

ҚР ҒЖБМ ҒК «Математика және математикалық моделдеу институты» РМК



ЖОБАНЫҢ АТАУЫ

ЖОБА ЖЕТЕКШІСІ

**ЖОБАНЫҢ ОРЫНДАЛУ
ЖЫЛДАРЫ**

**ҚАРЖЫЛАНДЫРУ
СОМАСЫ**

«Бөлшек ретті нейрондық желілерде ақырғы уақытты синхрондау: қауіпсіз деректер байланысындағы қолданбалар»

ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, ф.-м.ғ.д., профессор
Садыбеков Махмуд Абдысаметович

2023 – 2025

299 903 393,7 теңге:

2023 – 99 990 668 теңге, 2024 – 99 999 732 теңге, 2023 – 99 912 993,7 теңге

**ЖОБАНЫҢ РЕФЕРАТЫ
(АБСТРАКТ)**

Бұл ғылыми жоба бөлшек ретті хаотикалық нейрондық желілер (FONN) үшін ақырлы-уақыттық синхронизациялау әдістерін әзірлеуге және оларды практикалық түрде іске асыруға, сондай-ақ олардың бейнелерді шифрлау/дешифрлау мәселелерін талдаудағы өзектілігін айқындауға бағытталған. Атап айтқанда, уақыт бойынша өзгертін кідірістері бар FONN аясында толық синхронизация, анти-синхронизация, кідірісті синхронизация және квази-синхронизацияны қоса алғанда, синхронизацияның әртүрлі критерийлері зерттеледі. Модельдер FONN-ның бірнеше кластары, соның ішінде кешенді мәнді модель және ауыстырмалы модель қарастырылады. Алынған теориялық нәтижелер негізінде хаотикалық тізбектер қауіпсіз байланыс жағдайында бейнелерді шифрлау сұлбаларын жетілдіру үшін қолданылады, ал ұсынылған тәсілдердің тиімділігі сандық модельдеу арқылы расталады.

КҮТІЛЕТІН НӘТИЖЕЛЕР

Жобаны іске асыру барысында әртүрлі басқару әсерлері мен контроллерлер қолданылған бөлшек ретті хаотикалық нейрондық желілер (FONN) үшін синхронизацияның жаңа теориялық критерийлері әзірленетін болады. Алынған нәтижелер деректерді қауіпсіз беру мақсатында бейнелерді шифрлау алгоритмдерін әзірлеуде ДНҚ-кодтау, симметриялық шифрлау және эллиптикалық криптография әдістерін қолдану арқылы пайдаланылатын болады. Сонымен қатар, қарастырылатын FONN типіндегі бөлшек модельдердің динамикасына сапалық талдау жүргізіліп, шешімдерінің айқын аналитикалық түрлері алынатын болады. Жобаның ғылыми нәтижелерін тарату және осы саладағы жетекші мамандармен кәсіби байланыстар орнату мақсатында жобаға қатысушылар беделді халықаралық ғылыми конференцияларға қатысуды жоспарлайды. Жобаны жүзеге асыру магистратура мен докторантурада білім алатын жас зерттеушілердің даярлығы мен кәсіби дамуына ықпал етеді.

ҚОЛ ЖЕТКІЗІЛГЕН НӘТИЖЕЛЕР

2023 жылға: Уақыт бойынша өзгеретін кідірістері бар қайталанатын FONN квазисинхронизациясы зерттелді. Сәйкес коммутациялық және сызықтық кідіріс контроллерлерін құру және сәйкес Ляпунов функцияларын қолдану арқылы әртүрлі әдістерді, соның ішінде бөлшек ретті Халанай немесе Гронуолл типті теңсіздіктерді қолдана отырып, негізгі басты-бағдарлы жүйе моделінің квазисинхронизациясына қол жеткізілді. Векторлық жағдайды талдау процесінде сызықтық матрицалық теңсіздік түрінде квазисинхрондау үшін жеткілікті шарттар алынды. Нәтижесінде арнайы шифрлау әдісінде теориялық нәтижелер алу үшін сандық мысалға негізделген хаотикалық тізбектерге сүйене отырып, кескінді шифрлау қауіпсіздігі тиімді түрде жақсарды.

