

УДК 681.5

DOI: 10.20998/2411-0558.2019.13.14

О. И. ШИРЯЕВА, канд. техн. наук, доц., КазННТУ им. К. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Т. И. САМИГУЛИН, докторант, КазННТУ им. К. Сатпаева, Алматы, Казахстан

РАЗРАБОТКА ИСКУССТВЕННОЙ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОМЕРНЫМ ОБЪЕКТОМ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

В данной работе представлены результаты применения Smart-технологий к синтезу сложных систем управления нефтегазовой отрасли. В частности, рассмотрена многомерная многосвязная (ММО) система управления процессом перегонки газа через дистилляционную колонну с регулятором, настроенным на основе алгоритма клональной селекции CLONALG искусственных иммунных систем (AIS). Приведены результаты сравнительного анализа применения регуляторов, настроенных на основе других SMART-технологий: генетический алгоритм (GA), алгоритм оптимизации методом колонии муравьев (ACO). Ил.: 2. Табл.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: генетический алгоритм (GA); метод колонии муравьев (ACO); искусственные иммунные системы (AIS); алгоритм клональной селекции (CLONALG).

Постановка проблемы и анализ литературы. Проблема синтеза управлений многомерными многосвязными технологическими процессами в нефтегазовой отрасли является актуальной задачей. Перспективным направлением при проектировании ММО-систем является применение биоинспирированных алгоритмов, эффективно использующихся при решении оптимизационных задач.

В настоящее время большое количество публикаций посвящено реализации нахождения оптимальных значений на основе биоинспирированных алгоритмов для одномерных (SISO) систем [1]. Широко используются генетические алгоритмы (GA), алгоритмы колонии муравьев (ACO), алгоритмы роя частиц (PSO), искусственные иммунные системы (AIS) [2 – 4]. Рассматриваемые алгоритмы имеют следующие отличительные особенности: высокая точность вычислений, быстроедействие, возможность работы алгоритмов при отсутствии полноты информации об объекте управления.

Например, в исследованиях [2] рассматривается применение алгоритма колоний муравьев для оптимизации расположения проводки электрооборудования в зданиях, что позволяет сократить затраты на монтаж электрооборудования, контролировать падение напряжения и экономить финансовые затраты при строительстве.

В статье [3] представлена интеллектуальная система для оптимизации процесса обслуживания газотурбинных установок при помощи генетических алгоритмов. Исследован процесс технического обслуживания газовой турбины Siemens SGT600. Разработан оптимальный план обслуживания установки, позволяющий сократить время простоя оборудования, что снижает уровень общих затрат на 80%.

Гибридные алгоритмы, включающие в себя несколько технологий, позволяют получить более эффективные результаты. Например, в таких работах, как [4] рассматриваются вопросы управления производственными линиями на основе АСО и GA. Разработан новый подход для оптимизации параллельной сборки продукции и эксперименты доказывают, что применение предложенного алгоритма на основе АСО и GA позволяет находить более качественные решения.

Алгоритмы Smart-технологий в настоящее время широко используются для синтеза типовых регуляторов. В работе [5] исследовано влияние алгоритма роя частиц на оптимизацию параметров ПИД-регулятора в системе автоматического регулирования напряжения (AVR). Произведен сравнительный анализ с настройкой системы при помощи GA. Результаты показали, что система AVR, оптимизированная при помощи PSO обладает большей стабильностью и надежностью.

Особый интерес представляют алгоритмы настройки регуляторов на основе искусственных иммунных систем. В частности, алгоритм клональной селекции (CLONALG), применение которого для решения задач оптимизации и настройки регуляторов даёт более эффективные результаты, чем АСО и GA. В статье [6] результаты моделирования показывают, что алгоритм иммунной системы для настройки ПИД-регулятора имеет высокую точность решения и скорость сходимости.

Все вышеперечисленные алгоритмы представляют интерес в качестве развития их на класс многомерных многосвязных систем управления, в том числе управление процессами нефтегазовой отрасли [7].

Цель статьи. Для изолированных подсистем многомерной многосвязной системы управления процессом нефтегазовой отрасли – перегонки газа через дистилляционную колонну, необходимо синтезировать регулятор на основе биоинспирированных алгоритмов с целью достижения желаемой динамики.

Синтез ММО-системы управления на основе биоинспирированных алгоритмов.

