

УДК: 66.011:681.51

DOI: 10.30987/article\_5c387d62f2a733.72337613

В.Ю. Невиницын, А.Н. Лабутин, Г.В. Волкова

## УПРАВЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

*В работе решается задача синтеза нелинейного алгоритма стабилизации температурного режима в жидкофазном химическом реакторе, обеспечивающего инвариантность к возмущениям, ковариантность с задающими воздействиями и асимптотическую устойчивость замкнутой системы. Синтез законов управления осуществляется с использованием метода аналитического конструирования агрегированных регуляторов.*

**Ключевые слова:** аналитическое конструирование агрегированных регуляторов, синергетическая теория управления, химический реактор, система управления, компьютерное моделирование.

V.Yu. Nevinitsyn, A.N. Labutin, G.V. Volkova

## TEMPERATURE MODE MANAGEMENT OF CHEMICAL REACTOR

*This article solves the problem of synthesizing a nonlinear algorithm for stabilizing the temperature mode in a liquid-phase chemical reactor, ensuring invariance to perturbations, covariance with mastering effects and asymptotic stability of a closed system. The control laws are synthesized using the method of analytical design of aggregated regulators.*

**Keywords:** analytical design of aggregated regulators, synergetic control theory, chemical reactor, control system, computer simulation.

### Введение

Центральным звеном производственного процесса превращения исходных веществ в конечные продукты является реакторный узел, который должен быть кибернетически организованным. Это требование означает, что на стадии проектирования решается задача оптимального синтеза реакторного узла, а на стадии эксплуатации подзадача организации оптимального функционирования объекта в условиях действия параметрических и сигнальных возмущений [1]. Вторая подзадача может быть решена только путем разработки системы управления объектом.

Основной особенностью химических реакторов, как объектов управления, является их многомерность, нелинейность и многосвязность. Задача синтеза оптимальных систем управления такого рода динамическими объектами в полной мере не решена [2]. Вопросы разработки систем автоматической стабилизации и управления реакторами рассматривались в основном в линейной постановке [3] и лишь для ряда простых случаев – в нелинейной постановке [4].

Одним из перспективных способов решения рассматриваемой задачи, является метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР), базирующийся на синергетических принципах целевой самоорганизации нелинейных динамических систем [5].

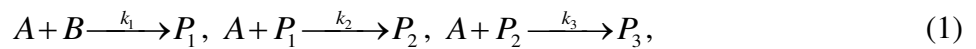
Использование идей синергетики в задачах управления требует перехода от непредсказуемого поведения системы по алгоритму диссипативной структуры к направленному движению к целевому аттрактору (желаемому инвариантному многообразию) и дальнейшему движению вдоль многообразия в конечное состояние. Данный способ самоорганизации называется направленным или целевым [5]. Эффективность алгоритмов, синтезированных с применением синергетической теории управления, показана в ряде работ [6 - 9].

В предлагаемой работе решается задача аналитического синтеза алгоритма управления температурой в химическом реакторе методом АКАР, обеспечивающего инвариантность к возмущениям, ковариантность с задающими воздействиями и асимптотическую устойчивость замкнутой системы управления.

### 1. Описание технологического процесса

В промышленности нередко ситуация, когда реакторный процесс ведут по температуре смеси в аппарате. При этом, как правило, стабилизируются расходы входных потоков, их соотношение и уровень смеси в реакторе. Вопросы топологического и структурного синтеза автоматических систем регулирования температуры рассмотрены в [3].

Рассмотрим широко применяемый в химической промышленности жидкофазный реактор емкостного типа непрерывного действия, снабженный механической мешалкой для перемешивания реакционной смеси и теплообменной рубашкой (рис. 1). В аппарате реализуется трехстадийная последовательно-параллельная экзотермическая реакция



где  $A$  и  $B$  – исходные реагенты;  $P_1, P_2, P_3$  – продукты реакции;  $k_1, k_2, k_3$  – константы скоростей стадий. Целевым компонентом является вещество  $P_2$ . В общем случае при изменении спроса на продукты реакции целевым может быть и другой компонент или смесь ряда веществ. Аппарат функционирует в политропическом режиме. Исходные реагенты  $A$  и  $B$  подаются в аппарат отдельными потоками. Смесь из реактора забирается насосом. Поскольку в аппарате протекает экзотермическая реакция, в рубашку реактора подается хладагент для охлаждения реакционной массы.