2024 жылға: Шектеусіз уақыт бойынша өзгеретін кідірістерді пайдалана отырып, шекті уақыттағы FONN синхрондауы талданды, нәтижесінде үлгі шешімдерінің жақындасуы үшін кейінгі сандық тексерілген жеткілікті шарттар алынды. Басыңқы-бағынушы конфигурациясының модельдері күрделі айнымалы және жадты FONNs (MFONNs) негізінде максималды абсолютті мән принципінен қосылған ауысу сипаттамаларымен құрастырылды, содан кейін олардың шекті уақыттық синхрондауы иллюстрациялық мысалмен дәлелденді. Сызықты FONN-ның айқын шешімі шығарылды және 2D кескін ақпаратын тиімді қалпына келтіру үшін Фурье сериясына негізделген моделі зерттелді. Сонымен қатар, берілген шифрлау процедуралары шеңберінде хаотикалық тізбектерді құруға қатысты теориялық қорытындылар сандық модельдеу арқылы расталды,

2025 жылға: Ақырлы уақыт ішінде хаотикалық бөлшек ретті нейрондық желілердің (FONN) анти-синхронизациясын қамтамасыз ететін контроллер әзірленді. Уақыт бойынша өзгеретін кідірістері бар FONN үшін анти-корреляцияланған контроллер негізінде анти-синхронизацияға арналған күйдің трансверсалдылық критерийі ұсынылды. Ляпунов функцияларының кандидаттарын талдау арқылы FONN-ның ақырлы-уақыттық анти-синхронизациясына жеткілікті шарттар алынып, анти-синхронизацияға қол жеткізу сандық модельдеу нәтижелерімен расталды. Параметрлері уақыт бойынша өзгеретін ауыстырмалы FONN үшін «жетекші–жетелуші» жүйе моделі құрылып, зерттелді. Жүйе іске асыруы ауыстыру режиміне тәуелді күй бойынша кері байланыс контроллерін қолдану арқылы жүзеге асырылды. Сызықтық матрицалық теңсіздіктер негізінде ауыстырмалы кідірістері бар FONN-ның ақырлы-уақыттық синхронизациясына жеткілікті шарттар алынып, олардың дұрыстығы компьютерлік модельдеу арқылы расталды. Бөлшек ретті екіжақты ассоциативті жад нейрондық желісі (BAM FONN) модельденіп, уақыт бойынша өзгеретін кідірістері бар BAM FONN-ның ақырлы-уақыттық синхронизациясына жақындауға мүмкіндік беретін, жадыға тәуелді кері байланысы бар контроллер сұлбасы ұсынылды. BAM FONN-ның ақырлы-уақыттық синхронизациясын жүзеге асыруға жеткілікті шарттар шығарылып, олардың дұрыстығы сандық есептеулермен дәлелденді. Қорытындысында жоғарыда алынған теориялық нәтижелерді пайдалана отырып, бейнелерді шифрлау алгоритмдеріне талдау және тестілеу жүргізілді. Сонымен қатар, Миттаг–Леффлер функциясының ядросының қасиеттерін қолдану арқылы FONN типіндегі сызықтық емес бөлшек модельдер шешімдерінің сапалық математикалық талдауы орындалды. Екіөлшемді бейнелерді берілген нүктелер саны бойынша немесе орташа мәндер (пиксельдер) арқылы қалпына келтіру аппараты әзірленіп, қалпына келтіру қателігінің Шарыгин диаметріне сәйкес келетін (яғни жақсартылмайтын) реті қамтамасыз етілді.

