

Г.А. Самигулина<sup>1</sup>, А.Н. Алдибекова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты,  
Алматы қ., Қазақстан

## КЛОНДЫ ІРІКТЕУ НЕГІЗІНДЕ ЖАСАНДЫ ИММУНДЫ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ ЖЕТІЛДІРІЛГЕН АЛГОРИТМДЕРІНІҢ ЗАМАНАУИ ЖАҒДАЙЫ

---

**Түйіндеме.** Мақалада ғылым мен техниканың өртүрлі салаларында жасанды иммунды жүйелердің биоинспирирленген тәсілдерін қолдану мәселесіне, сондай-ақ, соңғы жылдардағы (2014-2018 ж.ж.) жасалған қосымшаларына сараптамалық шолу жүргізілген. Жасанды интеллекттің тәсілдерін (генетикалық алгоритмдерді, нейрондық желілерді, үйірлі интеллект алгоритмдерін және олардың жетілдірілген түрлерін) тиімді инновациялық ақпараттық технологияларын жасау кезінде қолданудың өзектілігі көрсетілген. Жасанды иммунды жүйелердің заманауи алгоритмдері: клонды іріктеу алгоритмдері, негативті сұрыптау және иммунды желілік алгоритмдер деген сияқты бірнеше негізгі бағыттарға бөлінеді. Бұл жұмыста өртүрлі оңтайландыру, танып - білу және болжау міндеттерін шешу кезінде клонды іріктеудің алгоритмдерін қолданудың маңыздылығы мен өзектілігі дәлелденген. Клонды іріктеу алгоритмдерінің негізіндегі жасанды иммунды жүйелердің жетілдірілген алгоритмдері келтірілген, сонымен қатар, олардың ерекшеліктері мен артықшылықтары қарастырылған.

**Түйінді сөздер:** сараптамалық шолу, жасанды иммунды жүйелер, клонды іріктеу, жетілдірілген алгоритмдер, оңтайландыру міндеттері, болжау.

• • •

**Аннотация.** В статье проведен аналитический обзор по проблеме применения биоинспирированного подхода искусственных иммунных систем в различных областях науки и техники, а также разработанных приложений за последние годы (2014-2018 гг). Показана актуальность применения подходов искусственного интеллекта (генетических алгоритмов, нейронных сетей, алгоритмов роевого интеллекта и их модификаций) при создании эффективных инновационных информационных технологий. Современные алгоритмы искусственных иммунных систем подразделяются на несколько основных направлений: алгоритмы клонального отбора, негативной селекции и иммунносетевые алгоритмы. Доказана актуальность и важность применения алгоритмов клональной селекции для различных задач оптимизации, распознавания и прогнозирования. Приведены модифицированные алгоритмы искусственных иммунных систем на основе алгоритмов клонального отбора, а также рассмотрены их особенности и преимущества.

**Ключевые слова:** аналитический обзор, искусственные иммунные системы, клональный отбор, модифицированные алгоритмы, задачи оптимизации, прогнозирование.

**Abstract.** The article provides an analytical review of the problem of using the bioinspired approach of artificial immune systems in various fields of science and technology, as well as the developed applications in recent years (2014-2018). The relevance of the application of artificial intelligence approaches (genetic algorithms, neural networks, swarm intelligence algorithms and their modifications) for create effective innovative information technologies is shown. Modern algorithms of artificial immune systems are divided into several main areas: clonal selection, negative selection and immune-network algorithms. The relevance and importance of the use of clonal selection algorithms for various optimization, recognition and prediction problems has been proved. Modified algorithms of artificial immune systems based on clonal selection algorithms are presented, and their features and advantages are considered.

**Keywords:** analytical review, artificial immune systems, clonal selection, modified algorithms, optimization problems, forecasting..

