

УДК 004.942

*Левчук І.Л., Мисов О.П., Фесенко К.О.***МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СИНТЕЗУ АЦЕТИЛЕНУ В CHEMCAD ТА ОСОБЛИВОСТІ ЗВ'ЯЗКУ ЗІ SCADA ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ OPC****ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпро, Україна**

У даній статті досліджуються особливості побудови математичних моделей у сучасних універсальних моделюючих програмах і подальше їх використання за допомогою технології OPC в системах керування хіміко-технологічними процесами на базі SCADA систем. Метою є дослідження особливостей інформаційного обміну за допомогою технології OPC між універсальною моделюючою програмою ChemCAD та сучасною SCADA системою TRACE-MODE 6 на прикладі математичної моделі кінетичного реактора для синтезу ацетилену. Для досягнення мети в програмному середовищі моделюючої програми ChemCAD розроблена математична модель кінетичного реактора для синтезу ацетилену на базі моделі реактора безперервного перемішування. Виконано налаштування реактора та експериментально підібрані параметри матеріальних потоків. Здійснено дослідження процесу синтезу ацетилену за математичною моделлю, отримана графічна залежність виходу ацетилену від температури та виконано її аналіз, за результатами якого встановлена температура, що забезпечує максимальний вихід ацетилену. За допомогою технології OPC реалізовано інформаційний обмін між моделлю і системою керування процесом синтезу ацетилену, яка побудована на базі сучасної SCADA системи TRACE-MODE 6. Отримана графічна залежність – перехідний процес системи по каналу виходу ацетилену при використанні PID регулятора і нанесені збурення зміною завдання. Виконаний аналіз перехідного процесу виявив відсутність транспортного запізнення, яке пояснюється розрахунковим характером об'єкту керування, що однак не є можливим для реального технологічного процесу. Для вирішення проблеми було здійснено експеримент, за результатами якого запропоновано спосіб емуляції транспортного запізнення за допомогою функціональних можливостей інформаційних каналів SCADA системи. Отримано графік перехідного процесу системи з каналу виходу ацетилену, якій підтверджує ефективність запропонованого методу емуляції транспортного запізнення при використанні зовнішніх розрахункових моделей в SCADA системах.

Ключові слова: математичне моделювання, універсальні моделюючі програми, OPC, системи керування, управління на базі SCADA, TRACE-MODE, ChemCAD.

DOI: 10.32434/2521-6406-2020-8-2-34-40

Введення

Сучасні системи оптимального керування в більшості своїй побудовані на базі математичних моделей різної складності та достовірності, що описують процеси і об'єкти, які підлягають управлінню. Точність використовуваних для управління математичних моделей безпосередньо впливає на якість, ефективність і надійність систем керування, побудованих на їх основі [1].

Історично математичні моделі для розв'язання задач керування створювались і програмувались з використанням різних мов програмування високого рівня (Delphi, C, Python та ін.), що вимагало істотних часових і матеріальних витрат. Даний підхід не рідко застосовується і в даний час, особливо для рідкісних і мало досліджених технологічних процесів.

Для моделювання типових і досить поши-

рених технологічних процесів в даний час все частіше застосовуються універсальні моделюючі програми (УМП), такі як HYSYS, Aspen Plus, ChemCAD та ін. [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

З літератури [1,2] відомо, що в основу всіх УМП закладені загальні принципи розрахунків матеріально-теплових балансів технологічних процесів. Як правило, будь-який процес складається зі стадій, на кожній з яких можливо певним чином впливати на матеріальні потоки і перетворення енергії. Послідовність стадій зазвичай описується за допомогою технологічної схеми, кожен елемент якої відповідає певному технологічному процесу або групі процесів, що спільно протікають. З'єднання між елементами технологічної схеми відповідають матеріальним і енергетичним потокам, що відбуваються в системі. В цілому моделювання технологічної схеми засноване на застосуванні загальних принципів термодинаміки до окремих елементів схеми і до системи в цілому [2].

