

ҚР ҒЖБМ ҒК «Математика және математикалық моделдеу институты» РМК**ЖОБАНЫҢ АТАУЫ****ЖОБА ЖЕТЕКШІСІ****ЖОБАНЫҢ ОРЫНДАЛУ
ЖЫЛДАРЫ****ҚАРЖЫЛАНДЫРУ
СОМАСЫ**

«Белгілі/белгісіз деректері бар бейсызықты жүйелер үшін күшейтілген оқыту негізінде оңтайлы басқаруды әзірлеу»

ф.-м.ғ.д., профессор
Садыбеков Махмуд Абдысаметович

2024 – 2026

438996800,41 теңге:

2024 – 83998880,26 теңге, 2025 – 164998688 теңге, 2026 – 189999232,15 теңге

**ЖОБАНЫҢ РЕФЕРАТЫ
(АБСТРАКТ)**

Бұл зерттеу жобасы оқытумен күшейтілетін оқытуға (RL) негізделген белгілі және белгісіз сызықтық әрі сызықтық емес жүйелер үшін оңтайлы басқару әдістерін әзірлеу және талдауға бағытталған. Жоба аясында уақыттық кідірістері бар жүйелер, көпагентті жүйелер, марковтық секіру параметрлері бар Такаги–Сугено бұлдыр жүйелері, сондай-ақ «қатерлі ісік–ісік» иммундық жүйесінің модельдері қарастырылады. Классикалық модельге негізделген тәсілдерден айырмашылығы, жоба дискретті де, үздіксіз уақыттағы, шексіз және ақырлы уақыттық горизонттағы есептерге қолданылатын безмодельді және деректерге негізделген RL алгоритмдеріне басымдық береді. Гамильтон–Якоби–Беллманның динамикалық бағдарламалау қағидатына сүйене отырып, жүйе туралы ішінара ақпарат жағдайында оңтайлы басқаруды алу үшін автономды және онлайн RL алгоритмдері әзірленетін болады. Ұсынылатын тәсілдердің тиімділігі сандық модельдеу арқылы көрсетіледі.

КҮТІЛЕТІН НӘТИЖЕЛЕР

Бағдарламаны іске асыру аясында машиналық оқыту тұжырымдамаларына негізделген қадағалауы бар бейімделгіш оңтайлы басқару әдістерін әртүрлі динамикалық жүйелер класы үшін, соның ішінде уақыттық кідірістері бар сызықтық жүйелер, Такаги–Сугено бұлдыр жүйелері, көпагентті жүйелер және «қатерлі ісік–ісік» иммунологиялық модельдері үшін әзірлеу және енгізу жоспарлануда. Әзірленген әдістер уақыт бойынша өзгеретін параметрлер мен құрылымдық анықталмағандықтар жағдайында тиімді оңтайлы басқаруды қамтамасыз етеді. Негізгі ғылыми нәтижелер жоғары рейтингті халықаралық және отандық ғылыми журналдарда мақалалар түрінде жарияланады, сондай-ақ монографиялар, оқу құралдары және қорғау құжаттары (патенттер) ретінде рәсімделеді. Жаңа қадағалауы бар оңтайлы басқару әдістерін, қатерлі ісіктің иммунологиялық модельдерін басқару тәсілдерін және желілік жүйелердің келісілген басқаруын әзірлеу арқылы ғылыми әсерге қол жеткізу күтіледі. Жобаның әлеуметтік әсері ғылыми зерттеулердің тиімділігін арттырудан, зерттеушілік құзыреттерді дамыту мен магистранттар мен докторанттардың даярлық деңгейін жоғарылатудан көрінеді. Алынған нәтижелер иммунология, онкология, үлкен деректерді талдау, машиналық оқыту және қолданбалы математика салаларындағы мамандар үшін сұранысқа ие болып, диагностикалық және онкологиялық орталықтарда қолданылуы мүмкін.

