

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ КИСЛОРОДСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ КОБАЛЬТА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

О. В. СЕРГЕЕВА<sup>1\*</sup>, А. А. ПИВОВАРОВ<sup>2</sup>, В. В. ПИЛЯЕВ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Кафедра специализированных компьютерных систем, ГВУЗ Украинский химико-технологический университет, г. Днепропетровск, УКРАИНА

<sup>2</sup> Кафедра технологии неорганических веществ и экологии, ГВУЗ Украинский химико-технологический университет, г. Днепропетровск, УКРАИНА

\*e-mail: ov.sergeeva@mail.ru

**АННОТАЦИЯ** В данной работе рассматривалась система мониторинга процесса получения обводненных кислородсодержащих соединений кобальта с использованием плазмохимического реактора. Перспективы использования подобных систем связаны с появлением тенденции к развитию мини производств, специализирующихся на производстве специальных химических веществ, а также сыпучих промежуточных веществ, пользующихся устойчивым спросом. Отмечено, что использование системы мониторинга для технологий с использованием плазмохимических процессов в условиях экспериментально-исследовательской лаборатории, совмещенной с мини производством, позволяет существенно сократить время на сокращение исследований за счет снятия комплекса показаний соотнесенных с реальным временем процесса.

**Ключевые слова:** мониторинг химико-технологических процессов, неравновесная плазма, жидкость, наноразмерные соединения.

## DEVELOPMENT OF MONITORING SYSTEM FOR PRODUCING OXYGEN-CONTAINING COMPOUNDS OF COBALT BY PLASMO-CHEMICAL METHOD

O. SERGEYEVA<sup>1</sup>, A. PIVOVAROV<sup>2</sup>, V. PILYAEV<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Department of specialized computer systems, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, UKRAINE

<sup>2</sup>Department of inorganic matter technology and ecology, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, UKRAINE

**ABSTRACT** This paper discusses the system of monitoring the process of obtaining oxygen-containing compounds of cobalt using plasma chemical reactor. Prospects for the use of such systems are associated with the emergence of the trend towards the development of small enterprises, specializing in the production of specialty chemicals and bulk intermediates are in steady demand. It should be noted that the use of monitoring systems for technologies using plasma-chemical processes in the conditions of experimental research laboratories, coupled with a small production, can significantly reduce the time to research by recording the readings in real-time process. The use of computer monitoring system in small industries (laboratories), combined with experimental studies is a great help to maximize the use of existing equipment. This is especially true for the development of technology-based contact using the nonequilibrium low-temperature plasma.

By reducing research time and expense of drawing up a more complete picture of the process as a result of removal of the complex characteristics, as well as reducing the consumption of materials due to incorrect operation of the equipment significantly reduces the cost of developing new technologies.

**Keywords:** monitoring of chemical-engineering processes, nonequilibrium plasma, liquid, nano-sized compounds.

### Введение

В последнее время наблюдается появление мини производств, специализирующихся на производстве малых объемов, но с достаточно высокой ценовой категорией специальных химических веществ, а также сыпучих промежуточных химических веществ пользующихся устойчивым рыночным спросом [1-5]. К таким мини производ-ствам можно отнести и лаборатории, в которых производят ультра- и наноразмерные материалы [6]. При этом возникают проблемы с разработкой систем мониторинга для контроля и управления данными химико-технологическими процессами, которые, прежде всего, связаны с построением модели процесса [7].

### Цель работы

Целью данной работы являлось рассмотрение на примере получения кислородсодержащих соединений кобальта плазмохимическим способом [8-10], особенностей разработки системы мониторинга экспериментально-лабораторных установок.

### Изложение основного материала

В общем виде система мониторинга представляет собой [11], систему, представленную на рис. 1.

Основные тенденции, касающиеся разработки систем мониторинга для мини-производств, направлены на то, чтобы получить максимально

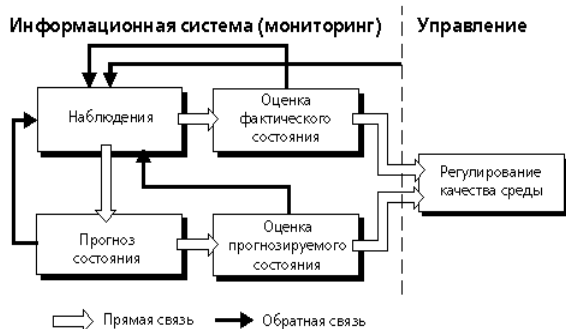


Рис. 1 – Общая блок- схема мониторинга [11]

эффективную и легко перестраиваемую под другой продукт систему [12].

