

І. Л. ЛЕВЧУК, О. П. МИСОВ, К. О. ФЕСЕНКО, А. Р. ШЕЙКУС

*ДВНЗ Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпро, Україна***МОДЕЛЮВАННЯ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У SCADA
ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ OPEN PLATFORM COMMUNICATIONS**

Предметом вивчення у статті є методи інтеграції математичних моделей хіміко-технологічних процесів, що реалізовані в універсальних моделюючих програмах, у сучасні SCADA системи для розробки і удосконалення способів управління цими процесами. Метою є розробка системи управління процесом синтезу ацетилену в кінетичному реакторі, на базі комп'ютерної моделі створеної в універсальних моделюючих програмах і інтегрованої в SCADA за допомогою технології open platform communications (OPC). Завдання: створити математичну модель процесу синтезу ацетилену на базі обраної універсальної моделюючої програми; розробити спосіб інтеграції отриманої моделі в сучасні SCADA за допомогою технології OPC; розробити в SCADA систему управління процесом синтезу ацетилену по математичній моделі в складі функціонального людино-машинного інтерфейсу і алгоритмів керуючої підсистеми; отримати графіки перехідних процесів і довести працездатність системи управління. Провести дослідження процесу по математичній моделі. Використовуваними методами є: комп'ютерне моделювання технологічних процесів; технологія OPC; управління на базі SCADA. Отримані наступні результати. Розроблена система управління процесом синтезу ацетилену на базі SCADA Trace-Mode та математичної моделі реалізованої в пакеті ChemCAD, при цьому інформаційний обмін модель - система управління реалізовано на базі технології OPC. Перевірена і доведена працездатність отриманої системи управління. По математичній моделі виконано дослідження процесу, отримано експериментальну залежність виходу кінцевого продукту - ацетилену, від температури і витрати сировини на вході реактору. Висновки. Новизна отриманих результатів полягає в наступному. Запропоновано новий метод інтеграції математичних моделей, реалізованих у моделюючому пакеті ChemCAD, у сучасні SCADA, на базі технології OPC. Виконано дослідження процесу синтезу ацетилену по математичній моделі, отримані експериментальні залежності виходу ацетилену від температури і витрати етилену на вході реактору синтезу. Аналіз отриманих експериментальних залежностей показав необхідність використання алгоритмів каскадного регулювання для підвищення ефективності керування процесом синтезу ацетилену в кінетичному реакторі.

Ключові слова: універсальні моделюючі програми; інтерфейс OPC; управління на базі SCADA.

Введення

Розробка сучасних інформаційно-управляючих систем хіміко-технологічних процесів (ХТП) на базі Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) [1] вимагає проведення великого обсягу попередніх досліджень на реальних об'єктах автоматизації [2], що не завжди технічно реалізовується і економічно обґрунтовано. Сьогодні дана проблема вирішується використанням математичних моделей, які з достатньою точністю описують технологічні процеси і дозволяють виконати всі необхідні дослідження. Однак розробка високоточних моделей для кожного об'єкта автоматизації неможлива, через значні часо-ві і матеріальні витрати [2, 3].

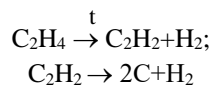
У той же час існує цілий клас програмних пакетів для інженерних розрахунків, проектування та комп'ютерного моделювання як окремих процесів хімічної технології так і цілих виробництв [4], які завдяки об'єднанню баз даних хімічних компонентів, розширених способів розрахунку термодинаміки з гнучкими методами розрахунку апаратів, забезпечують високу точність математичного опису параметрів ХТП. Дані пакети не призначені для вирішення завдань промислової автоматизації та не мають ефективних інструментів для реалізації алгоритмів керування, людино-машинних інтерфейсів (НМІ) і т.д., однак дозволяють просто і ефективно створювати високоточні математичні моделі ХТП практично будь-якої складності [4]. На ринку Украї-

ни найбільшою популярністю користуються пакети універсальних моделюючих програм ChemCAD, PRO/II, Hysys.

Постановка проблеми

Метою даного дослідження є розробка методу інтеграції математичних моделей ХТП, реалізованих в універсальних моделюючих програмах, у сучасні SCADA за допомогою технології Open Platform Communications (OPC). На прикладі універсального пакета для моделювання ХТП - ChemCAD і SCADA системи Trace-Mode 6 [5].