УМП мають свої загальні та відмінні риси, але основний спектр їх можливостей значною мірою збігається. В усіх УМП у процесі моделювання виконуються такі основні кроки: побудова технологічного процесу – визначення апаратів та з'єднуючих потоків; визначення речовин; специфікація термодинамічних моделей розрахунку та дані речовин; визначення вхідних потоків; специфікації для основних операцій і цільових продуктів; безпосереднє моделювання процесу; контроль і перевірка результатів. Завдяки власним базам даних хімічних компонентів, розширеним способам розрахунку термодинаміки та гнучким методам розрахунку апаратів, ці програми забезпечують високу точність математичного опису параметрів технологічних процесів [3].

Однак універсальні моделюючі програми в першу чергу створювалися для проектування і розробки самих технологічних процесів, а не для виконання завдань керування. Частково цю проблему вирішує наявність вбудованого в більшість УМП сервера OPC (Open Platform Communication) [4], який дозволяє організувати інформаційний обмін між УМП і різним програмним забезпеченням, що використовується для промислової автоматизації, наприклад сучасними SCADA системами [5]. В той же час очевидно, що питання використання математичних моделей розроблених в УМП для виконання завдань керування, вимагає додаткового опрацювання, подальшого дослідження та експериментів [5,6].

Постановка завдання

Метою роботи є дослідження особливостей інформаційного обміну на базі технології OPC між універсальною моделюючою програмою ChemCAD і сучасною SCADA системою TRACE-MODE на прикладі математичної моделі кінетичного реактора для синтезу ацетилену.

Основний матеріал дослідження

ChemCAD – ефективний інструмент для комп'ютерного моделювання хіміко-технологічних процесів при розробці, модернізації та оптимізації виробництв [2]. Він використовується для моделювання і розрахунку технологічних схем з потоками органічних і неорганічних речовин і безперервних сумішей, а також енергетичних потоків. Комплекс досліджень з використанням ChemCAD дає можливість домогтися задовільного збігу результатів розрахунків з даними промислових експериментів, що дозволяє виконувати завдання автоматичного керування процесами і підвищення ефективності діючих виробництв, визначення оптимальних режимних та конструкційних параметрів процесів в окремих апаратах з позиції всього виробництва в цілому [2].

Для досягнення мети роботи у програмному середовищі ChemCAD була побудована схема процесу синтезу ацетилену [7] на базі кінетичного реактора (рис. 1).

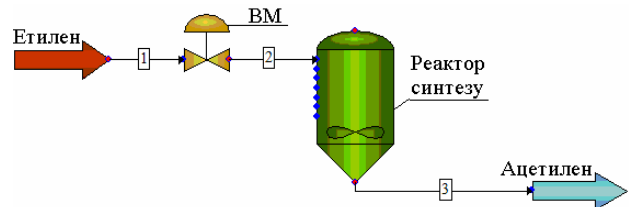
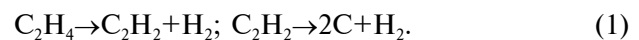


Рис. 1. Схема процесу синтезу ацетилену на базі кінетичного реактора (ВМ – виконавчий механізм)

В основі процесу закладено хімічні перетворення (1), які описують синтез ацетилену (C_2H_2) з етилену (C_2H_4) в кінетичному реакторі (рис. 1) при температурах $900-1800^{\circ}C$.



Кінетичний реактор синтезу використовує проектне рівняння (2) для реакторів безперервного перемішування ємності

$$V = \frac{F_{i0} X}{-r_1}, \quad (2)$$

де F_{i0} – введення молярного потоку компонен-

та i ; X – конверсія; V – об'єм реактора; r_i – швидкість утворення компонента.

Загальна швидкість реакції для кожного компонента в одночасній реакції задається наступним виразом:

$$r_i = \left(\sum_{j=1}^{nr_x} N_{ij} A_j e^{\frac{-E_j}{RT}} \prod_{k=1}^{n_i} (C_k)^{a_{kj}} \right) \times \left(1 + \sum_{k=1}^{n_j} \varphi_{kj} e^{\frac{-E_{kj}}{RT}} C_{kj}^{b_{kj}} \right)^{-\beta_j}, \quad (3)$$

де r_i – швидкість реакції для компонента i , моль/об'єм·час; i – позначення компонента i ; k – позначення реагенту k ; j – позначення реакції j ; N_{ij} – стехіометричний коефіцієнт для компонента i в реакції j ; A_j – предекспоненціальний множник в реакції j ; E_j – енергія активації в реакції j ; R – універсальна константа газу; T – абсолютна температура; C_k – концентрація реагенту k , моль/об'єм або парціальний тиск k ; a_{kj} – порядок реакції; n – кількість реагентів; nr_x – кількість реакцій; φ_{kj} – адсорбційний фактор; E_{kj} – енергія адсорбції; β_j – енергетичний фактор адсорбції (бета-коефіцієнт); b_{kj} – адсорбційний експоненціальний фактор.

