



УДК 681.5.015.3

I.H.SIDDIQOV, S.B.ATAJONOVA

**IMITATION MODEL OF THE CHEMICAL REACTOR CONTROL SYSTEM**

*Карбонлаш технологик жараёнининг динамик хусусиятларини тадқиқ қилиш мақсадида, кимёвий реакторни бошқариш тизимининг имитацион моделини қуриш масалалари кўриб чиқилган. MATLAB дастурининг Simulink пакети асосида объектнинг ҳисоблаш модели ишлаб чиқилган. Ўтказилган имитацион илмий тажриба натижасида кимёвий реактор ҳарорат режимига таъсир этувчи асосий омиллар аниқланган ва мазкур жараён учун энг аҳамиятли таъсир, ростловчи параметр – буғ сарфи аниқланган.*

**Таянч сўзлар:** ҳисоблаш модели, мақсадли компонент, имитацион модель, кўп ўлчамли тизимлар, ночизикли ўзгарувчилар, кимёвий реактор, реакция аралашма.

*Рассматриваются вопросы построения имитационной модели системы управления химическим реактором для целей исследования динамических свойств технологического процесса карбонизации. Разработана вычислительная модель объекта с использованием пакета Simulink программы MATLAB. В результате проведенного имитационного эксперимента выявлены основные факторы, влияющие на температурный режим химического реактора и определен регулирующий параметр – расход пара, который является наиболее существенным для данного процесса.*

**Ключевые слова:** вычислительная модель, целевой компонент, имитационная модель, многомерные системы, нелинейные переменные, химический реактор, реакционная смесь.

*The paper deals with the construction of an imitation model of the chemical reactor control system, for investigating the dynamic properties of the process. Computational model of the object is developed, based on the Simulink package of the MATLAB program. Because of the simulated experiment, the main factor affecting the temperature regime of the chemical reactor was identified and the regulating parameter - steam flow, significantly influencing the process.*

**Key words:** synergetic approach, computational model, target component, simulation model, multidimensional systems, non-linear variables, chemical reactor, reaction mixture.

Одним из основных аппаратов предприятий пищевой промышленности, в частности в производстве кальцинированной соды в технологической схеме получения химических продуктов, является химический реактор, цель управления которым заключается в обеспечении на его выходе заданного оптимального значения концентрации целевого продукта, предусмотренной технологическим регламентом.

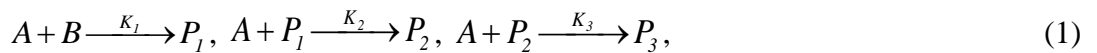
Известно, что химический реактор является энергоемким объектом. В связи с этим, экономическая эффективность всего производства в значительной степени формируется за счет обеспечения нормального функционирования химического реактора и показателей его работы.

Основной особенностью химических реакторов как объектов управления является их многомерность, нелинейность и многосвязанность, а также неопределенность концентрации исходной смеси. В настоящее время имеется достаточное количество публикаций, связанных с автоматизацией и управлением химическими реакторами [1-5]. Однако, проблема синтеза системы управления химических реакторов, обеспечивающих поддержание оптимальных режимов их работы, остается до конца не решенной. Это обусловлено сложностью процессов, протекающих в них. Основным препятствием при синтезе системы автоматического управления такими объектами

является их нелинейность, взаимосвязанность переменных, а также неопределенность возмущений [3].

Одним из перспективных способов решения задачи синтеза системы управления технологическими параметрами химического реактора при карбонизации является метод, базирующийся на синергетических принципах целевой самоорганизации нелинейных динамических систем с активным привлечением методов нейро-нечеткой технологии. Методы синергетической теории управления позволяют в аналитическом виде получать нелинейные законы управления для нелинейных, многомерных и многосвязных динамических систем различной природы. При этом важным является формализация процесса управления динамикой функционирования химического агрегата с учетом физико-химического свойства процесса [4].

Химический реактор представляет собой аппарат емкостного типа, снабженный механической мешалкой. Аппарат функционирует в изотермическом режиме. В реакторе реализуется многостадийная последовательно-параллельная реакция:



где А и В – исходные реагенты, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub> – продукты реакции, k<sub>1</sub>, k<sub>2</sub>, k<sub>3</sub> – константы скоростей стадии. Целевым компонентом является вещество P<sub>2</sub>. Исходные реагенты А и В подаются в аппарат отдельными потоками.