У ChemCAD була реалізована модель, що описує синтез ацетилену (C_2H_2) з етилену (C_2H_4) в кінетичному реакторі [6] при температурах $900 \div 1800$ °С. В основі даного процесу лежать наступні хімічні рівняння:



Реалізована в ChemCAD схема синтезу ацетилену на базі кінетичного реактора представлена на рис 1. Тут 1, 2 – вхідний матеріальний потік (етилен), 3 – вихідний матеріальний потік (ацетилен), 4 – виконавчий механізм (ВМ), що пливає на витрату вихідної сировини - етилену в діапазоні $0 \div 100$ %, 5 – кінетичний реактор.

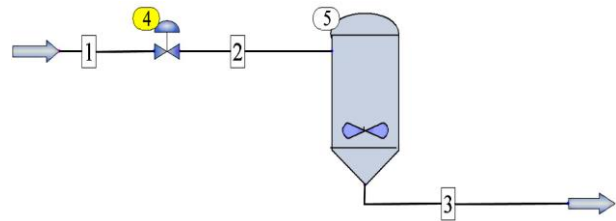


Рис. 1. Схема синтезу ацетилену на базі кінетичного реактору

Взаємодія

ChemCAD ↔ OPC ↔ Trace-Mode

Для організації двостороннього інформаційного обміну ChemCAD ↔ SCADA використовувалася технологія OPC (Open Platform Communication) - сімейство програмних технологій, що реалізують єдиний інтерфейс для інформаційного обміну та управління об'єктами автоматизації і технологічними процесами [7].

Структура взаємодії математичної моделі кінетичного реактора для синтезу ацетилену з SCADA Trace-Mode 6 за допомогою інтерфейсу OPC [8] представлена на рис. 2.

Наступні параметри математичної моделі реалізованої в ChemCAD підлягали зовнішньому моніторингу та зміні з боку SCADA за допомогою інтерфейсу OPC (CHEMCAD7.SimulationServer):

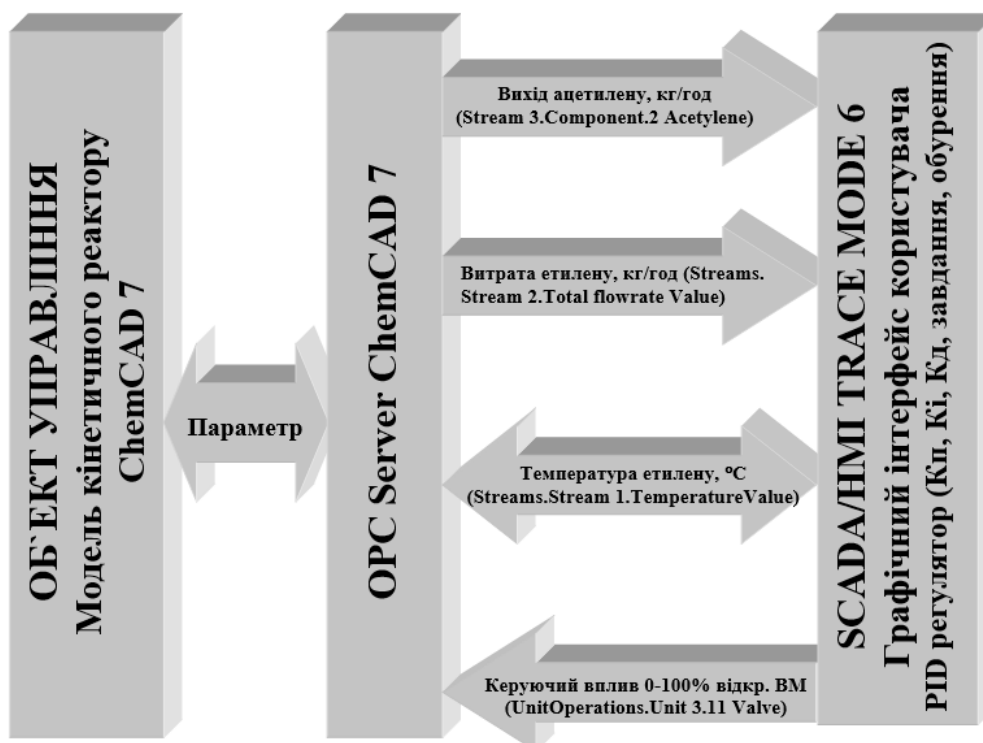


Рис. 2. Схема взаємодії ChemCAD ↔ OPC ↔ Trace-Mode

- **Streams.Stream 1.Temperature Value** – потік 1, температура суміші (етилену) на вході в реактор, °C, вимірюваний параметр;

- **Streams.Stream 2.Total flowrate Value** – потік 2, витрата вихідної суміші (етилену) на вході в реактор, кг/год, вимірюваний параметр;

- **Stream 3.Component.2 Acetylene** – потік 3, вихід цільового продукту ацетилену, кг/год, вимірюваний параметр;

- **UnitOperations.Unit 4.11 Valve position %.**Value – об'єкт 4, ступінь відкриття виконавчого механізму 0÷100 %, керований параметр.