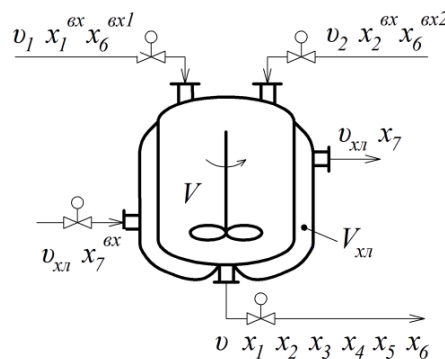


Рис. 1. Принципиальная схема химического реактора

На рис. 1 введены следующие обозначения:  $x_1^{BX}, x_2^{BX}$  – концентрации исходных реагентов;  $v_1, v_2$  – расход исходных реагентов;  $x_6^{ex1}, x_6^{ex2}$  – температуры потоков исходных реагентов;  $x_7^{ex}, x_7$  – температуры хладагента на входе и выходе из аппарата;  $v_{xl}$  – расход хладагента на входе и выходе из аппарата;  $x_6$  – температура реакционной смеси в аппарате;  $v$  – расход реакционной смеси на выходе из аппарата;  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  – концентрации компонентов  $A, B, P_1, P_2, P_3$  в реакторе;  $V$  – объем реакционной смеси в аппарате;  $V_{xl}$  – объем хладагента в рубашке.

Задача управления химическим реактором заключается в стабилизации температуры смеси в аппарате на заданном уровне  $\bar{x}_6$  в условиях действия возмущений. Управляющим воздействием является расход хладагента, подаваемый в рубашку.

Система дифференциальных уравнений, характеризующая модель динамики объекта, имеет вид:

$$\begin{aligned}
 \frac{dx_1}{d\tau} &= R_1 + M_A - b_2x_1 - b_3x_1, \\
 \frac{dx_2}{d\tau} &= R_2 + M_B - b_2x_2 - b_3x_2, \\
 \frac{dx_3}{d\tau} &= R_3 - b_2x_3 - b_3x_3, \\
 \frac{dx_4}{d\tau} &= R_4 - b_2x_4 - b_3x_4, \\
 \frac{dx_5}{d\tau} &= R_5 - b_2x_5 - b_3x_5, \\
 \frac{dx_6}{d\tau} &= \alpha_1k_1x_1x_2 + \alpha_2k_2x_1x_3 + \alpha_3k_3x_1x_4 + b_2x_6^{exl} + \beta_1x_7 - (\beta_1 + b_2)x_6 + (x_6^{ex2} - x_6)b_3, \\
 \frac{dx_7}{d\tau} &= \beta_2(x_6 - x_7) + b_1(x_7^{ex} - x_7)u,
 \end{aligned} \tag{2}$$

где  $R_1 = -k_1x_1x_2 - k_2x_1x_3 - k_3x_1x_4$ ,  $R_2 = -k_1x_1x_2$ ,  $R_3 = k_1x_1x_2 - k_2x_1x_3$ ,  $R_4 = k_2x_1x_3 - k_3x_1x_4$ ,  $R_5 = k_3x_1x_4$  – скорость реакции по компонентам;  $M_A = \nu_1x_1^{ex} / V$ ;  $M_B = \nu_2x_2^{ex} / V$ ;  $b_1 = 1/V_{xl}$ ;  $b_2 = \nu_1 / V$ ;  $b_3 = \nu_2 / V$ ;  $\alpha_i = \Delta H_i / (\rho C)$ ,  $i = 1, \dots, 3$ ;  $\beta_1 = K_T F_T / (\rho C V)$ ;  $\beta_2 = K_T F_T / (\rho_{xl} C_{xl} V_{xl})$ ;  $\Delta H_i$ ,  $i = 1, \dots, 3$  – тепловой эффект соответствующей стадии реакции;  $\rho$ ,  $C$  – плотность и теплоемкость реакционной смеси;  $\rho_{xl}$ ,  $C_{xl}$  – плотность и теплоемкость хладагента;  $K_T$  – коэффициент теплопередачи;  $F_T$  – поверхность теплообмена;  $k_i = k_{i0} \cdot \exp(-E_i / R(x_6 + 273))$ ,  $i = 1, \dots, 3$  – константы скоростей стадий;  $k_{i0}$ ,  $i = 1, \dots, 3$  – постоянный множитель (предэкспонента) констант скоростей стадий;  $E_i$ ,  $i = 1, \dots, 3$  – энергия активации соответствующей стадии реакции;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $u = \nu_{xl}$  – регулирующее воздействие.