В качестве объекта управления нефтегазовой отрасли рассмотрим процесс очистки газа в дистилляционной колонне. Дистилляционные

колонны состоят из нескольких компонентов [7], каждый из которых используется для передачи тепловой энергии или для увеличения массопереноса. Базовая дисцилляционная колонна состоит из: вертикального аппарата, содержащего тарелки или плиты, которые предназначены для усиления процесса разделения компонентов; ребойлера (котла для повторного нагрева) для обеспечения тепловой энергии с целью достижения необходимого испарения в нижней части колонны; конденсатора для охлаждения и конденсации пара из верхней части колонны; рефлексной емкости (сборника орошения колонны) для удержания конденсированного пара, с целью возврата жидкости обратно из верхней части колонны.

Большинство систем контроля процесса дистилляции, как обычных, так и современных предполагают, что колонна работает при постоянном давлении. Флуктуация давления делает контроль более гибким и обеспечивают его работоспособность. Структура L - V (L – скорость потока жидкости, V – скорость потока пара) может рассматриваться как стандартная структура управления для дистилляции с двойным контролем состава. В такой управляющей структуре скорость потока жидкости L и скорость потока пара V являются управляющими входами. Задача регулятора состоит в том, чтобы поддерживать желаемые концентрации продуктов χ_B, χ_D на выходе агрегата.

Линеаризованная модель объекта управления с уменьшенным порядком может быть представлена системой с двумя входами и двумя выходами:

$$\begin{vmatrix} \chi_D \\ \chi_B \end{vmatrix} = \frac{1}{1 + 1.9588s} \begin{vmatrix} 0.0042 & -0.0062 \\ -0.0052 & 0.0072 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} L \\ V \end{vmatrix}. \quad (1)$$

Постановка задачи формулируется следующим образом. На основании исходной модели объекта управления (1) необходимо разработать Smart-технологии для системы управления процессом очистки газа в дистилляционной колонне. В частности, рассчитать оптимальные параметры ПИД-регулятора с применением алгоритма клональной селекции искусственной иммунной системы с целью минимизации квадратичного интегрального критерия качества.

На рис. 1 представлена схема моделирования системы автоматического управления на базе алгоритма CLONALG для многосвязного процесса очистки газа в среде MATLAB. Блоки Decoupling-Gain являются элементами развязывающего контроллера. При полной развязке многомерная система разделяется таким образом, чтобы в системе больше не было перекрестных взаимодействий.

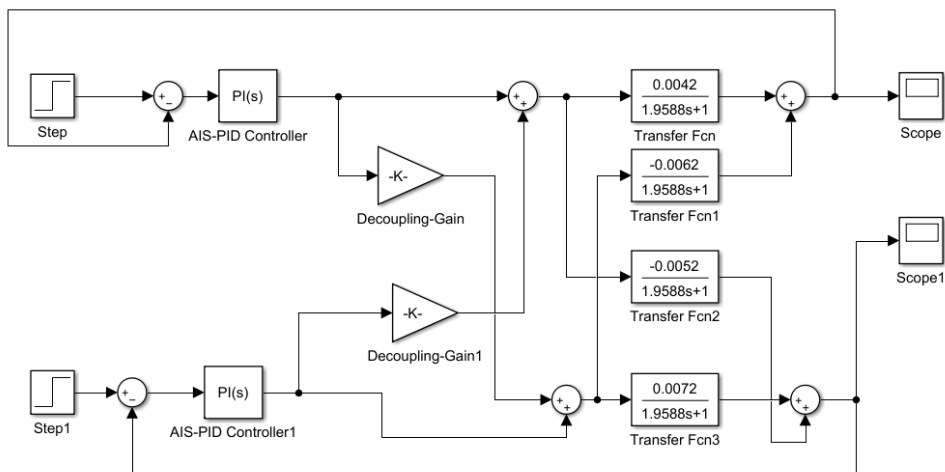


Рис. 1. Схема моделирования сложной системы управления процессом перегонки газа через дистилляционную колонну

Задача разделения системы была решена авторами в работе [8]. Такая система представляется в виде нескольких независимых подсистем, которые могут управляться с помощью одномерных методов и управление производится по двум независимым контурам.

Алгоритм CLONALG настройки ПИД-регуляторов представлен на рис. 2.

