

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

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ

әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Қазақстанның ұлттық ғылым академиясының
әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің

N E W S

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
al-Farabi Kazakh National University

SERIES
PHYSICO-MATHEMATICAL

5 (339)

SEPTEMBER – OKTOBER 2021

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series physico-mathematical journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of chemistry and technologies in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of chemical sciences to our community.

Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы «ҚР ҰҒА Хабарлары. Физикалық-математикалық сериясы» ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді химиялық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.

НАН РК сообщает, что научный журнал «Известия НАН РК. Серия физико-математическая» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество и глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАН РК в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по химическим наукам для нашего сообщества.

Бас редактор:

МҰТАНОВ 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

Редакция алқасы:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан) Н=7

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жанабайұлы (бас редактордың орынбасары), техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Сағпаев 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 Hemando, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика) Н=28

ЖҮСПОВ 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

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі (Минск, Беларусь) Н=2

РАМАЗАНОВ Тілекқабыл 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), Наноқұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия) Н=26

«ҚР ҰҒА Хабарлары.

Физика-математикалық 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: *математика, информатика, механика, физика, ғарыштық зерттеулер, астрономия, ионосфера.*

Мерзімділігі: жылына 6 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/>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2021

Типографияның мекен-жайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Мұратбаев көш., 75.

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

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, советник генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан) Н=7

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, (заместитель главного редактора), доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, университет Сатпаева (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

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь) Н=2

РАМАЗАНОВ Тлеккабул 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 физико-математическая».

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: *математика, информатика, механика, физика, космические исследования, астрономия, ионосфера.*

Периодичность: 6 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/>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2021

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

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

Editorial board:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich (Deputy Editor-in-Chief), doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan) H=7

BAYGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabayevich, (Deputy Editor-in-Chief), 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

MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS of Belarus (Minsk, Belarus) H=2

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. Physical-mathematical series.
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-Ж, issued 14.02.2018

Thematic scope: *mathematics, computer science, mechanics, physics, space research, astronomy, ionosphere.*

Periodicity: 6 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 5, Number 339 (2021), 91–99

<https://doi.org/10.32014/2021.2518-1726.89>

УДК 004.89

Сымагулов А.^{1,2}, Кучин Я.¹, Елис М.^{1,2}, Жумабаев А.², Абдуразаков А.²

¹Институт информационных и вычислительных технологий МОН РК, Алматы, Казахстан;

²Satbayev University, Алматы, Казахстан.

E-mail: ykuchin@mail.ru

МЕТОДЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЧЕРНЫХ ЯЩИКОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Аннотация. В последнее время искусственный интеллект (ИИ) добился больших успехов благодаря быстрому развитию технологий машинного обучения. Несмотря на это, существуют потенциальные риски, связанные с подходом к обучению по принципу «черного ящика». В отличие от некоторых классических методов машинного обучения, особенно деревьев решений, в которых результаты модели обычно можно объяснить, моделям нелинейной классификации и особенно глубокого обучения не хватает прозрачности, что затрудняет понимание того, как модель приняла то или иное решение. Появившиеся в последнее время модели объяснения результатов машинного обучения частично решают эту задачу. Цель научного сообщества заключается в создании объяснимых моделей машинного обучения (EML). Важным результатом этих усилий является возможность применения EML в системах поддержки принятия решений. В настоящей работе описываются некоторые современные модели объяснения результатов работы моделей машинного обучения и описывается подход к применению EML в системах многокритериальной поддержки принятия решений. Суть описываемого подхода заключается в построении модели машинного обучения на основе данных об объектах управления и последующем использовании объяснений для выработки рекомендаций по воздействию на объекты с целью улучшения целевого показателя. Мы приводим схему подобной системы и примеры результатов ее применения в задачах управления организациями среднего образования и здравоохранения.

Ключевые слова: объяснимое машинное обучение, многокритериальная система поддержки принятия решений, GeoAI, аддитивное объяснение Шапли (SHAP), объяснение «черных ящиков».

1. Введение. Достижения в области технологий, усовершенствования алгоритмов обучения и доступ к большим объемам данных сделали возможным развитие искусственного и интеллекта (Artificial intelligence– AI), что привело к его широкому промышленному внедрению. AI включает машинное обучение, обработку естественного языка (NLP), синтез текста и речи, компьютерное зрение, робототехнику, планирование и экспертные системы [1].

Из них машинное обучение (ML) в значительной степени реализует потенциал, заложенный в идее AI. Основное ожидание, связанное с машинным обучением, – это реализация гибких, адаптивных, «обучаемых» алгоритмов или вычислительных методов [2]. Сегодня многие реальные проблемы решаются с помощью моделей машинного обучения. Машинное обучение успешно применяется для решения задач в медицине [3], городском хозяйстве, промышленности, сельском хозяйстве [4], геоэкологии, астрономии [5], петрографии [6, 7], обработке естественного языка [8, 9] и т. д. Однако, когда принимаемые решения в конечном итоге влияют на жизнь людей (например, в медицине, юриспруденции, финансах или обороне), необходимо понимать, как такие решения принимаются с помощью методов искусственного интеллекта [10]. Для этих целей разработаны методы, называемые объяснимым машинным обучением (EML). Вместе с тем, EML могут применяться не только в целях интерпретации моделей машинного обучения, но и использоваться в контуре системы поддержки

принятия решений (decision support system -DSS). Основной предпосылкой этому служит тот факт, что EML, по существу, является информационной моделью системы, с помощью которой можно решать основную проблему DSS – получение объективных знаний о предметной области.

Целью настоящей работы является описание современных методов EML не зависящих от модели ML, так называемых агностических EML и оценка применимости их в системах многокритериальной поддержки принятия решений (MCDSS).

Работа состоит из следующих разделов.

В следующей, обзорной, части мы кратко описываем методы EML и проблему получения знаний в MCDSS.

В третьей части описывается метод применения EML в контуре MCDSS.

В четвертой части мы приводим примеры такого использования EML

В заключении мы кратко описываем результаты и направления будущих исследований.

2. Материалы.

2.1. Интерпретация результатов машинного обучения и поддержка принятия решений.

Интерпретация результатов машинного обучения необходима для того, чтобы, в частности, ответить на вопрос: «Какие переменные и в каких пределах влияют на предсказание?». Идеальный вариант интерпретации может быть, например, таким, когда ответ модели (h_θ) есть взвешенная сумма значений множества параметров (X), умноженных на коэффициенты модели (Θ), например, как в модели линейной регрессии:

$$h_\theta = \theta_0 + \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \dots + \theta_n x_n, \quad (\text{Eq. 1})$$

Однако, во-первых, весьма обычной является ситуация, когда свойства модели достаточно сильно коррелированы, то есть имеют признаки мульти коллинеарности. Вторая проблема заключается в том, что функция гипотезы модели обычно нелинейна, то есть ее нельзя выразить в виде выражения Eq. 1.