## 2. Аналитическое конструирование регулятора температуры

Поскольку математическая модель объекта (2) содержит одно внешнее управляющее воздействие  $u = \nu_{xl}$  необходимо использовать метод АКАР на основе последовательной совокупности инвариантных многообразий [5]. Анализ уравнений (2) показывает, что управляющее воздействие  $u = \nu_{xl}$  воздействует на переменную  $x_6$  через переменную  $x_7$ . Таким образом, канал управления температурой смеси в аппарате в развернутом виде запишется:  $u \rightarrow x_7 \rightarrow x_6$ .

Согласно методу АКАР [5], в фазовом пространстве динамических систем можно построить ряд многообразий, к которым притягиваются фазовые траектории. Отсюда следует возможность конструирования такой совокупности притягивающих инвариантных многообразий  $\psi_s(\bar{x}) = 0$ ,  $s = \overline{1, m}$ , когда изображающая точка системы, начав двигаться из произвольного начального положения в фазовом пространстве, последовательно перемещается от одного многообразия к другому, пока не попадет на последнее  $\psi_m(\bar{x}) = 0$ , приводящее в заданное конечное состояние. Таким образом, изображающая точка сначала сближается с многообразием  $\psi_1(\bar{x}) = 0$ , затем с  $\psi_2(\bar{x}) = 0$  и т.д. При использовании  $m$  притягивающих многообразий размерность каждого  $i$ -го многообразия будет на единицу меньше предыдущего, вследствие чего происходит сжатие фазового объема и динамическая декомпозиция задачи.

Качественный анализ структуры правых частей уравнений системы (2) показывает, что переменные состояния взаимосвязаны в статике (например, в правой части уравнения для  $x_6$  присутствуют другие фазовые координаты). Исходя из данного факта и основываясь на принципе эквивалентности управлений, введем в рассмотрение инвариантное многообразие

$$\psi_1 = x_7 + v_1(x_6) = 0, \quad (3)$$

где  $v_1(x_6)$  – неизвестная функция от  $x_6$ . Закон управления синтезируется таким образом, чтобы осуществлялся перевод изображающей точки системы в фазовом пространстве из произвольного начального положения в окрестность многообразия  $\psi_1 = 0$ . Изменение агрегированной макропеременной, играющей роль параметра порядка, должно подчиняться функциональному уравнению

$$T_1 \dot{\psi}_1 + \psi_1 = 0. \quad (4)$$

Уравнение (4) с учетом (3) примет вид

$$T_1 \left[ \frac{dx_7}{d\tau} + \frac{\partial v_1}{\partial x_6} \cdot \frac{dx_6}{d\tau} \right] = -\psi_1.$$

В силу уравнений объекта (2) это выражение запишется:

$$T_1 \left[ \beta_2(x_6 - x_7) + b_1(x_7^{ex} - x_7)u + \frac{\partial v_1}{\partial x_6} \cdot (f_6 + \beta_1 x_7) \right] + x_7 + v_1 = 0, \quad (5)$$

где  $f_6 = \alpha_1 k_1 x_1 x_2 + \alpha_2 k_2 x_1 x_3 + \alpha_3 k_3 x_1 x_4 + b_2 x_6^{ex1} - (\beta_1 + b_2)x_6 + (x_6^{ex2} - x_6)b_3$ .

Из (5) получаем выражение для закона управления

$$u = -\frac{(x_7 + v_1)}{T_1 b_1 (x_7^{ex} - x_7)} - \frac{\beta_2(x_6 - x_7)}{b_1(x_7^{ex} - x_7)} - \frac{\partial v_1}{\partial x_6} \cdot \frac{(f_6 + \beta_1 x_7)}{b_1(x_7^{ex} - x_7)}. \quad (6)$$