ҚОЛ ЖЕТКІЗІЛГЕН НӘТИЖЕЛЕР

2024 жылға: Зерттеу барысында уақыттық кідірістері бар және кідіріссіз үздіксіз сызықтық периодты жүйелер (CTLP) қарастырылды, олар үшін RL алгоритмдеріне (PI және VI) негізделген оңтайлы басқару стратегиялары әзірленді; бұл стратегиялар сызықтық жүйелерге де, сондай-ақ сызықтық емес (оның ішінде Такаги–Сугено бұлдыр) модельдерге де бейімделе алады. Алдымен қазіргі заманғы тәсілдер (LQR, H_∞ есептері және қадағалаумен басқару) талданды, содан кейін тұрақтандыратын бірегей оңтайлы реттегішке нүктелік және бірқалыпты жинақталуға қол жеткізуге мүмкіндік беретін PI алгоритмінің модификациясы ұсынылды. Одан әрі динамиканы нақты білуді талап етпейтін, Фурье базистік функцияларына негізделген екі адаптивті динамикалық бағдарламалау (ADP) алгоритмі әзірленіп, олардың оңтайлы шешімдерге сенімді түрде жинақталатыны негізделді. Сонымен қатар, тек жиналған деректерді пайдаланып, жүйе туралы алдын ала мәліметтерсіз тиісті дифференциалдық теңдеуді сандық түрде шешетін VI-ге негізделген ADP алгоритмі ұсынылды. Нәтижесінде ұсынылған әдістердің әмбебаптығы мен тиімділігі, соның ішінде шексіз уақыттық горизонттағы есептерде, LQR және H_∞ басқаруда, сондай-ақ тірек траекториясын қадағалаумен басқаруда көрсетілді.

2025 жылға: RL әдістеріне негізделген, стратегияны сақтайтын және стратегиясыз тәсілдерді қамтитын ADP алгоритмдері әзірленіп және іске асырылды; бұл алгоритмдер уақыттық кідірістері бар әрі параметрлері уақыт бойынша өзгертін үздіксіз сызықтық жүйелер үшін шексіз горизонтта бейімделгіш оңтайлы басқару стратегияларын қалыптастыруға мүмкіндік береді. Уақыттық кідірістері бар үздіксіз сызықтық периодты жүйелер үшін күй бойынша кері байланыс қолданылатын стратегия итерациясына негізделген алгоритмдер жүзеге асырылды. Сонымен қатар, «қатерлі ісік–ісік» иммундық жүйесінде дәрілік заттардың дозасын реттеуге арналған RL негізделген оңтайлы басқару стратегиясы әзірленді.

ЖОБАНЫҢ МАҚСАТЫ

Жоба күшейтілген оқыту әдістемелерін, соның ішінде стратегияны сақтайтын және стратегиясыз тәсілдерді, қадағалауы бар бейімделгіш оңтайлы басқару үшін әзірлеуге, сондай-ақ осы әдістемелерді әртүрлі динамикалық жүйелер кластарына қолдануға бағытталған. Атап айтқанда, уақыт бойынша өзгертін параметрлері бар сызықтық жүйелер, «қатерлі ісік–ісік» иммундық жүйелері, Такаги–Сугеноның марковтық секірулі бұлдыр жүйелері және бөлшек ретті көпагентті жүйелер қарастырылады.

