

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ
«ХАЛЫҚ» ЖҚ

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН»
ЧФ «Халық»

N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF
KAZAKHSTAN
«Halyk» Private Foundation

**SERIES
PHYSICS AND INFORMATION TECHNOLOGY**

2 (350)

APRIL – JUNE 2024

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK



ЧФ «ХАЛЫҚ»

В 2016 году для развития и улучшения качества жизни казахстанцев был создан частный Благотворительный фонд «Халык». За годы своей деятельности на реализацию благотворительных проектов в областях образования и науки, социальной защиты, культуры, здравоохранения и спорта, Фонд выделил более 45 миллиардов тенге.

Особое внимание Благотворительный фонд «Халык» уделяет образовательным программам, считая это направление одним из ключевых в своей деятельности. Оказывая поддержку отечественному образованию, Фонд вносит свой посильный вклад в развитие качественного образования в Казахстане. Тем самым способствуя росту числа людей, способных менять жизнь в стране к лучшему – профессионалов в различных сферах, потенциальных лидеров и «великих умов». Одной из значимых инициатив фонда «Халык» в образовательной сфере стал проект *Ozgeris powered by Halyk Fund* – первый в стране бизнес-инкубатор для учащихся 9-11 классов, который помогает развивать необходимые в современном мире предпринимательские навыки. Так, на содействие малому бизнесу школьников было выделено более 200 грантов. Для поддержки талантливых и мотивированных детей Фонд неоднократно выделял гранты на обучение в Международной школе «Мирас» и в *Astana IT University*, а также помог казахстанским школьникам принять участие в престижном конкурсе «*USTEM Robotics*» в США. Авторские работы в рамках проекта «Тәлімгер», которому Фонд оказал поддержку, легли в основу учебной программы, учебников и учебно-методических книг по предмету «Основы предпринимательства и бизнеса», преподаваемого в 10-11 классах казахстанских школ и колледжей.

Помимо помощи школьникам, учащимся колледжей и студентам Фонд считает важным внести свой вклад в повышение квалификации педагогов, совершенствование их знаний и навыков, поскольку именно они являются проводниками знаний будущих поколений казахстанцев. При поддержке Фонда «Халык» в южной столице был организован ежегодный городской конкурс педагогов «*Almaty Digital Ustaz*».

Важной инициативой стал реализуемый проект по обучению основам финансовой грамотности преподавателей из восьми областей Казахстана, что должно оказать существенное влияние на воспитание финансовой грамотности и предпринимательского мышления у нового поколения граждан страны.

Необходимую помощь Фонд «Халык» оказывает и тем, кто особенно остро в ней нуждается. В рамках социальной защиты населения активно проводится работа по поддержке детей, оставшихся без родителей, детей и взрослых из социально уязвимых слоев населения, людей с ограниченными возможностями, а также обеспечению нуждающихся социальным жильем, строительству социально важных объектов, таких как детские сады, детские площадки и физкультурно-оздоровительные комплексы.

В копилку добрых дел Фонда «Халык» можно добавить оказание помощи детскому спорту, куда относится поддержка в развитии детского футбола и карате в нашей стране. Жизненно важную помощь Благотворительный фонд «Халык» оказал нашим соотечественникам во время недавней пандемии COVID-19. Тогда, в разгар тяжелой борьбы с коронавирусной инфекцией Фонд выделил свыше 11 миллиардов тенге на приобретение необходимого медицинского оборудования и дорогостоящих медицинских препаратов, автомобилей скорой медицинской помощи и средств защиты, адресную материальную помощь социально уязвимым слоям населения и денежные выплаты медицинским работникам.

В 2023 году наряду с другими проектами, нацеленными на повышение благосостояния казахстанских граждан Фонд решил уделить особое внимание науке, поскольку она является частью общественной культуры, а уровень ее развития определяет уровень развития государства.

Поддержка Фондом выпуска журналов Национальной Академии наук Республики Казахстан, которые входят в международные фонды Scopus и Wos и в которых публикуются статьи отечественных ученых, докторантов и магистрантов, а также научных сотрудников высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов нашей страны является не менее значимым вкладом Фонда в развитие казахстанского общества.

**С уважением,
Благотворительный Фонд «Халык»!**

БАС РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

БАС РЕДАКТОРДЫҢ ОРЫНБАСАРЫ:

МАМЫРБАЕВ Өркен Жұмажанұлы, ақпараттық жүйелер мамандығы бойынша философия докторы (Ph.D), ҚР БҒМ Ғылым комитеті «Ақпараттық және есептеуші технологиялар институты» РМК жауапты хатшысы (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), **Н=7**

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жанабайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Сатпаев университетінің Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, (Алматы, Қазақстан), **Н=3**

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физика), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша), **Н=23**

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=10**

QUEVEDO Nemando, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), **Н=28**

ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=7**

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), **Н=5**

РАМАЗАНОВ Тілекқабұл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан), **Н=26**

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), **Н=42**

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=10**

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), **Н=12**

КАЛАНДРА Пьетро, Ph.D (физика), Нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), **Н=26**

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика және информатика сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 14.02.2018 ж. берілген **№ 16906-Ж** мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *физика және ақпараттық коммуникациялық технологиялар сериясы*. Қазіргі уақытта: *«ақпараттық технологиялар» бағыты бойынша ҚР БҒМ БҒСБК ұсынған журналдар тізіміне енді.*

Мерзімділігі: *жылына 4 рет.*

Тиражы: *300 дана.*

Редакцияның мекен-жайы: *050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., тел.: 272-13-19*
<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Галимкаир Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК (Алматы, Казахстан), **Н=5**

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

МАМЫРБАЕВ Оркен Жумажанович, доктор философии (PhD) по специальности Информационные системы, ответственный секретарь РГП «Института информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МОН РК (Алматы, Казахстан), **Н=5**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), **Н=7**

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, Университет Сагпаева (Алматы, Казахстан), **Н=3**

ВОЙЧИК Вальдемар, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша), **Н=23**

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=10**

QUEVEDO Hemando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), **Н=28**

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=7**

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), **Н=5**

РАМАЗАНОВ Тлексабул Сабитович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, проректор по научно-инновационной деятельности, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=26**

ТАКИБАЕВ Нургали Жабагаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=5**

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), **Н=42**

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстанско-Британский технический университет (Алматы, Казахстан), **Н=10**

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, доктор физико-математических наук, профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), **Н=12**

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), **Н=26**

«Известия НАН РК. Серия физика и информатики».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Собственник: *Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы).*

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан **№ 16906-Ж** выданное 14.02.2018 г.

Тематическая направленность: *серия физика и информационные коммуникационные технологии.* В настоящее время: *вошел в список журналов, рекомендованных ККСОН МОН РК по направлению «информационные коммуникационные технологии».*

Периодичность: *4 раз в год.*

Тираж: *300 экземпляров.*

Адрес редакции: *050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

EDITOR IN CHIEF:

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, acting director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK (Almaty, Kazakhstan), **H=5**

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

MAMYRBAYEV Orken Zhumazhanovich, Ph.D. in the specialty "Information systems, executive secretary of the RSE "Institute of Information and Computational Technologies", Committee of Science MES RK (Almaty, Kazakhstan) **H=5**

EDITORIAL BOARD:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), **H=7**

BAYGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabayevich, doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), **H=3**

WOICIK Waldemar, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Lublin University of Technology (Lublin, Poland), **H=23**

BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=10**

QUEVEDO Hemando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), **H=28**

ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=7**

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine), **H=5**

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Vice-Rector for Scientific and Innovative Activity, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=26**

TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=5**

TIGHINEANU Ion Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), **H=42**

KHARIN Stanislav Nikolayevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), **H=10**

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), **H=12**

CALANDRA Pietro, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy), **H=26**

News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

Series of physics and informatics.

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty). The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan **No. 16906-ЖК**, issued 14.02.2018
Thematic scope: *series physics and information technology.*

Currently: *included in the list of journals recommended by the CCSES MES RK in the direction of «information and communication technologies».*

Periodicity: *4 times a year.*

Circulation: *300 copies.*

Editorial address: *28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19*

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

NEWS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2. Number 350 (2024). 258–268

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1726.281>

УДК 665.733.3: 519.816

© **B.B. Orazbayev¹, B.U. Asanova², Zh.Zh. Moldasheva^{2*}, Zh.E. Shangitova², 2024**¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;²Atyrau University named after H. Dosmukhamedov, Atyrau, Kazakhstan.

E-mail: zhadira1985@mail.ru

FORMULATION OF THE PROBLEM OF MULTICRITERIAL OPTIMIZATION OF OPERATING MODES OF COKE REACTORS UNDER FUZZY CONDITIONS AND A HEURISTIC METHOD FOR ITS SOLUTION**Orazbayev B.B.** — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of System Analysis and Control, Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan, AstanaE-mail: batyr_o@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2109-6999>;**Assanova B.U.** — PhD, dean of the Faculty of Physics, Mathematics and Information Technology, Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Republic of Kazakhstan, AtyrauE-mail: baha1981_13@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1029-6266>;**Moldasheva Zh.Zh.** — PhD, deputy dean of the Faculty of Physics, Mathematics and Information Technologies, Kh. Dosmukhamedov Atyrau University, Republic of Kazakhstan, AtyrauE-mail: zhadira1985@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0559-3410>;**Shangitova Zh.E.** — PhD, deputy dean of the faculty of Physics, Mathematics and Information Technologies, Atyrau University named after Kh. Dosmukhamedov, Kazakhstan, AtyrauE-mail: zhanna.shangitova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7494-5208>.