Особенность лабораторных установок в том, что они используются для проведения экспериментальных исследований, но также могут быть использованы для мини производства сырья. При этом на одной установке (возможно с небольшими вариациями) могут разрабатываться и отрабатываться технологии получения различных веществ, близких по способу получения.

Отметим, что любое химическое, пищевое, фармацевтическое и т.п. производство, реализующее конкретную сложную технологию, представляет собой специфическую химико-технологическую систему, состоящую из определенного количества аппаратов и технологических связей между ними [12, 13].

Обычно при составлении моделей, используемых для мониторинга процессов, используется интегральный метод, который заключается в объединении систем уравнений, описывающих работу отдельных аппаратов, в одну большую систему уравнений с дальнейшим решением этой системы.

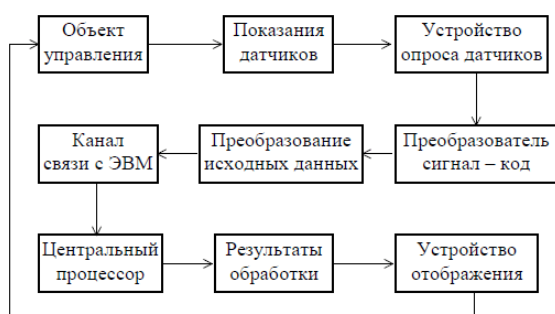


Рис. 2 – Общая схема обработки экспериментальных данных в режиме реального времени [15].

Таким образом, линейные уравнения материального и теплового балансов объединяются с нелинейными уравнениями равновесия химических реакций дифференциальными линейными и нелинейными уравнениями, уравнениями гидродинамики в частных производных и т.д. в единую «большую» систему уравнений. Однако, в данном случае сам плазмохимический реактор, в котором и происходят основные преобразования, в жидких

средах, является устройством в котором совмещается целый комплекс процессов, включая электрохимические (превращения на электродах), плазмохимические (контактное воздействие на жидкофазные системы заряженными и нейтральными частицами, радикалами, образующимися в результате газоразрядной ионизации и имеющих электронную температуру примерно 1 eV, облучение УФ - излучением, образующимся в разряде плазмы), химические (протекающие в результате появления в жидкости новых ионов, радикалов и активированных молекул), процессы кавитации пузырьков газов, образующихся в результате разложения воды вблизи металлических электродов и плазменного разряда при прохождении через слой жидкости, диффузионные, теплообменные и т.п. Представление всех процессов, протекающих в реакторе в виде единой системы уравнений, является трудной и объемной задачей, однако, это было выполнено нами в работе [14]. Здесь, на примере получения соединений меди составлена математическая модель, которая, при использовании соответствующего механизма реакций, подходит и для моделирования процессов, протекающих в плазмохимическом реакторе при работе с соединениями кобальта. При этом из-за длительности расчетов, которые на сегодняшний день значительно превышают время реального протекания процессов в реакторе, для системы мониторинга в реальном времени она малоприспособна. Указанная, модель [14] хорошо подходит для проведения компьютерного эксперимента, который значительно сокращает затраты ресурсов на изыскания, но для системы мониторинга необходимо искать дополнительные варианты.

В общем случае в ходе лабораторного эксперимента должна действовать схема непрерывного мониторинга, отображенная на рис.2 [15], позволяющая получить максимальное количество информации за время проведения эксперимента.

В качестве объекта управления выступает химико-технологическая система, предназначенная для получения оксидных соединений кобальта, блок-схема и, построенная на ее основе, примерная структурная схема которой представлена на рис.3-4, соответственно. При этом, в результате обработки, полученной в ходе экспериментов информации можем использовать зависимости, полученные в виде совокупности математических уравнений, отражающих зависимость выходных величин от входных, дополненная ограничениями, накладываемыми на эти величины, условиями физической осуществимости, требованиями безопасности функционирования, уравнениями связи с другими объектами, которые представляют собой математическую модель процесса.

При этом для процесса получения продукции, модель дополняется алгоритмом управления, обеспечивающим выпуск продукции с заданными показателями.

