

НЕЛИНЕЙНАЯ СИСТЕМА КАСКАДНО-СВЯЗАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ РЕЖИМОМ ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

Используя метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов, решена задача синтеза каскадной системы управления тепловым режимом в жидкофазном химическом реакторе, обеспечивающей инвариантность к возмущениям, ковариантность с задающими воздействиями по температуре и асимптотическую устойчивость замкнутой системы. Алгоритмический синтез закона управления проведен с использованием нелинейной математической модели объекта без применения процедуры линеаризации.

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

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

NONLINEAR CASCADE CONTROL SYSTEM OF CHEMICAL REACTOR THERMAL REGIME

Using the analytical design method of aggregated regulators the problem of synthesis of a cascade control system of a thermal regime in a liquid-phase chemical reactor is solved which provides invariance to disturbances, covariance with the giving actions of temperature and asymptotic stability of the closed system. Algorithmic synthesis of the control law was carried out using nonlinear mathematical model of the object without the linearization procedure.

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

Введение

Реакторная подсистема во многих случаях является центральной в общей схеме превращения исходных реагентов в целевые продукты и в существенной степени определяет ресурсо- и энергосбережение, экономическую эффективность производственного процесса в целом, степень удовлетворения спроса потребителей на те или иные продукты [1]. На стадии проектирования химического производства решается задача оптимального синтеза реакторного узла и задача синтеза алгоритмов управления процессом, а на стадии эксплуатации подзадача организации оптимального функционирования объекта в условиях действия параметрических и сигнальных возмущений [2].

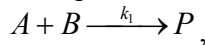
Основной особенностью химических реакторов как объектов управления является их многомерность, нелинейность и многосвязность. В настоящий момент существует ряд различных подходов к синтезу систем управления объектами данного класса, среди которых основными являются: системы адаптивного управления с подстройкой параметров, системы с применением прогнозирующих моделей, регуляторы состояния, робастные системы с использованием ПИД-регуляторов, нечеткие системы управления, нейронные сети. Однако указанные подходы неэффективны при синтезе систем управления существенно нелинейными объектами. На наш взгляд, перспективным в этом плане представляется метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР), разработанный в рамках синергетической теории управления [3], обеспечивающий асимптотическую

устойчивость системы автоматического управления в целом в широком диапазоне изменения переменных состояния и входных переменных. Эффективность алгоритмов управления, синтезированных методом АКАР, показана в ряде работ [4-9].

Ранее в работе [8] решена задача синтеза нелинейного алгоритма стабилизации температурного режима в жидкофазном химическом реакторе методом АКАР на основе последовательной совокупности инвариантных многообразий (каскадный синтез алгоритма управления температурой). В настоящей работе рассмотрен вариант синтеза нелинейной системы каскадно-связанного управления тепловым режимом методом АКАР.

1. Описание технологического процесса и постановка задачи управления

Жидкофазный химический реактор представляет собой емкостной аппарат непрерывного действия, работающий в политропическом режиме (рис. 1). В аппарате протекает бимолекулярная экзотермическая реакция:



где A, B – исходные вещества; P – продукт реакции; k_1 – константа скорости. Исходные реагенты A и B подаются в аппарат отдельными потоками. Смесь из реактора забирается насосом. Для отвода тепла и стабилизации температуры в реакторе аппарат снабжен рубашкой, в которую поступает хладагент.

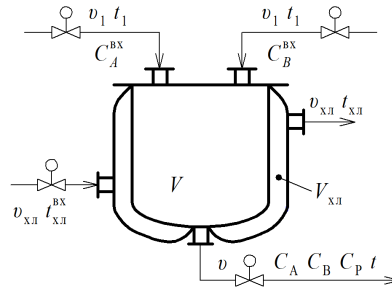


Рис. 1. Принципиальная схема химического реактора

На рис. 1 введены обозначения: C_A^{BX}, C_B^{BX} – концентрации исходных реагентов; U_1, U_2 – расход исходных реагентов; t_1, t_2 – температуры потоков исходных реагентов; t_{xl}^{BX}, t_{xl} – температуры хладагента на входе и выходе из аппарата; U_{xl} – расход хладагента на входе и выходе из аппарата; t – температура реакционной смеси в аппарате; U – расход реакционной смеси на выходе из аппарата; C_A, C_B, C_P – концентрации компонентов A, B, P в реакторе; V – объем реакционной смеси в аппарате; V_{xl} – объем хладагента в рубашке.