В ході налагодження запропонованої схеми взаємодії ChemCAD ↔ OPC ↔ Trace-Mode з'ясувалося, що при розрахунку моделі процесу в динамічному режимі ChemCAD не дозволяє змінювати параметри моделі за допомогою інтерфейсу OPC до повного закінчення розрахунку. Ймовірно це особливість програмної реалізації розрахунку динаміки моделюючих процесів в ChemCAD. Для вирішення даної проблеми було прийнято рішення емулювати динамічний режим роботи ChemCAD шляхом систематичного покрокового перерахунку моделі в статичному режимі з інтервалом в одну секунду. Робота ChemCAD в такому «квазідинамічному» режимі з точки зору стороннього спостерігача не має відмінностей від класичного динамічного режиму роботи.

Для реалізації запропонованого рішення в SCADA Trace-Mode 6 був реалізований на мові програмування мікропроцесорних контролерів FBD (стандарт IEC 61131-3) [9] додатковий генератор імпульсів на базі функціонального блоку «IMP циклічний імпульс» (рис. 3) і параметра інтерфейсу OPC «RunDynamicOneStep».

Для експериментальної апробації запропонованого методу інтеграції математичної моделі реалізованої в ChemCAD в SCADA була розроблена система управління на базі алгоритму PID регулювання [10], який формує вихідне значення по ПІД-закону від величини, поданої на вхід INP. В основі алгоритму лежить функціональна залежність (1)

$$Q_i = KP \cdot INP_i + \frac{KD \cdot (INP_i - INP_{i-1})}{\Delta t} + KI \cdot \Delta t \cdot \sum_{k=1}^i INP_k, \quad (1)$$

де i – поточний такт перерахунку, KP , KD та KI – відповідно коефіцієнти при пропорційній, диференціальній і інтегральній складових, Δt – період перерахунку блоку в секундах (тривалість такту).

Алгоритм PID обчислює величину керуючого впливу за значенням неузгодженості регульованої

величини Inp і завдання Zad , яке попередньо треба обчислювати за допомогою блоку розрахунку неузгодженості $X-Y$. Графічна реалізація алгоритму управління виходом ацетилену, реалізованого на мові програмування FBD представлена на рисунку 4.

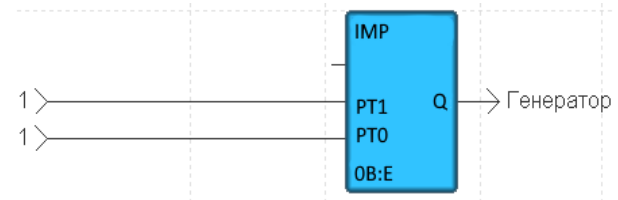


Рис. 3. Генератор імпульсів для запуску моделі в квазідинамічному режимі

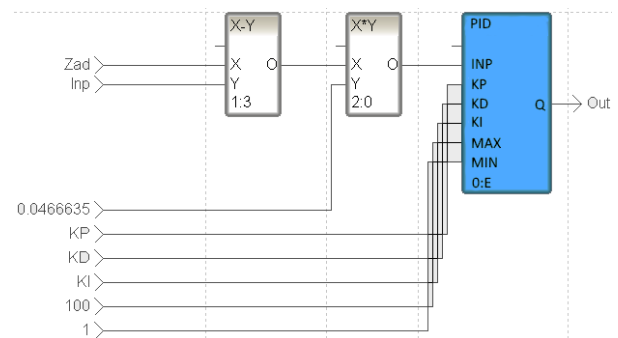


Рис. 4. Алгоритм PID управління виходом ацетилену: «X-Y» – блок, що розраховує неузгодженість між завданням Zad і поточним значенням регульованої величини Inp (вихід ацетилену); «X*Y» – блок масштабування вхідного сигналу; KP , KD , KI – параметри настройки PID регулятора, визначалися за методикою Копеловіча; «Out» – вихід регулятора

В ході експерименту були отримані графіки перехідних процесів в реакторі при нанесенні обурення зміною завдання (вихід ацетилену 1000→1500 кг/год) і зміною параметрів сировини (температура етилену) представлені на рисунку 5.