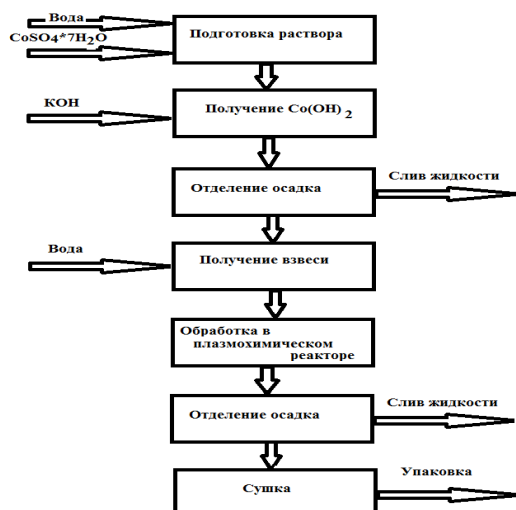


Рис. 3 – Блок-схема процесса получения кислородсодержащих соединений кобальта

В общем виде система мониторинга (рис. 5) представляет собой систему датчиков, объединенную общей шиной с контроллером и блоком наблюдения. От датчиков экспериментальной установки сигналы различной физической природы в определенные моменты времени, задаваемые устройством опроса датчика, поступают на вход преобразования сигнал-код. Далее они поступают через контроллер в блок наблюдения, а от него в блок сбора и хранения данных и блок принятия решений. В случае если показатели не соответствуют нормам, то экспертная система, входящая в блок принятия решений, определяет причину и выставляет диагноз неисправности. Кроме того, из-за интенсивного использования установки, считаем целесообразным включение в систему мониторинга возможности оценки состояния отдельных компонентов (оборудования) системы, например, мониторинг текущих значений производительности и напора компрессора по сравнению с расчетными значениями с получением оценки рабочих характеристик.

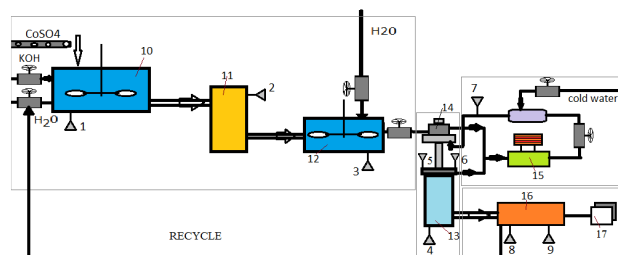
Результат передается в подсистему обработки экспериментальных данных, который передает сигналы управления по шине регулятора на управляемые компоненты. Информация о неисправности выводится на подсистему GUI, а измерительные данные заносятся в БД.

Центральным элементом системы является контроллер, который выполняет следующие функции:

- прием информации от датчиков;
- логическая обработка аналоговой и дискретной информации;
- расчет действительных значений параметров;
- проверка действительных значений параметров на соответствие регламентным нормам;
- формирование управляющих сигналов.

На интерфейсе происходит:

- отображение параметров, представленных в графическом виде;



1- датчик, 2- тахометр, 3- реакция на SO<sub>4</sub>, 4 – датчик, 5 –температурный датчик, 6 –тензометр, 7 – датчик напора, 8 – температурный датчик, 9– психрометр, 10 – чан для смешивания, 11– центрифуга , 12 – чан для промывки, 13 – плазмохимический реактор, имеющий встроенные датчики оценки состояния, 14 –компрессор, 15 – теплообменник, 16–фильтр/сушилка, 17 – пакетирование

Рис. 4 – Примерная структурная схема процесса получения соединений кобальта с использованием плазмохимического реактора.

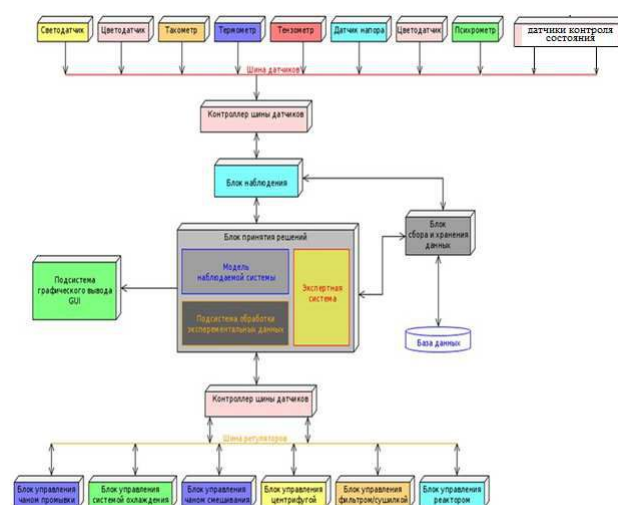


Рис. 5 – Структурная схема системы мониторинга установки для получения соединений кобальта

- формирование сообщений об отклонении параметров от норм технологического регламента;
- формирование и отображение рекомендаций по корректировке технологического процесса на основе значений измеренных параметров;
- предусмотрено архивирование получаемой информации с заданным периодом и отображение архивных данных по запросу.