Математическая модель реактора имеет вид:

$$\begin{aligned} V \frac{dC_A}{d\tau} &= v_1 C_A^{ex} - (v_1 + v_2) C_A - V k_1 C_A C_B, \\ V \frac{dC_B}{d\tau} &= v_2 C_B^{ex} - (v_1 + v_2) C_B - V k_1 C_A C_B, \\ V \frac{dC_P}{d\tau} &= V k_1 C_A C_B - (v_1 + v_2) C_P, \\ V \frac{dt}{d\tau} &= v_1 t_1 + v_2 t_2 + \frac{V \Delta H k_1 C_A C_B}{\rho C_T} - (v_1 + v_2) t - \frac{K_T F_T (t - t_{xl})}{\rho C_T}, \\ V_{xl} \frac{dt_{xl}}{d\tau} &= v_{xl} (t_{xl}^{ex} - t_{xl}) + \frac{K_T F_T (t - t_{xl})}{\rho_{xl} C_{xl}}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $k_1 = k_1^0 \cdot \exp(-E_1 / R(t + 273))$ – константа скорости; k_1^0 – постоянный множитель (предэкспонента) константы скорости; E_1 – энергия активации; R – универсальная газовая постоянная; ΔH – тепловой эффект реакции; ρ, C_T – плотность и теплоемкость реакционной

смеси; $\rho_{хл}$, $C_{хл}$ – плотность и теплоемкость хладагента; K_T – коэффициент теплопередачи; F_T – поверхность теплообмена.

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

2. Структурный и алгоритмический синтез каскадной системы управления

Конструктивные и технологические особенности химического реактора, особенности реализации сложного технологического процесса и, соответственно, структурные особенности математической модели (1) позволяют провести декомпозицию системы (1) на две подсистемы. Первая подсистема – это уравнения материального баланса по компонентам и уравнение теплового баланса реакционной смеси. В качестве управления температурным режимом емкости выступает температура хладагента в рубашке. Вторая подсистема – рубашка реактора, функционирование которой описывается уравнением теплового баланса, а состояние характеризуется температурой $t_{хл}$. Управлением для $t_{хл}$ является расход хладагента $U_{хл}$. Структурная схема объекта представлена на рис. 2.

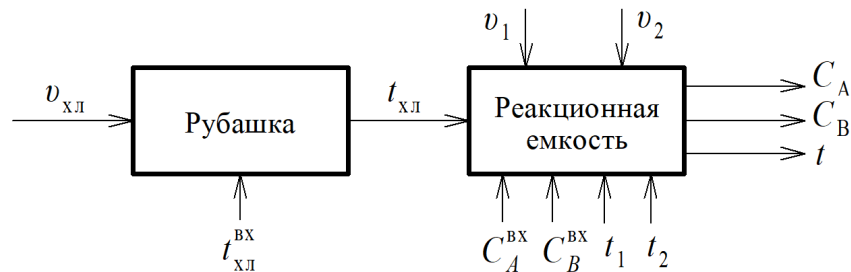


Рис. 2. Структурная схема объекта управления

В линейной теории автоматического управления и в практике автоматизации объектов данной структуры широко используются системы каскадно-связанного регулирования [10]. Решим задачу синтеза системы каскадно-связанного управления температурой в реакторе методами синергетической теории управления. Математическая модель возмущенного движения первой подсистемы (реакционной емкости) примет вид:

$$\begin{aligned} \frac{dC_A}{d\tau} &= f_1, \\ \frac{dC_B}{d\tau} &= f_2, \\ \frac{dt}{d\tau} &= f_4 + \frac{\beta_1}{V} u_1, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{где } f_1 = \frac{v_1 C_A^{ex} - (v_1 + v_2) C_A - V k_1 C_A C_B}{V}, \quad f_2 = \frac{v_2 C_B^{ex} - (v_1 + v_2) C_B - V k_1 C_A C_B}{V},$$

$$f_4 = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2 + \alpha k_1 C_A C_B - (v_1 + v_2) t - \beta_1 t}{V}, \quad \alpha = \frac{V \Delta H}{\rho C_T}, \quad \beta_1 = \frac{K_T F_T}{\rho C_T}, \quad u_1 = t_{хл}.$$

Задача формулируется следующим образом: необходимо синтезировать закон управления $u_1(C_A, C_B, t)$, переводящий объект из произвольного начального положения в окрестность заданного инвариантного многообразия $\psi_1(C_A, C_B, t) = 0$ и обеспечивающий устойчивое движение вдоль $\psi_1(C_A, C_B, t) = 0$ в конечное состояние.

Эта задача решается за один шаг, так как управление входит непосредственно в уравнение для температуры реакционной смеси [3].

Введем в рассмотрение макропеременную ψ_1 :

$$\psi_1 = t - \bar{t},$$

где \bar{t} – заданное значение температуры. Управляющее воздействие должно быть таким, чтобы изменение макропеременной ψ_1 подчинялось основному функциональному уравнению:

$$T_1 \dot{\psi}_1 + \psi_1 = 0$$

Запишем это уравнение в развернутом виде в силу уравнений модели объекта (2):

$$f_4 + \frac{\beta_1}{V} u_1 = -\frac{1}{T_1} (t - \bar{t})$$

Отсюда получаем

$$u_1 = -\frac{V}{T_1 \beta_1} (t - \bar{t}) - \frac{f_4 V}{\beta_1} \quad (3)$$

Параметром настройки алгоритма управления является величина T_1 . Условие асимптотической устойчивости замкнутой подсистемы управления реакционной емкостью: $T_1 > 0$.

Для доказательства устойчивости движения замкнутой системы в заданное конечное состояние подставим выражение для управления (3) в последнее уравнение модели (2). Получим, что изменение температуры описывается уравнением

$$\frac{dt}{d\tau} = -\frac{1}{T_1} (t - \bar{t})$$

или

$$T_1 \frac{dt}{d\tau} + t = \bar{t}$$

Это уравнение аperiodического звена первого порядка, согласно которому при $T_1 > 0$ $t|_{\tau \rightarrow \infty} = \bar{t}$ – движение асимптотически устойчиво.

Следующий этап синтеза системы управления температурным режимом заключается в синтезе алгоритма управления температурой хладагента – t_{xl} . Задача подсистемы управления температурой хладагента в рубашке заключается в определении такого внешнего управляющего воздействия $-\Delta v_{xl}$, которое обеспечило бы определенное на первом этапе значение температуры хладагента $\bar{t}_{xl} = u_1$. Модель подсистемы имеет вид:

$$\frac{dt_{xl}}{d\tau} = f_5 + \frac{(t_{xl}^{ex} - t_{xl})}{V_{xl}} u_2 \quad (4)$$

где $f_5 = \frac{v_{xl}(t_{xl}^{ex} - t_{xl}) + \beta_2(t - t_{xl})}{V_{xl}}$, $\beta_2 = \frac{K_T F_T}{\rho_{xl} C_{xl}}$, $u_2 = \Delta v_{xl}$.

В терминах метода АКАР задача синтеза алгоритма управления температурой хладагента формулируется следующим образом: синтезировать закон управления $u_2(t_{xl})$, переводящий объект из произвольного начального положения в окрестность многообразия $\psi_2(t, t_{xl}) = 0$ и устойчивое движение в заданное конечное состояние.