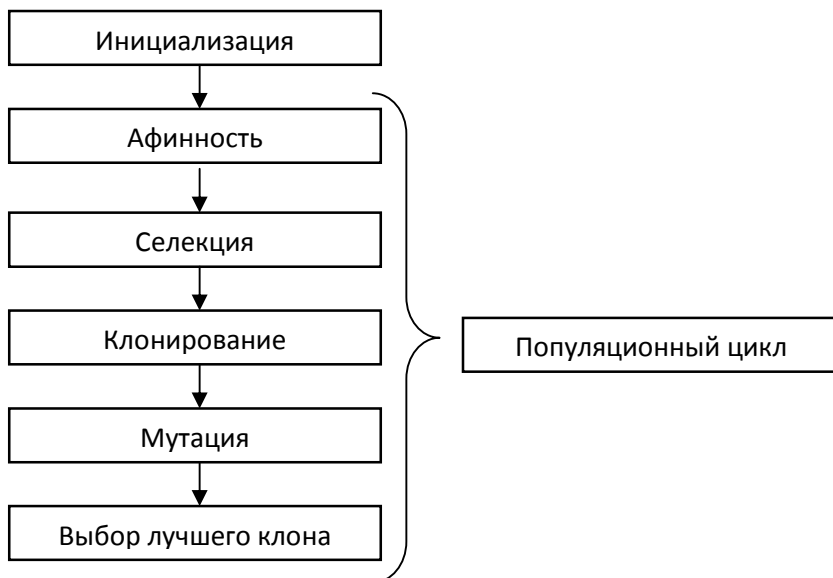


Рис. 2. Алгоритм клональной селекции синтеза ПИД-регуляторов подсистем

Концептуальной основой применения алгоритма CLONALG для технологических систем является теория иммунных систем с механизмами иммунного ответа организма на вторжение чужеродного антигена. При этом происходит распознавание антителами организма образов антигенов. В контексте постановки задачи для системы управления (1), обобщённая форма антител соответствует вектору аргументов, и представляет собой набор решений поставленной задачи; в качестве антигенов используется критерий качества [6].

В алгоритме CLONALG (рис. 2), на этапе инициализации проводится генерирование случайным образом начального множества возможных решений задачи, удовлетворяющих критерию качества. Следующим шагом алгоритма идёт выбор решений (антител) с лучшей аффинностью. В иммунологии, аффинность означает силу связывания между антителом и антигеном. При развитии теории иммунных систем на задачи оптимального управления системами, данная мера определяет, насколько соответствует решение значениям критерия качества и чем меньше расстояние между векторами, тем выше аффинность. Для получения результатов использования алгоритма CLONALG использовалось евклидово расстояние [6].

Следующие шаги алгоритма реализуют процедуры клонирования решений с высокой аффинностью, мутации и выбор решений с высокой аффинностью из популяции изменённых клонов.

Для обоснования эффективности применения алгоритма CLONALG проведён сравнительный анализ результатов моделирования изолированных подсистем управления многомерной многосвязной системы управления процессом перегонки газа через дистилляционную колонну с регуляторами, настроенными на основе Smart-технологий:

- на основе генетического алгоритма [9];
- на основе алгоритма оптимизации методом колонии муравьёв [10].

В ходе сравнения результатов применения алгоритмов были получены следующие оценки качества (таблица).

Из данных таблицы видно, что лучшие оценки качества такие, как время регулирования, перерегулирование и колебательность, получены в ходе применения алгоритма CLONALG. Этот алгоритм уступает алгоритмам GA и ACO только по величине установившейся ошибки.

Сравнительный анализ биоинспирированных алгоритмов

Результаты моделирования:	Компонент	GA	ACO	CLONALG
1 – лучший результат;	Время регулирования	1	2	1
2 – средний результат;	Перерегулирование	2	1	1
3 – худший результат	Колебательность	2	1	1
	Установившаяся ошибка	2	1	3

Выводы. В результате проделанной работы получены результаты применения алгоритмов SMART-технологий для решения задач оптимального управления сложными системами нефтегазовой отрасли. Результаты моделирования с использованием различных алгоритмов SMART-технологий позволяют сделать вывод об эффективности использования алгоритма CLONALG искусственных иммунных систем. В перспективе планируется получить результаты применения алгоритмов искусственных иммунных систем для реализации процедуры развязывания ММО-систем.

