

УДК 681.5

DOI: 10.20998/2411-0558.2021.01.04

О. И. ШИРЯЕВА, канд. техн. наук, в.н.с., ИИиВТ КН МОН РК,
Алматы, Казахстан,

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

ИНТЕГРАЦИЯ СОВРЕМЕННОЙ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С АЛГОРИТМАМИ AIS

В статье сформированы условия интеграции современной микропроцессорной техники, реализующей законы типового регулирования в распределённой системе управления, с такими интеллектуальными алгоритмами, как искусственные иммунные системы (AIS). В рамках сформированных условий решена задача синтеза I-PD регулятора для двухконтурной системы управления технологическим процессом очистки природного газа от различных примесей дистиляционной колонны. Ил.: 4. Табл.: 1. Библиогр.: 14 назв.

Ключевые слова: интеграция; микропроцессорная техника; искусственный интеллект; типовой регулятор; искусственная иммунная система; задача синтеза.

Постановка проблемы и анализ литературы. Проблема интеграции современной микропроцессорной техники с различными интеллектуальными алгоритмами является актуальной. Это следствие интенсивного развития интеллектуальных алгоритмов для эффективного решения различных задач производства [1]. В частности, для обработки данных, для оптимального управления производственными процессами, для решения задач прогнозирования на основе технологий умного производства, анализа больших данных, методов машинного обучения, цифровых двойников [2].

Успешное внедрение промышленного искусственного интеллекта обуславливает его интеграцию, например, и в нефтегазовой отрасли, отличающейся высокими технологическими требованиями к процессам, набором больших данных и использованием микропроцессорной техники. Одно из важнейших перспективных направлений внедрения искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли – это моделирование и оптимизация различных процессов. То есть использование искусственного интеллекта для управления технологическими процессами, в том числе, оптимальными [3]. Для решения данных задач используются оптимизационные алгоритмы искусственного интеллекта, широко представленные в современной литературе [4].

В рамках развития исследований интеллектуальных алгоритмов

поисковой оптимизации, в настоящее время, можно условно выделить следующие направления [5]:

1. Эволюционные алгоритмы:
 - генетические алгоритмы;
 - искусственные иммунные системы;
 - эволюционные стратегии;
 - эволюционное программирование;
 - дифференциальная эволюция;
2. Роевые алгоритмы:
 - роя частиц;
 - колонии муравьёв;
 - пчелиного роя;
 - бактериальная оптимизация;
 - рой светлячков;
 - кукушкин поиск и т.д.
3. Алгоритмы неживой природы:
 - гармонический поиск;
 - гравитационный поиск;
 - электромагнитный поиск и т.д.

Многие из перечисленных алгоритмов уже используются для решения задач синтеза оптимальных типовых регуляторов систем автоматического управления: генетический алгоритм [6], роя частиц [7], колонии муравьёв [8], кукушкин поиск [9], искусственные иммунные системы [10] и т.д.

Современные интеллектуальные алгоритмы разнообразны – каждый из алгоритмов имеет свои преимущества и недостатки, поэтому должен рассматриваться непосредственно в соответствии с конкретными технологическими процессами нефтегазовой отрасли, желаемыми требованиями к динамике и качеству систем, типом регулятора.

В данной статье поставлена задача формирования условий интеграции современной микропроцессорной техники нефтегазовой отрасли, реализующей законы типового регулирования, с такими интеллектуальными алгоритмами, как искусственные иммунные системы.

Цель статьи. Разработка механизмов интеграции и внедрение интеллектуального алгоритма искусственных иммунных систем в промышленные регуляторы распределенной системы управления для нефтегазовой отрасли.

Основной раздел. При осуществлении процедур управления технологическими процессами на основе микропроцессорной техники

нефтегазовой отрасли, используется распределённая система управления (Distributed Control System, DCS). В системной архитектуре PCY, компонент, предназначенный для выполнения функций управления – станция управления (контроллер распределённой системы управления), который интегрирован в PCY наряду с другими компонентами.

Распределённая система управления включает пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор (PID-регулятор) с переменной структурой, на выходе которого формируется сигнал управления, MV (рис. 1).