Притягивающее инвариантное многообразие запишется:

$$\psi_2 = t_{xl} - u_1 = 0$$

Используя функциональное уравнение $T_2 \dot{\psi}_2 + \psi_2 = 0$ и уравнение (4), получим закон управления:

$$f_5 + \frac{(t_{xl}^{ex} - t_{xl})}{V_{xl}} u_2 = -\frac{1}{T_2} (t_{xl} - u_1)$$

$$u_2 = -\frac{V_{xl}}{T_2(t_{xl}^{ex} - t_{xl})} (t_{xl} - u_1) - \frac{f_5 V_{xl}}{(t_{xl}^{ex} - t_{xl})} \quad (5)$$

Параметром настройки алгоритма управления является величина T_2 . Условие

асимптотической устойчивости замкнутой подсистемы управления рубашкой: $T_2 > 0$. Проверка асимптотической устойчивости подсистемы управления температурой хладагента проводится аналогично, как и на первом этапе.

Исходя из вида выражений (3), (5), структура каскадно-связанной системы управления без учета параметрических возмущений может быть представлена следующим образом (рис. 3).

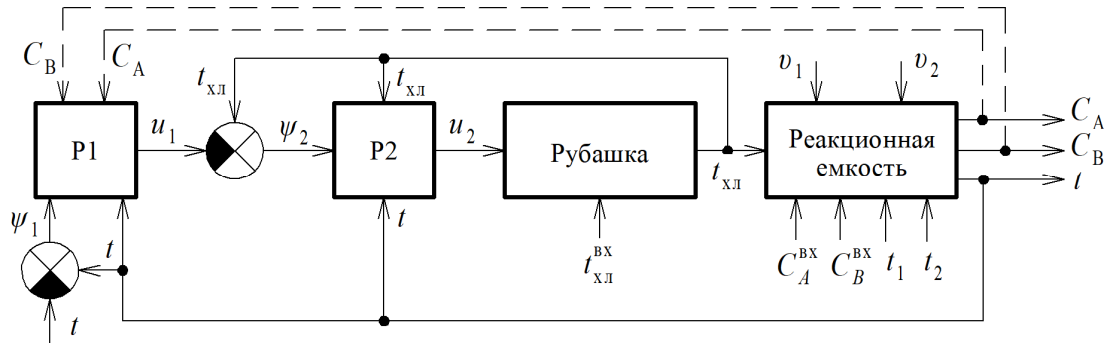


Рис. 3. Структура каскадно-связанной системы управления тепловым режимом реактора: P1 – главный регулятор; P2 – вспомогательный

Подставив u_1 из (3) в (5), получим закон управления для вспомогательного регулятора, определяющий величину внешнего управляющего воздействия:

$$u_2 = -\frac{V_{xл}}{T_2(t_{xл}^{вх} - t_{xл})} \left[t_{xл} + \frac{V}{T_1\beta_1}(t - \bar{t}) + \frac{f_4 V}{\beta_1} \right] - \frac{f_5 V_{xл}}{(t_{xл}^{вх} - t_{xл})}. \quad (6)$$

3. Компьютерное моделирование и результаты

Методами компьютерного моделирования проведено исследование работоспособности каскадно-связанной системы управления тепловым режимом химического реактора с использованием синтезированного нелинейного закона (6). Исследованы свойства инвариантности к возмущениям, ковариантности с задающими воздействиями по температуре и асимптотической устойчивости замкнутой системы.