ЖОБАНЫҢ МАҚСАТЫ

Жобаның мақсаты әртүрлі басқару әсерлері жағдайында бөлшек ретті хаотикалық нейрондық желілерге негізделген модельдердің ақырлы-уақыттық синхронизациясын қамтамасыз ететін шарттарды зерттеуге үлес қосу, сондай-ақ алынған нәтижелерді бейнелерді қауіпсіз беру міндеттерінде қолданылатын жаңа шифрлау алгоритмдерін әзірлеу үшін пайдалану болып табылады.

ЖОБАНЫҢ НЕГІЗГІ ЕСЕПТЕРІ

- ✦ Импульстік контроллерлер және кері байланысқа негізделген контроллерлер қолданылған жағдайда бөлшек ретті хаотикалық нейрондық желілердің (FONN) квази-синхронизациясын талдау;
- ✦ Шексіз және стационарлы емес уақыттық кідірістері бар FONN жүйелері үшін ақырлы уақыттағы анти-синхронизация мен синхронизацияға қол жеткізу мүмкіндігін дәлелдеу;
- ✦ Тұрақты емес уақыттық кідірістері бар мемристивті FONN үшін ақырлы-уақыттық синхронизацияның орнату уақытын бағалау;
- ✦ Қарастырылған синхронизация мәселелерінің хаотикалық шешімдеріне негізделген деректерді шифрлау алгоритмін әзірлеу;
- ✦ FONN талдауында әзірленген және қолданылған тәсілдерді бөлшек ретті басқа эволюциялық модельдерді құру және зерттеу міндеттеріне кеңейту.

ТҮЙІНДІ СӨЗДЕР

Ақырғы уақытты синхрондау, бөлшек ретті нейрондық желілер, кері байланыс күйін бақылау, импульсті басқару, тұрақты емес кідірістері бар нейрондық желілер.

ЗЕРТТЕУ ТОБЫНЫҢ МҮШЕЛЕРІ

№	ТАӘ	Лауазымы	Researcher ID	Scopus Author ID	ORCID
1	Садыбеков М. А.	Жоба жетекшісі	-	16422939300	0000-0001-8450-8191
2	Қашқынбаев А. Т.	ЖҒҚ 0.5 мөлш.	N-9055-2017	55987699800	0000-0002-1338-2058
3	Сураган Д.	ЖҒҚ 0.5 мөлш.	-	57195200555	0000-0003-4789-1982
4	Кальменов Т. Ш.	ЖҒҚ 0.5 мөлш.	-	6504351037	0000-0002-1821-2015
5	Вербовский В. В.	ЖҒҚ 0.5 мөлш.	-	6504009089	0000-0001-5177-8523
6	Нурсултанов Е. Д.	ЖҒҚ 0.5 мөлш.	-	6602662146	0000-0003-3879-2261
7	Инкарбеков М. К.	ЖҒҚ 0.5 мөлш.	-	55999176200	0000-0001-8646-2916
8	Оралсын Г.	ЖҒҚ 0.5 мөлш.	DMD-0083-2022	57190935288	0000-0002-0403-3737
9	Қасабек С. А.	ЖҒҚ 0.5 мөлш.	-	56205307400	0000-0002-1714-5850
10	Ашыралыев А.	ЖҒҚ 0.5 мөлш.	-	6602401828	0000-0002-4153-6624
11	Цао Д.	ЖҒҚ 0.5 мөлш.	-	7403354075	0000-0003-3133-7119
12	Куртс Ю.	ЖҒҚ 0.5 мөлш.	-	35317963900	0000-0002-5926-4276
13	Раджан Р.	ЖҒҚ 0.5 мөлш.	-	23097997100	0000-0003-0809-2782
14	Ганесан С.	ЖҒҚ 0.5 мөлш.	ABA-4404-2021	57211006322	0000-0003-3011-225X
15	Исаханов А.	БҒҚ 0.5 мөлш.	-	57224833370	-
16	Тұрсынқожа А.	АҒҚ 0.5 мөлш.	-	57973185800	-
17	Өткел М.	АҒҚ 0.5 мөлш.	-	57445525600	0000-0002-4667-1251
18	Нуриев Ж.	КҒҚ 0.5 мөлш.	-	-	-
19	Манарбек М.	КҒҚ 0.5 мөлш.	-	-	-
20	Машканова А. Х.	КҒҚ 0.5 мөлш.	-	-	-