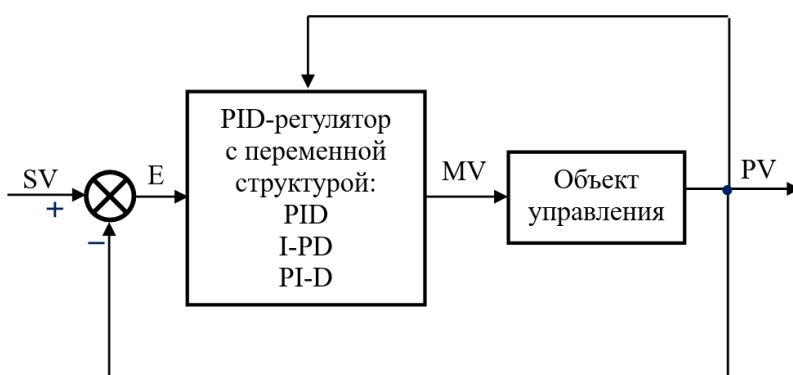


Рис. 1. Схема распределённой системы управления с PID-регулятором

На рис. 1: PV – текущее значение выходного сигнала объекта управления; SV – заданный сигнал процесса; E – ошибка рассогласования между значениями выходного сигнала объекта управления и заданного сигнала.

В состав автоматизированных систем управления микропроцессорной техники различных фирм входят регуляторы с переменной структурой – законы управления таких регуляторов включают не только ошибку рассогласования, но и текущее значение выходного сигнала, PV.

Для интеграции современной микропроцессорной техники нефтегазовой отрасли с интеллектуальными алгоритмами предлагается рассмотреть условия формирования задачи микропроцессорной настройки PID-регулятора с переменной структурой на основе интеллектуальных алгоритмов.

В качестве условий сформируем этапы настройки интеллектуального регулятора.

Этап 1. Формирование и загрузка данных в контроллеры распределённой системы управления.

Етап 2. Применение функционального блока PID-регулятора с переменной структурой.

Етап 3. Законы PID-регулирования.

Етап 4. Настройка регулятора, минимизирующего выбранный критерий качества, на основе алгоритмов искусственного интеллекта.

Етап 5. Формирование дискретного управляющего сигнала для объекта управления.

В соответствии с третьим этапом сформируем законы управления.

Закон PID управления, в котором управляющее воздействие формируется на основе ошибки рассогласования

$$MV(t) = K_p \cdot K_s \cdot \left\{ E(t) + \frac{1}{T_i} \int_{t=0}^{t_1} E(t) dt + T_d \frac{dE(t)}{dt} \right\}, \quad (1)$$

где K_p – пропорциональный коэффициент усиления;

K_s – коэффициент усиления, определяющий допустимый диапазон изменения для устойчивости замкнутой системы управления;

T_i – постоянная интегрирования;

T_d – постоянная дифференцирования.

Закон I-PD управления, в котором управляющее воздействие формируется на основе ошибки рассогласования, E , и изменения выходного сигнала PV

$$MV(t) = K_p \cdot K_s \cdot \left\{ -PV(t) + \frac{1}{T_i} \int_{t=0}^{t_1} E(t) dt - T_d \frac{dPV(t)}{dt} \right\}. \quad (2)$$

Закон PI-D управления, в котором управляющее воздействие формируется на основе ошибки рассогласования, E , и изменения выходного сигнала PV

$$MV(t) = K_p \cdot K_s \cdot \left\{ E(t) + \frac{1}{T_i} \int_{t=0}^{t_1} E(t) dt - T_d \frac{dPV(t)}{dt} \right\}. \quad (3)$$

В настоящее время разработаны методы синтеза подобных регуляторов на основе таких интеллектуальных алгоритмов роевого интеллекта, как Cuckoo Search (CS), Genetic Algorithm (GA), Particle

swarm optimization (PSO), Bacterial Foraging Algorithm (BG) [12,13]. В данной статье рассматривается алгоритм AIS.

В случае (1), передаточные функции идеального типового регулятора и замкнутой системы управления имеют стандартный вид:

$$C_{PID}(s) = K_p \cdot K_s \cdot \left\{ 1 + \frac{1}{T_i} \cdot \frac{1}{s} + T_d \cdot s \right\},$$

$$T_{PID}(s) = \frac{C_{PID}(s) \cdot G(s)}{1 + G(s) \cdot C_{PID}(s)}. \quad (4)$$

Для регуляторов (2) и (3), передаточная функция формируется в соответствии со схемой (рис. 2) и законами управления (1) – (3):

$$T_{I-PD}(s) = \frac{C_I(s) \cdot G(s)}{1 + G(s) \cdot (C_I(s) + C_{PD}(s))}, \quad (5)$$

$$T_{PI-D}(s) = \frac{C_{PI}(s) \cdot G(s)}{1 + G(s) \cdot (C_{PI}(s) + C_D(s))}. \quad (6)$$

В соответствии с четвёртым этапом настройки регуляторов, на основе алгоритма искусственных иммунных систем, необходимо сформировать критерий качества, с учётом передаточных функций замкнутой системы (4) – (6).