Abstract. Using the example of coke reactors, the problem of multicriteria optimization of operating modes of production facilities characterized by vagueness is formalized, and its mathematical formulation is formulated. Criteria have been defined that characterize the quality of operating modes of coke reactors and the input and operating parameters that influence them, as well as limitations that should be taken into account when optimizing the operating mode of reactors. A multicriteria optimization problem is formulated for a general situation under conditions of vagueness, the mathematical formulation of which is based on the application of the principle of the main criterion to criteria and the principle of Pareto optimality to fuzzy constraints. To solve the resulting decision-making problem in a fuzzy environment, a heuristic method is developed based on the modification of the above-mentioned optimal principles to fuzzy conditions and its main steps are described. The proposed heuristic method for solving a multicriteria optimization problem characterized by fuzzy constraints is an iterative process implemented with the participation of the decision maker in the decision-making process. The novelty and originality of this method lies in the fact that it allows you to make effective and adequate decisions when managing production facilities in conditions of uncertainty through the use of knowledge, experience and intuition of decision makers and specialist experts. If the decision maker is not satisfied with the current solutions obtained, then he can improve the decisions by changing the assigned threshold values of local criteria and/or constraint weights. In the last iteration, the choice of the most effective of many effective solutions is carried out by the decision maker, taking into account the current situation in production, the market demand for manufactured products and their priorities.

Keywords: coke reactors, multicriteria optimization, decision making, fuzzy constraints, optimization principles, heuristic method

© Б.Б. Оразбаев¹, Б.У. Асанова², Ж.Ж. Молдашева^{2*}, Ж.Е. Шангитова², 2024

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;

²Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан.

E-mail: zhadira1985@mail.ru

АЙҚЫНСЫЗДЫҚТА КОКСТЕУ РЕАКТОРЛАРЫНЫҢ ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІН КӨПКРИТЕРИЙЛІК ОПТИМИЗАЦИЯЛАУ ЕСЕБІНІҢ ҚОЙЫЛЫМЫ МЕН ОНЫ ШЕШУ ЭВРИСТИКАЛЫҚ ТӘСІЛІ

Оразбаев Б.Б. — Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, «Жүйелік талдау және басқару» кафедрасының профессоры, *Астана, Қазақстан*

E-mail: batyr_o@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2109-6999>;

Асанова Б.У. — Ph.D., *Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, физика-математика және ақпараттық технологиялар факультетінің деканы, Атырау, Қазақстан*

E-mail: baha1981_13@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1029-6266>;

Молдашева Ж.Ж. — Ph.D., *Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, физика математика және ақпараттық технологиялар факультетінің оқу ісі жөніндегі декан орынбасары, Атырау, Қазақстан*

E-mail: zhadira1985@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0559-3410>;

Шангитова Ж.Е. — Ph.D., *Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, физика-математика және ақпараттық технологиялар факультетінің декан орынбасары, Атырау, Қазақстан*

E-mail: zhanna.shangitova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7494-5208>.

Аннотация. Кокстеу реакторлары мысалында айқынсыздық пен сипатталатын өндірістік нысандардың жұмыс режимдерін көпкритерийлік оптимизациялау есебі формализацияланып, математикалық қойылымы тұжырымдалған. Кокстеу реакторлары жұмыс режимдерінің сапасын сипаттайтын критерийлер мен оларға әсер ететін реактордың кіріс, режимдік параметрлері және реакторлардың жұмыс режимін оптимизациялауда ескерілуі тиіс шектеулер анықталған. Математикалық қойылымы айқынсыздықта жалпы жағдайға тұжырымдалған көпкритерийлік оптимизациялау есебі бас критерий принципі критерийлерге, ал Парето оптималдық принципін айқын емес шектеулерге қолдану негізінде айқын емес ортада шешім қабылдау есебіне келтірілген. Алынған айқын емес ортада шешім қабылдау есебін шешу үшін аталған оптималдық принциптері айқынсыздыққа модификациялау арқылы эвристикалық тәсіл құрылып, оның негізгі қадамдары сипатталған. Айқын емес шектеулермен сипатталатын көпкритерийлік оптимизациялау есебін шешу үшін ұсынылған эвристикалық тәсілі шешім қабылдау процесінде шешім қабылдаушы тұлға қатысуымен жүзеге асырылатын итеративті тісңл болып табылады. Бұл тәсілдің жаңашылдығы мен ерекшелігі мынада: ол шешім қабылдаушы, эксперт-мамандардың білімін, тәжірибесі мен интуициясын қолдану есебінен айқын емес ортада өндірістік нысандарды басқаруда тиімді және шынайлыққа адекваттығы жоғары шешімдер қабылдауға мүмкіндік береді. Шешім қабылдаушы тұлға алынған ағымдағы шешімдерге қанағаттанбаса, ол локалды критерийлердің тағайындалған шекті мәндерін және/немесе шектеулердің салмақ коэффициенттерін өзгерту арқылы шешімдерді жақсарта алады. Соңғы итерацияда тиімді шешімдер жиынынан ең тиімдісін таңдауды шешім қабылдаушы тұлға өндірісте, өнімдер нарығында т.б. туындаған жағдайларға өзінің басымқыларын ескере отырып жүзеге асырады.

Түйін сөздер: кокстеу реакторлары, көпкритерийлік оптимизациялау, шешім қабылдау, айқын емес шектеулер, оптимизациялау принциптері, эвристикалық тәсіл

© Б.Б. Оразбаев¹, Б.У. Асанова², Ж.Ж. Молдашева^{2*}, Ж.Е. Шангитова², 2024

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан;

²Х. Досмұхамедов атындағы Атырау университеті, Атырау, Қазақстан.

E-mail: zhadira1985@mail.ru

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОКСОВЫХ РЕАКТОРОВ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОСТИ И ЭВРИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ЕЕ РЕШЕНИЯ

Оразбаев Б.Б. — профессор кафедры «Системный анализ и управление» Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

E-mail: batyr_o@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2109-6999>;

Асанова Б.У. — Ph.D., декан факультета физики, математики и информационных технологий Атырауского университета им. Х. Досмұхамедова, Атырау, Казахстан

E-mail: baha1981_13@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1029-6266>;

Молдашева Ж.Ж. — заместитель декана по учебной работе факультета физики математики и информационных технологий Атырауского университета им. Х. Досмұхамедова, Атырау, Казахстан
E-mail: zhadira1985@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0559-3410>;

Шангитова Ж.Ж. — заместитель декана по научной работе факультета физики математики и информационных технологий Атырауского университета им. Х. Досмұхамедова, Атырау, Казахстан
E-mail: zhanna.shangitova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7494-5208>.

Аннотация. На примере коксовых реакторов формализована задача многокритериальной оптимизации режимов работы производственных объектов, характеризующихся нечеткостью, и сформулирована ее математическая постановка. Определены критерии, характеризующие качество режимов работы коксовых реакторов и входные, режимные параметры, влияющие на них, а также ограничения, которые следует учитывать при оптимизации режима работы реакторов. Сформулирована задача многокритериальной оптимизации для общей ситуации в условиях нечеткости математическая постановка которой основана на применении принципа главного критерия к критериям и принципа оптимальности по Парето к нечетким ограничениям. Для решения полученной задачи принятия решений в нечеткой среде разработан эвристический метод на основе модификации вышеупомянутых оптимальных принципов к нечеткости и описаны его основные шаги. Предлагаемый эвристический метод для решения задачи многокритериальной оптимизации, характеризующейся нечеткими ограничениями, представляет собой итерационный процесс, реализуемый с участием лица, принимающего решения, в процессе принятия решения. Новизна и оригинальность данного метода заключается в том, что он позволяет принимать эффективные и адекватные решения при управлении производственными объектами в условиях нечеткости за счет использования знаний, опыта и интуиции лиц, принимающих решения, специалистов-экспертов. Если лицо, принимающее решения не удовлетворено полученными текущими решениями, то оно может улучшить решения, изменяя назначенные пороговые значения локальных критериев и/или весовых коэффициентов ограничений. В последней итерации выбор наиболее эффективного из множества эффективных решений осуществляет лицо, принимающее решения, с учетом сложившейся ситуации на производстве, рынке спросов на производимые продукты, свои приоритеты.

Ключевые слова: коксовые реакторы, многокритериальная оптимизация, принятие решений, нечеткие ограничения, принципы оптимизации, эвристический метод

Кіріспе

Бүгінгі таңда мұнай өңдеу зауыттарында баяу кокстеу қондырғыларының (БКК) кокстеу реакторларында өндірілетін сапалы мұнай коксына деген сұраныс элетроника, электротехника, металлургия, космос тағы да басқа салаларда аса жағары болып табылады (Valyavin et al., 2020: 135; Shakirzyanova, 2019: 347). Аталған және мұнай коксын қолданатын басқа салалардың қарқынды дамуы болашақта сапалы мұнай коксына сұраныс арта түсуіне алып келеді (Kolesnik, 2022: 65). Сондықтан кокстеу реакторларының жұмыс оптималды режимдерін анықтап, тиімді басқару арқылы сапалы мұнай коксы көлемін арттыру қазіргі кезде ғылым мен практиканың аса өзекті де, маңызды мәселесі болып табылады.

Әйгілі PricewaterhouseCoopers (PWC) корпорациясының эксперттері 2027 жылға дейін әлемді мұнай коксына деген сұраныстың орташа жылдық өсу қарқыны 10 %-дан асып, \$50 млрд құрайтынын болжайды (Moritz, 2021: 25–33).