**ЖОБА БОЙЫНША
ЖАРИЯЛАНЫМДАР САНЫ**

Зерттеу нәтижелері бойынша 21 ғылыми мақала, 2 ғылыми монография жарияланды, 3 авторлық куәлік алынды:

-  **Web of Science** Clarivate Analytics деректер базасына және импакт-факторы бар **Scopus** деректер базасына енгізілген халықаралық рейтингтік журналдардағы **21 мақала (Articles)**;
-  Халықаралық баспаларда жарияланған **2 монография (Monographs)**;
-  3 авторлық куәлік.

Web of Science Clarivate Analytics деректер базасына және импакт-факторы бар **Scopus** деректер базасына енгізілген халықаралық рейтингтік журналдардағы **21 мақала (Articles)**:

- 1** Kashkynbayev A., Rakkiyappan R. Global Sampled-data output tracking control based on T–S fuzzy model for cancer-tumor-immune systems // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. – 2024. – Vol. 128. - 107642, 13 страниц (Scopus процентиль: 94, SJR 0.967, Web of Science: IF 3.9, Q1).
- 2** Soundararajan G., Nagamani G., Kashkynbayev A. Exponential H^∞ filtering for complex-valued uncertain discrete-time neural networks with time-varying delays // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. – 2024. – Vol. 128. - 107595, 16 страниц (Scopus процентиль: 94, SJR 0.967, Web of Science: IF 3.9, Q1).
- 3** Janani, K., Mohanrasu, S.S., Kashkynbayev A., Rakkiyappan R. Minkowski distance measure in fuzzy PROMETHEE for ensemble feature selection // *Mathematics and Computers in Simulation*. – 2024 – Vol 222 – 264-295, 32 страницы, <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2023.08.027> (Scopus процентиль: 96, SJR 0.969, Web of Science: IF 3.6, Q1).
- 4** Palanisamy G., Kashkynbayev A., Rajan R. Finite-time stability of fractional-order discontinuous nonlinear systems with state-dependent delayed impulses // *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*. – 2024 – 54(2), 1312-1324, 12 страниц, <https://doi.org/10.1109/TSMC.2023.3326612> (Scopus процентиль: 98, SJR 3.688, Web of Science: IF 8.7, Q1).
- 5** Restrepo J. E., Ruzhansky M., Suragan D. Generalized fractional Dirac type operators // *Fractional Calculus and Applied Analysis*. – 2023., 38 страниц, <https://doi.org/10.1007/s13540-023-00209-5> (Scopus процентиль: 95, SJR 0.905, Web of Science: IF 3, Q1).
- 6** Kowsalya P., Mohanrasu S.S., Kashkynbayev A., Gokul P., Rakkiyappan R. Fixed-time synchronization of Inertial Cohen-Grossberg Neural Networks with state dependent delayed impulse control and its application to multi-image encryption // *Chaos, Solitons & Fractals*. – 2024. – 181 – 114693, 17 страниц (Scopus процентиль: 99, SJR 1.393, Web of Science: IF 7.8, Q1).
- 7** Kowsalya P., Kathiresan S., Kashkynbayev A., Rakkiyappan R. Fixed-time synchronization of delayed multiple inertial neural network with reaction-diffusion terms under cyber–physical attacks using distributed control and its application to multi-image encryption // *Neural Networks*. – 2024. – Т. 180. - № 106743, 25 страниц, <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2024.106743> (Scopus процентиль: 96, SJR 2.605, Web of Science: IF 6, Q1).
- 8** Gokul P., Mohanrasu S.S., Kashkynbayev A., Rakkiyappan R. Finite-Time Synchronization of Fractional-Order Nonlinear Systems with State-Dependent Delayed Impulse Control // *International Journal of Bifurcation and Chaos*. – 2024. – 34(03) – 2450034, 24 страниц (Scopus процентиль: 80, SJR 0.601, Web of Science: IF 2.2, Q2).
- 9** Ayyappan K., Mani P., Kashkynbayev A., Rajan R. Prescribed-time Quantified Intermittent Control for Stochastic FCNN and a Novel Cryptosystem // *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*. – 2024. – 32(5) – 2999–3011, 13 страниц (Scopus процентиль: 99, SJR 3.533, Web of Science: IF 11.9, Q1).
- 10** Rakkiyappan, R., Sharmila, V., Janani, K., Kashkynbayev A. Stabilization of Takagi–Sugeno fuzzy Hidden Markov Jump Systems with memory sampled-data control // *Mathematics and Computers in Simulation*. – 2024 – Vol. 226. – 204-207, 14 страниц (Scopus процентиль: 96, SJR 0.969, Web of Science: IF 3.6, Q1).
- 11** Karnan A., Soundararajan G., Nagamani G., Kashkynbayev A. Design of an event-triggered extended dissipative state estimator for neural networks with multiple time-varying delays // *European Physical Journal: Special Topics*. – 2024. - 15 страниц, <https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-024-01240-0> (Scopus процентиль: 72, SJR 0.455, Web of Science: IF 2.6, Q2).
- 12** Kathiresan S., Kashkynbayev A., Mohanrasu S.S., Rakkiyappan R. Synchronization of fuzzy reaction–diffusion neural networks via semi-intermittent hybrid control // *Journal of Applied Mathematics and Computing*. – 2024. - 31