Управление  $u$  переводит изображающую точку системы в окрестность многообразия  $\psi_1 = 0$ , на котором реализуется связь  $x_7 = -v_1$  и наблюдается эффект «сжатия фазового пространства», т.е. снижение размерности системы уравнений (2). Уравнения декомпозированной системы с учетом соотношения  $x_7 = -v_1$  примут вид:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{d\tau} &= R_1 + M_A - b_2 x_1 - b_3 x_1, \\ \frac{dx_2}{d\tau} &= R_2 + M_B - b_2 x_2 - b_3 x_2, \\ \frac{dx_3}{d\tau} &= R_3 - b_2 x_3 - b_3 x_3, \\ \frac{dx_4}{d\tau} &= R_4 - b_2 x_4 - b_3 x_4, \\ \frac{dx_5}{d\tau} &= R_5 - b_2 x_5 - b_3 x_5, \\ \frac{dx_6}{d\tau} &= f_6 - \beta_1 v_1. \end{aligned} \quad (7)$$

Функцию  $v_1(x_6)$  в декомпозированной системе (7) можно рассматривать как «внутреннее» управление, под воздействием которого происходит движение объекта (7) вдоль многообразия  $\psi_1 = 0$ . На втором шаге процедуры синтеза закона управления осуществляется поиск выражения для  $v_1(x_6)$ . Для этого вводится в рассмотрение цель движения системы (7) в форме инвариантного многообразия, отражающего технологическое требование к системе

$$\psi_2 = x_6 - \bar{x}_6 = 0. \quad (8)$$

Макропеременная  $\psi_2$  удовлетворяет решению функционального уравнения  $T_2\dot{\psi}_2 + \psi_2 = 0$ , которое в развернутом виде с учетом выражения (8) в силу модели декомпозированной системы (7) примет вид:

$$T_2(f_6 - \beta_1 v_1) + x_6 - \bar{x}_6 = 0. \quad (9)$$

«Внутреннее» управление в соответствии с выражением (9) запишется

$$v_1 = \frac{(x_6 - \bar{x}_6)}{T_2\beta_1} + \frac{f_6}{\beta_1}. \quad (10)$$

Закон (10) обеспечивает асимптотическое приближение изображающей точки ко второму притягивающему многообразию  $\psi_2 = x_6 - \bar{x}_6 = 0$ .

Окончательное выражение для закона внешнего управления  $u(x)$  можно получить путем подстановки в (6) функции  $v_1$  и ее частной производной  $\partial v_1 / \partial x_6$ . Частную производную  $\partial v_1 / \partial x_6$  можно получить как аналитическим способом, так и с помощью численных методов. Параметрами настройки закона управления, влияющими на качество динамики процессов в замкнутой системе «реактор – управляющее устройство», являются постоянные времени  $T_1, T_2$ .

Из структуры закона управления температурой (6), (10) видно, что параметр  $T_1$  оказывает непосредственное влияние на регулирующее воздействие  $u = v_{xl}$ , а параметр  $T_2$  оказывает влияние на «внутреннее» управление  $v_1$ , которое, в свою очередь, влияет на регулирующее воздействие  $u = v_{xl}$ . В работе [5] показано, что время попадания изображающей точки системы из произвольного начального положения в окрестность заданного инвариантного многообразия приближенно определяется следующим выражением:

$$\tau_\psi \approx (4 \div 5)T, \quad (11)$$

где  $T$  – параметр основного функционального уравнения (4).

Таким образом, выбор настроечных параметров  $T_1, T_2$  осуществляется на основании требуемого времени перевода изображающей точки системы в окрестность инвариантных многообразий  $\psi_1 = 0$  и  $\psi_2 = 0$ , т.е. на основании заданного времени переходного процесса в соответствии с оценкой (11). В исследуемом варианте системы управления время переходного процесса (время регулирования) будет определяться в соответствии с выражением:

$$\tau_p \approx (4 \div 5)[T_1 + T_2]. \quad (12)$$

### 3. Компьютерное моделирование и результаты

Методами компьютерного моделирования проведено исследование системы управления температурным режимом в химическом реакторе с использованием синтезированного нелинейного закона. Исследованы свойства инвариантности к возмущениям, ковариантности с задающими воздействиями и асимптотической устойчивости замкнутой системы.