**Кіріспе.** Қазіргі уақытта заманауи инновациялық технологияларды және күрделі объектілерді басқару жүйесін жасау кезінде жасанды интеллекттің (ЖИ) тәсілдері маңызды рөл атқарады. ЖИ негізгі тәсілдері: генетикалық алгоритмдер (GA, Genetic Algorithm), нейронды жүйелер (NN, Neural Networks), үйірлі интеллект (SI, Swarm Intelligence), жасанды иммунды жүйелер (AIS, Artificial Immune Systems) және т.б. болып табылады. Соңғы уақытта жасанды иммунды жүйелерге ерекше қызығушылық танылуда және олар кеңінен қолданылуда. AIS - тің бағыттарының бірі клонды іріктеу (CSA, Clonal Selection Algorithm) болып табылады және ол машиналық оқыту, оңтайландыру, компьютердің қауіпсіздігі, бейнелерді танып - білу және болжау, жоспарлау және т.б. сияқты әртүрлі қолданбалы есептерді шешуде пайдаланылады. Клонды іріктеу алгоритмдері адам ағзасының белгіде антигендерді танып-білу кезіндегі иммундық жауабының механизміне негізделген. Өзінің бейімделгіш және жеңіл жүзеге асатындығының арқасында бұл алгоритмдер ғылым мен техниканың әртүрлі салаларындағы зерттеушілердің назарын езіне аударды. Мысалы, [1] мақала зондпен қашықтан тексеру кезіндегі кескіндерінің өзгерісін анықтап табуға арналған. Бұл зерттеулердің негізінде энтропияның оңтайлы мәндерін анықтауға арналған клонды селекцияның алгоритмдері жатыр. Жүргізілген зерттеулер ұсынылған әдістің тиімді әрі тұрақты екендігін көрсетті. [2] Мақала ендірістік ұяшықтардағы тұтыну қажеттілігі ұқсас белшектер топтақанда және осы белшектерді еңдеуге арналған машиналардың жиынтығын анықтаған кезде жасушалық (Cellular Manufacturing) ендіріс жүйесін жасауға арналған. Аталған әдістің мақсаты белшектерді ең-

деудің шығынын азайту болып табылады. Клонды іріктеу алгоритмінің кемегімен ендірістік ұяшықтарды құрастыруға арналған альтернативті технологиялық маршруттар қалыптастырылады. Тағы сол сияқты, соңғы жылдары оңтайландыру және болжаудың әртүрлі ауқымды міндеттерін шешуге арналған клонды іріктеу алгоритмдерінің кептеген жетілдірілген түрлері жасалды.

**Міндеттердің қойылымы:** соңғы жылдардағы әртүрлі тәжірибелік қосымшаларға арналған клонды іріктеу нәзізінде жасанды иммунды жүйелердің жетілдірілген алгоритмдерінің қолданылуын қарастыру қажет.

Қазіргі таңда жетілдірілген CSA-ін қолдана отырып, оңтайландыру жайында кептеген ғылыми мақалалар жарияланды [3]. Мысалы, [4] жұмыста клонды іріктеу алгоритмінің MCSA (Modified Clonal Selection Algorithm) жетілдірілген түрі энергетикалық жүйелерді тұрақтандыруға, тұрақтандырығыштардың оңтайлы құрылымын жасауға және төменгі жиіліктегі ауытқуларды азайтуға арналған. Модельдеудің нәтижелері ұсынылған тәсілдің тиімді екендігін көрсетті. Мақалада [5] сандық клонды іріктеу алгоритмінің жетілдірілген комбинаторлық рекомбинация және бейімделген мутациямен қосылған MSHCSA (A hybrid clonal selection algorithm with modified combinatorial recombination and success-history) алгоритмі қарастырылады. Аталған алгоритм іздеу қабілеттілігінің төмендігі, мерзімінен бұрын жинақталу және тоқыраушылық (стагнация) сияқты күрделі мәселелердің міндеттерін оңтайлы шешуге мүмкіндік береді. Ұсынылып отырған алгоритм тексеруден еткізілген және заманауи эволюциялық алгоритмдерімен салыстыра отырып, талдау жасалған. Зерттеулердің нәтижелері бұл алгоритмнің бәсекеге қабілетті екенін көрсетті. [6] Еңбегінде нормадан ауытқу, яғни, дегенерацияны танып білу (DR, Degeneration Recognizing) нәзізіндегі клонды іріктеу алгоритмінің (CSA, Clonal Selection Algorithm) есептеу жылдамдығын азайтуға мүмкіндік беретін әдісі дайындалған. DR-CSA алгоритмі мультимодальді оңтайландырудағы күрделі инженерлік есептерді шешуге арналған. Аталмыш алгоритм есептеу уақытын айтарлықтай қысқарту үшін тиімді екендігін көрсетті. [7] Жұмыс мультимодальдік және комбинаторлық оңтайландыру есептерін шешу үшін ICLONALG (Improved Clonal Selection Algorithm) жақсартылған клонды іріктеу алгоритміне арналған. [8] Мақалада CLONALG алгоритмінің нәзізінде антиденелерді кездейсоқ таңдаудың орнына жадының k пұлын (k memory pools) қолданатын жетілдіріліп кеңейтілген (Enhanced CLONALG) клонды іріктеу алгоритмі ұсынылған. [9] Жұмыста клонды