Для понимания того, как отдельные параметры влияют на предсказание модели в задачах сложных задачах регрессии и классификации, полезными инструментами оказываются Treeinterpreter для деревьев решений, LIME (Local Interpretable Model-agnostic), Deep LIFT, похожий на него Layer – Wise Relevance Propagation и наиболее свежий метод, описанный в 2017 году, – SHAP (SHapley Additiveex Planations). Из них SHAP [11] и LIME [12] являются агностическими моделями, то есть могут применяться к любой модели машинного обучения.

LIMEиспользует линейную аппроксимацию исходной модели в небольшом диапазоне изменения параметров.Однако для сложных, трудно интерпретируемых моделей линейные аппроксимации могут быть неадекватными, даже если анализируется небольшая область вокруг значений параметров. В таких случаях LIME может давать ошибочные рекомендации.

В свою очередь, SHAP [13]качественно отличается от простого поиска корреляций ввиду того, что он использует модель для получения знаний о нелинейных и немонотонных взаимозависимостях параметров, влияющих на конечный результат. Метод предназначен для работы и в случае существенной зависимости между параметрами. В общем случае он требует перетренировки модели на всех подмножествах $S \subseteq n$, где n – множество всех признаков. Метод, основанный на теории игр, по выводам авторов алгоритма обеспечивает общность интерпретации и пригодность для широкого круга методов машинного обучения.

LIME, SHAP и другие интерпретаторы могут служить средством получения знаний о предметной области в процессе выработки решений.

Важным и одновременно сложным этапом выработки решений в условиях разнородных критериев (multiple – criteria decision making - MCDM) является получение знаний от экспертов (knowledge extraction). Некоторые из методов MCDM, например АНР (analytical hierarchy process) [14] включают механизмы получения экспертных оценок. Однако, используемые в них способы получения знаний, являются в целом эмпирическими методами. Вместо них или совместно с ними в контур системы поддержки принятия решений может быть встроена модель объяснимого машинного обучения, обеспечивая выработку рекомендаций по изменению параметров объектов управления. Преимуществом такого подхода является то, что он основан на достаточно строгой модели машинного обучения, формируемой в процессе обучения и увязывающей входные параметры и целевой критерий в рамках единой системы.

3. Методы. Предлагаемый подход применения EML можно назвать методом мульти критериального

анализа решений (multicriteria decision analysis – MCDA) на основе объяснения «черных ящиков» (“blackboxes” explainer -BBE) или MCDA&BBE. Метод состоит из следующих ключевых элементов [15] (рисунок 1), применяемых поэтапно в процессе выработки решения.

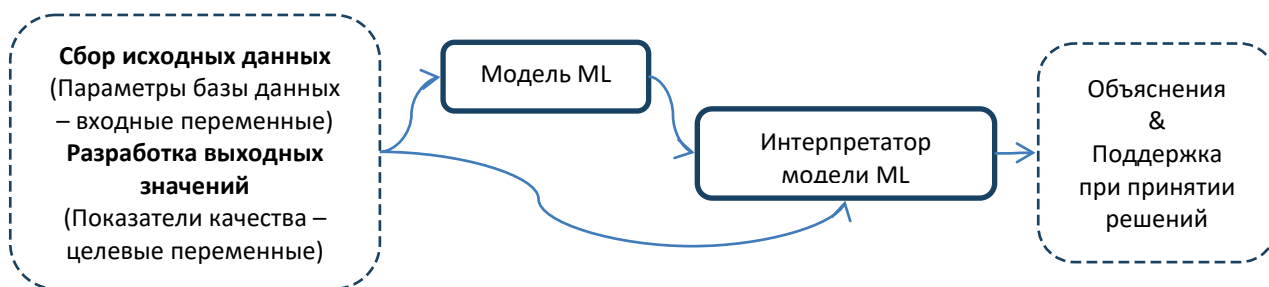


Рисунок 1. Схема рабочего процесса MCDSS и BBE.

1) Определяем целевые переменные, которые могут быть синтезированными или являться некоторой агрегацией показателей.

2) Строим нелинейную модель, основанную на методе контролируемого обучения.

3) Оцениваем вклад параметров в результат.

4) Используем результаты интерпретации для разработки рекомендаций.

Модель EML рассматривается как способ ответа на вопрос: «Почему получен тот или иной результат классификации или регрессии?». Ответ на этот вопрос для отдельного объекта – это, по сути, рекомендация по изменению входных параметров с целью увеличения значений целевых индикаторов (показателей качества). Другими словами, мы рассматриваем модель машинного обучения как способ описания закономерностей реальных систем. Отметим, что целевые показатели зависят от цели, стоящей перед управляемой системой.

4. Результаты.

4.1. Пример применения модели MCDA & BBE в задаче анализа школьного образования.

Рассмотрим пример подобного использования ML и SHAP, описанный в работе [11]. В работе ставится задача анализа системы школьного образования и построения системы поддержки принятия решений.

Для формирования регрессионной или классификационной модели необходимы «целевые параметры» или показатели качества, в качестве которых в работе использованы четыре показателя, один из которых Q-edu-3 – доля выпускников, набравших проходной балл в процессе единого национального тестирования (ЕНТ).

В качестве входных данных использованы данные о средних учебных заведениях и сведения об успехах учащихся из национальной образовательной базы данных (более 200 показателей). На основании этих данных и с перечисленными целевыми показателями Q-edu построены регрессионные модели. Затем, используя SHAP, показатели модели были ранжированы с точки зрения их весомости в процессе получения результата.

Например, на рисунке 2 каждая строка соответствует определенному признаку. Признаки отсортированы в порядке убывания значимости (SHAP value). Каждая точка представляет собой отдельную школу. Цвет точки показывает величину данного признака у данной школы. Красные точки имеют высокое значение этого показателя (выше среднего значения), а синий цвет, соответственно, низкое значение. Положение точки вдоль горизонтальной оси показывает, как этот показатель повлиял на целевое значение Q-Edu-3 этой школы. Показатель повлиял отрицательно, если он расположен слева, и тем сильнее, чем сильнее точка смещена влево. Показатель повлиял положительно, если точка расположена справа, и тем сильнее, чем сильнее смещена вправо. Для категориальных/двоичных объектов цвет точек означает, соответственно, принадлежность к категории или наличие/отсутствие свойства.