Основною метою управління процесом синтезу ацетилену є максимальний вихід кінцевого продукту (ацетилену), тобто максимальна продуктивність установки. Завдання системи управління при цьому полягає в забезпеченні технологічного режиму роботи, при якому досягається максимальна ступінь перетворення реагуючих речовин в реакторі.

Для вирішення даного завдання було проведено ряд додаткових досліджень технологічних режимів роботи установки синтезу ацетилену по математичній моделі з використанням розробленого НМІ-інтерфейсу SCADA Trace-Mode 6 [10] (рис. 6).

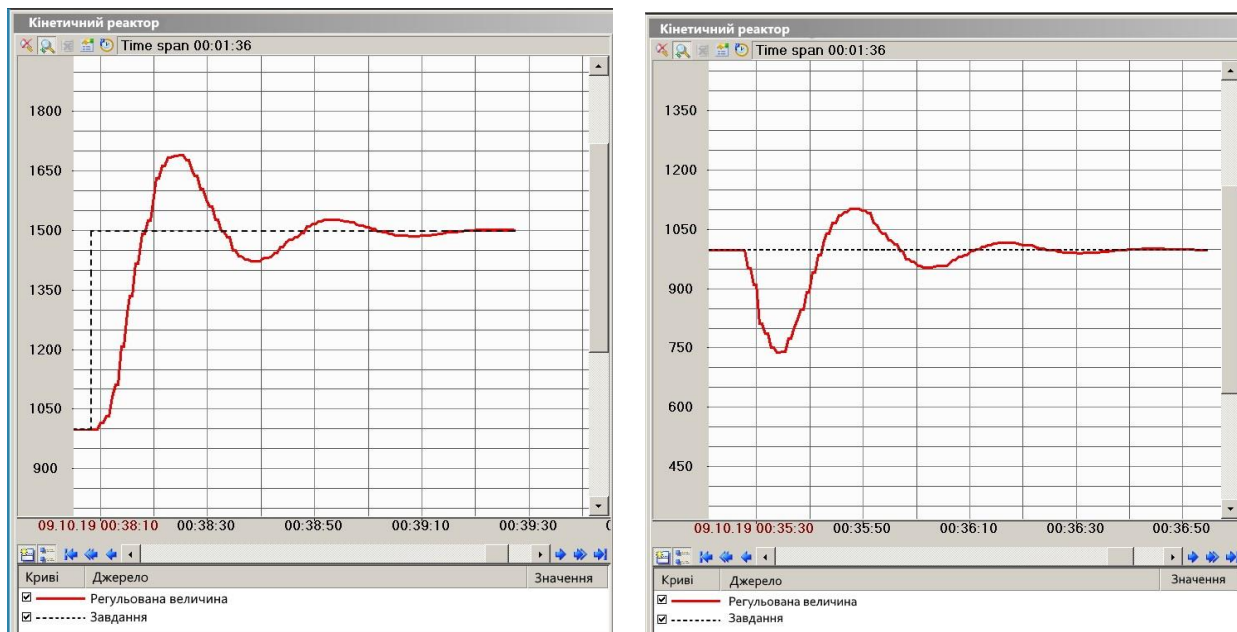


Рис. 5. Графіки перехідних процесів

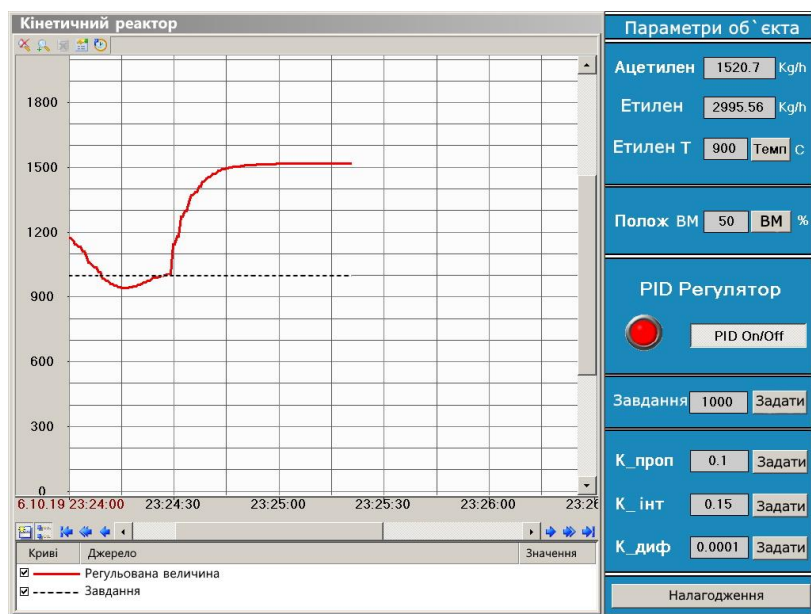


Рис. 6. HMI-інтерфейс SCADA для дослідження процесу

Дослідження впливу температури вихідної суміші (етилену) на вихід кінцевого продукту-ацетилену при 30 % відкритті клапана 4 подачі сировини (див. рис.1) показало наявність точки найбільшого перетворення в районі 911 ° С, що забезпечує максимум виходу ацетилену в 1068,64 кг/год. Подальше підвищення температури веде до падіння продуктивності установки, рисунок 7.

Дослідження впливу температури на вихід ацетилену при 50% відкриття клапана 4 (рис. 1) показа-

ло аналогічну залежність, однак точка оптимуму змістилася в область більш високих температур і становить 947 ° С з максимумом виходу ацетилену в 1680,41 кг/год, рисунок 8.

Аналогічні дослідження були проведені при 75% відкриття клапана подачі сировини, з оптимумом в районі 977 ° С при виході ацетилену в 2401,41 кг/год і при 100 %, з оптимумом в 998 ° С і виходом в 3089,22 кг/год. Узагальнена залежність представлена на рисунку 9.

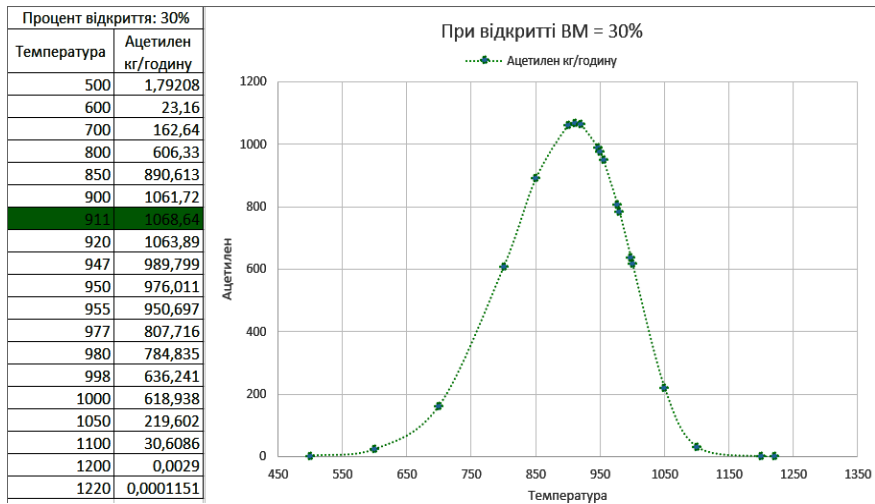


Рис. 7. Залежність виходу ацетилену від температури при 30% відкриття клапана подачі сировини

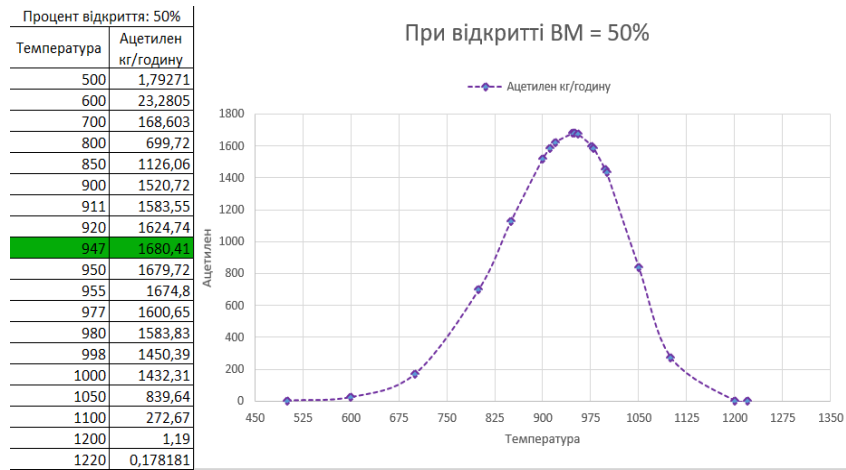


Рис. 8. Залежність виходу ацетилену від температури при 50% відкриття клапана подачі сировини