Важным этапом синтеза системы управления технологическим процессом химического реактора является изучения самого процесса как объект исследования и построение его математической модели. Для формализации динамического процесса, протекающего в химическом реакторе, введем следующие обозначения:  $x_1^{ex}, x_2^{ex}$  – концентрация исходных реагентов;  $\mathcal{G}_1, \mathcal{G}_2$  – расход исходных реагентов;  $\mathcal{G}$  – расход реакционной смеси на выходе из аппарата;  $x_1, x_2, x_3, x_4$  – концентрация компонентов А, В, P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub> в реакторе;  $V = x_5$  – объем реакционной смеси в аппарате.

На основе этих обозначений строим информационную модель процесса (рис. 1).



Рис. 1. Информационная модель химического реактора

Тогда формально процесс может быть представлен в следующем виде:

$$\mathcal{G} = f(x_1^{ex}, x_2^{ex}, \mathcal{G}_1, \mathcal{G}_2, V, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) \quad (2)$$

При составлении математической модели также учтены следующие факторы: F – объемный расход; Q – концентрация реагирующего вещества; A – поверхность рубашки реактора; F<sub>c</sub> – расход смеси; ρ – плотность; V – объем реакционной массы.

Основываясь на уравнении материального баланса, получим:

$$F \cdot Q_n + V \cdot S = F \cdot Q + V \frac{dQ}{dt},$$

где  $S = k(Q_{max} - Q)$  – скорость реакции;  $Q_{max}$  – максимально допустимая концентрация целевого компонента;  $k = a \cdot e^{-E/RT}$  – константа скорости реакции;  $a$  – постоянный коэффициент;  $E$  – энергия активации;  $R$  – универсальная газовая постоянная.

С учетом последних выражений уравнение материального баланса реактора получим:

$$F \cdot Q_n + V \cdot a(Q_{max} - Q) \cdot e^{-E/RT} = F \cdot Q + V \frac{dQ}{dt} \text{ (нестационарный режим).}$$

Для равновесного состояния уравнение имеет вид:

$$F_0 \cdot Q_{n0} + V \cdot a(Q_{max} - Q_0) \cdot e^{-E/RT} = F_0 \cdot Q_0.$$

С учетом вышеизложенного составим математическую модель химического реактора при постоянной температуре реакционной смеси и переменном уровне (объеме):

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = R_1 + \frac{\mathcal{G}_1 x_1^{ex}}{x_5} - \frac{\mathcal{G} x_1}{x_5}; \\ \frac{dx_2}{dt} = R_2 + \frac{\mathcal{G}_2 x_2^{ex}}{x_5} - \frac{\mathcal{G} x_2}{x_5}; \\ \frac{dx_3}{dt} = R_3 - \frac{\mathcal{G} x_3}{x_5}; \\ \frac{dx_4}{dt} = R_4 - \frac{\mathcal{G} x_4}{x_5}; \\ \frac{dx_5}{dt} = u - \mathcal{G}; \end{cases} \quad (3)$$

где  $R_1 = -k_1 \cdot x_1 \cdot x_2 - k_2 \cdot x_1 \cdot x_3 - k_3 \cdot x_1 \cdot x_4$ ,  $R_2 = -k_2 \cdot x_1 \cdot x_2$ ,  $R_3 = k_1 \cdot x_1 \cdot x_2 - k_2 \cdot x_1 \cdot x_3$ ,  $R_4 = k_2 \cdot x_1 \cdot x_3 - k_3 \cdot x_1 \cdot x_4$  - скорость реакции по компонентам;  $u = \mathcal{G}_1 + \mathcal{G}_2$  - суммарный расход реагентов на входе в реактор.

Уравнения (1) являются основой для составления вычислительной модели объекта управления – химического реактора в виде структурной схемы (рис. 2), с помощью которой разрабатывается имитационная модель технологического процесса, протекающего в рассматриваемом объекте.