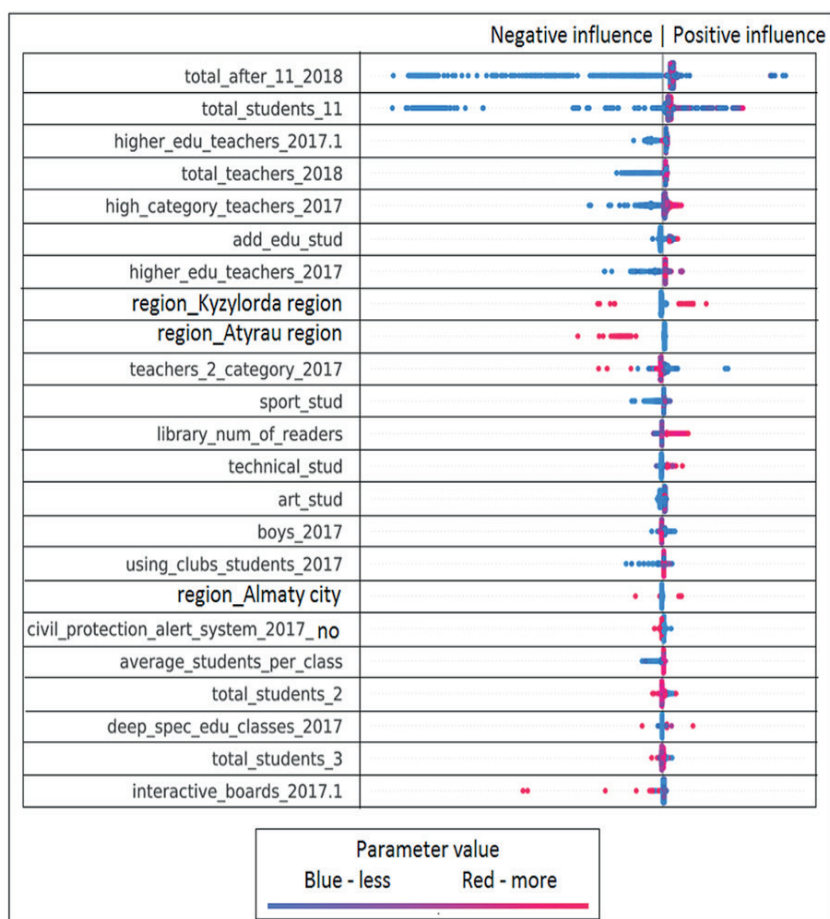


Рисунок 2. Влияние параметров на показатель Q-Edu-3 (доля выпускников, набравших проходной балл по ЕНТ).

Рассмотрим, например, показатель «Region_Almaty city», который означает местонахождение школы в Алматинской области. Принадлежность к этому региону положительно влияет на значение Q-Edu-3 в обученной модели, и, соответственно, расположение школы в другом регионе в некоторых случаях приводит к небольшому отрицательному воздействию. Разумеется, влияние данного показателя является лишь отражением того факта, что школьники региона Алматы лучше подготовлены для сдачи ЕНТ. С другой стороны, имеются показатели, которые можно изменить, например, административными методами. В частности, мы ясно видим положительное влияние учителей высшей категории и отрицательное влияние большого числа учителей второй категории на Q-Edu-3. Результаты показывают, что в школах с хорошим показателем Q-Edu-3 больше читателей в библиотеке (library_num_of_readers) (рисунок 2), больше спортивных (sport_stud), технических (technical_stud), художественных (art_stud) и других клубов (other_stud). В то же время дополнительные образовательные кружки (add_edu_stud) слабо связаны с Q-Edu. Следует отметить, что прямая интерпретация полученных результатов может привести к достаточно спорным выводам. Например, судя по графику низкое количество школьников 11 класса (выпускного) уменьшает показатель Q-Edu-3. Однако говорить о том, что в целом качество такой школы низкое, нельзя.

4.2. Пример применения модели MCDSS & BBE в задаче расчета рейтинга больниц.

В работе [16] методика MCDSS & BBE применена для анализа открытого набора данных о больницах в США, предоставленного Medicare [17].

В этом наборе данных общий рейтинг качества больницы включает более 100 показателей, разделенных на 7 групп или категорий: смертность, безопасность лечения, повторная госпитализация, отзывы пациентов, эффективность лечения, своевременность оказания помощи и эффективное использование медицинской визуализации. В источнике данных указано, что используется статистическая модель, известная как модель скрытых переменных. Для расчета баллов по 7 группам показателей используются семь различных моделей скрытых переменных. Затем рассчитывается совокупный балл больницы, используя средневзвешенное значение этих групповых баллов.

Для того, чтобы оценить применимость модели MCDSS&BBE мы построили информационную модель, связывающую описанную группу больниц в единой регрессионной модели, а затем оценили влияние групп показателей на рейтинг больницы. Полученный результат сравнили с тем, который использовался в расчете рейтинга больниц.

Для построения информационной модели госпиталей на базе машинного обучения общий рейтинг больницы использован в качестве целевой колонки (targetvalue), а 7 групп показателей, которые влияют на рейтинг больницы, рассматриваются в виде входных переменных или свойств (inputvalues, features). Таким образом, была получена регрессионная модель системы госпиталей, в которой каждая больница занимает некоторое место в многомерном пространстве параметров. Модель объяснения SHAP позволила ранжировать свойства по их влиянию на конечный результат. На рисунке 3 каждая строка соответствует определенному свойству (характеристике). Каждая точка представляет собой значение показателя конкретной больницы и его влияние на общий рейтинг.