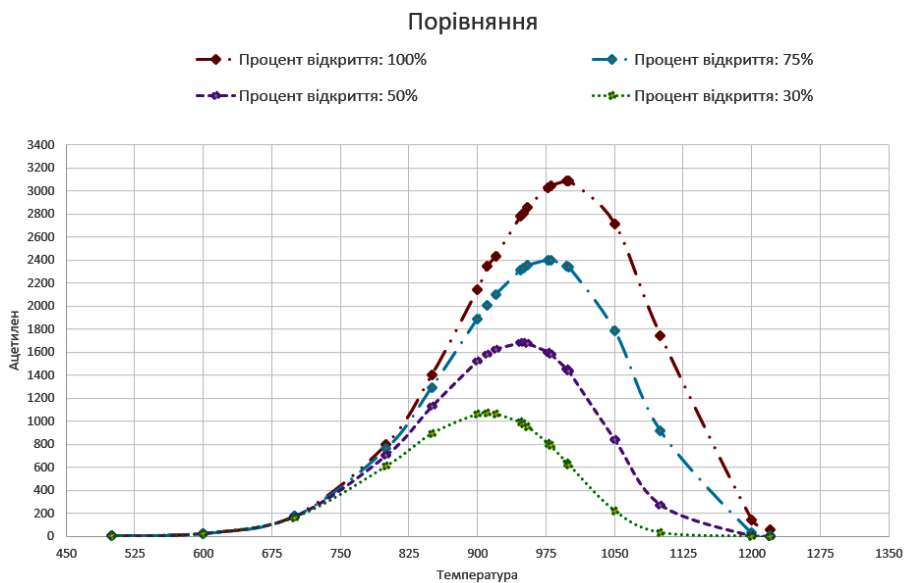


Рис. 9. Порівняння виходу ацетилену при різних положеннях ВМ

Як відомо, швидкість хімічних реакцій залежить як від температури так і від концентрації реагуючих речовин (закон Гульдберга-Вааге). Зміна витрат сировини веде до зміни концентрації реагуючих компонентів, що в свою чергу вимагає коригування температурного режиму для досягнення максимальної продуктивності установки синтезу.

За результатами досліджень технологічних режимів реактора синтезу ацетилену очевидно, що керування на базі типових PID алгоритмів не буде достатньо ефективним. Для забезпечення максимальної продуктивності установки синтезу необхідно використовувати алгоритм каскадного регулювання [11], при якому вихід регулятора витрати сировини коригує завдання регулятора температури.

Висновок

Розроблений метод інтеграції математичних моделей ХТП в сучасні SCADA за допомогою технології OPC пройшов експериментальну апробацію, довів свою функціональність і можливість використання при розробці систем управління на базі SCADA для налагодження алгоритмів управління і тестування НМІ інтерфейсів. Дослідження технологічних режимів реактора для синтезу ацетилену показало необхідність використання каскадних систем регулювання для досягнення максимальної продуктивності.

Література

1. Єфімов, І. П. SCADA – система Trace Mode [Текст] : метод. вказівки до лабораторних робіт / І. П. Єфімов, Д. А. Солюянов ; Ульяновський держ. техн. ун-т. – Ульяновськ : УлГТУ, 2010. – 158 с.
2. Левчук, І. Л. Принципи інтеграції спеціального програмного забезпечення інформаційно керуючих систем в сучасні SCADA системи [Текст] / І. Л. Левчук, Е. В. Білоброва, В. І. Корсун // Системи обробки інформації. – 2015. – Вип.5. – С. 141-144.
3. Study of the features of monitoring the rectification process during automatic control using mobile influences [Text] / A. R. Sheikus, V. L. Kovalenko, V. A. Kotok, O. V. Bilobrova, K. O. Fesenko, V. V. Verbitskiy // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2020. – 15 (1). – P. 122-128.
4. Основи моделювання хіміко-технологічних систем [Текст]: навчальний посібник / О. М. Пахомов, В. І. Коновалов, Н. Ц. Гатапова, А. Н. Коліух. – Тамбов : Вид-во Тамбо. держ. техн. ун-ту, 2008. – 80 с.
5. Єлізаров, І. А. Інтегровані системи проектування і управління: SCADA-системи [Текст] / І. А. Єлізаров, А. А. Третьяков, А. Н. Пчелинцев. – Тамбов : Видавництво ФГБОУ ВПО «ТДТУ», 2015. – 160 с.