ЖОБАНЫҢ НЕГІЗГІ ЕСЕПТЕРІ

- ✦ Уақыт бойынша өзгертін параметрлері бар сызықтық жүйелер үшін автономды және онлайн режимдерінде машиналық оқытуға негізделген қадағалауы бар бейімделгіш оңтайлы басқару әдістерін әзірлеу;
- ✦ Уақыттық кідірістері бар сызықтық жүйелер үшін стратегиясыз күшейтілген оқытуға және құн функциясының итерациясына негізделген қадағалауы бар бейімделгіш басқаруды жобалау;
- ✦ Уақыттық кідірістері бар Такаги–Сугено бұлдыр жүйелері үшін машиналық оқытуға негізделген қадағалауы бар бейімделгіш басқару тәсілдерін қалыптастыру және оларды химиотерапияны ескеретін «қатерлі ісік–ісік» иммундық жүйе модельдеріне қолдану;
- ✦ Белгісіз динамикасы бар Такаги–Сугеноның марковтық секірулі бұлдыр жүйелері үшін машиналық оқытуға негізделген қадағалауы бар бейімделгіш басқаруды зерттеу;
- ✦ Белгісіз динамикасы бар бөлшек ретті көпагентті жүйелер үшін бейімделгіш қадағалаушы басқарудың оңтайландыру сызбасын әзірлеу.

ТҮЙІНДІ СӨЗДЕР

Оңтайлы басқару, күшейтілген оқыту, қатерлі ісік иммундық жүйесі, көпагенттік жүйелер және олардың динамикасы, стохастикалық жүйелер, модельді қысқарту, Гамильтон-Якоби-Беллман теңдеулері, динамикалық модалық декомпозиция, Купман операторлары.

**ЗЕРТТЕУ ТОБЫНЫҢ
МҮШЕЛЕРІ**

№	ТАӨ	Лауазымы	Researcher ID	Scopus Author ID	ORCID
1	Садыбеков Махмуд Абдысаметович	Жоба жетекшісі	U-9118-2018	16422939300	0000-0001-8450-8191
2	Қашқынбаев Ардақ Тұрысбеқұлы	ЖҒҚ 1 мөлш.	N-9055-2017	55987699800	0000-0002-1338-2058
3	Сураган Дурвудхан	ЖҒҚ 1 мөлш.	-	57195200555	0000-0003-4789-1982
4	Ракияппан Раджан	АҒҚ 1 мөлш.	-	23097997100	0000-0003-0809-2782
5	Аширалиев Аллаберген	ЖҒҚ 1 мөлш.	-	6602401828	0000-0002-4153-6624
6	Вербовский Виктор Валериевич	ЖҒҚ 1 мөлш.	-	6504009089	0000-0001-5177-8523
7	Кальменов Тынысбек Шарипович	ЖҒҚ 1 мөлш.	-	6504351037	0000-0002-1821-2015
8	Инкарбеков Медет Каркынбекович	ҒҚ 1 мөлш.	-	55999176200	0000-0001-8646-2916
9	Тұрсынқожа Айша	КҒҚ 1 мөлш.	-	57973185800	0000-0003-1416-8675
10	Нуриев Жангир Жандосович	КҒҚ 1 мөлш.	-	-	0009-0004-2015-0716
11	Өткел Мәдина	КҒҚ 1 мөлш.	-	-	0000-0002-4667-1251
12	Калижанова Айгерим Айдосовна	КҒҚ 1 мөлш.	-	-	-
13	Манарбек Махпал	КҒҚ 1 мөлш.	-	-	0009-0006-0720-7671,0009-0006-0720-7671
14	Сапажанов Ершат	АҒҚ 1 мөлш.	-	57204426334	0000-0001-6720-4639
15	Джаббарханов Хумоюн Юлдашбекович	ҒҚ 1 мөлш.	-	57224833370	0000-0002-2121-7431
16	Кадыров Ширали Маратжанович	ЖҒҚ 1 мөлш.	-	36844229300	0000-0002-8352-2597
17	Оралсын Гүлайым	ҒҚ 1 мөлш.	-	57190935288	0000-0002-0403-3737
18	Баяхметов Самат Темирханович	ҒҚ 1 мөлш.	-	-	-
19	Ердесов Сауран	ҒҚ 1 мөлш.	-	-	0000-0002-6377-7744
20	Алдаберген Аймөлдір Болатқызы	КҒҚ 1 мөлш.	-	-	-
21	Машканова Айгерим Хаденқызы	КҒҚ 1 мөлш.	-	-	-