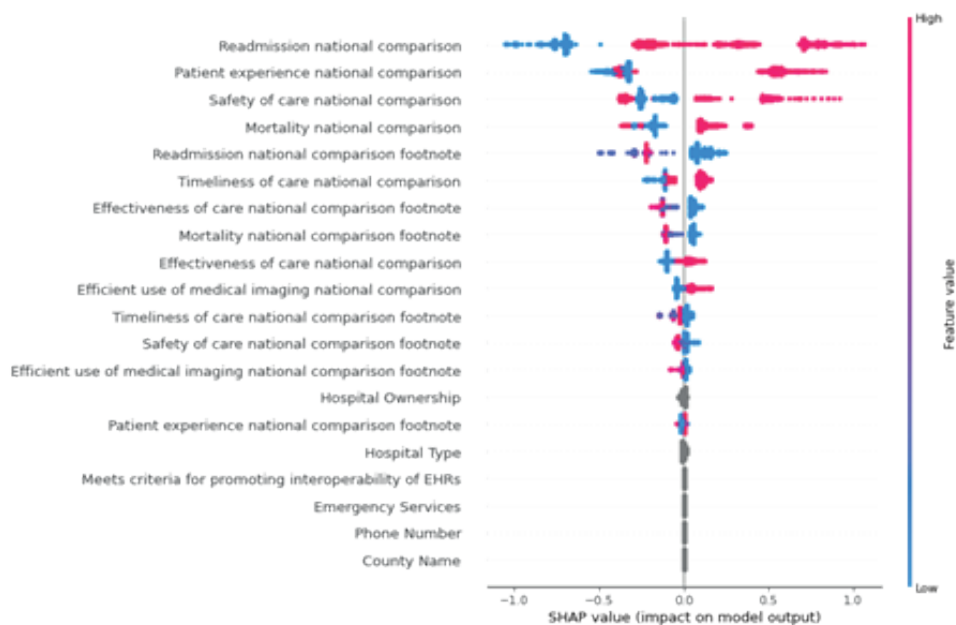


Рисунок 3. Влияние факторов на показатель «общий рейтинг больницы».

Согласно рисунку 3, мы можем увидеть влияние отдельных характеристик на результаты регрессионной модели. Если мы сравним результаты с основными показателями, упомянутыми в [17], мы увидим, что 4 основных показателя (Readmission national comparison, Patient experience national comparison, Safety of care national comparison, Mortality national comparison) имеют сильное влияние на общий рейтинг больницы. Иными словами, результаты анализа регрессионной модели с помощью модели объяснения хорошо коррелируют со средневзвешенными значениями групповых баллов, которые модели не известны. Следовательно, модель объяснимого машинного обучения выявила закономерности формирования общего рейтинга больницы и ее можно использовать для выявления наиболее значимых показателей больниц с целью улучшения качества их работы.

Обсуждение. Одной из основных проблем адаптации методов машинного обучения в практических приложениях является ограниченная возможность моделей МЛ объяснять полученный результат. Для преодоления этого недостатка научное сообщество предложило ряд подходов позволяющих оценить связь исходных параметров модели и получаемых результатов. Наиболее универсальными в этом смысле являются агностические модели, то есть модели объяснений, не зависящие от модели машинного обучения. В настоящей работе мы рассмотрели применение подобной модели в контуре принятия решений на основе модели поддержки принятия решений MCDSS & BBE. Указанная система строит информационную модель рассматриваемой предметной области на основе одной или нескольких моделей машинного обучения, а затем использует EML для оценки влияния входных параметров на конечный результат.

Заключение. Модель MCDSS & BBE применена нами для анализа показателей учреждений среднего образования и медицины. Ее применение позволило выявить закономерности влияния, которые при прямом анализе не были очевидны.

Объяснительная модель выявила положительное влияние учителей высшей категории и отрицательное влияние большого числа учителей второй категории на обобщенный показатель качества школы - Q-Edu-3 (доля выпускников, набравших проходной балл в процессе ЕНТ), выявлено также влияние расположения школы, наличия в школе библиотеки и т.п.

Аналогичная система объяснений, построенная на основе регрессионной модели машинного обучения, правильно ранжировала основные параметры больниц. Следовательно, влияние этих факторов правильно отразилось в построенной информационной модели и может быть применено для оценки качества медицинского учреждения.

Результаты подтверждают гипотезу о том, что модели EML могут применяться для поддержки принятия решений по управлению медицинскими учреждениями и учреждениями среднего образования.

Задачи дальнейших исследований включают следующее:

1. Использование предложенной схемы применения EML в других предметных областях.
2. Использование модели MCDSS&BBE для оценки влиятельности показателей медицинских учреждений Казахстана на качество их работы.
3. Разработка автоматической или полуавтоматической системы для объяснения полученных результатов конечному пользователю.

Благодарности.

Данное исследование финансировалось Комитетом по науке Министерства образования и науки Республики Казахстан (грант AP09259587, BR10965172). Авторы хотели бы поблагодарить профессоров кафедра информатики Жилинского университета Елену Зайцеву и Виталия Леващенко за ценные замечания и сотрудничество.

Сымагулов А.^{1,2}, Кучин Я.¹, Елис М.^{1,2}, Жумабаев А.², Абдуразаков А.²

¹ҚР БҒМ Ақпараттық және есептеу технологиялары институты, Алматы, Қазақстан;

²Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: ykuchin@mail.ru

МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫҢ ҚАРА ЖӘШІКТЕРІН ТҮСІНДІРУ ӘДІСТЕРІ ЖӘНЕ ШЕШІМ ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕЛЕРІН ҚҰРУ ҮШІН ОЛАРДЫ ҚОЛДАНУ

Аннотация. Соңғы жылдары жасанды интеллект (ЖИ) машиналық оқыту технологиясының қарқынды дамуы арқылы үлкен жетістіктерге жетті. Осыған қарамастан, «қара жәшік» қағидаты бойынша оқыту тәсіліне байланысты ықтимал тәуекелдер бар. Машиналық оқытудың кейбір классикалық әдістерден айырмашылығы, әсіресе модель нәтижелерін түсіндіруге болатын шешім ағаштары, сызықты емес жіктеу модельдері және терең оқыту мөлдірлікке ие емес, бұл модельдің қандай да бір шешім қабылдағанын түсінуді қиындатады. Жақында пайда болған Машиналық оқыту нәтижелерін түсіндіру модельдері бұл мәселені ішінара шешеді. Ғылыми қоғамдастықтың мақсаты-машиналық оқытудың түсінікті модельдерін (EML) құру. Бұл күш-жігердің маңызды нәтижесі-шешім қабылдауды қолдау жүйелерінде EML қолдану мүмкіндігі. Бұл жұмыс машинаны оқыту модельдерінің нәтижелерін түсіндірудің кейбір заманауи модельдерін сипаттайды және көп өлшемді шешімдерді қолдау жүйелерінде EML қолдану тәсілін сипаттайды. Сипатталған тәсілдің мәні басқару объектілері туралы мәліметтер негізінде Машиналық оқыту моделін құру және мақсатты индикаторды жақсарту үшін объектілерге әсер ету бойынша ұсыныстар жасау үшін түсініктемелерді кейіннен пайдалану болып табылады. Біз осындай жүйенің сызбасын және оны орта білім беру және денсаулық сақтау ұйымдарын басқару міндеттерінде қолдану нәтижелерінің мысалдарын келтіреміз.

Түйінді сөздер: түсіндірілетін машиналық оқыту, шешім қабылдауды қолдаудың көп өлшемшартты жүйесі, GeoAI, Шапли аддитивті түсіндірмесі (SHAP), «қара жәшіктер» түсіндірмесі.