Өндірістік жағдайда БКК кокстеу реакторларында өндірілетін жоғары сапалы мұнай коксының көлемін, оның сапа көрсеткіштерін жақсартып отырып арттыру үшін ол реакторлардың бірінші кезекте математикалық модельдеріен тұрғызу қажет болады. Содан кейін құрылған модельдер көмегімен реакторларын жұмыс режимдерін көпкритерийлік жағдайда оптимизациялау оптимизациялау есебін тұжырымдап шешу керек. Алайда бұл аталған модельдерді құру, көпкритерийлік есептерді тұжырымдау мен шешу кезінде қажетті бастапқы ақпараттардың тапшылығы мен айқынсыздығына байланысты қиындықтар туындайды. Ол қиындықтардың туындауының негізгі себептері БКК кокстеу реакторлары сияқты күрделі нысандардың кейбір параметрлерінің күрделі өлшенуі, ал коксын сапасы көрсеткіштері, мысалы оның күлділігі мен ұшаңдығы өндірістік жағдайда арнаулы құралдардың көмегімен тіпті өлшенбейді. Мұндай жағдайларда туындаған мәселелерді шешу үшін ол нысандардың жұмыс режимдерін көптеген жылдары жақсы басқарып жүрген адам-оператор, шешім қабылдаушы тұлға (ШҚТ), пәндік саланың маман-эксперттерінен алынатын айқын емес ақпарат қолданлады. Мұндай айқын емес ақпарат табиғи тілде тұжырымдалған аталған ШҚТ, эксперттердің тәжірибесі, білімі және интуициясының болып табылады.

Ақпарат тапшылығы кезінде қолданыстағы өндірістік нысан жайында маңызды ақпараттар болып табылатын аталған айқын емес ақпараттарды жинап, оларды өңдеп, күрделі формализацияланатын нысандардың модельдерін құру мен олардың жұмыс режимдерін оптимизациялауда тиімді қолдануға болады. Айқын емес ақпараттарды жинап, өңдеу үшін эксперттік бағалау мен айқын емес жиындар теориясы тәсілдерін тиімді қолдануға болады. Бұл зерттеу соңғы кезде ғылым мен практикасы перспективалы болып саналатын күрделі формализацияланатын өндірістік нысандардың жұмыс режимдерін оптимизациялау мен тиімді басқаруға бағытталған.

БКК қондырғысының мұнай коксын өндіретін негізгі агрегаттары болып, өз ара байланысқан параллельді жұмыс жасайтын 4 кокстеу реакторлары болып табылады (Tuleuov et al., 2018: 217). Бұл жұмыста зерттеу нысаны ретінде Атырау МӨЗ қолданыстағы 21–10/6 БКК, кей параметрлерінің айқынсыздығымен сипатталатын және өзара байланысқан реакторлары алынған.

Ұсынылған жұмыста зерттеу нысанының модельдері негізінде оның жұмыс режимдерін айқынсыздықта көпкритерийлі оптимизациялау есебін формализацияланып, тұжырымдалады және алынған есепті тәсілдемесін сипатталатын болады. Зерттеу нысанының модельдері ретінде авторлардың алдыңғы зерттеулерінде, статистикалық және айқын емес ақпараттар негізінде құрылып, жарияланған математикалық модельдер жүйесі қолданылады (Orazbayev et al., 2020: 1021–1036; Assanova, 2023: 28–43; Assanova et al., 2023: 1–7). Бұл

жұмыстарда БКҚ кокстеу реакторлары мен негізгі ректификациондық колонна және қыздыру пештерінің математикалық модельдері түрлі қолжетімді ақпараттар, соның ішінде ШҚТ, эксперттерден алынған айқын емес ақпараттар негізінде құрылған. Атап айтқанда, кокстеу реакторының мақсаттық өнімі кокс пен қосымша алынатын мұнай өнімдері буларының шығысын анықтау үшін эксперименталдық-статикалық ақпараттар негізінде регрессиялық, статистикалық модельдер құрылған. Ал мақсаттық өнім, яғни кокстың сапа көрсеткіштері — кокстың күлділігі мен ұшаңдағы айқын емес ақпарат және модификацияланған регрессорларды тізбектей мқосу тәсілі негізінде айқын емес регрессорлық модельдер ретінде құрылған.

Ұсынылып отырған зерттеуде сипатталған кокстеу реакторларының статистикалық және айқын емес модельдері негізінде кокстеу реакторлары жұмысын көпкритерийлік және айқынсыздық жағдайында оптимизациялау бойынша шешім қабылдау есебі тұжырымдалып, оны шешу тәсілдемесі зерттеліп, ұсынылады.

Зерттеу мақсаты мен міндеттері және тәсілдері

Зерттеу жұмысының мақсаты — кокстеу реакторлары модельдері негізінде оның жұмыс режимдерін айқынсыздықта көпкритерийлі оптимизациялау есебін формализациялау, тұжырымдау және оны шешу тәсілдемесін ұсыну. Жұмыста бұл мақсатқа қол жеткізу үшін төменде келтірілген зерттеу міндеттері қойылып, шешілетін болады:

– кокстеу реакторлары жұмыс режимдерінің сапасын сипаттайтын критерийлер мен оларға әсер ететін реактордың кіріс, режимдік параметрлерін және зерттеу нысанының жұмыс режимін оптимизациялауда ескерілуі тиіс шектеулерді анықтау;

– зерттеу нысанының жұмыс режимдерін көпкритерийлік және айқынсыздық жағдайында оптимизациялау есебін формализациялау және математикалық қойылымын тұжырымдау;

– тұжырымдалған кокстеу реакторлары жұмыс режимдерін айқын емес шектеулер жағдайында тұжырымдалған көпкритерийлік оптимизациялау есебін түрлі оптималдық принциптері негізінде шешу тәсілдемесін құру.

Сонымен бұл зерттеуде бастапқы ақпараттың тапшылығы мен айқынсыздығы кезінде формалды эксперименталдық-статистикалық тәсілдер (Zhao et al., 2018: 152–166; Karmanov et al., 2019: 187; Douglas et al., 2021: 784–794), ал эксперттік айқын емес ақпаратты жинау, өңдеу және қолдану үшін формалсыз тәсілдер, яғни эксперттік бағалау мен айқын емес жиындар тәсілдері (Jorgensen, 2019: 37–60; Gutsykova, 2017: 278; Zimmermann, 2018: 525; Orazbayev, 2018: 398) қолданылады. Сонымен қатар жұмыста айқынсыздықта көпкритерийлі оптимизациялау есебін шешу тәсілдемесін жасақтау көпкритерийлік оптимизациялау (Kahraman, 2018: 592–608, Volin, et al, 2017: 165–178) және түрлі оптималдық принциптері (Ostrovsky et al., 2019, 3412–3437; Ibrahim et al., 2018, 212–225) негізінде жүзеге асырылады. Зерттеуде аталған тәсілдер жүйелік тәсілдеме негізінде кешенді қолданылатын болады (Pavlov et al., 2019: 117–133).

Зерттеу нәтижелері

Бұл жұмыста көпкритерийлік оптимизациялау өндірістік нысанының жұмыс режимдерін бағалайтын бірнеше критерийлердің оптималды, мысалы максималды немесе минималды мәндерін, өндірісте орын алатын шектеулерді ескере отырып табу есебі ретінде қарастырылады. Сонымен өндірісте көпкритерийлік оптимизациялау тиімді шешімдер (Парето) жиынында қарама-қайшылықта болуы мүмкін критерийлер векторын біруақытта оптимизациялау процесі болып табылады. Мұндай есептерді шешкенде математикалық тұрғыдан оптималды шешім болмағандықтан, тиімді (компромисстік) шешімдер қабылданады да, бұл

есеп шешім қабылдау есебі деп аталады (Orazbayev et al., 2022: 164–185). Мұндай есепті жалпы түрде келесідей қоюға болады:

$$\min_{\mathbf{x} \in \Omega} \{ \mathbf{f}(\mathbf{x}) \} \quad (1)$$

мұндағы $\mathbf{f}(\mathbf{x})$ – компоненттері m локальды критерийлер болатын критерийлер, яғни өнімнің көлемі мен сапасын анықтайтын вектор

$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = (f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_m(\mathbf{x}))$; $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ – нысанның жұмысының сапасына, яғни критерийлерге әсер ететін нысанның кіріс, режимдік параметрлері векторы. Сонда шешімдер векторы, бұл жұмыста нысанның тиімді кіріс,

режимдік параметрлері $\mathbf{x}^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ болып табылады. Ал Ω – бос емес жиынын (альтернативалдардың бастапқы жиыны), яғни нысанның технологиялық регламент бойынша рұқсат етілген облысы.

Сонымен көпкритерийлі оптимизациялау есептерінің мәні қойылған шектеулердің балаптарын орындай отырып, критерийлер векторлық тиімді мәнін қамтамасыз ететін кіріс, режимдік параметрлерін анықтау болып табылады. Жоғарыда атап көрсетілгендей тиімді шешімдер жиынында критерийлер өз-ара қайшылықта болатындықтан, «оптимизациялау» есепті қоюшы және шешім қабылдаушы тұлғаға (ШҚТ) критерийлердің мәндері өз-ара үйлесімді, тиімді (компромиссті) болатын шешімді табып, қабылдау керек.