У відповідності до реакцій (1) для реалізації синтезу ацетилену в реакторі було обрано наступні компоненти реакції:

- етилен/ethene (C_2H_4);
- ацетилен/acetylene (C_2H_2);
- водень/hydrogen (H_2);
- вуглець/carbon (C).

Наступні параметри були обрані та задані як початкові для технологічного потоку 1 – етилену (рис. 2):

- температура потоку 1000°C;
- тиск 1 атм.;
- витрата етилену до реактора 600 кг/год.

Для кінетичного реактору синтезу ацетилену задані наступні параметри налаштування (рис. 3):

- кількість реакцій обрано 2;
- вираз кінетичної швидкості стандартний для всіх реакцій;
- тип реакції: паровий, змішана фаза;
- тепловий режим – ізотермічний.

Введено наступні стехіометричні коефіцієнти реакцій (1), у відповідності до інформації з [7].

| | |
|-----------------|----------|
| Stream No. | 1 |
| Stream Name | 1 |
| Temp C | 1000 |
| Pres atm | 1 |
| Vapor Fraction | 1 |
| Enthalpy MJ/h | 78321.34 |
| Total flow | 600 |
| Total flow unit | kg/h |
| Comp unit | kg/h |
| Ethene | 600 |
| Acetylene | 0 |
| Hydrogen | 0 |
| Carbon | 0 |

Рис. 2. Початкові параметри технологічного потоку 1 – етилен

Як параметри першої реакції приймаємо: $A_j=2e+011$; $E_j=65000$. Стехіометричні коефіцієнти для кожного компонента: етилен $N_{11}=-1$; ацетилен $N_{21}=1$; водень $N_{31}=1$.

Як параметри другої реакції (1) приймаємо: $A_j=8e+012$; $E_j=87000$. Стехіометричні коефіцієнти для кожного компонента [7]: ацетилен $N_{12}=-1$; водень $N_{22}=1$; вуглець $N_{32}=1$.

Для перевірки працездатності отриманої моделі кінетичного реактору синтезу ацетилену в програмному середовищі ChemCAD було виконано моделювання процесу в статичному режимі. Отримана залежність виходу ацетилену від температури надана на рис. 4.

Аналіз отриманої залежності показав, що при обраних параметрах витрати сировини і налаштуванні реактору максимальне перетворення етилену в ацетилен відбувається при температурі 836°C. Подальше збільшення температури вхідної суміші веде до марної витрати енергії і негативно позначається на збільшенні виходу ацетилену.

Оскільки ChemCAD підтримує технологію OPC і по суті є сервером [8], він представляється клієнтам OPC в якості джерела даних. Умовно параметри OPC сервера ChemCAD можливо розглядати як віддалені технічні засоби автоматизації, а саме як датчики, що вимірюють параметри технологічного процесу і регулюючі клапани, які змінюють витрати матеріальних потоків. Для включення інформаційного обміну через OPC сервер в меню «Tools->Preferences» в розділі «Connections» необхідно: серед варіантів зв'язку обрати OPC і позначити поле «Enable OPC Server» (рис. 5).