Моделирование проводилось при технологических и конструктивных параметрах, обеспечивающих оптимальный режим работы химического реактора [10]:  $V = 500$  л;  $V_{xl} = 290$  л;  $x_1^{ex} = 19.74$  моль/л;  $x_2^{ex} = 10.93$  моль/л;  $v_1 = 1.5$  л/мин,  $v_2 = 3.5$  л/мин,  $v = 5.0$  л/мин,  $v_{xl} = 3.84$  л/мин;  $x_6^{ex1} = 20$  °С;  $x_6^{ex2} = 30$  °С;  $x_7^{ex} = 20$  °С;  $K_T = 12$  кДж/(м<sup>2</sup> мин К);  $F_T = 2.9$  м<sup>2</sup>;  $\rho = 0.9$  кг/л;  $C = 2$  кДж/(кг К);  $\rho_{xl} = 1$  кг/л;  $C_{xl} = 4.18$  кДж/(кг К);  $\Delta H_1 = \Delta H_2 = \Delta H_3 = 80$  кДж/моль;  $E_1 = 48635$  Дж/моль;  $k_{10} = 109860$  л/(моль мин); соотношения констант скоростей последовательных стадий  $k_2/k_1 = 2.0$ ,  $k_3/k_1 = 2.5$ . Параметры закона управления (6), (10): значение постоянных времени  $T_1 = T_2 = 15$  мин; заданное значение температуры смеси в аппарате  $\bar{x}_6 = 140$  °С.

На рис. 2, 3 приведены примеры переходных процессов в замкнутой системе «химический реактор – регулятор температуры» при начальном отклонении переменных состояния объекта от статики ( $\Delta x_i = -0.2x_i^0$ ) и ступенчатом возмущении по расходу  $v_1$  равном  $\Delta v_1 = -0.1v_1$ . Допустимая погрешность регулирования температуры в статике (точность в установившемся режиме) составляет  $\pm 2$  °С. Для наглядности движение системы (переходные процессы) до момента приложения входного воздействия ( $\tau = 50$  мин) приводится в статическом режиме.

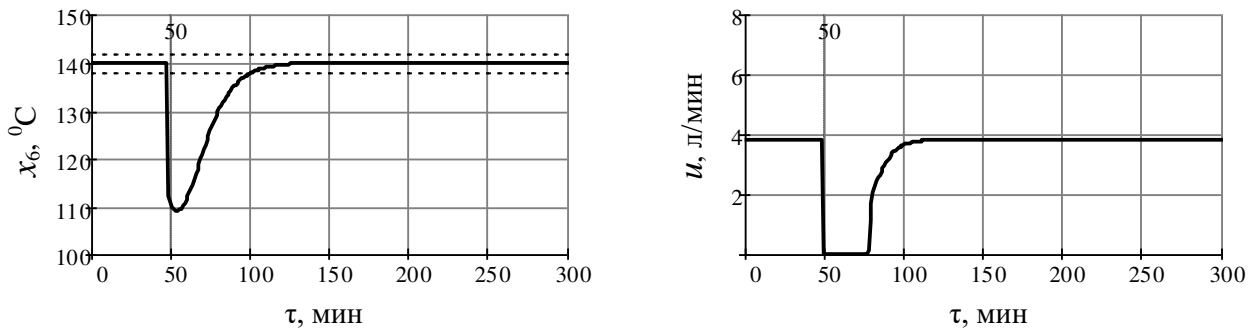


Рис. 2. Изменение регулируемой переменной и управляющего воздействия при начальном отклонении переменных состояния от статики

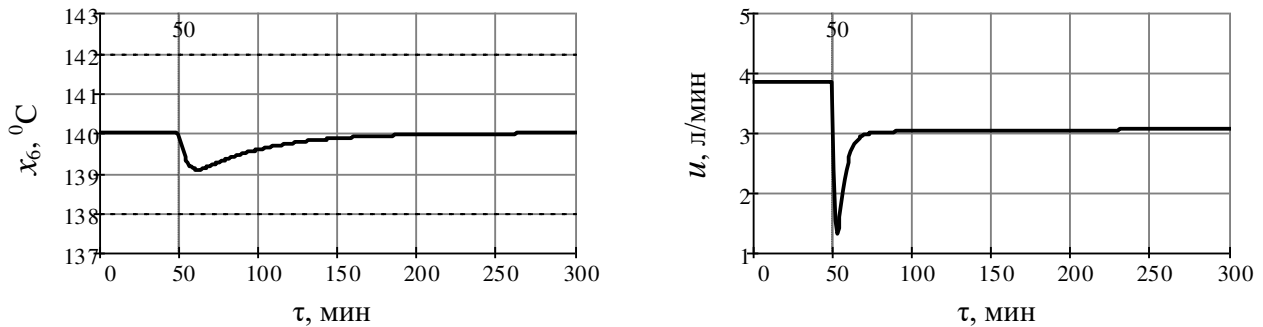


Рис. 3. Изменение регулируемой переменной и управляющего воздействия при ступенчатом возмущении по расходу  $v_1$