Баяу коктеу қондырғысының коктеу реакторларының жұмыс сапасын, оларда өндірілетін өнімдердің көлемі мен мақсатты өнім, яғни кокстың сапа көрсеткіштерін бағалау үшін бірнеше критерийлер қолданылатындықтан, олар көпкритерийлі нысандарға жатады. Сонымен қатар өндірістік технологиялық нысандар параметрлерлерінің рұқсат етілген және тиімді мәндерін қамтамасыз ету үшін қосымша критерийлер, не шектеулер ол нысанның жұмыс режимдерін оптимизациялау кезінде ескерілуі қажет. БКҚ коктеу реакторларының тиімді жұмыс режимдерін таңдау мақсатында шешім қабылдау есептерін шешу үшін олардың, кіріс, режимдік және шығыс параметрлері арасындағы байланысты сипаттайтын математикалық модельдері қажет болады. Әдетте нысанның кіріс,

режимдік параметрлері жоғарыда сипатталған $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ векторы, ал шығыс параметрлері ретінде, нысанның шығысындағы өнімдердің көлемі мен сапасы, яғни критерийлер векторы $\mathbf{f}(\mathbf{x}) = (f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_m(\mathbf{x}))$ алынатындықтан, модель кіріс, режимдік параметрлердің мәндеріне байланысты критерийлерді бағалауға мүмкіндік береді.

Жоғарыда келтірілген жалпы түрде (1) өрнегімен келтірілген көпкритерийлік есептің қойылымы математикалық тұрғыдан нақты емес, себебі онда көпкритерийлерді бір нүктеде қалай оптимизациялау керектігі ашылмаған. Сондықтан бұл зерттеуде өндірістік жағдайда айқынсыз шектеулермен сипатталатын коктеу реакторлары жұмыс режимдерін көпкритерийлік оптимизациялау есебі формализацияланып, нақты математикалық қойылымын тұжырымдаймыз.

Коктеу реакторлары жұмысының сапасы кокс, мұнай өнімдері булары шығысы мен кокстың сара көрсеткіштері: оның күлділігі мен ұшандығы сияқты бірнеше критерийлермен және кіріс, режимдік параметрлердің технологиялық регламент бойынша қабылдайтын мәндеріне тағы басқа шектеулерді ескере отырып анықталады. Сонымен қатар кокс сапа көрсеткіштері өндірістік жағдайларда тікелей өлшеуіш приборлармен анықталмайтықтан, олар ШҚТ, маман-эксперттер білімі, тәжірибесі, түйсігі негізінде атабиги тілде тұжырымдалып, бағаланады, яғни айқынсыздықпен сипатталвады. Сондықтан коктеу реакторлары жұмыс

режимдерін оптимизациялау есебін келесідей айқын емес ортада көпкритерийлік оптимизациялау (шешім қабылдау) есебі түрінде формализациялаймыз.

$\mathbf{f}(\mathbf{x}) = (f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}))$ – критерийлер, рет бойынша реакторлардың шығысындағы мұнай коксы мен мұнай өнімдері буларының көлемі; $\varphi_1(\mathbf{x})$ $\varphi_2(\mathbf{x})$ – кокс сапас көрсеткіштерін, сәйкесінше оның құлділігі мен ұшандығына стандарт бойынша қойылған «артығырақ», «кемірек» (\gtrsim, \lesssim) айқын емес нұсқаулармен сипатталатын шектеулер. Яғни $\varphi_q(\mathbf{x}) \gtrsim b_q, q = \overline{1, L}$, мұнда b_q берілген шектік мәндер, олар да айқын емес болуы мүмкін. Критерийлердің әр қайсысы кокстеу реакторларының кіріс, режимдік параметрлері векторы $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_5)$ x_1 – реактор кірісіндегі шикізат көлемі; x_2 және x_3 – реактор температурасы мен қысымы; x_4 – шикізаттың кокстену көрсеткіші, x_5 – рециркуляция коэффициенті.

Кіріс, режимдік параметрлерлерінің мәндері кокстеу реакторлары регламентімен анықталған шектік (минималды және максималды) мәндерімен анықталады, яғни олардың өзгеру интервалдарымен шектеледі:

$x_j \in \Omega = [x_j^{\min}, x_j^{\max}]$, $j = \overline{1, 5}$, мұнда x_j сәйкес кіріс, режимдік параметрлердің минималды, масималды мәндері. Қарастылған шектеулер айқын емес (\gtrsim, \lesssim, \cong) болуы мүмкін.

Кокстеу реакторларының тиімді жұмыс режимін таңдау процесі сол режимді қамтамасыз ететін $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_5)$ мәндерін анықтау бойынша шешім қабылдауды талап етеді. Мұндай шешім, қойылған шектеулердің талаптарын орындай отырып, таңдалған оптимизациялау критерийлерінің экстремалды мәндерін ШҚТ басымқылырын ескеру негізінде қамтамасыз етілуі тиіс.

Бастапқы ақпараттың айқынсыздығы және көпкритерийлік жағдайларында сипатталған есептің айқынсыздыққа модификациялай отырып, келесідей формализациялауға болады.

$\mu(\mathbf{x}) = (\mu_c^1(\mathbf{x}), \mu_c^2(\mathbf{x}))$ – ректор өнімдерінің көлемін бағалайтын нормалданған критерийлер векторы, ал $\varphi_q(\mathbf{x}) \gtrsim b_q, q = \overline{1, 2}$ – айқын емес нұсқаулар (инструкции) түріндегі айқынсыз шектеулер болсын. $\mu_q(\mathbf{x})$ $q = \overline{1, 2}$ – әр айқын емес шектеудің орындалуын бағалайтын тиістілік функциялары белгілі, не анықталады деп есептейміз. Сондай-ақ критерийлер $\tilde{\mathbf{a}} = (\gamma_1, \gamma_2)$ мен айқын емес шектеулердің $\tilde{\mathbf{\beta}} = (\beta_1, \beta_2)$ өз ара маңыздылықтарын бейнелейтін салмақ векторлары белгілі, не ШҚТ, эксперттер көмегімен анықталады деп санаймыз.

Сонда айқын емес ортада шешім кокстеу реакторларының тиімді жұмыс режимдерін таңдау есебінің математикалық қойылымын түрлі оптималдық принциптерін айқынсыздыққа модификациялау арқылы қоюға болады.

Мысалы, басты критерий (БК) және Парето оптималдық (ПО) принциптерін айқынсыздықта модификациялау арқылы айқын емес шектеулермен сипатталған кокстеу реакторларын көпкритерийлі оптимизациялау есебінің нақты математикалық қойылымын жалпы жағдайға келесідей жазуға болады:

$$\max_{\mathbf{x} \in X} \mu_c^1(\mathbf{x}) \quad (2)$$

$$X = \left\{ \mathbf{x} : \mathbf{x} \in \Omega \wedge \arg(\mu_C^i(\mathbf{x}) \geq \mu_R^i) \wedge \arg \max_{\mathbf{x} \in \Omega} \sum_{q=1}^i \beta_q \mu_q(\mathbf{x}) \wedge \sum_{q=1}^L \beta_q = 1 \wedge \beta_q \geq 0, i = \overline{2, m}, q = \overline{1, L} \right\}. \quad (3)$$

Бұл (2)–(3) қойлымында \wedge – байланысқан шарттардың барлығынын шынайы болуын талап ететін логикалық «және» белгісі; μ_R^i – шектеулерге ендірілетін $\mu_0^i(\mathbf{x}), i = 1, m$, локалды критерийлерінің ШҚТ, эксперттер арқылы анықталатын шекті мәндері. Біздің жағдайда $i = 2, q = \overline{1, 2}$.

Сонда локалды критерийлердің шектік мәндерін μ_R^i және шектеулердің маңыздылық векторын $\mathbf{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_L)$ өзгерте отырып, (2)–(3) есебі шешімінің жиынын алуға болады: $\mathbf{x}(\mu_R^i, \mathbf{\beta})$. Алынған шешімдер, яғни тиімді шешімдер жиынынан ең тиімдісін таңдау ШҚТ қатысуымен, оның өндірісте, өнімдер нарығында т.б. туындаған жағдайларға ШҚТ басымқылары ескеріле отырып таңдалады.

Бұл жұмыста тұжырымдалған (2)–(3) шешім қабылдау есебін шешу үшін модификацияланған БК (критерийлерге) және Парето оптималдық (шектеулерге) принциптеріне негізделген эвристикалық алгоритм құрылады. Бұл эвристикалық тәсілде ШҚТ оптимизацияланатын басты критерийді анықтайды, ал қалған критерийлер үшін олардың шектік мәндері тағайындайды. Ары қарай басты критерийден басқа критерийлер тағайындалған шектік мәндерін қанағаттандыратын шектеулер ретінде ескеріледі. Осылайша көпкритерийлік есеп, оны шешуді жеңілдету мақсатында, бір критерийлік оптимизациялау есебіне түрленеді. Сонымен қатар, бұл тәсілде айқын емес шектеулердің талаптары, олардың орындалуын бағалайтын

тиістілік функциялар $\mu_q(\mathbf{x}), q = \overline{1, L}$ мәндерімен қадағаланды. Ал ол шектеулердің өз ара маңыздылықтары, ШҚТ, эксперттер арқылы анықталған олардың салмақ ко-

эффициенттері $\beta_q \geq 0, q = \overline{1, L}$ арқылы ескеріледі.

Сонымен, айқын емес ортада тұжырымдалған (2)–(3) шешім қабылдау есебін шешу үшін БК және ПО принциптерін айқынсыздыққа бейімдеу негізінде жасақталған жалпы жағдайдағы БК+ПО эвритикалық тәсілі келесі негізгі қадамдардан тұрады.