В матеріалах статті [9] детально розглянуто

Рис. 3. Налаштування кінетичного реактору синтезу ацетилену

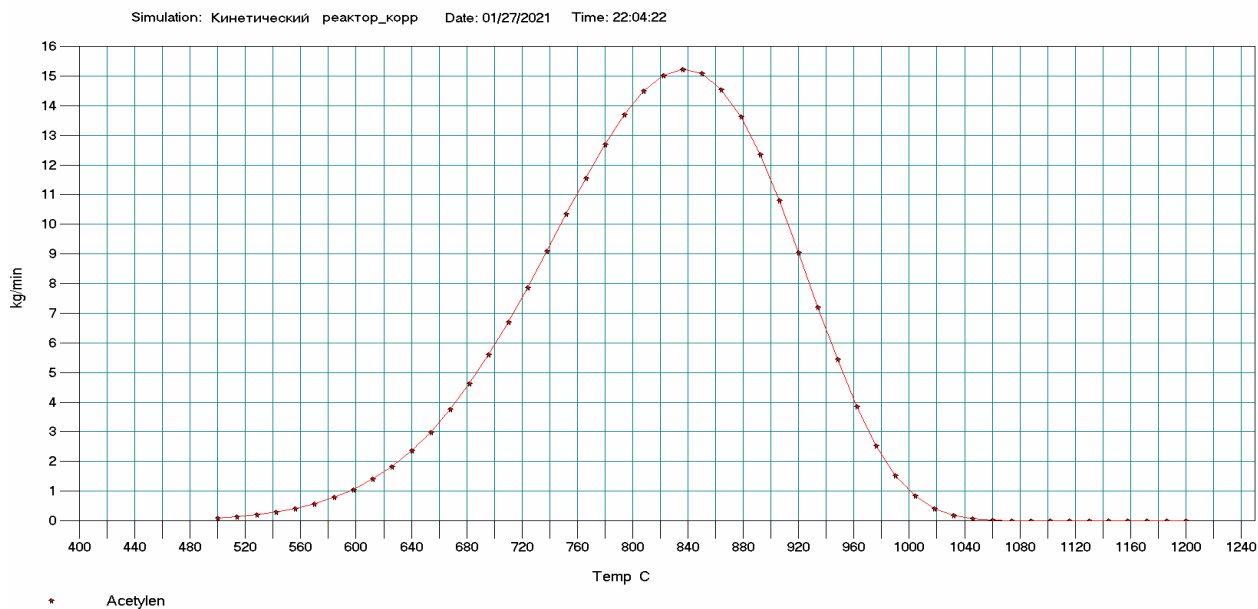


Рис. 4. Залежність виходу ацетилену від температури

питання реалізації системи керування процесом синтезу ацетилену в кінетичному реакторі на базі сучасної SCADA системи TRACE-MODE 6 за допомогою PID регулятора та розробленого HMI

(Human Machine Interface) користувача [10].

У ході розробки системи керування і організації інформаційного обміну між моделлю синтезу ацетилену, реалізованої в ChemCAD, та