В качестве примера используем передаточные функции двухконтурной системы управления процессами очистки природного газа от различных примесей дистилляционной колонны [14]:

$$G_1(s) = \frac{0.0042}{1.9588s + 1}, \quad G_2(s) = \frac{0.0072}{1.9588s + 1}. \quad (7)$$

Для формирования требований к желаемой динамике получены переходные процессы (рис. 2), где PV1 и PV2 – текущие значения выходных сигналов двух контуров. В качестве желаемых сигналов SV1 и SV2 – единичный ступенчатый сигнал.

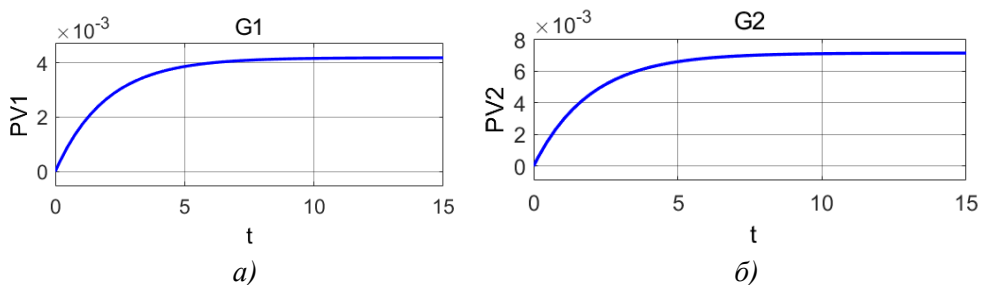


Рис. 2. Переходные процессы контуров (7)
a – 1 контур, *б* – 2 контур

Для реализации желаемой динамики, введём в рассмотрение интегральный квадратичный критерий качеств:

$$ISE = \int_{t=0}^{t_1} E^2(t) dt = \int_{t=0}^{t_1} (SV(t) - PV(t))^2 dt, \rightarrow \min. \quad (8)$$

Критерий (8) является целевой функцией для оптимизационной задачи нахождения минимума на основе алгоритмов искусственного интеллекта.

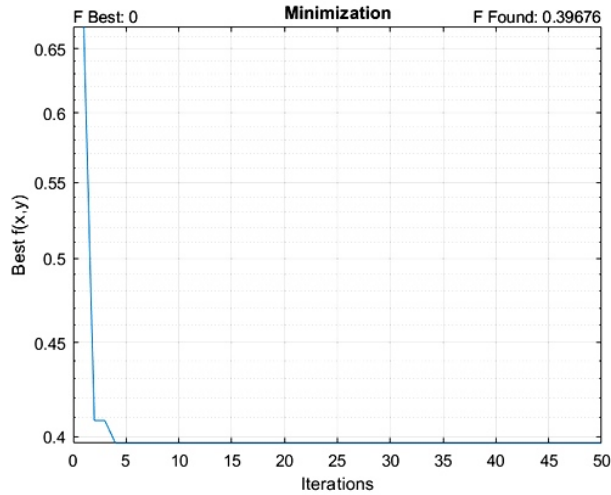
В этом случае поставленная задача сводится к следующей: найти неизвестные параметры регуляторов, которые обеспечивают минимум критерию качества (8) на основе алгоритма искусственного интеллекта AIS.

В данной статье приведём результаты синтеза I-PD регулятора распределённой системы (2). Для поиска неизвестных параметров K_p , T_i , T_d , используется методология, представленная в работе [14]. В соответствии с ней формируется начальная популяция, которая представляет собой параметры регуляторов из диапазона допустимых значений, удовлетворяющего свойству устойчивости замкнутой системы. Затем производится полный цикл вычислений, на основе шагов поискового AIS [14].

Общие настройки алгоритма: $n = 100$ – размер популяции; $ab = \text{cadeia}(n, 44)$ – популяция антител; $gen = 50$ – число генераций; $pm = 0.5$ – вероятность мутации; $d = 0.3$ – популяция, которая подвергается случайным перестановкам; $beta = 0.5$ – множитель, контролирующий количество клонов.