Symagulov A.^{1,2}, Kuchin Ya.¹, Yelis M.^{1,2}, Zhumabayev A.², Abdurazakov A.²

¹Institute of Information and Computational Technologies MES RK, Almaty, Kazakhstan;

²Satbayev University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: ykuchin@mail.ru

METHODS FOR INTERPRETING MACHINE LEARNING BLACK BOXES AND THEIR APPLICATION TO DECISION SUPPORT SYSTEMS

Abstract. artificial intelligence (AI) has made great strides recently with the rapid development of machine learning technologies. Despite this, there are potential risks associated with a black-box approach to learning. Unlike some classical machine learning methods, especially decision trees, in which model results can usually be explained, nonlinear classification and especially deep learning models lack transparency, making it difficult to understand how a model made a particular decision. Recent models for explaining machine learning results partially solve this problem. The goal of the research community is to create explicable machine learning models (EMLs). An important outcome of this effort is the possibility of applying EML to decision support systems. This paper describes some state-of-the-art models for explaining the results of machine learning models and describes an approach for applying EML to multicriteria decision support systems. The essence of the approach described is to build a machine learning model based on data about control objects and then use the explanations to make recommendations for influencing the objects to improve the target. We present a scheme of such a system and examples of the results of its application in the management tasks of secondary education and health care organizations.

Keywords: explicable machine learning, multi-criteria decision support system, GeoAI, additive Shapley explanation (SHAP), black-box explanation.

Информация об авторах:

Сымагулов Адилхан – PhD студент, инженер-программист ИИВТ КН МОН РК; *asmogulove00@gmail.com*; ORCIDID: <https://orcid.org/0000-0001-9974-3215>;

Кучин Ян Игоревич – PhD студент, старший научный сотрудник ИИВТ КН МОН РК; *ykuchin@mail.ru*; ORCIDID: <https://orcid.org/0000-0002-5271-9071>;

Елис Марина – PhD студент, младший научный сотрудник ИИВТ КН МОН РК; *k.marina92@gmail.com*; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4203-800X>;

Жумабаев Акылбек – PhD студент, *akylbekz@gmail.com*; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1389-239X>;

Абдуразаков Алибек – PhD студент, *abdurazakov.Alibek13@gmail.com*; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0535-417X>.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Мухамедиев Р.И., Сымагулов А., Кучин Я., Якунин К., Елис М. (2021) От классического машинного обучения к глубоким нейронным сетям: упрощенный наукометрический обзор. Прикладные науки 11: 5541. DOI: 10.3390 / app11125541.

[2] Мухамедиев Р., Мухамедиева Е., Кучин Я. (2015) Таксономия методов машинного обучения и оценка качества классификации и обучения. Облако науки 2: 359-378.

[3] Миотто Р., Ван Ф., Ван С., Цзян Х., Дадли Дж. Т. (2018) Глубокое обучение для здравоохранения: обзор, возможности и проблемы. Брифинги по биоинформатике 19: 1236-1246. DOI: 10.1093/bib/bbx044.

[4] Лиакос К.Г., Бусато П., Мошоу Д., Пирсон С., Бохтис Д. (2018) Машинное обучение в сельском хозяйстве: обзор. Датчики 18: 2674. DOI: 10.3390/s18082674.

[5] Болл Н.М., Бруннер Р.Дж. (2010) Интеллектуальный анализ данных и машинное обучение в астрономии. Международный журнал современной физики D 19: 1049-1106. DOI: 10.1142/S0218271810017160.

[6] Кучин Я., Мухамедиев Р., Мухамедиева, Л. (2011, апрель) Интерпретация данных каротажа скважин. В 9-й Международной конференции: Информационные технологии и менеджмент: 14-15.

- [7] Кучин Я.И., Мухамедиев Р.И., Якунин К.О. (2020) Один из методов генерации синтетических данных для оценки верхнего предела производительности алгоритмов машинного обучения. *Cogent Engineering* 7: 1718821. DOI: 10.1080/23311916.2020.1718821.
- [8] Голдберг Ю. (2016) Праймеры по моделям нейронных сетей для обработки естественного языка. *Журнал исследований искусственного интеллекта* 57: 345-420. DOI: 10.1613/jair.4992.
- [9] Мухамедиев Р.И., Якунин К., Мусабаев Р., Булдыбаев Т., Кучин Я., Мурзахметов С., Елис М. (2020) Классификация негативной информации в социально значимых темах в СМИ. *Симметрия* 12: 1945. DOI: 10.3390/sym12121945.
- [10] Арриета А.Б., Диас-Родригес Н., Дель Сер Дж., Беннетот А., Табик С., Барбадо А., Гарсиа С., Хиль-Лопес С., Молина Д., Бенджаминс Р. (2020) Объяснимый Искусственный интеллект (ХАИ): концепции, таксономия, возможности и проблемы ответственного ИИ. *Информационное слияние* 58: 82-115. DOI: 10.1016 / j.inffus.2019.12.012.
- [11] Мухамедиев Р., Якунин К., Кучин Я., Сымагулов А., Булдыбаев Т., Мурзахметов С., Абдуразаков А. (2020) Использование систем объяснения «черных ящиков» машинного обучения для повышения качества обучения в школьном образовании. *Cogent Engineering* 7: 1769349. DOI: 10.1080/23311916.2020.1769349.
- [12] Рибейро М.Т., Сингх С., Гестрин К. (2016) «Почему я должен вам доверять?» Объясняя предсказания любого классификатора, Труды 22-й международной конференции ACM SIGKDD по открытию знаний и интеллектуальному анализу данных. С. 1135-1144. DOI: 10.18653/v1/N16-3020.
- [13] Лундберг С.М., Ли С.-И. (2017) Единый подход к интерпретации предсказаний модели, Труды 31-й международной конференции по нейронным системам обработки информации. С. 4768-4777.
- [14] Саати Т.Л. (1989) Групповое принятие решений и АНР, Процесс аналитической иерархии, Springer: 59-67. DOI: 10.1007 / 978-3-642-50244-6_4.
- [15] Мухамедиев Р., Якунин К., Кучин Я., Сымагулов А., Мурзахметов С., Абдуразаков А. (2020) Использование интерпретатора машинного обучения для разработки системы поддержки принятия решений. 18-я МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И УПРАВЛЕНИЕ», ISMA, Рига, Латвия: 19-20.
- [16] Елис М. и др. (2021) Объяснимое машинное обучение для задач принятия решений в сфере здравоохранения. 19-я МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И УПРАВЛЕНИЕ», Университет прикладных наук ISMA, Рига: 56-58.
- [17] Общая информация о больнице [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://data.cms.gov/provider-data/dataset/xubh-q36u>.