### Обсуждение результатов

Отметим, что технологические процессы, получения наноразмерных соединений, в том числе порошков, которые обладают уникальными химическими и физическими свойствами, и которые отличаются от свойств материалов в макросостоянии, тем, что очень чувствительны к отступлениям от технологических режимов их получения. Это связано с тем, что именно при уменьшении размеров частиц свойства порошковых материалов существенно меняются и определяются как минимум двумя составляющими: природой материала и размером его частиц. Таким образом, действительно важным

является контроль их получения в реальном времени. Во время проведения лабораторных исследований, связанных с получением наноразмерных соединений особенно ценна возможность проведения системного мониторинга в режиме реального времени, которая позволяет значительно сократить время проведения экспериментальных исследований за счет снятия комплекса параметров. Приведенная структурная схема системы мониторинга химико-технологического оборудования позволяет по мере необходимости подключать дополнительные датчики и блоки. Например, возможно установка камеры для записи процессов, протекающих в реакторе в реальном времени, подключающаяся как автоматически при запуске установки, так и с возможностью отключения по указанию оператора.

При использовании лаборатории для производства небольших партий продукции система данная система позволяет быстро перенастраивать установку, что существенно сокращает время на подготовку и соответственно позволяет более эффективно использовать имеющееся оборудование.

### Выводы

Использование системы компьютерного мониторинга в мини производствах (лабораториях), совмещенных с экспериментальными исследованиями является серьезным подспорьем для максимально эффективного использования имеющегося оборудования. Это особенно актуально для разработок технологий, основанных использовании контактной неравновесной низкотемпературной плазмы.

За счет сокращения времени на исследования и за счет составления более полной картины процесса в результате снятия комплекса характеристик, а также сокращения расхода материалов из-за неправильного функционирования оборудования существенно снижается себестоимость разработки новых технологий.

### Список литературы

1. **Ehrfeld, W.** Microreactors: New technology for modern chemistry/ **W. Ehrfeld, V. Hessel, H. Lehr**// Weinheim: Wiley-VCH. – 2000. – 288 p.
2. **Pieters, B.** The impact of microtechnologies on chemical and pharmaceutical production processes / **B. Pieters, G. Andrieux, J. C. Eloy** // *Chemical Engineering and Technology*. – 2007. – V. 30, №3. – P. 407-409. doi:10.1002/ceat.200600315.
3. **Kano, M.** Data-based and model-based blockage diagnosis for stacked microchemical processes / **M. Kano, T. Fujioka, O. Tonomura, S. Hasebe, M. Noda** // *Chem. Eng. Sci.* – 2007. – 62(4). – P. 1073-1080. doi:10.1016/j.ces.2006.11.011.
4. **Jensen, K. F.** Silicon-based microchemical systems: Characteristics and applications / **K. F. Jensen** // *MRS Bulletin*. – 2006. – 31(2). – P. 101-107. – doi:10.1557/mrs2006.23.
5. **Herder, P. M.** Challenges for process systems engineering in infrastructure design / **P. M. Herder, A. L. Turk, E.**