Моделирование проводилось при технологических и конструктивных параметрах, обеспечивающих оптимальный режим работы химического реактора: $V = 500$ л; $V_{xл} = 290$ л; $C_A^{вх} = 19.74$ моль/л; $C_B^{вх} = 10.93$ моль/л; $v_1 = 1.5$ л/мин, $v_2 = 3.5$ л/мин, $v = 5.0$ л/мин, $v_{xл} = 3.84$ л/мин; $t_1 = 20$ °С; $t_2 = 30$ °С; $t_{xл}^{вх} = 20$ °С; $K_T = 12$ кДж/(м² мин К); $F_T = 2.9$ м²; $\rho = 0.9$ кг/л; $C_T = 2$ кДж/(кг К); $\rho_{xл} = 1$ кг/л; $C_{xл} = 4.18$ кДж/(кг К); $\Delta H = 80$ кДж/моль; $E = 48635$ Дж/моль; $k_0^0 = 109860$ л/(моль мин). Параметры закона управления (6): значение постоянных времени $T_1 = T_2 = 20$ мин (определялись из требований к времени процесса управления); заданное значение температуры смеси в аппарате $\bar{t} = 140$ °С.

На рис. 4, 5 приведены примеры переходных процессов управления в замкнутой системе при начальном отклонении переменной состояния C_A от статики на -20% ($\Delta C_A = -0.2C_A^0$) и ступенчатом изменении задающего воздействия ($\Delta \bar{t} = -10$ °С). Для наглядности переходные процессы до момента приложения входного воздействия ($\tau = 50$ мин) приводятся в статическом режиме.

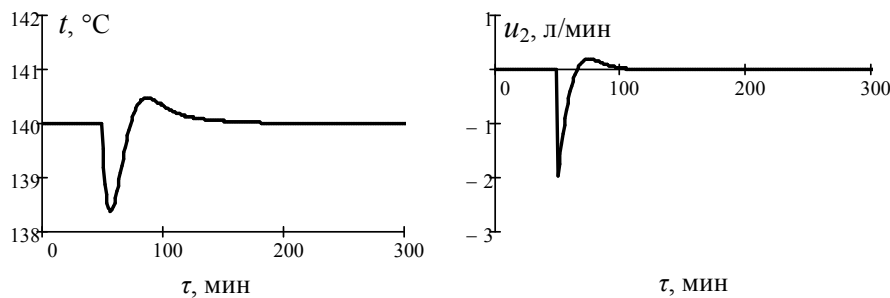


Рис. 4. Переходные процессы в замкнутой системе при начальном отклонении переменной состояния C_A от статики на -20%

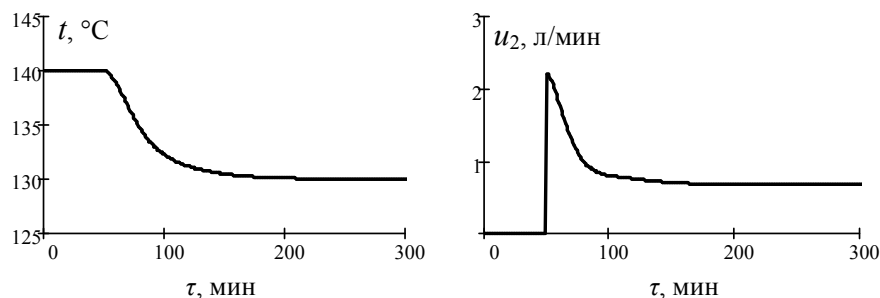


Рис. 5. Переходные процессы в замкнутой системе при ступенчатом изменении заданного значения температуры на -10°C

Скачкообразное изменение управления u_2 в момент приложения возмущений объясняется тем, что не учитывалась инерционность исполнительного механизма на линии подачи хладагента.

Заключение

В работе предложен вариант синтеза системы управления тепловым режимом химического реактора с применением структуры системы каскадного типа. Методом аналитического конструирования агрегированных регуляторов получены нелинейные алгоритмы управления для главного и вспомогательного регуляторов каскадной системы с применением нелинейной математической модели объекта без применения процедуры линеаризации. Данное обстоятельство является существенным преимуществом при синтезе системы автоматического управления на стадии проектирования при отсутствии физического объекта управления.

Компьютерное моделирование замкнутой системы управления показало ее работоспособность: инвариантность к внутренним и внешним возмущениям, ковариантность с задающими воздействиями и асимптотическую устойчивость при условии полной наблюдаемости объекта управления. Таким образом, показана эффективность метода АКАР при синтезе нелинейных многоконтурных систем управления, в частности систем управления каскадного типа с двумя соподчиненными регуляторами.