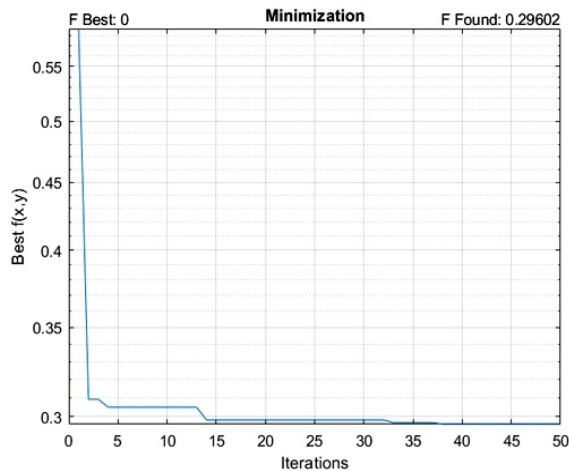
На рис. 3 представлены удовлетворительные результаты оценки работы алгоритма AIS для двух контуров (7).

x = 1.0753e+03
y = 2.9957e+03
fx = 0.3968



a)

x = 770.2679
y = 2.9606e+03
fx = 0.2960



b)

Рис. 3. Оценка работы алгоритма AIS для двух контуров (7)

a – 1 контур, б – 2 контур

Результаты применения алгоритма AIS для нахождения параметров I-PD регулятора представлены в таблице. Для сравнения, получены параметры PID регулятора на основе PID Tuner среды MATLAB.

Таблица

Математические модели и параметры регуляторов

Объект управления (ОУ)	Параметры регулятора					
	Схема ОУ с PID регулятором (PID Tuner)			Схема ОУ с I-PD регулятором (AIS)		
	K_p	$\frac{1}{T_i}$	$\frac{1}{T_d}$	K_p	T_i	T_d
1 контур	400	0.61	0.13	1075.3	2995.7	0
2 контур	181.14	1.09	0	770.3	2960.6	0

Результаты моделирования объектов управления двух контуров (7) с регуляторами, представлены на рис. 4.

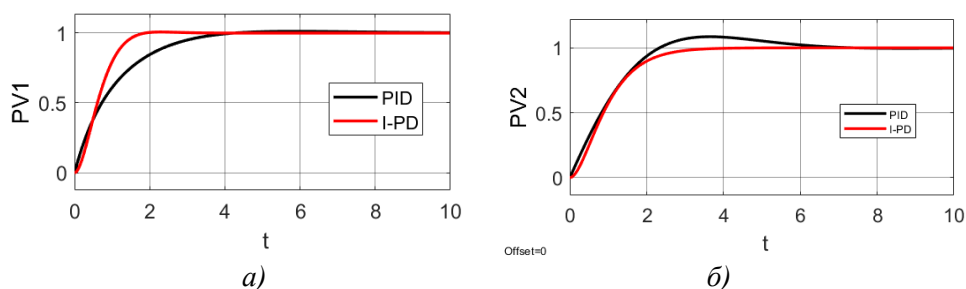


Рис. 4. Переходные процессы объекта управления (7) с регуляторами
а – 1 контур, б – 2 контур

По полученным результатам моделирования можно сделать вывод об эффективности I-PD регуляторов, настроенных алгоритмом AIS, с точки зрения прямых оценок качества переходных процессов: время регулирования, перерегулирование, время нарастания.

Выводы. Для распределённой системы управления, с использованием интеллектуального алгоритма AIS, получены результаты синтеза регуляторов. Приведено решение задачи синтеза I-PD регуляторов для двухконтурной системы управления технологическим процессом очистки природного газа от различных примесей дистилляционной колонны, с достижением желаемой динамики. На основе полученных результатов можно сделать выводы о пути и условиях интеграции современной микропроцессорной техники, реализующей законы типового регулирования в распределённой системе управления, с интеллектуальными алгоритмами.

Данное исследование было профинансировано Комитетом Науки

Министерства Образования и Науки Республики Казахстан (грант № AP08855743).