БК+ПО эвритикалық тәсілі:

1. $p_q, q = \overline{1, L}$, яғни Әр q -ші координата бойынша қадамдардың саны мен $I_C = \{1, \dots, m\}$ – локалды критерийлердің басымқылар қатары анықталады. Басты критерий басымқысы 1-ші деп алынуы тиіс. Сонымен қатар шектеулердің маңыздылықтарының анықтайтын салмақ векторы $\mathbf{\beta} = (\beta_1, \dots, \beta_L)$ ендіріледі.

2. ШҚТ, эксперттер арқылы басты критерийден басқа локалды критерийлерге, олардың шектік мәндері тағайындалады $\mu_R^i, i = \overline{2, m}$.

3. Шектеулердің салмақ векторы координаттарын өзгерту үшін қадам шамалары

$$h_q = \frac{1}{p_q}, p = \overline{1, L}.$$

формула арқылы есептеледі.

4. Алдыңғы қадамда есептелген h_q қадамыме $[0,1]$ интервалында координаттарын өзгерту арқылы q салмақ векторлары $\beta^1, \beta^2, \dots, \beta^N, N = (p_1 + 1)(p_2 + 1) \dots (p_l + 1)$ жиыны анықталады.

5. Айқын емес шектеулердің орындалуын бағалайтын термдер мен терм-жиын анықталып, әр термнің тиістілік функциялары тұрғызылады $\mu_q(\mathbf{x})$ $q = \overline{1, L}$.

6. X (3) жиынымен анықталатын шектеулерді ескере отырып басты

критерийді $\mu_0^1(\mathbf{x})$ (2) максимизацияланады. Ол үшін алынған есепті тиімді шешуге жарамды белгілі бір критерийлік шартты оптимизациялау тәсілдерін, мысалы айыппұл функциялары тәсілін қолдануға болады. Нәтижесінде келесі ағымдағы шешімдер анықталады: $\mathbf{x}(\mu_R^i, \mathbf{\beta})$;

$$\mu_C^1(\mathbf{x}(\mu_R^i, \mathbf{\beta})), \mu_C^2(\mathbf{x}(\mu_R^i, \mathbf{\beta})), \dots, \mu_0^m(\mathbf{x}(\mu_R^i, \mathbf{\beta})), \mu_1(\mathbf{x}(\mu_R^i, \mathbf{\beta})), \dots, \mu_L(\mathbf{x}(\mu_R^i, \mathbf{\beta})), i = \overline{2, m}.$$

7. Алдыңғы қадамда алынған ағымдағы шешімдер ШҚТ-ға ұсынылады. Егер ағымдағы шешімдер ШҚТ-ны қанағаттандырмаса, онда ол шешімдерді жақсарту мақсатында $\mu_R^i, i = \overline{2, m}$ және/немесе β мәндеріне өзгерістер енгізеді. Содан кейін жақсы шешімдер алу үшін 3-ші қадамнан бастап есепті шешу қайтала-нады. Басқаша жағдайда, яғни алынған ағымдағы шешім ШҚТ-ны қанағаттандарса келесі 8 қадамға өту.

8. Шешімді жақсарту процесі тоқтатылады да, тиімді болып саналатын ШҚТ таңдаған соңғы шешімдер шығарылады:

$\mu_C^1(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \mathbf{\beta}))$ – басты критерийдің масималды мәні;

$\mu_C^1(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \mathbf{\beta})), \dots, \mu_C^m(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \mathbf{\beta}))$ – шектік мәндерін қанағаттандырытын қалған критерийлер мәндері:

$\mu_1(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \mathbf{\beta})), \dots, \mu_L(\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \mathbf{\beta}))$ – айқын емес шектеулердің максималды орын-далуында қамтамасыз ететін кіріс, режимдік параметрлердің оптималды мәндері $\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \mathbf{\beta})$.

Шешім қабылдау есебін айқынсыздықта шешу үшін ұсынылған эвристикалық тәсіл көп критерийлердің ішінен ең бастысын анықтау және айқын емес шектеулердің маңыздылықтарыен анықтайтын салмақ коэффициенттерін ШҚТ енгізе алатын жағдайда тиімді қолданылады. Ал басқа жағдайларда қандай ақпараттардың қолжетімділігіне және өндірісте, нарықта орын алған жағдайларға байланысты басқав оптималдық принциптері айқынсыздыққа модификациялау отырып, сипатталған тәсілдеме негізінде шешім қабылдау есептерін тұжырымдап, оларды шешу эвристикалық тәсілдерін жасауға болады.

Нәтижелерді талқылау

Айқын емес шектеулері бар көпкритерийлік оптимизациялау есептері басты критерий және Парето оптималдық принциптеріен айқынсыздыққа модификациялау арқылы айқын емес ортада шешім қабылдау есебі ретінде тұжырымдалған. Детерминдік жағайда белгілі оптимизациялау принциптеріен айқынсыздыққа бейімдеу үшін, айқын критерийлер $[0, 1]$ интервалында өзгеретіндей нормалданған. Ал айқын емес шектеулер олардың орындалу деңгейін сипаттайтыен тиістілік функциялары арқылы ескеріледі.

Басты критерий және Парето оптималдық принциптерін айқынсыздықта модификациялау нәтижесінде айқын емес шектеулермен сипатталған кокстеу реакторларын көпкритерийлі оптимизациялау есебінің нақты математикалық

қойылымы (2)–(3) жалпы жағдайға, яғни m критерий мен L айқын емес шектеу үшін тұжырымдалған. Зерттеу нысаны, яғни кокстеу реакторлары жұмыс режимдерін оптимизациялау есебінде, $m=2$; $L=2$ деп қабылданады.

Нақты математикалық қойылымы алынған айқынсыздықта шешім қабылдау есебін шешу үшін ұсынылған эвристикалық тәсіл ШҚТ білімін, тәжірибесін шығармашылық қабілетін қолдануға негізделген. Бұл тәсіл итеративті тәсіл болып табылады және ШҚМ мен компьютер арасындағы ақпарат алмасуы арқылы шешімді итеративті жақсартуға мүмкіндік береді. Ұсынылған эвристикалық тәсілдің 6-қадамында модификацияланған оптималдық принциптері арқылы алынған біркритерийлік есепті тиістілік функциялар арқылы формализациялаған соң, біркритерийлік шартты оптимизациялаудың белгілі тәсілдерін қолдануға болады. Оптимизациялау процесі ШҚТ мен әзірленген эвристикалық тәсіл программалық жүзеге асырылған компьютер арасында диалогты режимде итерациялық жолмен орындалады.

ШҚТ-ны қанағаттандырытын және ол қабылдаған соңғы ең тиімді шешім ретінде келесі нәтижелер шығарылады: $\mathbf{x}^*(\mu_R^i, \mathbf{B})$ – басты критерийдің максималды, ал қалған критерийлердің шектік мәндерін қанағаттандырытын және айқын емес шектеулердің орындалуын сираттайтын тиістілік функцияларының максималды мәндерін қамтамасыз ететінкіріс, режимдік параметрлердің мәндері.

Қорытынды

Бұл зерттеу жұмысында БКҚ кокстеу реакторлары мысалында айқынсыздықпен сипатталатын өндірістік нысандардың жұмыс режимдерін көпкритерийлік оптимизациялау есебінің математикалық қойылымы тұжырымдалып, оны шешу эвристикалық тәсілі ұсынылған.

Жұмыста алынған негізгі зерттеу нәтижелерін келесідей қорытындылауға болады:

1) Зерттеу нысаны БКҚ кокстеу реакторлары мысалында айқынсыздықпен сипатталатын өндірістік нысандардың тиімді жұмыс режимдерін анықтауда туындайтын мәселелер талқыланып, оларды шешу жолдары қарастырылған;

2) Кокстеу реакторлары жұмыс режимдерінің сапасын сипаттайтын критерийлер мен оларға әсер ететін реактордың кіріс, режимдік параметрлері және реакторлардың жұмыс режимін оптимизациялауда ескерілуі тиіс шектеулер анықталған;

3) Зерттеу нысаны мысалында күрделі өндірістік нысандардың жұмыс режимдерін көпкритерийлік және айқынсыздық жағдайында оптимизациялау есебі формализацияланып, математикалық қойылымы тұжырымдалған;

4) Тұжырымдалған кокстеу реакторлары жұмыс режимдерін айқын емес шектеулер жағдайында тұжырымдалған көпкритерийлік оптимизациялау есебі Басты критерий және Парето оптималдық принциптерін айқынсыздыққа модификациялау негізінде шешу тәсілі құрылып, сипатталған.

Зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырады (грант №AP19679897 «Мұнай коксын өндіру процесін басқару үшін интеллектуалдандырылған шешім қабылдау жүйесін әзірлеу»).

REFERENCES

Assanova B., Orazbayev B., Moldasheva Zh, Shuitenov G., Dyussemina E. (2023). Methodology for developing models of interrelated technological units of a delayed coking unit on the basis of available information of a different nature // — *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Physico-Mathematical series*. 2023. — Vol. 3. — № 347. — Pp. 28–43 — <https://doi.org/10.32014/2023.2518-1726.202> (In Kaz).

Assanova B., Orazbayev B., Shangitova Zh., Moldasheva Zh., Orazbayeva K. (2023). Development of Coke Chambers Models of Delayed Coking Unit under uncertain initial // International Symposium on Innovative Approaches in Smart Technologies. — Ankara, Turkey, 2023. — Nov 23–25, 2023. — Pp. 1–7. 2023. (in Eng).