### Заключение

В работе предложен оригинальный нелинейный алгоритм стабилизации температурного режима в химическом реакторе, полученный на основе нелинейной математической модели объекта без применения процедуры линеаризации. Результаты компьютерного моделирования позволяют сделать выводы, что синтезированная синергетическая система управления инвариантна к внутренним и внешним возмущениям, ковариантна с задающими воздействиями и асимптотически устойчива при условии полной наблюдаемости объекта управления. Вышеприведенное говорит об эффективности синергетического подхода к решению задач синтеза законов управления нелинейными, многомерными и многосвязными объектами химической технологии.

#### Список литературы:

1. Лабутин А.Н. Оптимизация гибких многопродуктовых реакторных систем непрерывного типа // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 1999. Т. 42. № 1. С. 117-122.
2. Красовский А.А. Развитие и становление современной теории управления // Синергетика и проблемы теории управления / Под ред. А.А. Колесникова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. С. 13-34.
3. Рей У. Методы управления технологическими процессами: Пер. с англ. М.: Мир, 1983. 368 с.
4. Кван Н.В., Семичевская Н.П. Нелинейное робастное управление двухэтапным химическим реактором // Информатика и системы управления. 2011. № 4(30). С. 133-141.
5. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. – М.: Энергоатомиздат, 1994. 344 с.
6. Labutin A.N., Nevinit syn V.Y. Analytical Synthesis of Chemical Reactor Control System // Theor. Found. Chem. Eng. – 2014. Vol. 48. N. 3. P. 296-300. DOI: 10.1134/S0040579514030105.
7. Лабутин А.Н., Невиницын В.Ю. Синтез нелинейного алгоритма управления химическим реактором с использованием синергетического подхода // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2017. Т. 60. № 2. С. 38-44.
8. Labutin A.N., Nevinit syn V.Y. Analytical Synthesis of Chemical Reactor Control System // International Journal of Advanced Studies. 2016. Vol. 6. N. 1. P. 27-37. DOI: 10.12731/2227-930X-2016-1-27-37.
9. Лабутин А.Н., Невиницын В.Ю., Деветьяров А.Н., Волкова Г.В. Синтез эффективного комплекса "реактор - управляющая система" с использованием синергетического подхода // Химическая промышленность. 2014. Т. XCI. № 2. С. 63-67.
10. Невиницын В.Ю., Лабутин А.Н., Волкова Г.В., Деветьяров А.Н. Системный анализ химического реактора как объекта управления // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2017. Т. 60. № 9. С. 92-99.

#### References:

1. Labutin A.N. (1999). Optimization of flexible multi-product reactor systems of continuous type, *Izvestiya vuzov. Chemistry and Chemical technologies*, Vol. 42. (1), pp. 117-122. [in Russian language]
2. Kolesnikova A.A. (Ed.), Krasovsky A.A. (2004). Development and formation of modern management theory. *Synergetics and problems of control theory*. Moscow: FIZMATLIT, pp. 13-34. [in Russian language]
3. Rey U. (1983). *Advanced process control*. Moscow: Mir. [in Russian language]
4. Kwan N.V., Semichevskaya N.P. (2011). Nonlinear robust control of a two-stage chemical reactor. *Informatics and control systems*. 30 (4), pp. 133-141. [in Russian language]
5. Kolesnikov A.A. (1994). *Synergetic theory of management*. Moscow: Energoatomizdat. [in Russian language]
6. Labutin A.N., Nevinit syn V.Y. (2014). Analytical Synthesis of the Chemical Reactor Control System. *Theor. Found. Chem. Eng.*, Vol. 48, (3), pp. 296-300. DOI: 10.1134 / S0040579514030105. [in Russian language]
7. Labutin AN, Nevinit syn V.Yu. (2017). Synthesis of a nonlinear algorithm for controlling a chemical reactor using a synergetic approach. *Izvestiya vuzov. Chemistry and Chemical technologies*, (2), pp. 38-44. [in Russian language]
8. Labutin A.N., Nevinit syn V.Y. (2016). Analytical Synthesis of the Chemical Reactor Control System. *International Journal of Advanced Studies*, vol. 6,p, (1), pp. 27-37. DOI: 10.12731 / 2227-930X-2016-1-27-37. [in Russian language]
9. Labutin AN, Nevinit syn V.Yu., Devetyarov A.N., Volkova G.V. (2014). Synthesis of the effective «reactor-control system» complex using a synergetic approach. *Chemical Industry*, T. XCI, (2), pp. 63-67. [in Russian language]
10. Nevinit syn V.Yu., Labutin A.N., Volkova G.V., Devetyarov A.N. (2017). A System Analysis of a Chemical Reactor as a Control Object. *Izvestiya vuzov. Chemistry and Chemical technologies*, Vol. 60, (9), pp. 92-99. [in Russian language]

