниченном наборе параметров наблюдения использована стратегия учета наилучшего нарушенного ограничения.

Ключевые слова: технологический процес, параметр, управление, функция принадлежности, вектор состояния.

Kardashuk V. S, Ryazantsev A. I. Process control waste organochlorine synthesis under conditions of uncertainty parameters.

The paper presents the results of a study of technological processes waste organochlorine synthesis conditions of uncertainty parameters. The technological process is presented in the form of subsystems for each of which sets the task management on local criteria. To solve the problem with a limited set of control parameters used surveillance strategy taking into account the worst violations of limitations. There were determined the main tasks of automation control by maintaining the values of variables such as temperature, vibration frequency, amplitude of the reactor, the stoichiometric ratio of reagents in predetermined limits, disturbance compensation. The mathematical model of aerosol nanocatalysis was developed. To solve the problems of the optimization process a method of dynamic programming which based on the grid variables were proposed.

Keywords: technological processes, parameter management, membership function, the state vector.

Кардашук Володимир Сергійович – к.т.н., доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії, Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (м. Северодонецьк), kardashuk@mail.ru

Рязанцев Олександр Іванович – д.т.н., професор, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії, Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (м. Северодонецьк), a_ryazantsev@mail.ru

Рецензент: Соколов В. І. – д.т.н., професор