іріктеу негізінде жасанды иммунды жүйенің алгоритмі мен үйірлі белшектерді оңтайландыру (PSO, Particle Swarm Optimization) әдісінің қолданылуы қарастырылады [10]. Еңбегінде клонды іріктеу алгоритмі мен мультиагентті тәсілді біріктірген бірнеше ұшқышсыз ұшатын анықтау аппараттарының (ҰҒА) оңтайлы таралуына арналған үлестірілген иммунды мультимодальді алгоритмі (DIMAA, Distributed Immune Multi-Agent Algorithm) қолданылады. Ұсынылып отырған алгоритм агенттер арасында шешім қабылдау үдерістерін жеңілдетеді. Бұл жетілдірілген алгоритм ауқымды оңтайландыру шешімін тауып қана қоймай, сонымен қатар агенттер арасындағы коммуникациялық салмақты азайтады [11]. Зерттеулерінде ауқымды және жергілікті іздеуді жақсартуға арналған, дифференциалдық эволюция (DE, Differential Evolution) мен үлестіруді бағалау алгоритмін (EDA, Estimation of Distribution Algorithm) біріктірген CSA-DE/EDA клонды іріктеудің жетілдірілген биоинспирирленген есептеу алгоритмі қарастырылған. Аталмыш жаңа алгоритм мидың кескінін саралау үшін қолданылған. Ұсынылып отырған CSA-DE/EDA алгоритм берілген міндетті шешу үшін іздеу жылдамдығы бойынша бірнеше биоинспирирленген есептеу технологиясын басып озады. [12] Мақалада ауқымды іздеу жүргізуге арналған клонды іріктеудің гибриді алгоритмі HLCSA (Hybrid Learning Clonal Selection Algorithm) ұсынылады. Берілген алгоритм оңтайландыру үшін тиімді әрі сенімді алгоритм болып табылады. [13] Жұмысында ми кескінінің магниттік резонансын саралауға арналған жасырын Маркалық кездейсоқ еріс алгоритмі (HMRF, Hhidden Markov Random Field) және клонды іріктеу алгоритмінің (CSA) қолданылуы қарастырылған. HMRF – CSA алгоритмдері ауқымды оңтайландыру әдісі болғандықтан, бұл ұсынылып отырған жетілдірілген алгоритм орнықты болып табылады және мидың негізгі құрылысын дәлірек дифференциялайды. [14] Мақаласында нүктелік симметрия және кластерлеудің негізіндегі клонды іріктеудің жетілдірілген алгоритмін (PSCSCA, Point Symmetry-Based Clonal Selection Clustering Algorithm) кескінді сығымдау үшін қолданылуы қарастырылады. [15] Зерттеулерінде сымсыз сенсорлы желілердің маршруттарын мультиагентті жоспарлау үшін CSA-MIP (Clonal Selection Algorithm for Multi-agent Itinerary Planning) жаңа жетілдірілген клонды іріктеу алгоритмі ұсынылған. Қарастырылып отырған алгоритм шешімінің сапасының жоғарылығы мен есептеу тиімділігі жағынан артықшылығын жақсы көрсете алды. [16] Жұмыста CSA классикалық алгоритмінің мерзімінен бұрынғы жинақылық, дәлдіктің жетіспеуі деген сияқты кемшіліктерді қарастырған. Осындай мәселелерді шешу