REFERENCES

- [1] Mukhamediev R.I., Symagulov A., Kuchin Y., Yakunin K., Yelis M. (2021) From Classical Machine Learning to Deep Neural Networks: A Simplified Scientometric Review. *Applied Sciences* 11:5541. DOI: 10.3390/app11125541.
- [2] Mukhamediev R., Mukhamedieva E., Kuchin Y. (2015) Taxonomy of Machine Learning Methods and Assessment of the Quality of Classification and Learning. *Cloud of science* 2: 359-378.
- [3] Miotto R., Wang F., Wang S., Jiang X., Dudley J.T. (2018) Deep learning for healthcare: review, opportunities and challenges. *Briefings in bioinformatics* 19:1236-1246. DOI: 10.1093/bib/bbx044.
- [4] Liakos K.G., Busato P., Moshou D., Pearson S., Bochtis D. (2018) Machine learning in agriculture: A review. *Sensors* 18:2674. DOI: 10.3390/s18082674.
- [5] Ball N.M., Brunner R.J. (2010) Data mining and machine learning in astronomy. *International Journal of Modern Physics D* 19:1049-1106. DOI: 10.1142/S0218271810017160.
- [6] Kuchin Y., Muhamedyev R., Muhamedyeva, L. (2011, April) Interpretation of log data of boreholes. In *The 9th International Conference: Information Technologies and Management*: 14-15.
- [7] Kuchin Y.I., Mukhamediev R.I., Yakunin K.O. (2020) One method of generating synthetic data to assess the upper limit of machine learning algorithms performance. *Cogent Engineering* 7:1718821. DOI: 10.1080/23311916.2020.1718821.
- [8] Goldberg Y. (2016) A primer on neural network models for natural language processing. *Journal of Artificial Intelligence Research* 57:345-420. DOI:10.1613/jair.4992.
- [9] Mukhamediev R.I., Yakunin K., Mussabayev R., Buldybayev T., Kuchin Y., Murzakhmetov S., Yelis M. (2020) Classification of Negative Information on Socially Significant Topics in Mass Media. *Symmetry* 12:1945. DOI: 10.3390/sym12121945.

- [10] Arrieta A.B., Díaz-Rodríguez N., Del Ser J., Bennetot A., Tabik S., Barbado A., García S., Gil-López S., Molina D., Benjamins R. (2020) Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion* 58:82-115. DOI: 10.1016/j.inffus.2019.12.012.
- [11] Muhamedyev R., Yakunin K., Kuchin Y., Symagulov A., Buldybayev T., Murzakhmetov S., Abdurazakov A. (2020) The use of machine learning “black boxes” explanation systems to improve the quality of school education. *Cogent Engineering* 7:1769349. DOI: 10.1080/23311916.2020.1769349.
- [12] Ribeiro M.T., Singh S., Guestrin C. (2016) “Why should i trust you?” Explaining the predictions of any classifier, *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining*. pp. 1135-1144. DOI:10.18653/v1/N16-3020.
- [13] Lundberg S.M., Lee S.-I. (2017) A unified approach to interpreting model predictions, *Proceedings of the 31st international conference on neural information processing systems*. pp. 4768-4777.
- [14] Saaty T.L. (1989) *Group decision making and the AHP, The analytic hierarchy process*, Springer:59-67. DOI:10.1007/978-3-642-50244-6_4.
- [15] Muhamedyev R., Yakunin K., Kuchin Y., Symagulov A., Murzakhmetov S., Abdurazakov A. (2020) The use machine learning interpreter for the development of decision support system. *The 18th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE INFORMATION TECHNOLOGIES AND MANAGEMENT, ISMA, Riga, Latvia*: 19-20.
- [16] Yelis M. et al. (2021) Explainable machine learning for healthcare decision-making tasks. *The 19th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE INFORMATION TECHNOLOGIES AND MANAGEMENT, ISMA University of Applied Science, Riga*: 56-58.
- [17] Hospital General Information [Electronic resource]. Access mode: <https://data.cms.gov/provider-data/dataset/xubh-q36u>.

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

- Абуова Ф.У., Инербаев Т.М., Абуова А.У., Қаптағай Г.Ә., Мерәлі Н.**
ВАНАДИЙМЕН ЛЕГИРЛЕНГЕН $Mn_2CoZ(Al/Ga)$ ҚОСПАСЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ,
ЭЛЕКТРОНДЫҚ ЖӘНЕ МАГНИТТІК ҚАСИЕТТЕРІ.....6
- Алдакулов Е., Темірбек Ә.М., Муратов М.М., Молдабеков Ж., Рамазанов Т.С.**
КРИОГЕНДІК ЖАҒДАЙДАҒЫ ТОЗАҢДЫ ПЛАЗМА БӨЛШЕКТЕРДІҢ ЖҰПТЫҚ
КОРРЕЛЯЦИЯЛЫҚ ФУНКЦИЯСЫНА ТЕРМОФОРЕТИКАЛЫҚ КҮШНІҢ ӘСЕРІ.....17
- Калжигитов Н.К., Василевский В.С., Такибаев Н.Ж., Курмангалиева В.О.**
 6Li ЯДРОСЫНДАҒЫ КЛАСТЕРЛІК ПОЛЯРИЗАЦИЯ ЭФФЕКТІЛЕРІН ЗЕРТТЕУ.....25
- Курбаниязов А.К., Сырлыбекқызы С., Джаналиева Н.Ш., Аккенжеева А.Ш., Кабылова А.Р.**
ОРТА КАСПИЙДІҢ ТЕҢІЗ АҒЫНЫН МЕН ТЕРМОХАЛИН ҚҰРЫЛЫМЫН ТІКЕЛЕЙ ӨЛШЕУ...33
- Мейрамбекұлы Н., Карибаев А.В., Темирбаев А.А.**
ЖЕРДІ БАРЛАУШЫ КІШІ ҒАРЫШ АППАРАТТАРЫНА АРНАЛҒАН АНИЗАТРОПТЫ
ФРАКТАЛДЫҢ ЕКІНШІ БУЫНЫНА НЕГІЗДЕЛГЕН КӨПДИАПАЗОНДЫ АНТЕННА.....42
- Мұсабек Г.Қ., Садықов Ғ.Қ., Бақтыгерей С.З., Задерко А.Н., Лесняк В.В.**
ТЕРМОМЕТРИЯҒА АРНАЛҒАН ФОТО ЛЮМИНЦЕНЦИЯЛЫҚ НАНОМАТЕРИАЛДАР:
КРЕМНИЙ ЖӘНЕ КӨМІРТЕКТІ НАНОБӨЛШЕКТЕР.....54