Douglas A.M. and Danny A.M. (2021). Statistical Methods in Experimental Pathology: A Review and Primer. The American Journal of Pathology. 2021. — Vol. 191. — No 5. — Pp. 784–794. — <https://doi.org/10.1016/j.ajpath.2021.02.009>. (in Eng).

Gutsykova S.V. (2017). Method of expert assessments. Theory and practice. — Moscow, RAS Publishing House. 2017. — 278 p. — ISBN: 978-5-9270-0209-2. (In Rus.)

Ibrahim D., Jobson M., Li J., Guillen-Gosalbez G. (2018). Optimization-based design of crude oil distillation units using surrogate column models and a support vector machine // Chemical engineering research & design, 2018. — Vol. 134. — Pp. 212–225. (in Eng).

Jorgensen M. (2019). A Review of Studies on Expert Estimation of Software Development Effort. Journal of Systems and Software. 2019. — V.70. — Pp.37–60. (in Eng).

Kahraman C. (2018). Fuzzy Multi-Criteria Decision Making. Theories and Applications with Recent Developments. — New York, Springer, 2018. — Pp. 592–608. (in Eng).

Karmanov F.I. Ostreykovsky V.A. (2019). Statistical methods for processing experimental data using the MathCad package, — M.: Radio and Communications. 2019. — 187 p. — ISBN: 978-5-905554-96-4. (In Rus.)

Kolesnik A. (2022). Tebiz Group Analysis of the petroleum coke market in Kazakhstan. — 65 p. 2022. — <https://tebiz.ru/assets/pdf/mi/analiz-rynka-neftyanogo-koksa-v-kazakhstane.pdf> (In Rus.)

Moritz Bob. PwC Global Annual Review 2021. — № 2. — Pp. 25–33. (in Eng).

Orazbayev B.B., Assanova B., Bakiyev M., Krawczyk J., Orazbayeva K. (2020). Methods of model synthesis and multi-criteria optimization of chemical-engineering systems in the fuzzy environment // Journal of Theoretical and Applied Information Technology 31st March. 2020. — Vol.98. — No 06. — Pp. 1021–1036. (in Eng).

Orazbayev B.B., Moldasheva Zh.Zh., Assanova B.U., Iskakova S.Sh., Orazbayeva K.N. (2022). Development of a heuristic method for solving the decision-making problem to control the operating modes of oil pipeline units // — *News of the academy of sciences of the republic of Kazakhstan al-Farabi Kazakh National University. Series information technology*. — 3 (343) 2022. — Pp.164–185. — https://doi.org/10.32014_2518-1726_2022_343_3_71-90

Orazbayev B.B. (2018). Theory and practice of fuzzy set methods. — Almaty: Bastau, 2018. — 398 p. (In Rus.)

Ostrovsky G.M., Ziyatdinov N.N., Lapteva T.V., Silvestrova A. (2019). Optimization of Chemical Process Design with Chance Constraints by an Iterative Partitioning Approach // — *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 2019. — Vol. 54. — no. 13. — Pp. 3412–3437. (in Eng).

Pavlov S.Yu., Kulov N.N., Kerimov R.M. (2019). Improvement of Chemical Engineering Processes Using Systems Analysis // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2019. — Vol. 53. — no. 2. — Pp. 117–133. (in Eng).

Shakirzyanova G.I., Sladovskaya O.Yu., Sladovsky A.G. (2019). Delayed coking as an effective technology for deepening oil refining. — M.: Chemistry, — 2nd ed. 2019. — 347 p. (in Rus.)

Tuleuov Zh.N., Suleimenov D. (2018). Technological regulations for the delayed coking unit DCU 21–10/6 of the Atyrau Refinery: — Atyrau: Atyrau University of Oil and Gas, 2018. — 217 p. (In Rus.)

Valyavin, G.G., Zaporin, V.P., Kalimullin, T.I. (2020). Delayed coking process and production of application-specific petroleum cokes. — Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publishing House, 2020. — 135 p. (In Rus.)

Volin Yu.M., Ostrovsky G.M. (2017). Multicriteria optimization of technological processes in conditions of uncertainty // *Automation and Remote Control*, 2017. — Vol. 53. — no. 3. — Pp. 165–178. (in Eng).

Zhi-Wen Zhao, De-Hui Wang (2018). Statistical inference for generalized random coefficient autoregressive model // *Mathematical and Computer Modelling*, 2018. — V.56. — № 3. — Pp.152–166. (in Eng).

Zimmermann H.-J. (2018). Fuzzy Set Theory – and Its Applications. Springer Science+Business Media, LLC. Fifth Edition 2018. — p.525. — ISBN: 978-94-010-3870-6. (in Eng).

Ryzhov A.P. (2017). Fuzzy set theory and its applications. — Moscow: Moscow State University. 2017. — 278 p. — ISBN: 978-3-540-70777-6. (In Rus.)

МАЗМҰНЫ

Н. Абдразақұлы, Л. Черикбаева, Н. Мұқажанов, Ж. Алибиева АНСАМБЛЬДІК ТӘСІЛ НЕГІЗІНДЕ КЕСКІНДІ ӨНДЕУДІҢ ТИІМДІ АЛГОРИТМІН ҚҰРУ.....	7
Б.Т Абыканова, А.А. Таугенбаева, А.Г. Амангосова, Г.Т. Бекова, А.Ж. Ақматбекова ӨЗДІГІНЕН БІЛІМ АЛУШЫЛАРДЫ ЖЕТІЛДІРУ МЕН ДАМУДАҒЫ ИНТЕРАКТИВТІ БІЛІМ БЕРУ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫ.....	30
Ж.Ж. Ажибекова, Д.И. Усипбекова, Б.Н. Джаханова, К. Жыланбаева, Ә.Н. Тұрсун МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІМЕН ҒАРЫШТЫҚ КЕСКІНДЕРДЕН БҮЛТТАР МЕН ТҰМАНДЫҚТАРДЫ ЖОЮ.....	43
М. Айтимов, Г.Б. Абдикеримова, К.К. Макулов, Б.А. Досжанов, Р.У. Альменаева МАШИНАЛЫҚ ЖӘНЕ ТЕРЕҢ ОҚЫТУ АЛГОРИТМДЕРІ АРҚЫЛЫ МӘТІННІҢ ЭМОЦИОНАЛДЫҚ ЖАҒДАЙЫН ЗЕРТТЕУ.....	57
А.Т. Ақынбекова, А.А. Муханова, Salah Al-Majeed, Г.С. Алтаева АЙМАҚТЫ ДАМУДАҒЫ ӨЛЕУМЕТТІК ПРОЦЕСТЕРІН БАҒАЛАУ ҮШІН ШЕШІМДЕР ҚАБЫЛДАУДЫҢ БҮЛДІРІСІ.....	69
К.М. Алдабергенова, А.Б. Касекеева, М.Ж. Айтимов, К.К. Дауренбеков, Т.Н. Есикова АГРОӨНЕРКӘСІП КЕШЕНІНІҢ ЛОГИСТИКАСЫНЫҢ МАРКЕТИНГТІК БАСҚАРУЫН ЖЕТІЛДІРУ.....	85
А.Е. Әбжанова, А.А. Быков, С.К. Сағнаева, Е.Ә. Әбжанов, Д.И. Суржик ЖЕР АСТЫ ЖЕР АСТЫ СУЛАРЫН ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП, ТОПЫРАҚТЫ МОДЕЛЬДЕУДІ ОҢТАЙЛАНДЫРУ.....	96
А.М. Бисенғалиева, А.У. Исембаева, Т.К. Душаева, Н.М. Алмабаева, Г.О. Ильясова СЕМАНТИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕРДІ ТАЛДАУ АРҚЫЛЫ КІЛТ СӨЗДЕРДІ ҚАМТУ.....	108
А.Х. Давлетова, Н.Н. Оразова, Ж.Б. Сайлау, Д.Н. Қурманғалиева, Г.Л. Абдугалимов БАСТАУЫШ СЫНЫП ОҚУШЫЛАРЫН ХАЛЫҚАРАЛЫҚ PIRLS ЗЕРТТЕУІНЕ АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАР АРҚЫЛЫ ДАЯРЛАУ ЖОЛДАРЫ.....	120
Г. Есмағамбетова, А. Кубигенова, А. Ақтаева, И. Цэрэн-Онолт, М. Есмағамбет КВАНТТЫҚ ЕСЕПТЕУЛЕРГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН БИОМЕТРИЯЛЫҚ ДЕРЕКТЕРДІ ҚОРҒАУ ӘДІСТЕРІ.....	137
Г.Қ. Ешмұрат, Л.С. Қанбаева, МАТЕМАТИКАЛЫҚ ҮРЕЙ ЖӘНЕ ОНЫҢ БОЛАШАҚ МАТЕМАТИКА ПӘНІ МҰҒАЛІМДЕРІНІҢ МАНСАБЫНА ӨСЕРІ.....	149
Т.К. Жуқабаева, В.А. Десницкий, Е.М. Марденюк СЫМСЫЗ СЕНСОРЛЫҚ ЖЕЛІЛЕРДЕГІ ДЕРЕКТЕРДІ ЖИНАУ, ӨНДЕУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ ӘДІСТЕРІ.....	163
А.М. Джумағалиева, А.Ә. Шекербек, Ж.Ж. Хамитова, М. Свобода, С.А. Қалдар АДАПТИВТІ АНОМАЛИЯНЫ АНЫҚТАУ ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ КИБЕРҚАУІПСІЗДІГІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АРҚЫЛЫ АРТТЫРУ.....	177