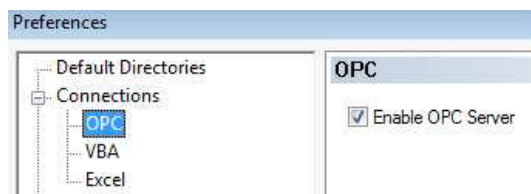


Рис. 5. Включення інформаційного обміну з використанням OPC-серверу

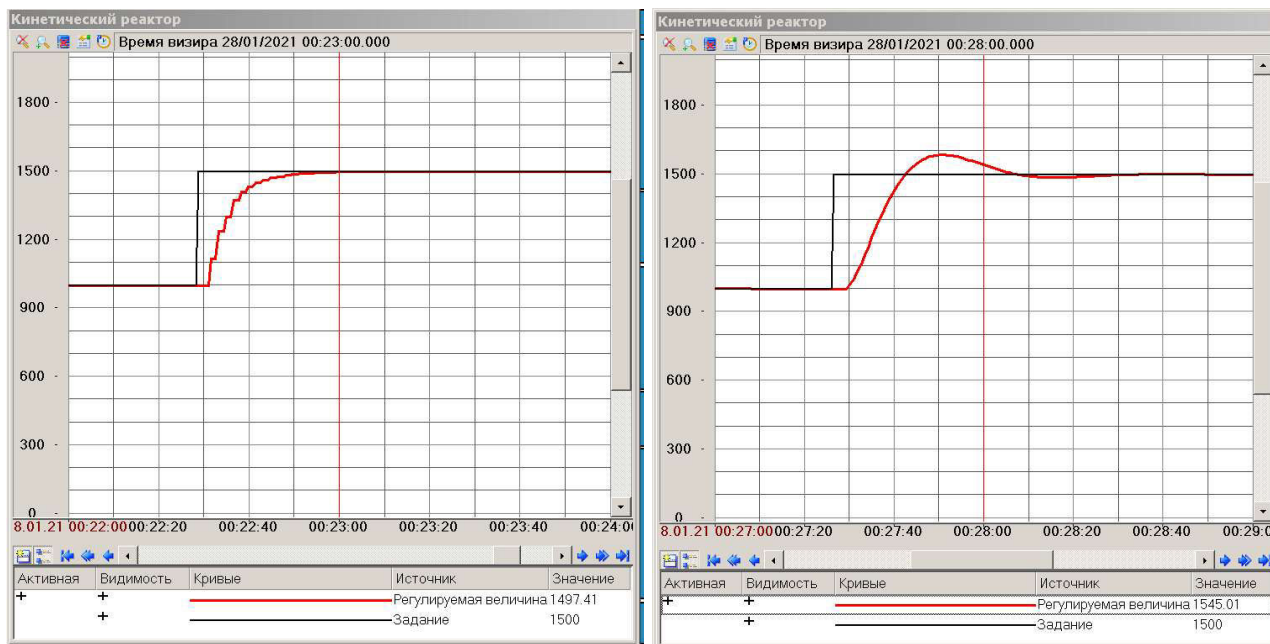


Рис. 6. Перехідний процес при відсутності та при емуляції транспортного запізнення

SCADA системою виникла проблема відсутності транспортного запізнення при передачі сигналів та змінні параметрів матеріальних потоків, що неможливо для реального технологічного процесу.

Ситуація, що склалася, пояснюється характером об'єкта керування, що представляє собою математичну модель, швидкодія якої залежить виключно від обчислювальної потужності персонального комп'ютера, на якому здійснюється розрахунок математичної моделі, і не враховує довжину трубопроводів реального технологічного процесу та ін.

Для вирішення даної проблеми було проведено експеримент і використана можливість емуляції транспортного запізнення за допомогою відповідних налаштувань каналів передавання даних SCADA системі TRACE-MODE. Отримані графіки перехідних процесів при нанесенні збурення зміною завдання на вихід ацетилену з 1000 до 1500 кг/год при відсутності та при емуляції транспортного запізнення представлені

на рис. 6.

З наведених залежностей очевидно, що при емуляції транспортного запізнення перехідні процеси отримані за допомогою математичної моделі, яка реалізована в ChemCAD, носять більш реалістичний характер та більш відповідають реальному технологічному процесу. Однак для підвищення адекватності математичної моделі, величину транспортного запізнення, яке

емулюється за допомогою SCADA, необхідно уточнювати на етапі ідентифікації математичної моделі.

Висновки

В роботі розглянуті особливості використання математичних моделей, які розроблено в універсальній моделюючій програмі ChemCAD та їх використання за допомогою інтерфейсу OPC при створенні систем керування на базі SCADA. Запропоновано вирішення проблеми відсутності транспортного запізнення в SCADA при використанні розрахункових математичних моделей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи моделювання хіміко-технологічних систем: навчальний посібник / О.М. Пахомов, В.І. Коновалов, Н.Ц. Гагапова, А.Н. Коліух. – Тамбов : Вид-во Тамбо. держ. техн. ун-ту, 2008. – 80 с.

2. Бугаєва Л.М., Безносик Ю.О., Статюха Г.О. Системний аналіз хіміко-технологічних комплексів: навчальний посібник. – Київ: НТУУ «КПІ», 2013. – 197 с.

3. Левчук І.Л., Білоброва Е.В., Корсун В.І. Принципи інтеграції спеціального програмного забезпечення інформаційно керуючих систем в сучасні SCADA // Системи обробки інформації. – 2015. – Вип.5. – С.141-144.

4. Кудряшов В.С., Іванов А.В., Алексєєв М.В. Основи програмування мікропроцесорних контролерів в цифрових системах управління технологічними процесами; науч. ред. В.К. Бітюков. – Воронеж : Воронежський державний університет інженерних технологій, 2014. – 144 с.

5. Єлізаров І.А., Третьяков А.А., Пчелинцев А.Н. Інтегровані системи проєктування і управління: SCADA-системи. – Тамбов : Видавництво ФГБОУ ВПО «ТДТУ», 2015. – 160 с.