страница, <https://doi.org/10.1007/s12190-024-02234-w> (Scopus проценти́ль: 66, SJR 0.66, Web of Science: IF 2.4, Q1).

13 Ismailov M., Ozawa T., Suragan D. Inverse problems of identifying the time-dependent source coefficient for subelliptic heat equations // *Inverse Problems and Imaging*. – 2024. – Т. 18, № 4. – С. 813–823, 11 страниц, <https://doi.org/10.3934/ipi.2023056> (Scopus проценти́ль: 87, SJR 0.518, Web of Science: IF 1.5, Q2).

14 Suragan D., Wei D. On Geometric Estimates for Some Problems Arising from Modeling Pull-in Voltage in MEMS // *Extended Abstracts 2021/2022* / Eds. Cardona D., Restrepo J., Ruzhansky M. – Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. – Р. 189–197, 9 страниц, https://doi.org/10.1007/978-3-031-48579-4_19. (не вошло в отчет за 2024 г.)

15 Kassabek S., Nauryz T., Toleukhanov A. Analytical solution of Stefan-type problems // *Journal of Inverse and Ill-posed Problems*. – 2024. – Т. 32, № 4. – С. 627–646, 20 страниц, <https://doi.org/10.1515/jiip-2021-0077> (Scopus проценти́ль: 50, SJR 0.513, Web of Science: IF 1.1, Q2).

16 Nursultanov E. D., Rafeiro H., Suragan D. (2025). Convolution-type operators in grand Lorentz spaces // *Analysis and mathematical physics* – 2025. – Т.15, №3. – 19 страниц, <https://doi.org/10.1007/s13324-025-01049-7> (Scopus проценти́ль: 92, SJR 0.846, Web of Science: IF 1.6, Q1).

17 Chenthamarakshan C., Ganesan S., Sivakumar K., Kashkynbayev A. Quasi-bipartite synchronization for delayed coupled inertial neural networks having cooperative and competitive communication via pinning control strategy // *IET Control Theory & Applications*. – 2025. – Т. 19, № 1. – С. 12780, 15 страниц, <https://doi.org/10.1049/cth2.12780> (Scopus проценти́ль: 77, SJR 0.564, Web of Science: IF 2.3, Q2).