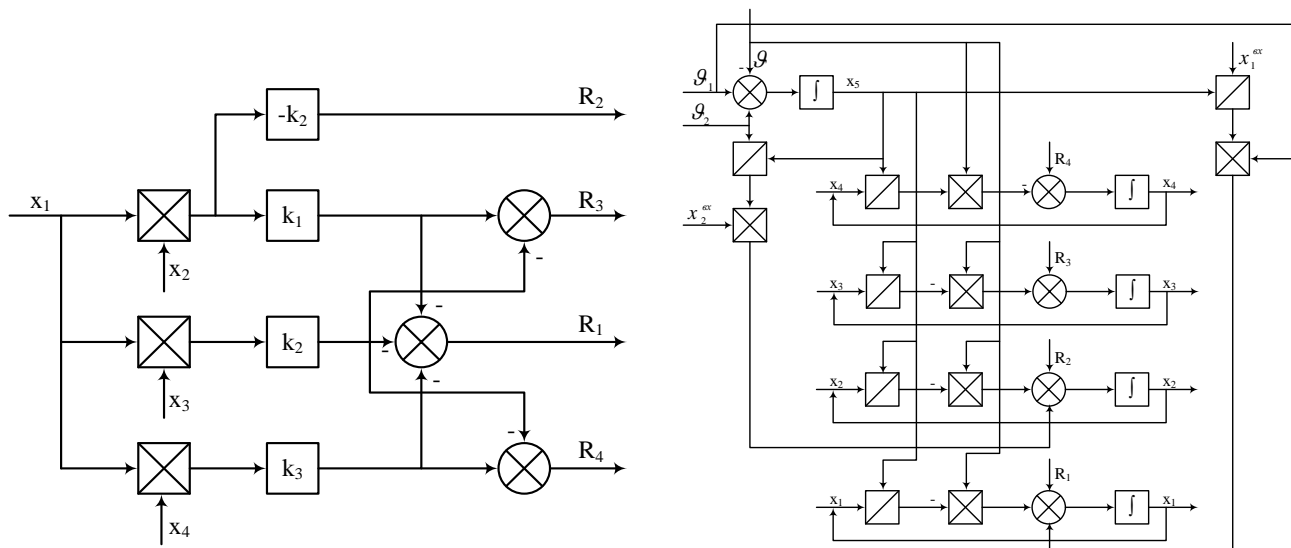


Рис. 2. Вычислительная модель объекта управления

Далее, в целях исследования динамических свойств объекта управления на основе полученных выражений (3) в среде MATLAB была построена имитационная модель химического реактора (рис. 3) и проведен ряд вычислительных экспериментов при различных значениях входных воздействий (рис. 4).

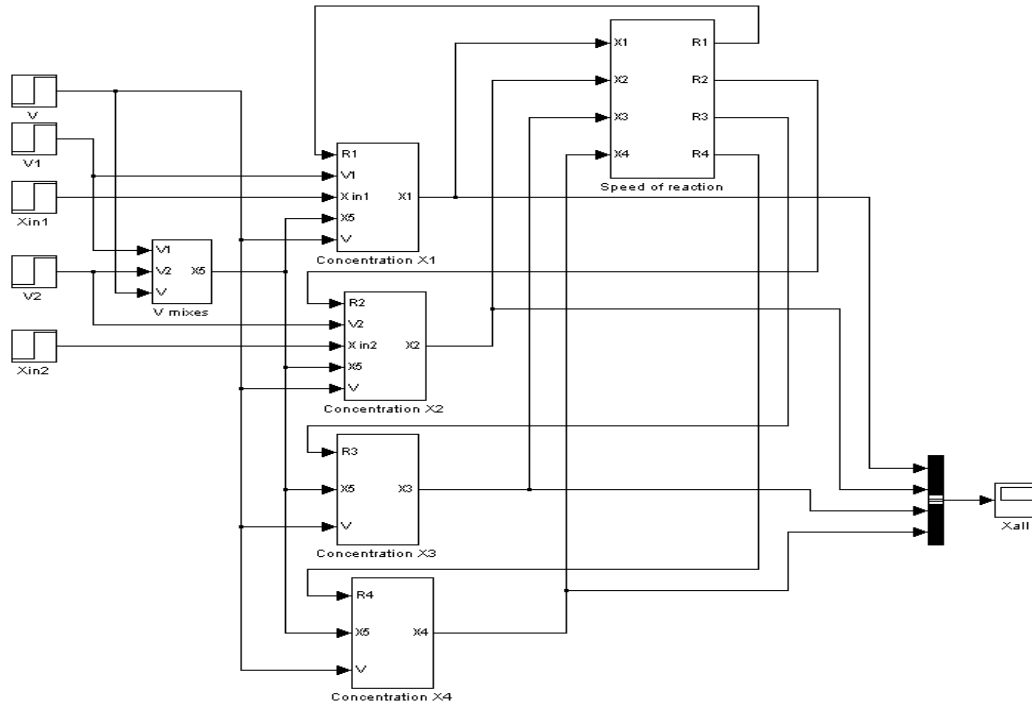


Рис. 3. Имитационная модель системы управления.