6. Continuous integration of field level production data into toplevel information systems using the OPC interface standard / M. Hoffmann, C. Byscher, T. Meisen, S. Jeschke. – Procedia CIRP, 2016. – № 41. – P.496-501.

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.059>

7. Литовка Ю.В. Отримання оптимальних проєктних рішень та їх аналіз з використанням математичних моделей. – Тамбов : Вид-во Тамб. держ. техн. ун-та, 2006. – 160 с.

8. Latif H. Integrating A Dynamic Simulator and Advanced Process Control using the OPC-UA Standard / H. Latif, G. Shao, B. Starly // Procedia Manufacturing. – 2019. – Vol. 34. – P.813-819. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.200>

9. Моделювання хіміко-технологічних процесів SCADA за допомогою технології OPEN PLATFORM COMMUNICATIONS / І.Л. Левчук, О.П. Мисов, К.О. Фесенко, А.Р. Шейкус // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2020. – Вип.2. – С.59-66.

<https://doi.org/10.32620/reks.2020.2.05>

10. SCADA система Trace Mode 6: навчальний посібник. – Казань : Вид-во Казан. держ. технол. ун-ту, 2011. – 128 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИНТЕЗА АЦЕТИЛЕНА В CHEMCAD И ОСОБЕННОСТИ ЕГО СВЯЗИ СО SCADA ПРИ ПОМОЩИ ТЕХНОЛОГИИ OPC

Левчук И.Л., Мисов О.П., Фесенко К.А.

В данной статье исследуются особенности построения математических моделей в современных универсальных моделирующих программах и дальнейшее их использование с помощью технологии OPC в системах управления химико-технологическими процессами на базе SCADA систем. Целью является исследование особенностей информационного обмена с помощью технологии OPC между универсальной моделирующей программой ChemCAD и современной SCADA системой TRACE-MODE 6 на примере математической модели кинетического реактора для синтеза ацетилена. Для достижения цели в программной среде моделирующей программы ChemCAD разработана математическая модель кинетического реактора для синтеза ацетилена на базе модели реактора непрерывного перемешивания. Выполнена настройка реактора и экспериментально подобраны параметры материальных потоков. Проведено исследование процесса синтеза ацетилена по математической модели, получена графическая зависимость выхода ацетилена от температуры и выполнен ее анализ, по результатам которого установлена температура, обеспечивающая максимальный выход ацетилена. С помощью технологии OPC реализован информационный обмен между моделью и системой управления процессом синтеза ацетилена, которая построена на базе современной SCADA системы TRACE-MODE 6. Получена графическая зависимость – переходный процесс системы по каналу выхода ацетилена при использовании PID регулятора и нанесении возмущения изменением задания. Проведенный анализ переходного процесса обнаружил отсутствие транспортно запаздывания, что объясняется расчетным характером объекта управления и невозможно для реального технологического процесса. Для решения проблемы был проведен эксперимент, по результатам которого предложен способ эмуляции транспортно запаздывания с помощью функциональных возможностей информационных каналов SCADA системы. Получен график переходного процесса системы по каналу выхода ацетилена, которой подтверждает эффективность предложенного метода эмуляции транспортно опоздания при использовании внешних расчетных моделей в SCADA системах.

Ключевые слова: математическое моделирование, универсальные моделирующие программы, OPC, системы управления, управление на базе SCADA, TRACE-MODE, ChemCAD.

Надійшла до редакції 01.12.2020

MODELING OF ACETYLENE SYNTHESIS PROCESS IN CHEMCAD AND FEATURES OF SCADA CONNECTION USING OPC TECHNOLOGY

Levchuk I., Mysov O., Fesenko K.

Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine

The article examines the features of constructing mathematical models in modern universal modeling programs and their further use using OPC technology in control systems for processes of chemical technology based on SCADA systems. The objective is to study the features of information exchange using OPC technology between the universal ChemCAD simulator and the modern SCADA system TRACE-MODE 6 using the example of a mathematical model of a kinetic reactor for the synthesis of acetylene. To achieve this goal, a mathematical model of a kinetic reactor for the synthesis of acetylene based on a model of a continuous stirring reactor has been developed in the ChemCAD simulation software environment. The reactor was tuned and the parameters of material flows were experimentally selected. A study of the process of synthesis of acetylene was carried out according to a mathematical model, a graphical dependence of the yield of acetylene on temperature was obtained and its analysis was carried out, according to the results of which the temperature providing the maximum yield of acetylene was established. With the help of OPC technology, information exchange between the model and the control system of the acetylene synthesis process is carried out, which is based on the modern SCADA system TRACE-MODE 6. A graphical dependence is obtained describing the transient process of the system through the acetylene output channel when using a PID controller and perturbing with a change in the task. The analysis of the transient process revealed the absence of transport lag, which is explained by the calculated nature of the control object and is impossible for a real technological process. To solve the problem, an experiment was carried out, according to the results of which a method for emulating transport lag using the functionality of the information channels of the SCADA system was proposed. The graph of the transient process of the system through the acetylene outlet channel was obtained, which confirms the effectiveness of the proposed method of emulation of transport delay when using external calculation models in SCADA systems.

Keywords: mathematical modeling, universal modeling programs, OPC, control systems, SCADA-based control, TRACE-MODE, ChemCAD.

REFERENCES

1. Pakhomov A.N. and etc. Osnovy modelyuvannya khimiko-tekhnologichnykh system [Fundamentals of Modeling of Chemical Technology Systems]. Tambov, Tambo. derzh. tekhn. un-tu Publ., 2008. 80 p. (in Ukrainian).
2. Buhaieva L.M. and etc. Systemnyi analiz khimiko-tekhnologichnykh kompleksiv [System analysis of chemical-technological complexes]. Kyiv, NTUU «KPI» Publ., 2013. 197 p. (in Ukrainian).
3. Levchuk I.L., Bilobrova E.V., Korsun V.I. Pryntsypy intehratsiyi spetsial'noho prohramnoho zabezpechennya informatsiyno keruyuchykh system v suchasni SCADA systemy [Principles of integration of special information management software into modern SCADA systems]. Systemy obrobky informatsiyi, 2015, no. 5, pp.141-144. (in Ukrainian).
4. Kudryashov V.S., Ivanov A.V., Aleksyeyev M.V. Osnovy prohramuvannya mikroprotsesornykh kontroleriv v tsyfrovyykh syste-makh upravlinnya tekhnologichnyimi protsesamy [Fundamentals of microprocessor control roller programming in digital process control systems]. Voronezh, Voronez'kyi derzhavnyy universytet inzhenernykh tekhnolohiy Publ., 2014. 144 p. (in Ukrainian).
5. Yelizarov I.A. and etc. Intehrovani systemy proektuvannya i upravlinnya: SCADA-systemy [Integrated design and control systems: SCADA systems]. Tambov, FHBOU VPO «TDTU» Publ., 2015. 160 p. (in Ukrainian).
6. Hoffmann M., Büscher C., Meisen T., Jeschke S. Continuous integration of field level production data into top-level information systems using the OPC interface standard, Procedia CIRP, 2016, no. 41, pp.496-501. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.059>
7. Lytovka Yu.V., Otrymannia optimalnykh proektnykh rishen ta yikh analiz z vykorystanniam matematychnykh modelei [Obtaining optimal design solutions and their analysis using mathematical models]. Tambov, Tamb. derzh. tekhn. un-ta Publ., 2006. 160 p. (in Ukrainian).
8. Latif H., Shao G., Starly B. Integrating A Dynamic Simulator and Advanced Process Control using the OPC-UA Standard. Procedia Manufacturing, 2019, vol. 34, pp.813-819. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.200>
9. Levchuk I.L., Mysov O.P., Fesenko K.O., Sheikus A.R. Modeliuvannya khimiko-tekhnologichnykh protsesiv SCADA za dopomohoiu tekhnolohii OPEN PLATFORM COMMUNICATIONS [Modeling of SCADA chemical-technological processes using OPEN PLATFORM COMMUNICATIONS technology]. Radioelektronni i kompiuterni systemy, 2020, no. 2, pp.59-66. (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32620/reks.2020.2.05>
10. SCADA systema Trace Mode 6 [Trace Mode 6 SCADA system]. Kazan', Kazan. derzh. tekhnol. un-tu Publ., 2011. 128 p. (in Ukrainian).