Статья поступила в редколлегию 10.09.18.  
Рецензент: д.т.н., доцент Брянского  
государственного технического университета  
Петрешин Д.И.  
Статья принята к публикации 12.12.18.

**Сведения об авторах:**

**Невиницын Владимир Юрьевич**

кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Техническая кибернетика и автоматика»  
Ивановского государственного химико-  
технологического университета.  
Служебный адрес: 153000, г. Иваново,  
Шереметевский проспект, 7.  
Тел. рабочий: 8-4932-32-72-26.  
Тел. сот: 8-915-837-94-53.  
E-mail: [nevinitsyn@gmail.com](mailto:nevinitsyn@gmail.com)

**Лабутин Александр Николаевич**

доктор технических наук, профессор кафедры  
«Техническая кибернетика и автоматика»  
Ивановского государственного химико-  
технологического университета.  
Служебный адрес: 153000, г. Иваново,  
Шереметевский проспект, 7.  
Тел. рабочий: 8-4932-32-72-26.  
Тел. сот: 8-910-985-43-05.  
E-mail: [lan@isuct.ru](mailto:lan@isuct.ru).

**Волкова Галина Витальевна**

кандидат технических наук, доцент кафедры  
«Техническая кибернетика и автоматика»  
Ивановского государственного химико-  
технологического университета.  
Служебный адрес: 153000, г. Иваново,  
Шереметевский проспект, 7.  
Тел. рабочий: 8-4932-32-72-26.  
E-mail: [konf\\_gv@mail.ru](mailto:konf_gv@mail.ru)

**Information about authors:**

**Nevinitsyn Vladimir Yurievich**

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of  
the Department of «Technical Cybernetics and  
Automation» of the Ivanovo State University of  
Chemistry and Technology. Office address: 153000,  
Ivanovo, Sheremetevsky Avenue, 7.  
Tel. working: 8-4932-32-72-26.  
Tel. mob.: 8-915-837-94-53.  
E-mail: [nevinitsyn@gmail.com](mailto:nevinitsyn@gmail.com)

**Labutin Alexander Nikolaevich**

doctor of Engineering Sciences, Professor of the  
Department of «Technical Cybernetics and Automation»  
of the Ivanovo State University of Chemistry and  
Technology.  
Office address: 153000, Ivanovo, Sheremetevsky Avenue,  
7.  
Tel. working: 8-4932-32-72-26.  
Tel. mob.: 8-910-985-43-05.  
E-mail: [lan@isuct.ru](mailto:lan@isuct.ru)

**Volkova Galina Vitalievna**

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of  
the Department of «Technical Cybernetics and  
Automation» of the Ivanovo State University of  
Chemistry and Technology.  
Office address: 153000, Ivanovo, Sheremetevsky Avenue,  
7.  
Tel. working: 8-4932-32-72-26.  
E-mail: [konf\\_gv@mail.ru](mailto:konf_gv@mail.ru)

---

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования "Брянский государственный технический университет"  
Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7  
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»  
Телефон редакции журнала: (4832) 56-49-90. E-mail: [aim-pu@mail.ru](mailto:aim-pu@mail.ru)

*Вёрстка А.А. Алисов. Корректор А.Ю. Малюкина.*

Сдано в набор 10.12.2018. Выход в свет 27.12.2018.

Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88.

Тираж 500 экз. Свободная цена.

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования  
"Брянский государственный технический университет"  
241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16