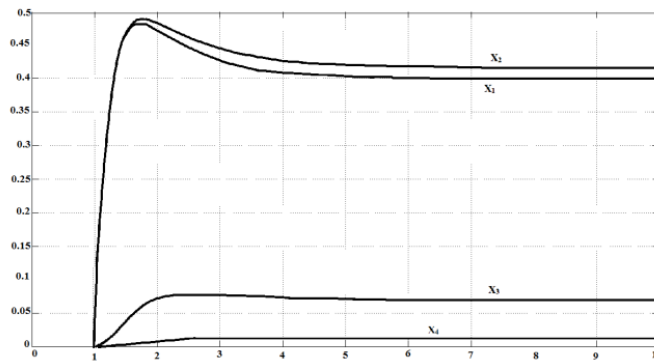


Рис. 4. Графики переходных процессов компонентов реакции.

При изменении входных воздействий ( $X_{in1}$ ,  $X_{in2}$ ) таких, как расход и температура пара на 20 %, были получены динамические характеристики объекта управления, который представлен на рис. 5.

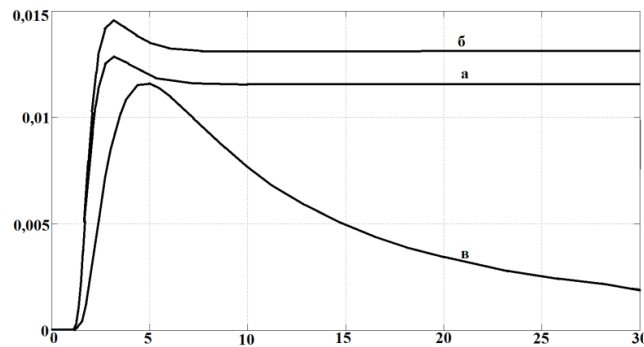


Рис. 5. Графики переходных процессов целевого продукта реакции.  
 а) при начальных входных воздействиях; б) при изменении входного параметра  $X_{in1}$  на 20%;  
 в) при изменении входного параметра  $X_{in2}$  на 20%.

Из анализа динамических характеристик можно сделать вывод о том, что концентрация целевого продукта, получаемого на выходе химического реактора, обладает большей чувствительностью по отношению к изменению расхода пара, чем к изменению его температуры. Таким образом, в качестве основного воздействия на температурный режим реактора выбираем расход пара [5].

Исследование объекта показало, что при наличии различных видов нелинейностей, много-связанность переменных, а также параметрических возмущений в объекте управления существенно ухудшаются качественные показатели целевого продукта, что обуславливает применение синергетического подхода для синтеза системы управления.

Поэтому решение задачи синтеза САУ предлагается искать с применением нейро-нечеткой технологии, которая дает возможность учитывать неопределенности и нечеткости исходных данных, а также возможность оценки качественных показателей объекта управления.

#### References:

1. Kafarov V.V., Meshalkin V.P., Petrov V.L. Avtomaticheskie osnovy' avtomatizirovannogo proektirovaniya himicheskikh proizvodstv. -M.: Himiya, 1979.
2. Kafarov V.V., Dorohin I.N. Sistemny'y analiz processov himicheskoy tehnologii. Osnovy' strategii. -M.: Nauka, 1976.
3. Kafarov V.V., Meshalkin V.P. Principy' razrabotki intellektual'ny'h sistem v himicheskoy promy'shlennosti // Dokl.AN. 1989. T.306. №2.
4. Marahimov A.R., Igamberdiev H.Z., YUsupbekov A.N., Siddikov I.H. Nечetko mnojestvenny'e modeli i intellektual'noe upravlenie tehnologicheskimi processami. -T.: TashGTU, 2014. -240 s.
5. Siddikov I.H., Zhukova Ju.A. Neuro-fuzzy adaptive control system of dynamic objects under uncertainty. Eight-world conference on intelligent systems for industrial automation. WCIS-2014. - pp 339-343.

*Сиддиков Исомиддин Хакимович – доктор технических наук, профессор кафедры  
«Системы обработки информации и управления», ТГТУ;*

*Атажонова Саида Бараталиевна – старший преподаватель, Андижанского машиностроительного института  
Tel: +99899 908 77 32(м.), E-mail: cool.atajonov@mail.ru.*