үшін жаңа клонды іріктеу алгоритмінің комбинаторлы рекомбинациясымен (RCSA, Recombination Operator CSA) және гипермутацияның жетілдірілген операторларымен (RHCSA, Recombination and Modified Hypermutation) біріктірілген гибридті алгоритмі ұсынылады. Зерттеулер аталған алгоритмнің классикалық CSA сипаттамаларын айтарлықтай жақсартатынын дәлелдеді. Ауқымды оңтайландырудың ең заманауи алгоритмдерімен салыстыра отырып, ұсынылған алгоритмнің едәуір бәсекеге қабілетті екені байқалды.

Клонды іріктеу алгоритмдері күрделі объектілердің күйін болжаудың әртүрлі міндеттерін шешу кезінде де кеңінен қолданылады. Мысалы, [17] мақалада кемірқышқыл газының шығарылуын және галамдық жылынудың алдын алуды болжау үшін жетілдірілген CLONALG – AIRS алгоритмін қолдануды ұсынады. [18] Еңбектерінде клонды сұрыптау мен жасанды нейронды желілерге (ANN, Artificial Neural Network) негізделген біріктірілген жаңа әдіс ұсынылған. Түрлендірілген бұл әдіс электр энергиясын тұтынудың ең жоғарғы деңгейіндегі түсірілетін салмақты болжауға арналған. [19] Мақаласында бинарлы ағаш және «Парето жиынтығы» ұғымының негізінде болжау міндеттерін шешуге арналған кеп критерийлі жетілдірілген клонды іріктеу алгоритмі сипатталады. [20] Жұмысында бинарлы ағаш негізіндегі жетілдірілген клонды іріктеу алгоритмін қолданатын уақыттық қатарларды болжаудың модельдері қарастырылады. Модельдеу MATLAB бағдарламалау ортасында жүзеге асырылған. [21] Мақалада клонды іріктеудің жаңа кванттық алгоритмін (QCS, Quantum Clonal Selection Algorithm) ақуыздардың құрылысын болжау мақсатында ұсынылған. [22] Зерттеу кәсіпорындарды заманауи үлестірілген басқару жүйесі (DCS, Distributed Control System) негізінде күрделі объектілерді интеллектуалды басқару жүйесін жасауға арналған. Мұнда клонды басқару алгоритмі болжамалы оқиғалармен жұмыс жасау үшін пайдаланылады.

Көптеген заманауи жарияланымдар ақпаратты қорғау мәселелеріне де арналған. Мысалы, [23] мақалада зиянкес ақпараттың енуінің алдын алуға және мәліметтердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін алгоритм жұмысының дәлдігін жоғарылату міндеті шешілген клонды іріктеу негізіндегі ЖИЖ-нің жақсартылған алгоритмі ұсынылған. Жасанды иммунды жүйе биологиялық иммунды жүйеге ұқсас ақпаратты қорғаудың динамикалық және адаптивті жүйесін құрайды. Нейронды желілермен салыстырғанда ұсынылған алгоритмнің дәлдігі әлдеқайда жоғары екендігін көрсетеді. [24] Жұмыста клонды сұрыптаудың ЖИЖ коэволюциялық иммунды алгоритмі желілік басып кірген зиянкестерді

табу үшін жасалған. [25] Мақалада ақпараттық белгілерді таңдау мен мәліметтерді теңгеру жүйесін клонды іріктеу алгоритмімен біріктіретін (USCS, Under-Sampling and Clonal Selection) веб-спамдарды табуға арналған жаңа классификаторлар ұсынылған. Аталмыш тәсіл басқа заманауи тәсілдермен салыстырғанда классификацияның айтарлықтай тиімділігін қамтамасыз етеді. [26] Жұмыста ақпараттық белгілерді таңдау мәселелерін (FSP, Feature Selection Problem) шешу үшін CSA клонды іріктеу алгоритмі, ILS (Iterated Local Search) интерактивті жергілікті іздеу және VNS (Variable Neighborhood Search) айнымалы маңайында іздеудің негізіндегі гибриді клонды алгоритмді пайдаланады. Жасалған алгоритмді тексеруден өткізу кезінде ұсынылған тәсіл езінің тиімді екенін көрсетті.