**ЖОБА БОЙЫНША
ЖАРИЯЛАНЫМДАР САНЫ**

Зерттеу нәтижелері бойынша 12 ғылыми мақала жарияланды, 3 авторлық куәлік алынды:

- ✚ **Web of Science** Clarivate Analytics ДБ және **Scopus** ДБ импакт-факторы бар халықаралық рейтингтік журналдардағы **12 мақала** (Articles);
- ✚ **3 авторлық куәлік.**

Импакт-факторы бар халықаралық рейтингтік журналдардағы (Web of Science Clarivate Analytics және/немесе Scopus ДБ кіретін) 12 мақала:

- 1** Kalizhanova A., Yerdessov S., Sakko Y., Tursynbayeva A., Kadyrov S., Gaipov A., Kashkynbayev A. Modeling tuberculosis transmission dynamics in Kazakhstan using SARIMA and SIR models // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14(1), № 76721, 11 страниц, <https://doi.org/10.1038/s41598-024-76721-2> (Scopus percentile: 92, SJR 0.900, Web of Science: IF 3.8, Q1).
- 2** Mohanrasu S.S., Priyanka T.M.C., Gowrisankar A., Kashkynbayev A., Udhayakumar K., Rakkiyappan R. Fractional derivative of Hermite fractal splines on the fractional order delayed neural networks synchronization // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. – 2024. – № 108399, 21 страниц, <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2024.108399> (Scopus percentile: 92, SJR 0.919, Web of Science: IF 3.4, Q1).
- 3** Mamanazarov A., Suragan D. Inverse coefficient problems for the heat equation with fractional Laplacian // Fractional Calculus and Applied Analysis. – 2025. – 29 страниц, <https://doi.org/10.1007/s13540-025-00414-4> (Scopus процентиль: 94%, SJR 0.838, Web of Science: IF 2.7, Q1).
- 4** Jabbarkhanov Kh., Suragan D. Dynamics of nonlinear anomalous reaction-diffusion models: Global existence and blow-up of solutions // Evolution Equations and Control Theory. – 2025. – Т. 14, № 5. – С. 1128-1140, 13 страниц, <https://doi.org/10.3934/eect.2025028> (Scopus процентиль: 65%, SJR 0.888, Web of Science: IF 1.5, Q2).
- 5** Kathiresan S., Rajan R., Cao J., Kashkynbayev A. Global polynomial pinning synchronization of coupled reaction–diffusion inertial neural networks via dual event triggered Markov-switched control under multiple cyber-attacks // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. – 2025. – Т. 150. – С. 109017, 29 страниц, <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2025.109017> (Scopus процентиль: 92%, SJR 0.919, Web of Science: IF 3.4, Q1).
- 6** Kowsalya P., Kathiresan S., Kashkynbayev A., Rakkiyappan R. Pinning synchronization of delayed inertial neural networks with reaction–diffusion terms under stochastic deception attacks using Markov switched control and its application to image encryption // Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation. – 2025. – Т. 150. – С. 108997, 40 страниц, <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2025.108997> (Scopus процентиль: 92%, SJR 0.919, Web of Science: IF 3.4, Q1).
- 7** Rubasri S., Kathiresan S., Kashkynbayev A., Rakkiyappan R. Pinning exponential synchronization of coupled neural networks with delay under stochastic deception attacks using the Markov switched control // Mathematics and Computers in Simulation. – 2026. – Т. 239. – С. 298–317, 20 страниц, <https://doi.org/10.1016/j.matcom.2025.05.020> (Scopus процентиль: 97%, SJR 1.04, Web of Science: IF 4.4, Q1).
- 8** Jabbarkhanov Kh., Toleukhanov A. Blow-up phenomena for porous medium equation driven by the fractional p-sub-Laplacian // AIMS Mathematics. – 2025. – Т. 10, № 6. – С. 13498–13511, 14 страниц, <https://doi.org/10.3934/math.2025606>. (Scopus процентиль: 85%, SJR 0.483, Web of Science: IF 1.8, Q1).
- 9** Tursynkozha A., Harris D. C., Kuang Y., Kashkynbayev A. Go-or-grow-or-die as a framework for the mathematical modeling of glioblastoma dynamics // Mathematical Biosciences. – 2025. – Т. 371. – С. 109520, 12 страниц, <https://doi.org/10.1016/j.mbs.2025.109520> (Scopus процентиль: 74%, SJR 0.555, Web of Science: IF 1.8, Q2).
- 10** Maikenov O., Ganesan S., Rajan R., Kashkynbayev A. Improved Results on Finite-Time Synchronization of Shunting Inhibitory Cellular Neural Networks with Time-Varying Delays via Impulsive Pinning Hybrid Control // Journal of the Franklin Institute. – 2025. – Т. 362, № 16. – С. 108085, 17 страниц, <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2025.108085> (Scopus процентиль: 90%, SJR 0.994, Web of Science: IF 4.2, Q1).