ИНФОРМАТИКА

- Джусупбекова Г.Т., Жидебаева А.Н., Изтаев Ж.Д., Шаймерденова Г.С., Тастанбекова Б.О.**
DELPHI ОРТАСЫНДА «БАНК ЖҮЙЕСІНДЕГІ НЕСИЕЛЕР МЕН ДЕПОЗИТТЕРДІ
АВТОМАТТАНДЫРУ» ЖҰМЫС ОРЫНДАРЫН ҚҰРУ.....61
- Ерасыл К., Ахметов И., Джаксылыкова А.**
KASPI ӨНІМДЕРІ ТУРАЛЫ ПІКІРЛЕРДЕГІ КӨҢІЛ-КҮЙДІ ТАЛДАУ.....68
- Мауленов Қ.С., Кудубаева С.А.**
НААР, НОГ, CNN БЕТ ДЕТЕКТОРЛАРЫН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ.....74
- Сейлова Н.А., Журынтаев Ж.З., Мамырбаев О.Ж., Батыргалиев А.Б., Тұрдалыұлы М.**
ПСЕВДО КЕЗДЕЙСОҚ ИМПУЛЬСТАР ТІЗБЕГІНІҢ САНДЫҚ ГЕНЕРАТОРЛАРЫ ЖӘНЕ
ОЛАРДЫ CAD QUARTUS II ОРТАСЫНДА FPGA КӨМЕГІМЕН МОДЕЛЬДЕУ.....83
- Сымагулов А., Кучин Я., Елис М., Жумабаев А., Абдуразаков А.**
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУДЫҢ ҚАРА ЖӘШІКТЕРІН ТҮСІНДІРУ ӘДІСТЕРІ ЖӘНЕ ШЕШІМ
ҚАБЫЛДАУДЫ ҚОЛДАУ ЖҮЙЕЛЕРІН ҚҰРУ ҮШІН ОЛАРДЫ ҚОЛДАНУ.....91
- Усатова О.А., Бегимбаева Е.Е., Нысанбаева С.Е., Усатов Н.С.**
ХЕШ ФУНКЦИЯ ӘДІСТЕРІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ ПРАКТИКАЛЫҚ ҚОЛДАНУ.....100

МАТЕМАТИКА

- Абдраманова Г.Б., Имамбек О., Белисарова Ф.Б.**
 p^7B СЕРПИМДІ ШАШЫРАУ ҚИМАСЫНЫҢ ЕСЕПТЕУЛЕРІ ҮШІН ГЛАУБЕР ТЕОРИЯНЫҢ
НЕГІЗІНДЕГІ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ФОРМАЛИЗМ.....111
- Адилова А.Қ., Жүзбаев С.С., Ахметжанова Ш.Е.**
КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛДАР ҚҰРЫЛЫМЫ ЖӘНЕ КОМПОЗИТТЕР
МЕХАНИКАСЫНЫҢ ЕСЕПТЕРІ.....119
- Иванов К.С., Тулекенова Т.Д.**
ТҮЙІСУ МЕХАНИЗІМІНІҢ БЕЙІМДЕЛГЕН ЖЕТЕГІНІҢ ДИНАМИКАСЫ.....131
- Исраилова С.Т., Муханова А.А., Сатыбалдиева А.Ж.**
ТЕҢГЕРІМДІ КӨРСЕТКІШТЕР ЖҮЙЕСІ БОЙЫНША КӘСІПОРЫННЫҢ БИЗНЕС
ПРОЦЕСТЕРІНІҢ ТИІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ АЛГОРИТМІ.....137
- Оразбаев Б.Б., Жумадиллаева А.К., Дюсекеев К.А., Сантеева С.Ә., Xiao-Guang Yue**
ЖҮЙЕЛІК ТӘСІЛДЕМЕ НЕГІЗІНДЕ ЛГ-35-11/300-95 ҚОНДЫРҒЫСЫНЫҢ БЕНЗИНДІ
РИФОРМИНГТЕУ РЕАКТОРЛАРЫНЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕРІН ҚҰРУ.....145

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

Абуова Ф.У., Инербаев Т.М., Абуова А.У., Каптагай Г.А., Мерәлі Н. СТРУКТУРНЫЕ, ЭЛЕКТРОННЫЕ И МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА $Mn_2CoZ(Al/Ga)$ ПРИ ЛЕГИРОВАНИИ ВАНАДИЕМ.....	6
Алдакулов Е., Темірбек Ә.М., Муратов М.М., Молдабеков Ж., Рамазанов Т.С. ВЛИЯНИЕ СИЛЫ АТОМНОГО УВЛЕЧЕНИЯ НА ПАРНУЮ КОРРЕЛЯЦИОННУЮ ФУНКЦИЮ ПЫЛЕВОЙ ПЛАЗМЫ В КРИОГЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	17
Калжигитов Н.К., Василевский В.С., Такибаев Н.Ж., Курмангалиева В.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ КЛАСТЕРНОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ В ЯДРЕ 6Li	25
Курбаниязов А.К., Сырлыбеккызы С., Джаналиева Н.Ш., Аккенжеева А.Ш., Кабулова А. ПРЯМОЕ ИЗМЕРЕНИЕ МОРСКОГО ТЕЧЕНИЯ И ТЕРМОХАЛИНОВОЙ СТРУКТУРЫ СРЕДНЕГО КАСПИЯ.....	33
Мейрамбекұлы Н., Карибаев Б.А., Темирбаев А.А. МНОГОДИАПАЗОННАЯ АНТЕННА НА БАЗЕ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ АНИЗОТРОПНОГО ФРАКТАЛА ДЛЯ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И НАБЛЮДЕНИЯ ЗЕМЛИ.....	42
Мусабек Г.К., Садыков Г.К., Бактыгерей С.З., Задерко А.Н., Лесняк В.В. ФОТОЛЮМИНЦЕНТНЫЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕРМОМЕТРИИ: КРЕМНИЙ И УГЛЕРОДНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ.....	54