6. A modelling study of acetylene oxidation and pyrolysis [Text] / N. Slavinskaya, A. Mirzayeva, R. Whitside, J. Starke, M. Abbasi, M. Auyelkhanqyzy, V. Chernov // Combustion and Flame. – 2019. – Vol. 210. – P. 25-42.

7. Continuous integration of field level production data into top-level information systems using the OPC interface standard [Text] / M. Hoffmann, C. Büscher, T. Meisen, S. Jeschke. – Procedia CIRP, 2016. – No. 41. – P. 496-501.

8. Latif, H. Integrating A Dynamic Simulator and Advanced Process Control using the OPC-UA Standard [Text] / H. Latif, G. Shao, B. Starly // Procedia Manufacturing. – 2019. – Vol. 34. – P. 813-819.

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

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

11. Ліпатніков, Г. А. Автоматичне регулювання об'єктів теплоенергетики [Текст] : уч. посібник / Г. А. Ліпатніков, М. С. Гузєєв. – Владивосток, Далекосхідний державний тех-ний ун-т (ДВПИ ім. Куйбішева), 2007. – 136 с.

References

1. Yefimov, I. P. SCADA - systema Trace Mode [SCADA - Trace Mode system]. Ul'yanovs'k, Ul'yanovs'kyy derzh. tekhn. un-t. Publ., 2010. 158 p.
2. Levchuk, I. L., Bilobrova, E. V., Korsun, V. I. Prynysyuy 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.
3. Sheikus, A. R., Kovalenko, V. L., Kotok, V. A., Bilobrova, O. V., Fesenko, K. O., Verbitskiy, V. V. Study of the features of monitoring the rectification process during automatic control using mobile influences. Journal of Engineering and Applied Sciences, 2020, vol. 15, iss. 1, pp. 122-128.
4. Pakhomov, A. N. and etc. Osnovy modelyuvannya khimiko-tekhnolohichnykh system [Fundamentals of Modeling of Chemical Technology Systems]. Tambov, Tambo. derzh. tekhn. un-tu Publ., 2008. 80 p.
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.

6. Slavinskaya N., Mirzayeva A., Whitside, R., Starke, J., Abbasi, M., Auyelkhanqyzy, M., Chernov, V. A modelling study of acetylene oxidation and pyrolysis. *Combustion and Flame*, 2019, vol. 210, pp. 25-42.
7. 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.
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.
9. Kudryashov, V. S., Ivanov, A. V., Aleksyeyev, M. V. *Osnovy prohramuivannya mikroprotsesornykh kontroleriv v tsyfrovyykh syste-makh upravlinnya tekhnolohichnymy protsesamy* [Fundamentals of microprocessor control roller programming in digital process control systems]. Voronezh, Voronez'kyy derzhavnyy universytet inzhenernykh tekhnolohiy Publ., 2014. 144 p.
10. *SCADA systema Trace Mode 6* [Trace Mode 6 SCADA system]. Kazan', Kazan. derzh. tekhnol. un-tu Publ., 2011. 128 p.
11. Lipatnikov, H. A., Guzeev, M. S. *Avtomatychne rehulyuvannya ob'yektiv teploenerhetyky* [Automatic control of thermal power objects]. Vladyvostok, Dalekoskhidnyy derzhavnyy tekhn-nyy un-t (DVPY im. Kuybysheva) Publ., 2007. 136 p.

Надійшла до редколегії 06.04.2020 розглянута на редколегії 15.04.2020

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В SCADA С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИИ OPEN PLATFORM COMMUNICATIONS