**Қорытынды.** Сонымен, заманауи ғылыми әдебиеттер бойынша жүргізілген талдаулар кептеген ғылым, білім және техника саласындағы оңтайландыру және болжаудың әртүрлі міндеттерін шешу үшін клонды іріктеудің жетілдірілген алгоритмдерін жасауда езекті мәселе екендігін көрсетеді.

**Зерттеуді қаржыландыру кездері:** Жұмыс «Жасанды интеллект тәсілі негізінде күрделі объектілерді интеллектуалды басқару жүйесіне арналған когнитивті Smart-технологиясын жасау» (2018-2020 гг.) тақырыбында Қазақстан Республикасының Білім және Ғылым Министрлігінің Ғылым Комитетінің №AP05130018 гранты бойынша орындалды.

## Әдебиеттер

1 Wu T., Lei Y., Gong M. Change Detection in Remote Sensing Images Based on Clonal Selection Algorithm // Bio-inspired Computing – Theories and Applications . – 2016. – P. 467-472.

2 Karoum B., Benani Y. B. El.. A clonal selection algorithm for the generalized cell formation problem considering machine reliability and alternative routings // Production Engineering, 2017. – Vol. 11, Is. 4-5. – P. 545-556.

3 Самигулина Г.А., Алдибекова А.Н. Искусственные иммунные системы: модифицированные алгоритмы клональной селекции // Сборник статей научно-практической конференции «Научное развитие технологий и интеллектуальные системы», Самара, 23 ноября 2018 г. – С. 68-70.

4 Naresish G., M. Raju R., Narasimham S.V.L. Modified Clonal Selection Algorithm based Power System Stabilizers for Damping Power System Oscillations in Multi-machine Power System // International Electrical Engineering Journal (IEEJ). – 2014.– Vol. 5, No.8. – P. 1503-1512.

5 Zhang W., Gao K., Wang X., Zhang Q., Wang H. A hybrid clonal selection algorithm with modified combinatorial recombination and success-history based adaptive mutation for numerical optimization // Applied Intelligence, 2018. – P. 1-18.

6 Xu N., Ding Y., Ren L., Hao K. Degeneration Recognizing Clonal Selection Algorithm for Multimodal Optimization // IEEE Trans Cybern, 2018. – Vol. 48(3). – P. 848-861.

7 Rai N., Singh A. Improved Clonal Selection Algorithm (ICLONALG) // International Journal of Current Engineering and Technology. – 2015. – Vol.5, No.4. – P. 2459-2464.

8 Dash S., Mishra R.K., Panigrahy A., Das R.K. E-CLONALG: A classifier based on Clonal Selection Algorithm // Transactions on Machine Learning and Artificial Intelligence.– 2016. – Vol. 4, No. 6. – P. 88-96.

9 Li R., Zhan W., Hao Z. Artificial Immune Particle Swarm Optimization Algorithm Based on Clonal Selection // Boletín Técnico. – 2017. – Vol.55, Is. 1. – P. 158-164.

10 Miao Y., Zhong L., Yin Y., Zou Ch., Luo Z. Research on dynamic task allocation for multiple unmanned aerial vehicles // Transactions of the Institute of Measurement and Control, 2017.–Vol.39 Is. 4. – P. 466-474.

11 Li Z., Xia Y., Sahli H. CSA-DE/EDA: A Clonal Selection Algorithm Using Differential Evolution and Estimation of Distribution Algorithm // Advances in Brain Inspired Cognitive Systems, 2018. – P. 293-302.