ИНФОРМАТИКА

Джусупбекова Г.Т., Жидебаева А.Н., Изтаев Ж.Д., Шаймерденова Г.С., Тастанбекова Б.О. СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ РАБОЧИХ МЕСТ ДЛЯ «КРЕДИТОВАНИЕ И ДЕПОЗИТЫ В БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЕ» В СРЕДЕ DELPHI.....	61
Ерасыл К., Ахметов И., Джаксылыкова А. ТОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОТЗЫВОВ О ТОВАРАХ KASPI.....	68
Мауленов Қ.С., Кудубаева С.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДЕТЕКТОРОВ ЛИЦ HAAR, HOG, CNN.....	74
Сейлова Н.А., Джурунтаев Д.З., Мамырбаев О.Ж., Батыргалиев А.Б., Тұрдалыұлы М. ЦИФРОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСОВ И ИХ МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЛИС В СРЕДЕ САПР QUARTUSII.....	83
Сымагулов А., Кучин Я., Елис М., Жумабаев А., Абдуразаков А. МЕТОДЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЧЕРНЫХ ЯЩИКОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ.....	91
Усатова О.А., Бегимбаева Е.Е., Нысанбаева С.Е., Усатов Н.С. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ХЕШ-ФУНКЦИЙ.....	100

МАТЕМАТИКА

Абдраманова Г.Б., Имамбек О., Белисарова Ф.Б. МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФОРМАЛИЗМ ДЛЯ РАСЧЕТОВ СЕЧЕНИЯ УПРУГОГО p^7Be -РАССЕЯНИЯ В РАМКАХ ТЕОРИИ ГЛАУБЕРА.....	111
Адилова А.К., Жузбаев С.С., Ахметжанова Ш.Е. СТРУКТУРА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА И ЗАДАЧИ МЕХАНИКИ КОМПОЗИТОВ..	119
Иванов К.С., Тулекенова Т.Д. ДИНАМИКА АДАПТИВНОГО ПРИВОДА СТЫКОВОЧНОГО МЕХАНИЗМА.....	131
Исраилова С.Т., Муханова А.А., Сатыбалдиева А.Ж. СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СБАЛАНСИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ.....	137
Оразбаев Б.Б., Жумадилаева А.К., Дюсекеев К.А., Сантеева С.А., Xiao-Guang Yue РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РЕАКТОРОВ РИФОРМИНГА БЕНЗИНА УСТАНОВКИ ЛГ-35-11/300-95 НА ОСНОВЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА.....	145

CONTENTS

PHYSICS

Abuova F., Inerbaev T., Abuova A., Kaptagay G., Merali N. STRUCTURAL, ELECTRONIC AND MAGNETIC PROPERTIES OF VANADIUM DOPED Mn ₂ CoZ(Al/Ga).....	6
Aldakulov Ye., Temirbek A.M., Muratov M.M., Moldabekov Z., Ramazanov T.S. INFLUENCE OF THE NEUTRAL SHADOWING FORCE ON THE PAIR CORRELATION FUNCTION OF THE DUSTY PLASMA UNDER CRYOGENIC CONDITIONS.....	17
Kalzhitov N., Vasilevsky V.S., Takibayev N. Zh., Kurmangaliyeva V.O. A STUDY OF THE EFFECTS OF CLUSTER POLARIZATION IN THE 6Li NUCLEUS.....	25
Kurbaniyazov A.K., Syrlybekkyzy S., Janaliyeva N.Sh., Akkenzheyeva A., Kabylova A. DIRECT MEASUREMENT OF SEA CURRENTS AND THERMOHALINE STRUCTURE OF THE MIDDLE CASPIAN.....	33
Meirambekuly N., Karibayev B.A., Temirbayev A.A. MULTI-BAND ANTENNA BASED ON THE SECOND GENERATION OF ANISOTROPIC FRACTAL FOR SMALL REMOTE SENSING AND EARTH OBSERVING SPACECRAFTS.....	42
Mussabek G.K., Sadykov G.K., Baktygeray S.Z., Zaderko A.N. Lisnyak V.V. PHOTOLUMINESCENT NANOMATERIALS FOR THERMOMETRY: SILICON AND CARBON NANOPARTICLES.....	54

COMPUTER SCIENCE

Jussupbekova G.T., Zhidebayeva A.N., Iztayev Zh.D., Shaimerdenova G.S., Tastanbekova B.O. CREATION OF AUTOMATED JOBS FOR "LOANS AND DEPOSITS IN THE BANKING SYSTEM" IN THE DELPHI ENVIRONMENT.....	61
Yerassyl K., Akhmetov I, Jaxylykova A. SENTIMENT ANALYSIS OF KASPI PRODUCT REVIEWS.....	68
Maulenov K.S., Kudubaeva S.A. COMPARATIVE ANALYSIS OF FACE DETECTORS HAAR, HOG, CNN.....	74
Seilova N.A., Dzhuruntaev D.Z., Mamyrbayev O.Zh., Batyrgaliev A.B., Turdalyuly M. DIGITAL GENERATORS OF A PSEUDORANDOM PULSES SEQUENCE AND THEIR MODELING WITH USE OF FPGA IN THE ENVIRONMENT CAD QUARTUS II.....	83
Symagulov A., Kuchin Ya., Yelis M., Zhumabayev A., Abdurazakov A. METHODS FOR INTERPRETING MACHINE LEARNING BLACK BOXES AND THEIR APPLICATION TO DECISION SUPPORT SYSTEMS.....	91
Ussatova O., Begimbayeva Ye., Nyssanbayeva S., Ussatov N. ANALYSIS OF METHODS AND PRACTICAL APPLICATION OF HASH FUNCTIONS.....	100

MATHEMATICS

Abdramanova G.B., Imambek O., Belisarova F.B. MATHEMATICAL FORMALISM FOR CALCULATIONS OF THE ELASTIC p ₇ Be SCATTERING CROSS SECTION IN THE FRAMEWORK OF GLAUBER THEORY.....	111
Adilova A.K., Zhuzbayev S.S., Akhmetzhanova S.E. COMPOSITE MATERIAL STRUCTURE AND PROBLEMS OF COMPOSITE MECHANICS.....	119
Ivanov K.S., Tulekenova T.D. DYNAMICS OF THE ADAPTIVE DRIVE OF THE DOCKING MECHANISM.....	131
Israilova S., Mukhanova A., Satybaldiyeva A. MODERN METHODS FOR EVALUATING BUSINESS PROCESSES OF AN ENTERPRISE USING A BALANCED SCORECARD.....	137
Orazbayev B., Zhumadillayeva A., Dyussekeyev K., Santeyeva S., Xiao-Guang Yue DEVELOPMENT MATHEMATICAL MODELS OF PETROL REFORMING REACTORS OF THE LG-35-11 / 300-95 INSTALLATION BASED ON A SYSTEM APPROACH.....	145

**Publication Ethics and Publication Malpractice in
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)**

Редакторы: *М.С. Ахметова, А. Ботанқызы, Д.С. Аленов, Р.Ж. Мрзабаева*
Верстка на компьютере *Г.Д. Жадыранова*

Подписано в печать 15.10.2021.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
4,6 п.л. Тираж 300. Заказ 5.