6. **Subramanian, A. W. Westerberg** // *Comput. Chem. Engg.* – 2000. – №24. – P. 1775-1780. – doi:10.1016/S0098-1354(00)00463-4
7. **Klatt, K.-U.** Perspectives for process systems engineering – Personal views from academia and industry. / **K.-U. Klatt, W. Marquardt** // *Computers and Chemical Engineering*. – 2009. – №33. – P. 536-550. – doi:10.1016/j.compchemeng.2008.09.002.
8. **Fung, K. Y.** Product-centered processing: Pharmaceutical tablets and capsules / **K. Y. Fung, K. M. Ng** // *AIChE J.* – 2003. – №49. – P. 1193-1215. – doi 10.1002/aic.690490512.
9. **Сергеева, О. В.** Характеристики кислородсодержащих соединений кобальта полученных плазмой / **О. В. Сергеева, А. А. Пивоваров** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 12 (1184). – С. 176 - 180. – doi:10.20998/2413-4295.2016.12.26.
10. **Сергеева, О. В.** Получение оксидных соединений металлов в результате обработки водных сред контактной неравновесной плазмой / **О. В. Сергеева, А. А. Пивоваров** // *Технологический аудит и резервы производства.* – 2016. – №2/4(28). – С. 60-63. – doi:10.15587/2312-8372.2016.65419.
11. **Патент на корисну модель №106053 Україна**, МПК (2016.01). Спосіб отримання обводнених з'єднань кобальту. **Сергеева Ольга Вячеславівна, Пивоваров Олександр Андрійович.** (Україна), №u201510970; заявл. 09.11.2015; опубл. 11.04.2016, бюл. № 7.
12. **Пашкевич, М. А.** Экологический мониторинг: Учебное пособие / **М. А. Пашкевич, В. Ф. Шуйский** // Санкт-Петербургский государственный горный институт (ТУ). СПб. – 2002. – 89 с.
13. **Пахомов, А. Н.** Основы моделирования химико-технологических систем: учебное пособие / **А. Н. Пахомов, В. И. Коновалов, Н. Ц. Гагапова, А. Н. Колиух.** – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та. – 2008. – 80 с.
14. **Olivier - Maget, N.** Model based fault diagnosis for hybrid systems: application on chemical processes/ **N. Olivier-Maget, G. Hetreux, J. M. Le Lann, M. V. Le Lann**// *Computers & Chemical Engineering*. – 2009. – Vol. 33. – №°10. – P. 1617-1630. –DOI:10.1016/j.compchemeng.2009.04.016.
15. **Сергеева, О. В.** Пример решения прямой задачи химической кинетики с использованием средств Mathcad Professional / **О. В. Сергеева, А. А. Пивоваров, О. В. Овчаренко** // *Вопросы химии и химической технологи.* –2009. – №5. – С.166-170.
16. **Гумеров, Ас. М.** Математическое моделирование химико-технологических процессов: Учебное пособие / **Ас. М. Гумеров, Н. Н. Валеев, Аз. М. Гумеров, В. М. Емельянов** // Казан. гос. технол. ун-т. – Казань. – 2006. – 216 с.

### Bibliography (transliterated)

1. **Ehrfeld, W., Hessel, V., & Lehr, H.** Microreactors: New technology for modern chemistry. *Weinheim: Wiley-VCH*, 2000, 288p., doi:10.1002/35276019532.
2. **Pieters, B., Andrieux, G., & Eloy, J. C.** The impact of microtechnologies on chemical and pharmaceutical production processes. *Chemical Engineering and Technology*, 2007, 30(3), 407-409, doi:10.1002/ceat.200600315.
3. **Kano, M., Fujioka, T., Tonomura, O., Hasebe, S., & Noda, M.** Data-based and model-based blockage diagnosis

- for stacked microchemical processes. *Chem. Eng. Sci.*, 2007, **62**(4), 1073-1080, doi:10.1016/j.ces.2006.11.011.
4. **Jensen, K. F.** Silicon-based microchemical systems: Characteristics and applications. *MRS Bulletin*, 2006, **31**(2), 101-107, doi:10.1557/mrs2006.23.
  5. **Herder, P. M., Turk, A. L., Subramanian, E., Westerberg, A. W.** Challenges for process systems engineering in infrastructure design. *Comput. Chem. Engg.*, 2000, **24**, 1775-1780, doi:10.1016/S0098-1354(00)00463-4.
  6. **Klatt, K.-U., Marquardt W.** Perspectives for process systems engineering – Personal views from academia and industry. *Computers and Chemical Engineering*, 2009, **33**, 536-550, doi:10.1016/j.compchemeng.2008.09.002.
  7. **Fung, K. Y., Ng, K. M.** Product-centered processing: Pharmaceutical tablets and capsules. *AIChE J.*, 2003, **49**, 1193-1215, doi:10.1002/aic.690490512.
  8. **Sergeyeva, O. V., Pivovarov, A. A.** Features oxygenated cobalt compounds derived plasma chemical treatment of aqueous solutions. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI". 2016, **12**(1184), 176 - 180, doi:10.20998/2413-4295.2016.12.26.
  9. **Sergeyeva, O. V., Pivovarov, A. A.** Production of metal oxide compounds by treatment of aqueous media contact the non-equilibrium plasmas *Technological audit and production of reserves*, 2016, **2/4**(28), 60-63, doi:10.15587/2312-8372.2016.65419.
  10. **The patent for utility model №106053 Ukraine**, IPC (2016.01). Method flooded cobalt compounds. **Olga V. Sergeev, Alexander A. Pivovarov.** №u201510970; appl. 09/11/2015; publ. 04.11.2016, Bull. Number 7.
  11. **Pashkevich, M. A., Shuysky, V. F.** Environmental monitoring: *Textbook*, Saint-Petersburg State Mining Institute (Technical University). St. Petersburg, 2002, 89 p.
  12. **Pahomov, A. N., Konovalov, V. I., Pakhomov, A. N., Gatapova N. C., Koliuh, A. N.** Fundamentals of modeling of chemical-technological systems: *Textbook.* - Tambov: Publishing House of the Thumb. state. tehn. University Press, 2008, 80 p.
  13. **Olivier-Maget, N., Hetreux, G., Le Lann, J. M., Le Lann, M. V.** (2009). Model based fault diagnosis for hybrid systems: application on chemical processes. *Computers & Chemical Engineering*, 2009, **33**(10), 1617-1630, doi:10.1016/j.compchemeng.2009.04.016.
  14. **Sergeyeva O. V., Pivovarov, A. A., Ovcharenko, O. V.** Example of solving the direct problems of chemical kinetics with the use of Mathcad Professional. *Questions of chemistry and chemical technology*, 2009, **5**, 166-170.
  15. **Gumerov, As. M., Valeev, V. M., Gumerov. Az. M. Yemelyanov, V.** Mathematical modeling of chemical-technological processes: *Textbook.* Kasane. state. tehnol. Univ, Kazan, 2006, 216 p.