Список литературы:

1. Лабутин А.Н., Исаенков А.Е., Волкова Г.В. Оптимальный синтез гибкой реакторной системы // Известия выс-ших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2010. Т. 53. № 12. С. 125-127.
2. Лабутин А.Н., Невиницын В.Ю., Волкова Г.В. Анализ и оптимальный синтез химического реактора как объекта управления // Химическая Промышленность. 2018. Т. 95. № 5. С. 241-248.
3. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. М.: Энергоатомиздат, 1994. 344 с.
4. Лабутин А.Н., Невиницын В.Ю., Волкова Г.В. Робастное управление температурным режимом химического реактора // Информатика и системы управления. 2018. № 3. С. 115-123. DOI: 10.22250/isu.2018.57.115-123.
5. Лабутин А.Н., Невиницын В.Ю., Волкова Г.В., Зайцев В.А. Синергетический синтез эффективного

References:

1. Labutin A.N., Isaenkov A.E., Volkova G.V. Optimal'nyj sintez gibkoj reaktornoj sistemy [Optimal synthesis of a flexible reactor system]. Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol. 2010. vol. 53. no. 12. pp. 125-127 (in Russian).
2. Labutin A.N., Nevinityn V.Yu., Volkova G.V. Analiz i optimal'nyj sintez khimicheskogo reaktora kak ob"ekta up-ravleniya [Analysis and optimal synthesis of the chemical reactor as a control object]. Khimicheskaya Promyshlennost'. 2018. vol. 95. no. 5. pp. 241-248 (in Russian).
3. Kolesnikov A.A. Sinergeticheskaya teoriya upravleniya [Synergetic control theory]. Moscow, Energoatomizdat, 1994. 344 p. (in Russian).
4. Labutin A.N., Nevinityn V.Yu., Volkova G.V. Robastnoe upravlenie temperaturnym rezhimom khimicheskogo reaktora [Robust control of a chemical reactor temperature regime]. Informatika i sistemy upravleniya. 2018. no. 3. pp. 115-123. DOI: 10.22250/isu.2018.57.115-123 (in Russian).
5. Labutin A.N., Nevinityn V.Yu., Volkova G.V., Zaitsev V.A. Sinergeticheskij sintez ehffektivnogo

комплекса «реактор – управляющая система» //Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2018. №4(56). С. 36-43.

6. Лабутин А.Н., Невиницын В.Ю., Зайцев В.А., Волкова Г.В. Робастное управление концентрацией целевого продукта в химическом реакторе // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2018. Т. 61. № 12. С. 129-136. DOI: 10.6060/ivkkt.20186112.5914.

7. Лабутин А.Н., Невиницын В.Ю., Волкова Г.В., Сальков В.М. Алгоритм управления концентрацией целевого продукта в химическом реакторе // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2018. №2. С. 34-40.

8. Невиницын В.Ю., Лабутин А.Н., Волкова Г.В. Управление температурным режимом химического реактора // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2018. №2. С. 41-48.

9. Labutin A.N., Nevinitsyn V.Yu. Synthesis of Chemical Reactor Nonlinear Control Algorithm Using Synergetic Approach // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2017. Т. 60. № 2. С. 38-44. DOI: 10.6060/tcct.2017602.5479.

10. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: Учебник для вузов. 2-е изд. М.: Издательство МЭИ, 2004. 400 с.

kompleksa «reaktor – upravlyayushchaya sistema» [Synergistic synthesis of the effective “reactor – control system” complex]. Sovremennyye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie. 2018. no. 4 (56). pp. 36-43 (in Russian).

6. Labutin A.N., Nevinitsyn V.Yu., Zaitsev V.A., Volkova G.V. Robastnoe upravlenie koncentraciej celevogo produkta v khimicheskom reaktore [Robust control of target product concentration in a chemical reactor]. Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol. 2018. vol. 61. no. 12. pp. 129-136. DOI: 10.6060/ivkkt.20186112.5914 (in Russian).