И. Л. Левчук, О. П. Мысов, К. А. Фесенко, А. Р. Шейкус

Предметом изучения в статье являются методы интеграции математических моделей химико-технологических процессов, реализованных в универсальных моделирующих программах, в современные SCADA системы для разработки и усовершенствования способов управления этими процессами. Целью является разработка системы управления процессом синтеза ацетилена в кинетическом реакторе, на базе компьютерной модели, созданной в универсальных моделирующих программах и интегрированной в SCADA с помощью технологии open platform communications (OPC). Задачи: создать математическую модель процесса синтеза ацетилена на базе выбранной универсальной моделирующей программы; разработать способ интеграции полученной модели в современные SCADA с помощью технологии OPC; разработать в SCADA систему управления процессом синтеза ацетилена по математической модели в составе функционального человеко-машинного интерфейса и алгоритмов управляющей подсистемы; получить графики переходных процессов и доказать работоспособность системы управления. Провести исследование процесса по математической модели. Используемыми методами являются: компьютерное моделирование технологических процессов; технология OPC; управление на базе SCADA. Получены следующие результаты. Разработана система управления процессом синтеза ацетилена на базе SCADA Trace-Mode и математической модели, реализованной в пакете ChemCAD, при этом информационный обмен моделью - система управления реализован на базе технологии OPC. Проверена и доказана работоспособность полученной системы управления. По математической модели выполнено исследование процесса, установлена экспериментальная зависимость выхода конечного продукта-ацетилена, от температуры и расхода сырья на входе реактора. Выводы. Новизна полученных результатов состоит в следующем. Предложен новый метод интеграции математических моделей, реализованных в моделирующем пакете ChemCAD, в современные SCADA, на базе технологии OPC. Выполнено исследование процесса синтеза ацетилена по математической модели, получены экспериментальные зависимости выхода ацетилена от температуры и расхода этилена на входе реактора синтеза. Анализ полученных экспериментальных зависимостей показал необходимость использования алгоритмов каскадного регулирования для повышения эффективности управления процессом синтеза ацетилена в кинетическом реакторе.

Ключевые слова: универсальные моделирующие программы; интерфейс OPC; управление на базе SCADA.

SIMULATION OF CHEMICAL-TECHNOLOGICAL PROCESSES IN SCADA FOR THROUGH OPEN PLATFORM COMMUNICATIONS TECHNOLOGY

I. Levchuk, O. Mysov, K. Fesenko, A. Sheikus

The subject of study in the article are methods for integrating mathematical models of chemical-technological processes implemented in universal modeling programs into modern SCADA systems for developing and improving methods for controlling these processes. The goal is to develop a control system for the synthesis of acetylene in a kinetic reactor, based on a computer model created in universal modeling programs and integrated into SCADA using open platform communications (OPC) technology. Tasks: to create a mathematical model of the process of synthesis of acetylene based on the selected universal modeling program; to develop a way to integrate the resulting

model into modern SCADA using OPC technology; to develop in SCADA a control system for the process of synthesis of acetylene according to a mathematical model as part of a functional human-machine interface and control subsystem algorithms; get transient graphs and prove the efficiency of the control system. Conduct a process study using a mathematical model. The methods used are computer simulation of technological processes; OPC technology; SCADA based management. The following results are obtained. A control system for the acetylene synthesis process based on SCADA Trace-Mode and a mathematical model implemented in the ChemCAD package has been developed, while the model - control system information exchange is implemented based on OPC technology. Checked and proved the efficiency of the resulting control system. A mathematical study of the process was carried out, an experimental dependence of the yield of the final product, acetylene, on the temperature, and consumption of raw materials at the inlet of the reactor was established. Conclusions. The novelty of the results is as follows. A new method is proposed for integrating mathematical models implemented in the ChemCAD modeling package into modern SCADA, based on OPC technology. A study of the process of acetylene synthesis by a mathematical model was carried out, experimental dependences of the acetylene yield on temperature and ethylene consumption at the inlet of the synthesis reactor were obtained. An analysis of the obtained experimental dependences showed the need to use cascade control algorithms to increase the efficiency of controlling the process of acetylene synthesis in a kinetic reactor.

Keywords: universal modeling programs; OPC interface; SCADA-based control.

Левчук Ігор Леонідович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації, Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпро, Україна.

Мисов Олег Петрович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації, Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпро, Україна.

Фесенко Ксенія Олексіївна – аспірантка кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації, Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпро, Україна.

Шейкус Антон Романович – канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій та автоматизації, Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпро, Україна.

Igor Levchuk – Candidate of technical sciences, Associate Professor, Department of Computer Integrated Technologies and Automation, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: lil8192@gmail.com, ORCID Author ID: 0000-0002-8983-0558, Scopus Author ID: 56487783000.

Oleg Mysov – Candidate of technical sciences, Associate Professor, Department of Computer Integrated Technologies and Automation, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: musov@ua.fm, ORCID Author ID: 0000-0003-2114-1382, Scopus Author ID: 57193357746.

Ksenia Fesenko – Postgraduate Student, Department of Computer Integrated Technologies and Automation, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine, ORCID Author ID: 0000-0001-5590-2675, Scopus Author ID: 57215219289, e-mail: Ksenia_ksenia@i.ua.

Anton Sheikus – Candidate of technical sciences, Associate Professor, Department of Computer and Integrated Technology and Automation, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: a.sheykus@gmail.com, ORCID Author ID: 0000-0002-5575-098X, Scopus Author ID: 57215221585.