11 Pell B., Kalizhanova A., Tursynkozha A., Dengi D., Kuang Y., Kashkynbayev A. Dynamic PD-L1 Regulation Shapes Tumor Immune Escape and Response to Immunotherapy // *Cancers*. – 2025. – Т. 17. – С. 3803, 19 страниц, <https://doi.org/10.3390/cancers17233803> (Scopus проценти́ль: 83%, SJR 1.462, Web of Science: IF 4.8, Q2).

12 Gokul, P., Kashkynbayev, A., Prakash, M., Rajan, R. Finite-time contractive stabilization for fractional-order switched systems via event-triggered impulse control // *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. – 2025. – Т. 143. – С. 108658, 13 страниц, <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2025.108658> (Scopus проценти́ль: 92%, SJR 0.919, Web of Science: IF 3.4, Q1).

13 Kadyrov Sh., Kashkynbayev A., Sapazhanov Y., Bozorgnia F. Reinforcement Learning for PID Fine-Tuning in Nonlinear Temperature Control Systems // *Proceedings of the 2025 IEEE 5th International Conference on Smart Information Systems and Technologies (SIST)*. – 2025. – С. 1–7, 7 страниц, <https://doi.org/10.1109/SIST61657.2025.11139202>.

14 Kalizhanova A., Yerdessov S., Sakko Y., Tursynbayeva A., Kadyrov S., Gaipov A., Kashkynbayev A. Modeling tuberculosis transmission dynamics in Kazakhstan using SARIMA and SIR models // *Актуальные проблемы анализа, дифференциальных уравнений и алгебры (EMJ-2025): Сборник тезисов международной конференции*. — Астана: Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, 2025. — С. 102.

3 авторлық куәлік:

- 1) Тұрсынқожа А. Б., Қашқынбаев А. Т., Садыбеков М. А. Ісік–иммунитет жүйесін оңтайлы басқаруға арналған күшейту арқылы онлайн оқыту. – Авторлық құқықпен қорғалатын объектілерге құқықтар туралы куәлік №59076, 2025 жылғы 2 маусым.
- 2) Нуриев Ж. Ж., Қашқынбаев А. Т., Садыбеков М. А. Кідірісі бар импульстік аффиндік жүйе үшін мән бойынша периодтық итерация. – Авторлық құқықпен қорғалатын объектілерге құқықтар туралы куәлік №61306, 2025 жылғы 8 тамыз.
- 3) Нуриев Ж. Ж., Қашқынбаев А. Т., Садыбеков М. А. Уақыттық кідірісі және периодтық коэффициенттері бар импульстік жүйе үшін актор–критик әдісі. – Авторлық құқықпен қорғалатын объектілерге құқықтар туралы куәлік №61309, 2025 жылғы 8 тамыз.