#### Сведения об авторах (About authors)

**Сергеева Ольга Вячеславовна** – кандидат технических наук, доцент, Украинский государственный химико-технологический университет, доцент кафедры специализированных компьютерных систем, г. Днепропетровск, Украина; e-mail: ov.sergeeva@mail.ru.

**Sergeyeva Olga** – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Affiliation, Department of specialized computer systems, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine, ov.sergeeva@mail.ru

**Пивоваров Александр Андреевич** – доктор технических наук, профессор, Украинский государственный химико-технологический университет, кафедра технологии неорганических веществ и экологии, г. Днепропетровск, Украина; e-mail: apivo@ua.fm

**Pivovarov Alexander** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of inorganic matter technology and ecology, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine; e-mail: apivo@ua.fm.

**Пиляев Валентин Валентинович** – Украинский государственный химико-технологический университет, студент, кафедра специализированных компьютерных систем, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: Superherakle@i.ua

**Pilyaev Valentin** – student, Department of specialized computer systems, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk, Ukraine; e-mail: Superherakle@i.ua

*Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:*

**Сергеева, О. В.** Разработка системы мониторинга получения кислородсодержащих соединений кобальта плазмохимическим методом / **О. В. Сергеева, А. А. Пивоваров, В. В. Пиляев** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 18 (1190). – С. 153-157. – doi:10.20998/2413-4295.2016.18.22.

*Please cite this article as:*

**Sergeyeva, O., Pivovarov, A., Pilyaev, V.** Development of monitoring system for producing oxygen-containing compounds of cobalt by plasm-chemical method. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **18** (1190), 153-157, doi:10.20998/2413-4295.2016.18.22.

*Будь ласка посилайтеся на цю статтю наступним чином:*

**Сергеева, О. В.** Розробка системи моніторингу отримання кисневмісних сполук кобальту плазмохімічним методом / **О. В. Сергеева, О. А. Пивоваров, В. В. Пиляев** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 18 (1190). – С. 153-157. – doi:10.20998/2413-4295.2016.18.22.

**АНОТАЦІЯ** У даній роботі розглядалася система моніторингу процесу отримання обводнених кисневмісних сполук кобальту з використанням плазмохімічного реактора. Перспективи використання подібних систем пов'язані з появою тенденції до розвитку міні виробництв, що спеціалізуються на виробництві спеціальних хімічних речовин, а також ситуативних проміжних речовин, які мають сталий попит. Відзначено, що використання системи моніторингу для технологій з використанням плазмохімічних процесів в умовах експериментально-дослідної лабораторії, суміщеної з міні виробництвом, дозволяє істотно скоротити час на скорочення досліджень за рахунок зняття комплексу показань співвіднесених з реальним часом процесу.

**Ключові слова:** моніторинг хіміко-технологічних процесів, нерівноважна плазма, рідина, нанорозмірні з'єднання.

*Поступила (received) 08.05.2016*