Список литературы:

1. *Arinez J.* Artificial Intelligence in Advanced Manufacturing: Current Status and Future Outlook / *J. Arinez, Q. Chang, R. Gao, C. Xu, J. Zhang* // Journal of Manufacturing Science and Engineering. – 2020. – Vol. 142. – 16 p.
2. *Malik H.* Applications of Artificial Intelligence Techniques in Engineering. Advances in intelligent systems and computing / *H. Malik, S. Srivastava, Y.R. Sood, A. Ahmad* // Springer Nature Singapore. – 2019. – Vol. 1. – P. 698.
3. *Lee J.* Industrial Artificial Intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems / *J. Lee, H. Davari, J. Singh, V. Pandhare.* – Manufacturing Letters. – 2018. – Vol. 18. – P. 20-23.
4. *Xing B.* Innovative computational intelligence: A rough guide to 134 clever algorithms / *B. Xing, W. Gao.* – Cham: Springer, 2014. – 451 p.
5. *Карпенко А.П.* Современные алгоритмы поисковой оптимизации / *А.П. Карпенко.* – М.: МВТУ им.Баумана. – 2014. – 446 p.
6. *Slavov T.* Application of Genetic Algorithm to Tuning a PID Controller for Glucose Concentration Control / *T. Slavov, O. Roeva* // WSEAS Transactions on Systems. – 2012. – Issue 7. – Vol. 11. – P. 223-233.
7. *Amar M.N.* Optimization of WAG process using dynamic proxy, genetic algorithm and ant colony optimization / *M.N. Amar, N. Zeraibi, K. Redouane* // Arabian Journal for Science and Engineering. – 2018. – Vol. 42. – Issue 11. – P. 6399-6412.
8. *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.
9. *Sethi R.* Cuckoo search algorithm based optimal tuning of PID structured TCSC controller / *R. Sethi, S. Panda, B. Sahoo* // Computational Intelligence in Data Mining. – 2015. – Vol. 1. – P. 251-263.
10. *Sahraoui M.* Application of artificial immune algorithm-based optimisation in tuning a PID controller for nonlinear systems / *M. Sahraoui, M. Salem* // International Journal of Automation and Control. – 2015. – Vol. 9. – No. 3. – P. 186-200.
11. *Kumar D.* Design of PSO based I-PD Controller and PID Controller for a Spherical Tank System / *D. Dinesh Kumar, B. Meenakshipriya, S. Ram* // Indian Journal of Science and Technology. – 2016. – Vol. 9. – Issue 12. – P. 1-5.
12. *Puangdownreonga, D.* Optimal Design of I-PD Controller for DC Motor Speed Control System by Cuckoo Search / *D. Puangdownreonga, A. Nawikavata, C. Thammarat* // International Electrical Engineering Congress, iEECON2016, Chiang Mai, Thailand. – 2016. – P. 83-86.
13. *Jain, T.* Optimization of PD-PI Controller using Swarm Intelligence / *T. Jain, M.J. Nigam* // Journal Of Theoretical And Applied Information Technology. – 2008. – Vol. 4. – No. 11. – P. 1013-1018.
14. *Ширяева, О.И.* Реализация SMART-технологии построения оптимальных систем на основе модифицированных алгоритмов / *Ширяева О.И., Самигулин Т.И.* // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПІ". – 2020. – № 1(3). – С. 41-49.

References:

1. Arinez, J., Chang, Q., Gao, R., Xu, C., Zhang, J. (2020), "Artificial Intelligence in Advanced Manufacturing: Current Status and Future Outlook", *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, Vol. 142, 16 p.
2. Malik, H., Srivastava, S., Sood, Y.R., Ahmad, A. (2019), "Applications of Artificial Intelligence Techniques in Engineering", *Advances in intelligent systems and computing*, Springer Nature Singapore, Vol. 1, 698 p.
3. Lee, J., Davari, H., Singh, J., Pandhare, V. (2018), "Industrial Artificial Intelligence for industry 4.0-based manufacturing systems", *Manufacturing Letters*, Vol. 18, pp. 20-23.
4. Xing, B., Gao, W. (2014), *Innovative computational intelligence: A rough guide to 134 clever algorithms*, Cham, Springer, 451 p.
5. Karpenko, A.P. (2014), *Sovremennye algoritmy poiskovoj optimizatsii*, Moskow, Bauman MSTU, 446 p.
6. Slavov, T., Roeva, O. (2012), "Application of Genetic Algorithm to Tuning a PID Controller for Glucose Concentration Control", *WSEAS Transactions on Systems*, Issue 7, Vol. 11, pp. 223-233.
7. Amar, M.N., Zeraibi, N., Redouane, K. (2018), "Optimization of WAG process using dynamic proxy, genetic algorithm and ant colony optimization", *Arabian Journal for Science and Engineering*, Vol. 42, Issue 11, pp. 6399-6412.
8. Wang, J., Song, N., Jiang, E., Xu, D., Deng, W., 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.
9. Sethi, R., Panda, S., Sahoo B. (2015), "Cuckoo search algorithm based optimal tuning of PID structured TCSC controller", *Computational Intelligence in Data Mining*, Vol. 1, pp. 251-263.
10. Sahraoui, M., Salem, M. (2015), "Application of artificial immune algorithm-based optimisation in tuning a PID controller for nonlinear systems", *International Journal of Automation and Control*, Vol. 9, No. 3, pp. 186-200.
11. Kumar, D., Meenakshipriya, B., Ram, S. (2016), "Design of PSO based I-PD Controller and PID Controller for a Spherical Tank System", *Indian Journal of Science and Technology*, Vol. 9, Issue 12, pp. 1-5.
12. Puangdownreonga, D., Nawikavatana, A., Thammarat C. (2016), "Optimal Design of I-PD Controller for DC Motor Speed Control System by Cuckoo Search", *International Electrical Engineering Congress, iEECON2016*, Chiang Mai, Thailand, pp. 83-86.
13. Jain, T., Nigam, M.J. (2008), "Optimization of PD-PI Controller using Swarm Intelligence", *Journal Of Theoretical And Applied Information Technology*, Vol. 4, No. 11, pp. 1013-1018.
14. Shiryayeva, O.I., Samigulin, T.I. (2020), "Implementation SMART-technology constructing optimal systems based on modified algorithms", *Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"*, Kharkiv: NTU "KhPI", No. 1(3), P.41-49.

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

Поступила (received) 13.06.2021

Shiryayeva Olga, Cand.Sci.Tech, Leading Researcher
Institute of Information and Telecommunication Technologies MES RK
Str. Pushkin, 125, Almaty, Kazakhstan, 050010
Tel: +8(727)2723711, e-mail: oshiryayeva@gmail.com
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

Інтеграція сучасної мікропроцесорної техніки розподіленої системи управління з алгоритмами AIS / Ширяєва О.І., Самігулін Т.І. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2021. – № 1 (5). – С. 56 – 67.

У статті сформовані умови інтеграції сучасної мікропроцесорної техніки, що реалізує закони типового регулювання в розподіленій системі управління, з такими інтелектуальними алгоритмами, як штучні імунні системи (AIS). В рамках сформованих умов вирішено завдання синтезу I-PD регулятора для двоконтурної системи управління технологічним процесом очищення природного газу від різних домішок дистиляційної колони. Ил.: 4. Табл.: 1. Бібліогр.: 14 назв.

Ключові слова: інтеграція; мікропроцесорна техніка; штучний інтелект; типовий регулятор; штучна імунна система; завдання синтезу.

УДК 681.5

Интеграция современной микропроцессорной техники распределённой системы управления с алгоритмами AIS / Ширяева О.И., Самигулин Т.И. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2021. – № 1 (5). – С. 56 – 67.

В статье сформированы условия интеграции современной микропроцессорной техники, реализующей законы типового регулирования в распределённой системе управления, с такими интеллектуальными алгоритмами, как искусственные иммунные системы (AIS). В рамках сформированных условий решена задача синтеза I-PD регулятора для двухконтурной системы управления технологическим процессом очистки природного газа от различных примесей дистиляционной колонны. Ил.: 4. Табл.: 1. Библиогр.: 14 назв.

Ключевые слова: интеграция; микропроцессорная техника; искусственный интелект; типовой регулятор; искусственная иммунная система; задачи синтеза.

UDC 681.5

Integration of modern microprocessor technology of a distributed control system with AIS algorithms / Shiryayeva O.I., Samigulin T.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Series of "Informatics and Modeling". – Kharkov: NTU "KhPI". – 2021. – № 1 (5). – P. 56 – 67.

The article forms the conditions for the integration of modern microprocessor technology that implements the laws of standard regulation in a distributed control system with such intelligent algorithms as artificial immune systems (AIS). Within the framework of the formed conditions, the problem of synthesis of the I-PD regulator for a two-circuit control system for the technological process of natural gas purification from various impurities of the distillation column is solved. Figs.: 4. Tabl.: 1. Refs.: 14 titles.

Keywords: integration; microprocessor technology; artificial intelligence; typical regulator; artificial immune system (AIS); synthesis tasks.