12 Peng Y., LuB L. Hybrid learning clonal selection algorithm // Information Sciences 296, 2015. – P. 128-146.

13 Zhang T., Xia Y., Feng D.D. Hidden Markov random field model based brain MR image segmentation using clonal selection algorithm and Markov chain Monte Carlo method // Biomedical Signal Processing and Control, 2014. – P. 10-18.

14 Liu R., He F., Liu J., Ma W., Li Y. A point symmetry-based clonal selection clustering algorithm and its application in image compression // Pattern Analysis and Applications. – 2014. –Vol. 17, Is. 3. – P. 633-654.

15 Ch Y.,Chou, Nakajima M. A Clonal Selection Algorithm for Energy-Efficient Mobile Agent Itinerary Planning in Wireless Sensor Networks // Mobile Networks and Applications. – 2018. – Vol. 23, Issue 5. – P. 1233-1246.

16 Zhang W., Lin J., Jing H., Zhang Q. A Novel Hybrid Clonal Selection Algorithm with Combinatorial Recombination and Modified Hypermutation Operators for Global Optimization // Hindawi Publishing Corporation Computational Intelligence and Neuroscience, 2016. – 14 p.

17 Lasisi A., Ghazali R., Chiroma H. Utilizing Clonal Selection Theory Inspired Algorithms and K-Means Clustering for Predicting OPEC (The Organization of the Petroleum Exporting Countries) Carbon Dioxide Emissions from Petroleum Consumption // Recent Advances on Soft Computing and Data Mining, 2016. – P. 101-110.

18 *Omid A., Amir N.* A novel electric load consumption prediction and feature selection model based on modified clonal selection algorithm // Journal of Intelligent & Fuzzy Systems. – 2018. – Vol. 34, No. 4. – P. 2261-2272.

19 *Astakhova N., Demidova L., Nikulchev E.* Multi objective Clonal Selection Algorithm for the Forecasting Models on the Base of the Strictly Binary Trees // Proceedings of SAI Intelligent Systems Conference (IntelliSys), 2016. – P. 389-403

20 *D. Liliya A.* Time series forecasting models on the base of modified clonal selection algorithm // International Conference on Computer Technologies in Physical and Engineering Applications (ICCTPEA), 2014. – P. 33-34.

21 *Zhu H., Wu J., Gu J.* Studies on Immune Clonal Selection Algorithm and Application of Bioinformatics // International Journal of Intelligent Engineering and Systems. – 2015. – Vol.8, No.1. – P. 10-16.

22 *Самигулина З.И., Алдибекова А.Н.* Интеллектуальная система управления сложными объектами на основе алгоритма клонального отбора // Материалы научной конференции Института информатических и вычислительных технологий МОН РК «Современные проблемы информатики и вычислительных технологий», Алматы, 2-5 июля, 2018. – С. 253-257

23 *Yin C., Ma L., Feng L.* Towards accurate intrusion detection based on improved clonal selection algorithm // Multimedia Tools and Applications. – 2017. – Vol. 76, Is. 19. – P. 19397-19410.

24 *Salamatova T., Zhukov V.* Network intrusion detection by the evolutionary immune algorithm of artificial immune systems with clonal selection // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – Vol. 173. – P. 1-8.

25 *Lu X. Y., Chen M. Sh., Wu J.L., P. Ch. Chang, M. H. Chen.* A novel ensemble decision tree based on under-sampling and clonal selection for web spam detection // Pattern Analysis and Applications. – 2018. – Vo. 21, Is. 3. – P. 741-754.

26 *Marinaki M., Marinakis Y.* A hybridization of clonal selection algorithm with iterated local search and variable neighborhood search for the feature selection problem // Memetic Computing. – 2015. – Vol. 7, Is. 3. – P. 181-201.

**Самигулина Г.А.** - техника ғылымдарының докторы, доцент,  
e-mail: galinasamigulina@mail.ru

**Алдибекова А.Н.** - магистр, e-mail: aitkul.aldibekova@gmail.com