7. Labutin A.N., Nevinitsyn V.Yu., Volkova G.V., Salkov V.M. Algoritm upravleniya koncentraciej celevogo produkta v khimicheskom reaktore [Algorithm of target product concentration control in a chemical reactor]. Avtomatizaciya i modelirovanie v proektirovanii i upravlenii. 2018. no. 2. pp. 34-40 (in Russian).

8. Nevinitsyn V.Yu., Labutin A.N., Volkova G.V. Upravlenie temperaturnym rezhimom khimicheskogo reaktora [Control of a chemical reactor temperature regime]. Avtomatizaciya i modelirovanie v proektirovanii i upravlenii. 2018. no. 2. pp. 41-48 (in Russian).

9. Labutin A.N., Nevinitsyn V.Yu. Synthesis of chemical reactor nonlinear control algorithm using synergetic approach. Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol. 2017. vol. 60. no. 2. pp. 38-44. DOI: 10.6060/tcct.2017602.5479.

10. Rotach V.Ya. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya [Theory of automatic control]. Moscow, Izdatel'stvo MEI, 2004. 400 p. (in Russian).

Статья поступила в редколлегию 19.04.19.

Рецензент: к.т.н., доцент,

Брянский государственный технический университет

Подвесовский А.Г.

Статья принята к публикации 08.05.19.

Сведения об авторах

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: +7 (4932) 32 72 26 Тел. сот: +7 (910) 985 43 05. E-mail: lan@isuct.ru

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: +7 (4932) 32 72 26 Тел. сот: +7 (915) 837 94 53 E-mail: nevinitsyn@gmail.com

Information about authors:

Labutin Alexander Nikolaevich

Academic degree and title: Doctor of Technical Sciences, Professor. Position and place of work: Head of Chair, department of «Technical Engineering Cybernetics and Automation», Ivanovo State University of Chemistry and Technology. Location: Sheremetevskiy Avenue, 7, Ivanovo, 153000. Tel.: +7 (4932) 32 72 26 E-mail: lan@isuct.ru

Nevinitsyn Vladimir Yurievich

Academic degree and title: Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. Position and place of work: Associate Professor, department of «Technical Engineering Cybernetics and Auto-mation », Ivanovo State University of Chemistry and Technology. Location: Sheremetevskiy Avenue, 7, Ivanovo, 153000. Tel.: +7 (4932) 32 72 26 E-mail: nevinitsyn@gmail.com

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: +7 (4932) 32 72 26
E-mail: konf_gv@mail.ru

Volkova Galina Vitalievna

Academic degree and title: Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor. Position and place of work:
Associate Professor, department of «Technical
Engineering Cybernetics and Auto-mation », Ivanovo
State University of Chemistry and Technology. Location:
Sheremetevskiy Avenue, 7, Ivanovo, 153000.
Tel.: +7 (4932) 32 72 26
E-mail: konf_gv@mail.ru

Панасенкова Анастасия Валерьевна

магистрант кафедры «Техническая кибернетика и
автоматика» Ивановского государственного химико-
технологического университета.
Служебный адрес: 153000, г. Иваново,
Шереметевский проспект, 7.
Тел. рабочий: +7 (4932) 32 72 26
E-mail: trafalgar322@gmail.com

Panasenkova Anastasia Valeryevna

Academic degree and title: – Position and place of work:
graduate student, department of «Technical Engineering
Cybernetics and Automa-tion », Ivanovo State University
of Chemistry and Technology. Location: Sheremetevskiy
Avenue, 7, Ivanovo, 153000.
Tel.: +7 (4932) 32 72 26
E-mail: trafalgar322@gmail.com

Учредитель и издатель: 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-ru@mail.ru

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

Сдано в набор 16.09.2019. Выход в свет 30.09.2019.

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