18 Kathiresan S., Rajan R., Kahskynbayev A. Polynomial and exponential synchronization of coupled neural networks with Proportional delay via event-triggered saturated impulsive control under DoS attacks and its application to image encryption // *2025 IEEE International Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS)*. – 2025. – 6 страниц, <https://doi.org/10.1109/SCEECS64059.2025.10940662>.

19 Nuriyev Z. Stability of Antiperiodic Solutions to Fuzzy Shunting Inhibitory Cellular Neural Networks with Delays // *Journal of Mathematical Sciences*. – 2025. – Т.291, №1. – С. 1-12, 12 страниц, <https://doi.org/10.1007/s10958-025-07778-1> (Scopus проценти́ль: 16, SJR 0.28).

20 Sadybekov M., Mashkanova A. Quasi-synchronization of fractional-order bidirectional associative memory neural networks with time-varying delays // *Proceedings of the International Mathematical Conference “Functional Analysis in Interdisciplinary Applications” (FAIA 2025)*. – Almaty: Institute of Mathematics and Mathematical Modeling, 2025. – 77 pages.

21 Soundararajan G., Karthik C., Kashkynbayev A., Nagamani G. Improved Results on $L^2 - L_\infty$ Performance Analysis for Additive Time-Delay Systems Having Norm-Bounded Uncertain Components // *Qualitative Theory of Dynamical Systems*. – 2025. – Т.24, №240 – 26 страниц, <https://doi.org/10.1007/s12346-025-01402-y> (Scopus проценти́ль: 90, SJR 0.6, Web of Science: IF 2.1, Q1).

Халықаралық баспаларда жарияланған 2 монография (Monographs):

1 Nursultanov E. *Inequalities and Integral Operators in Function Spaces*. — New York: Taylor & Francis, Chapman and Hall/CRC Monographs and Research Notes in Mathematics, 2026. — 290 страниц — ISBN 9781041126843, https://www.routledge.com/Inequalities-and-Integral-Operators-in-Function-Spaces/Nursultanov/p/book/9781041126843?srsltid=AfmBOoqfBU_67H-UZ5GgMjfHx80Mb-LR0eREvD73PNXHJFUAXJppYcvl

2 Кашкынбаев А. Конечно-временная синхронизация нейронных сетей. – Lambert Academic Publishing, 2025. – 96 страниц, <https://www.morebooks.shop/shop-ui/shop/book-launch-offer/d1cd50caeb6d873be816ba8c97eaffa67eaafcde>.

3 авторлық куәлік алынды:

1) Қашкынбаев А. Т., Садыбеков М. А., Нуриев Ж. Ж. FONN моделінің импульстік контроллері шешімдерінің шекті уақыт ішінде квази-синхрондауды қамтамасыз етуін қолдана отырып, кескінді шифрлаудың сандық алгоритмі. – Авторлық құқықпен қорғалатын объектілерге құқықтар туралы куәлік №45560, 2024 жылғы 10 мамыр.

2) Қашкынбаев А. Т., Садыбеков М. А., Нуриев Ж. Ж. Кері байланысы бар FONN контроллері моделінің шешімдерінің шекті уақыт ішінде квази-синхрондауды қамтамасыз етуін қолдана отырып, кескінді шифрлаудың сандық алгоритмі. – Авторлық құқықпен қорғалатын объектілерге құқықтар туралы куәлік №45561, 2024 жылғы 10 мамыр.

3) Қашкынбаев А. Т., Садыбеков М. А., Нуриев Ж. Ж. Дирак функциясына негізделген FONN моделінің импульстік контроллері шешімдерінің шекті уақыт ішінде квази-синхрондауды қамтамасыз етуін қолдана отырып, кескінді шифрлаудың сандық алгоритмі. – Авторлық құқықпен қорғалатын объектілерге құқықтар туралы куәлік №45562, 2024 жылғы 10 мамыр.

**АҚПАРАТТЫ ЖАҢАРТУ
КҮНІ**

2025 жылғы 26 желтоқсан