Работа выполнена по гранту КН МОН РК по теме: "Разработка когнитивной Smart-технологии для интеллектуальных систем управления сложными объектами на основе подходов искусственного интеллекта" № AP05130018 (2018-2020 гг.).

Список литературы:

1. Бобиков А.И. Настройка весовых матриц ЗСУР регулятора с помощью биоинспирированных алгоритмов оптимизации / А.И. Бобиков. – Вестник РГРТУ. – 2016. – № 55. – С. 77-83.
2. Chinjiang L. Optimal design of high-rise building wiring based on ant colony optimization / L. Chinjiang. – Cluster Computing. – 2018. – P. 1-8.
3. Minian F. Gas turbine preventive maintenance optimization using genetic algorithm / F. Minian, H. Sabouhi, J. Hushmand, A. Hallaj, H. Khaledi, M. Mohammadpour. International Journal of System Assurance Engineering and Management. – Springer, 2016. – Vol. 8. – P. 594-601.
4. Changdar Ch. A genetic ant colony optimization based algorithm for solid multiple travelling salesman problem in fuzzy rough environment / Ch. Changdar, R.K. Pal, G.S. Mahapatra // Soft Computing. – Springer, 2017. – Vol. 21, Issue 16. – P. 4661-4675.
5. Wang J. The Application of the Particle Swarm Algorithm to Optimize PID Controller in the Automatic Voltage Regulation System / J. Wang, N. Song, E. Jiang, D. Xu., W. Deng, L. Mao. – Springer Singapore: Advanced Computational Methods in Energy, Power, Electric Vehicles and Their Integration. – 2017. – P. 529-536.
6. Castro L. The Clonal Selection Algorithm with Engineering Applications / L. Castro, F. Zuben. – Las Vegas, USA: Workshop on Artificial Immune Systems and Their Applications. In Workshop Proceedings of GECCO'00. – 2000. – P. 36-37.

7. Minh V.T. Modeling and control of distillation column in a petroleum process / V.T. Minh, A.A. Rani. – Perak.: Hindawi Publishing Corporation. Mathematical problems in engineering. – 2009. – 14 p.
8. Ширяева О.И. Разработка smart-системы управления сложным объектом нефтегазовой отрасли с использованием процедуры развязывания / О.И. Ширяева, Т.И. Самигулин. – Алматы: Вестник КазННТУ. – 2017. – № 5. – С. 50-55.
9. Самигулин Т.И. Программное обеспечение Genetic Regulator для решения задач управления сложными объектами / Т.И. Самигулин, О.И. Ширяева, З.И. Самигулина, Г.А. Самигулина. – Астана: Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права (на программу ЭВМ). – 2016. – № 005733. – 25 с.
10. Самигулина Г.А. Разработка Smart-технологии для управления сложным объектом с использованием алгоритма муравьиной колонии / Г.А. Самигулина, Т.И. Самигулин. – Алматы: Вестник АУЭС. – 2019. – 92-99 с.

References:

1. Bobikov, A.I. (2016), "Adjustment of the weight matrices of the regulator SURSD using bioinspired optimization algorithms", *Bulletin RGRU*, No. 55, pp. 77-83.
2. Chinjiang, L. (2018), "Optimal design of high-rise building wiring based on ant colony optimization", *Cluster Computing*, pp. 1-8.
3. Minian, F., Sabouhi, H., Hushmand, J., Hallaj, A., Khaledi, H., and Mohammadpour M. (2016), "Gas turbine preventive maintenance optimization using genetic algorithm", *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, Springer, vol. 8, pp. 594-601.
4. Changdar, Ch., Pal R.K., and Mahapatra, G.S. (2017), "A genetic ant colony optimization based algorithm for solid multiple travelling salesman problem in fuzzy rough environment", *Soft Computing*, Springer, vol. 21, Issue 16, pp. 4661-4675.
5. Wang, J., Song, N., Jiang, E., Xu, D., Deng, W., and Mao, L. (2017), "The Application of the Particle Swarm Algorithm to Optimize PID Controller in the Automatic Voltage Regulation System", *Springer Singapore: Advanced Computational Methods in Energy, Power, Electric Vehicles and Their Integration*, pp. 529-536.
6. Castro L., and Zuben, F. (2000), "The Clonal Selection Algorithm with Engineering Applications", *Las Vegas, USA: Workshop on Artificial Immune Systems and Their Applications. In Workshop Proceedings of GECCO'00*, pp. 36-37.
7. Minh, V.T., and Rani, A.A. (2009), "Modeling and control of distillation column in a petroleum process", *Perak.: Hindawi Publishing Corporation. Mathematical problems in engineering*, 14 p.
8. Shiryayeva, O.I., and Samigulin, T.I. (2017), "Development of a SMART control system for MIMO oil and gas industries using decoupling procedures", *Almaty: Bulletin KazNITU*, No. 5, pp. 50-55.
9. Samigulin, T.I., Shiryayeva, O.I., and Samigulina, G.A. (2016), *Software Genetic Controller for solving MIMO objects management tasks*, Astana: Certificate of state registration of rights to the object of copyright (computer program), № 005733, 25 p.
10. Samigulina, G.A., and Samigulin, T.I. (2019), "Development of Smart-technology for managing a complex object using the ant colony algorithm", *Almaty: Bulletin AUES*, pp. 92-99.

Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" Леонов С.Ю.

Поступила (received) 07.05.2019

Shiryayeva Olga, Cand.Sci.Tech, Assotiate Professor
Satbayev Kazakh National Research Technical University
Str. Satpayev, 22 A, Almaty, Kazakhstan, 050013
Tel: +8(727)2929952, e-mail: o.shiryayeva@satbayev.university
ORCID ID: 0000-0003-2532-0636

Samigulin Timur, doctoral student
Satbayev Kazakh National Research Technical University
Str. Satpayev, 22 A, Almaty, Kazakhstan, 050013
Tel:+8(727)2929952, e-mail: timur.samigulin@yandex.kz
ORCID ID: 0000-0001-9963-6719

УДК 681.5

Розробка штучної імунної системи управління багатомірним об'єктом нафтогазової галузі / Ширяєва О.І., Самігулін Т.І. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2019. – № 13 (1338). – С. 155 – 163.

У даній роботі представлені результати застосування Smart-технологій до синтезу складних систем управління нафтогазової галузі. Зокрема, розглянуто багатомірна багатозв'язна (MIMO) система управління процесом перегонки газу через дистиляційну колону з регулятором, настроєним на основі алгоритму клональної селекції CLONALG штучних імунних систем (AIS). Наведено результати порівняльного аналізу застосування регуляторів, налаштованих на основі інших SMART-технологій: генетичний алгоритм (GA), алгоритм оптимізації методом колонії мурах (ACO). Іл.: 2. Табл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

Ключевые слова: генетический алгоритм (GA); метод колонии муравьев (ACO); искусственные иммунные системы (AIS); алгоритм клональной селекции (CLONALG).

УДК 681.5

Разработка искусственной иммунной системы управления многомерным объектом нефтегазовой отрасли / Ширяева О.И., Самигулин Т.И. // Вестник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2019. – № 13 (1338). – С. 155 – 163.

В данной работе представлены результаты применения Smart-технологий к синтезу сложных систем управления нефтегазовой отрасли. В частности, рассмотрена многомерная многосвязная (MIMO) система управления процессом перегонки газа через дистиляционную колонну с регулятором, настроенным на основе алгоритма клональной селекции CLONALG искусственных иммунных систем (AIS). Приведены результаты сравнительного анализа применения регуляторов, настроенных на основе других SMART-технологий: генетический алгоритм (GA), алгоритм оптимизации методом колонии муравьев (ACO). Ил.: 2. Табл.: 1. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: генетический алгоритм (GA); метод колонии муравьев (ACO); искусственные иммунные системы (AIS); алгоритм клональной селекции (CLONALG).

UDC 681.5

Development of an artificial immune MIMO-system for plant of the oil and gas industry / Shiryayeva O.I., Samigulin T.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2019. – №.13 (1338). – P. 155 – 163.

The results of applying Smart-technologies to the synthesis of MIMO-systems in the oil and gas industry are considered. In particular, a MIMO-system for controlling the process of gas distillation through a distillation column with a controller set up based on the clonal selection algorithm, CLONALG, artificial immune systems (AIS) is considered. The results of a comparative analysis of the use of controllers configured on the basis of other SMART-technologies are presented: the genetic algorithm (GA), the optimization algorithm of the ant colony method (ACO). Figs.: 2. Tabl.: 1. Refs.: 10 titles.

Keywords: genetic algorithm (GA), and colony method (ACO); artificial immune systems (AIS); clonal selection algorithm (CLONALG).