А.А. Исмаилова, Г.Е. Мырзабекова, М.Ж. Базарова, Г.Ж. Нурова, Г.Т. Азиева ТЕРЕҢ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ҚАРЖЫ НАРЫҒЫНДАҒЫ БАҒАЛАРДЫ БОЛЖАУ.....	190
К. Кошанова, Сапарбайқызы, К.Е. Жангазакова, А.С. Сағынбай, Э. Куриэль-Марин STEM-ДЕ БІЛІМ БЕРУ ӘЛЕУЕТІН БАРЫНША ПАЙДАЛАНУ: ОҚУ НӘТИЖЕЛЕРІН ЖАҚСARTУҒА ҮЛЕС, ҚИЫНДЫҚТАР ЖӘНЕ СТРАТЕГИЯЛАР.....	205
А.А. Мұханова, С.К. Кожукаева, Л.Г. Рзаева, Ж.Е. Доумчариева, У.Т. Махажанова МЕДИЦИНАЛЫҚ БЕЙНЕЛЕР НЕГІЗІНДЕ КӨЗ ТОРЫНЫҢ АУРУЛАРЫН ДИАГНОСТИКАЛАУ ҮШІН ТЕРЕҢ ОҚЫТУ МОДЕЛЬДЕРІН ҚОЛДАНУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ..	218
Ә.Ж. Омуртаева, У.Т. Махажанова, М.А. Кантуреева, Г. Ускенбаева, Т.Н. Есикова БІЛІМ БЕРУ НЕГІЗІНДЕ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ КӘСІПОРЫНДАРЫНЫҢ ИНВЕСТИЦИЯЛЫҚ ТАРТЫМДЫЛЫҒЫН БАҒАЛАУ ӘДІСТЕМЕСІ.....	235
А.Р. Оразаева, Д.А. Тусупов, В. Войчик, А.К. Шайханова, Г.Б. Бекешова МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІМЕН СҮТ БЕЗІ ПАТОЛОГИЯСЫН ТИІМДІ АНЫҚТАУ...	246
Б.Б. Оразбаев, Б.У. Асанова, Ж.Ж. Молдашева, Ж.Е. Шангитова АЙҚЫНСЫЗДЫҚТА КОКСТЕУ РЕАКТОРЛАРЫНЫҢ ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІН КӨПКРИТЕРИЙЛІК ОПТИМИЗАЦИЯЛАУ ЕСЕБІНІҢ ҚОЙЫЛЫМЫ МЕН ОНЫ ШЕШУ ЭВРИСТИКАЛЫҚ ТӘСІЛІ.....	258
Г.А. Салтанова, К.Б. Багитова, Г.А. Дашева, М.Е. Шангитова, Э.Г. Гайсина УНИВЕРСИТЕТ КІТАПХАНАСЫНЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕСІН ӨЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ЕНГІЗУ: АҚПАРАТТЫҚ РЕСУРСТАРДЫ БАСҚАРУДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ ЖӘНЕ ПАЙДАЛАНУШЫЛАРҒА ТИІМДІ ҚЫЗМЕТ КӨРСЕТУ.....	269
Л.Т. Салыбек, К.Н. Оразбаева, В.Е. Махатова, Л.Т. Қурмангазиева, Б.Е. Утенова МҰНАЙДЫ АЛҒАШҚЫ ӨНДЕУ ҚОНДЫРҒЫСЫ АТМОСФЕРАЛЫҚ БЛОГЫНЫҢ МОДЕЛЬДЕРІН ТҮРЛІ СИПАТТАҒЫ ҚОЛЖЕТІМДІ АҚПАРАТ НЕГІЗІНДЕ ҚҰРУ.....	285
А. Сейтенов, Т. Жукабаева, С. Ал-Маджид ЭЛЕКТРОНДЫҚ МЕДИЦИНАЛЫҚ ТӨЛҚҰЖАТЫ МЕН ТЕЛЕМЕДИЦИНА АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕСІНІҢ МОДЕЛІН ЖОБАЛАУ.....	297
Г.Б. Турмуханова, А.А. Таутенбаева, Г.Т. Бекова, С.Б. Нугуманов, Я. Култан ӘЛЕУМЕТТІК МЕДИА ҚАУЫМДАСТЫҚТАРЫНДАҒЫ ӨЗАРА ІС-ҚИМЫЛ АРҚЫЛЫ УНИВЕРСИТЕТ СТУДЕНТТЕРІНІҢ ЖҰМСАҚ ДАҒДЫЛАРЫН ҚАЛЫПТАСТЫРУ.....	310
А.С. Тынықұлова, А.В. Фаддеев, А.А. Мұханова, А.У. Искалиева, Д.Б. Абулкасова БЕЛГІСІЗДІК ЖАҒДАЙЫНДА ТӘУЕКЕЛДЕРДІ БАСҚАРУДЫ ТАЛДАУ ЖӘНЕ ОҢТАЙЛАНДЫРУ: ЗАМАНАУИ ӘДІСТЕР МЕН ТЕХНОЛОГИЯЛАР.....	325
Ж.Р. Умарова, Г.Ж. Ельбергенава, Н.С. Жуматаев, А.Х. Махатова, С.Б. Ботаева МЕЗОСКОПИЯ ДЕҢГЕЙІНДЕГІ МОЛЕКУЛАЛЫҚ ЕЛЕКТЕРДЕГІ ЗАТ ТАСЫМАЛУЫН ЕСЕПТЕУ АЛГОРИТМІНІҢ ЗИЯЛДЫ ТАЛДАУЫ.....	336

СОДЕРЖАНИЕ

Н. Абдразакулы, Л. Черикбаева, Н. Мукажанов, Ж. Алибиева СОЗДАНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО АЛГОРИТМА ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ АНСАМБЛЕВОГО ПОДХОДА.....	7
Б.Т. Абыканова, А.А. Таугенбаева, А.Г. Амангосова, Г.Т. Бекова, А.Ж. Акматбекова ИНТЕРАКТИВНЫЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ И РАЗВИТИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ.....	30
Ж.Ж. Ажибекова, Д.И. Усипбекова, Б.Н. Джаханова, К. Жыланбаева, Ә.Н. Түрсун УДАЛЕНИЯ ОБЛАКОВ И ТУМАННОСТЕЙ С КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	43
М. Айтимов, Г.Б. Абдикеримова, К.К. Макулов, Б.А. Досжанов, Р.У. Альменаева ИССЛЕДОВАНИЕ ЭМОЦИОНАЛЬНОЙ ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО И ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ.....	57
А.Т. Акынбекова, А.А. Муханова, Salah Al-Majeed, Г.С. Алтаева НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ОЦЕНКИ СОЦИАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ РЕГИОНА.....	69
К.М. Алдабергенова, А.Б. Касекеева, М.Ж. Айтимов, К.К. Дауренбеков, Т.Н. Есикова СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАРКЕТИНГОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛОГИСТИКОЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА.....	85
А.Е. Абжанова, А.А. Быков, С.К. Сагнаева, Е.А. Абжанов, Д.И. Суржик ОПТИМИЗАЦИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГРУНТА С УЧЕТОМ ПОДЗЕМНЫХ ГРУНТОВЫХ ВОД.....	96
А.М. Бисенгалиева, А.У. Исембаева, Т.К. Душаева, Н.М. Алмабаева, Г.О. Ильясова ОХВАТ КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ.....	108
А.Х. Давлетова, Н.Н. Оразова, Ж.Б. Сайлау, Д.Н. Курмангалиева, Г.Л. Абдугалимов ПУТИ ПОДГОТОВКИ УЧАЩИХСЯ НАЧАЛЬНЫХ КЛАССОВ К МЕЖДУНАРОДНОМУ ИССЛЕДОВАНИЮ PIRLS С ПОМОЩЬЮ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	120
Г. Есмагамбетова, А. Кубигенова, А. Актаева, И. Цэрэн-Онолт, М. Есмагамбет МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ КВАНТОВЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ.....	137
Г.К. Ешмурат, Л.С. Каинбаева МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТРЕВОЖНОСТЬ И ЕЁ ВЛИЯНИЕ НА КАРЬЕРУ БУДУЩИХ УЧИТЕЛЕЙ МАТЕМАТИКИ.....	149
Т.К. Жукабаева, В.А. Десницкий, Е.М. Марденов МЕТОДИКА СБОРА, ПРЕОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ДАННЫХ В БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ.....	163
А.М. Джумагалиева, А.А. Шекербек, Ж.Ж. Хамитова, М. Свобода, С.А. Калдар ПОВЫШЕНИЕ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ С ПОМОЩЬЮ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ ПОСРЕДСТВОМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	177
А.А. Исмаилова, Г.Е. Мырзабекова, М.Ж. Базарова, Г.Ж. Нурова, Г.Т. Азиева ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЦЕН НА ФОНДОВОМ РЫНКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ	

ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ.....	190
К. Кошанова, Ш. Сапарбайқызы, К.Е. Жангазакова, А.С. Сагынбай, Э. Куриэль-Марин	
МАКСИМАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ОБРАЗОВАНИЯ В STEM: ВКЛАД, ПРОБЛЕМЫ И СТРАТЕГИИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ.....	205
А.А. Муханова, С.К. Кожукаева, Л.Г. Рзаева, Ж.Е. Доумчариева, У.Т. Махажанова	
ПРИМЕНЕНИЕ И АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ СЕТЧАТКИ ГЛАЗА НА ОСНОВЕ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ.....	218
Ә.Ж. Омуртаева, У.Т. Махажанова, М.А. Кантуреева, Г. Ускенбаева, Т.Н. Есикова	
МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ...235	
А.Р. Оразаева, Д.А. Тусупов, В. Войчик, А.К. Шайханова, Г.Б. Бекешова	
ЭФФЕКТИВНОЕ ВЫЯВЛЕНИЕ ПАТОЛОГИИ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	246
Б.Б. Оразбаев, Б.У. Асанова, Ж.Ж. Молдашева, Ж.Е. Шангитова	
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОКСОВЫХ РЕАКТОРОВ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОСТИ И ЭВРИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ЕЕ РЕШЕНИЯ.....	258
Г.А. Салтанова, К.Б. Багитова, Г.А. Дашева, М.Е. Шангитова, Э.Г. Гайсина	
РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УНИВЕРСИТЕТСКОЙ БИБЛИОТЕКИ: ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ РЕСУРСАМИ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ.....	269
Л.Т. Салыбек, К.Н. Оразбаева, В.Е. Махатова, Л.Т. Курмангазиева, Б.Е. Утенова	
РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРНОГО БЛОКА УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ НА ОСНОВЕ ДОСТУПНОЙ ИНФОРМАЦИИ РАЗЛИЧНОГО ХАРАКТЕРА	285
А. Сейтенов, Т. Жукабаева, С. Ал-Маджид	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕДИЦИНЫ С ЭЛЕКТРОННОЙ МЕДИЦИНСКОЙ КАРТОЙ.....	297
Г.Б. Турмуханова, А.А. Таутенбаева, Г.Т. Бекова, С.Б. Нугуманов, Я. Култан	
ФОРМИРОВАНИЕ МЯГКИХ НАВЫКОВ СТУДЕНТОВ УНИВЕРСИТЕТА ПОСРЕДСТВОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СООБЩЕСТВАХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ.....	310
А.С. Тыныкулова, А.В. Фаддеенков, А.А. Муханова, А.У. Искалиева, А.Б. Абулкасова	
АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ: СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ.....	325
Ж.Р. Умарова, Г.Ж. Ельбергенава, Н.С. Жуматаев, А.Х. Махатова, С.Б. Ботаева	
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ПЕРЕНОСА ВЕЩЕСТВА В МОЛЕКУЛЯРНЫХ СИТАХ НА МЕЗОСКОПИЧЕСКОМ УРОВНЕ.....	336

CONTENTS

N. Abdrazakuly, L. Cherikbayeva, N. Mukazhanov, Zh. Alibiyeva CREATING AN EFFECTIVE IMAGE PROCESSING ALGORITHM BASED ON AN ENSEMBLE APPROACH.....	7
B.T. Abykanova, A.A. Tautenbayeva, A.Γ. Amangosova, G.T. Bekova, A.Zh. Akmatbekova INTERACTIVE EDUCATIONAL TECHNOLOGIES IN IMPROVING AND DEVELOPING STUDENTS' AGENCY.....	30
Zh.Zh. Azhibekova, D.I. Ussipbekova, B. Djakhanova, B.K. Zhylanbaeva, A.N. Tursun REMOVING CLOUDS AND NEBULAE FROM SPACE IMAGES USING MACHINE LEARNING METHOD.....	43
M. Aitimov, G.B. Abdikerimova, K.K. Makulov, B.A. Doszhanov, R.U. Almenayeva STUDY OF THE EMOTIONAL TONE OF A TEXT USING MACHINE AND DEEP LEARNING ALGORITHMS.....	57
A. Akynbekova, A. Mukhanova, Salah Al-Majeed, G. Altayeva FUZZY DECISION MAKING MODELS FOR ASSESSING SOCIAL PROCESSES OF REGIONAL DEVELOPMENT.....	69
K.M. Aldabergenova, A.B. Kassekeyeva, M. Aitimov, K. Daurenbekov, T.N. Esikova IMPROVEMENT OF MARKETING MANAGEMENT OF LOGISTICS OF THE AGRICULTURAL COMPLEX.....	85
A.E. Abzhanova, A.A. Bykov, S.K. Sagnaeva, E.A. Abzhanov, D.I. Surzhik OPTIMIZATION OF SOIL MODELING WITH CONSIDERATION OF UNDERGROUND GROUNDWATER.....	96
A.M. Bissengaliyeva, A.U. Issembayeva, T.K. Dushayeva, N.M. Almabayeva, G.O. Ilyassova KEYWORD COVERAGE USING SEMANTIC DATA ANALYSIS.....	108
A.Kh. Davletova, N.N. Orazova, Zh.B. Sailau, D.N. Kurmangalieva, G.L. Abdugalimov WAYS TO PREPARE PRIMARY SCHOOL STUDENTS FOR INTERNATIONAL PIRLS RESEARCH USING INFORMATION TECHNOLOGY.....	120
G. Yesmagambetova, A. Kubigenova, A. Aktayeva, I. Tseren-Onolt, M. Esmaganbet METHODS OF BIOMETRIC DATA PROTECTION BASED ON QUANTUM COMPUTING.....	137
G.K. Yeshmurat, L.S. Kainbayeva UNDERSTANDING MATH ANXIETY AND ITS IMPACT ON MATH EDUCATION STUDENTS' CAREERS.....	149
T.K. Zhukabayeva, V.A. Desnitsky, E.M. Mardenov A TECHNIQUE FOR COLLECTION, PREPROCESSING AND ANALYSIS OF DATA IN WIRELESS SENSOR NETWORKS.....	163
A.M. Jumagaliyeva, A.A. Shekerbek, Zh.Zh. Khamitova, M. Svoboda, S. Kaldar ENHANCING CYBERSECURITY WITH ADAPTIVE ANOMALY DETECTION SYSTEMS THROUGH MACHINE LEARNING.....	177
A.A. Ismailova, G. Murzabekova, M.Zh. Bazarova, G.Zh. Nurova, G.T. Azieva FORECASTING PRICES IN THE STOCK MARKET USING DEEP LEARNING METHODS.....	190

G. Kochshanova, Sh. Saparbaykyzy, K.Y. Zhangazakova, A.S. Sagynbay, E. Curiel-Marin MAXIMIZING THE POTENTIAL OF STEM EDUCATION: CONTRIBUTIONS, CHALLENGES, AND STRATEGIES TO IMPROVE LEARNING OUTCOMES.....	205
A.A. Mukhanova, S.K. Kozhukaeva, L.G. Rzayeva, Zh.E. Doumcharieva, U.T. Makhazhanova APPLICATION AND ANALYSIS OF DEEP LEARNING MODELS FOR DIAGNOSIS OF RETINAL DISEASES FROM MEDICAL IMAGES.....	218
A. Omurtayeva, U. Makhazhanova, M. Kantureyeva, G. Uskenbayeva, T.N. Esikova METHODOLOGY FOR ASSESSING THE INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF AGRICULTURAL ENTERPRISES BASED ON THE PRESENTATION OF KNOWLEDGE.....	235
A.R. Orazayeva, J.A. Tussupov, W. Wójcik, A.K. Shaikhanova, G.B. Bekeshova EFFECTIVE DETECTION OF BREAST PATHOLOGY USING MACHINE LEARNING METHODS.....	246
B.B. Orazbayev, B.U. Asanova, Zh.Zh. Moldasheva, Zh.E. Shangitova FORMULATION OF THE PROBLEM OF MULTICRITERIAL OPTIMIZATION OF OPERATING MODES OF COKE REACTORS UNDER FUZZY CONDITIONS AND A HEURISTIC METHOD FOR ITS SOLUTION.....	258
G.A. Saltanova, K.B. Bagitova, G.A. Dasheva, M.E. Shangitova, E.G. Gaisina DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF AN AUTOMATED UNIVERSITY LIBRARY INFORMATION SYSTEM: INFORMATION RESOURCE MANAGEMENT OPTIMIZATION AND EFFECTIVE USER SERVICE PROVISION.....	269
L. Salybek, K. Orazbayeva, V. Makhatova, L. Kurmangazieva, B. Utenova DEVELOPMENT OF MODELS OF THE ATMOSPHERIC BLOCK OF A PRIMARY OIL PROCESSING PLANT BASED ON AVAILABLE INFORMATION OF VARIOUS NATURE.....	285
A. Seitenov, T. Zhukabayeva, S. Al-Majeed DESIGNING A MODEL OF A TELEMEDICINE INFORMATION SYSTEM WITH ELECTRONIC MEDICAL RECORD.....	297
G.B. Turmukhanova, A.A. Tautenbayeva, G.T. Bekova, S.B. Nugumanov, K. Yaroslav FORMATION OF UNIVERSITY STUDENTS' SOFT SKILLS THROUGH INTERACTION I N SOCIAL NETWORKING COMMUNITIES.....	310
A.S. Tynykulova, A.V. Faddeenkov, A.A. Mukhanova, A. Iskaliyeva, D.B. Abulkassova ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF RISK MANAGEMENT IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY: MODERN METHODS AND TECHNOLOGIES.....	325
Zh. Umarova, G. Yelbergenova, N. Zhumatayev, A. Makhatova, S. Botayeva INTELLIGENT ANALYSIS OF SUBSTANCE TRANSPORT ALGORITHM IN MOLECULAR SIEVES AT THE MESOSCOPIC LEVEL.....	336

**Publication Ethics and Publication Malpractice
the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

www.nauka-nanrk.kz

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 1991-346X (Print)

Подписано в печать 15.06.2024.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать-ризограф.

21,0 п.л. Тираж 300. Заказ 2.