

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
Казахский национальный
университет имени аль-Фараби

N E W S

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

**SERIES
PHYSICO-MATHEMATICAL**

3 (343)

JULY – SEPTEMBER 2022

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

БАС РЕДАКТОР:

МУТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҚҰО ақпараттық және есептеу технологиялар институтының бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

РЕДАКЦИЯ АЛҚАСЫ:

КАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҚҰО ақпараттық және есептеу технологиялар институты бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), **Н=7**

МАМЫРБАЕВ Өркен Жұмажанұлы (ғалым хатшы), Ақпараттық жүйелер саласындағы техника ғылымдарының (PhD) докторы, ҚР БҒМ ҚҰО ақпараттық және есептеу технологиялар институты директорының ғылым жөніндегі орынбасары (Алматы, Қазақстан), **Н=5**

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

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

СМОЛАРЖ Анджей, Люблин политехникалық университетінің электроника факультетінің доценті (Люблин, Польша), **Н=17**

ӘМІРҒАЛИЕВ Еділхан Несіпханұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Жасанды интеллект және робототехника зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), **Н=12**

КИЛАН Әлімхан, техника ғылымдарының докторы, профессор (ғылым докторы (Жапония), ҚР БҒМ ҚҰО ақпараттық және есептеу технологиялар институтының бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), **Н=6**

ХАЙРОВА Нина, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР БҒМ ҚҰО ақпараттық және есептеу технологиялар институтының бас ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), **Н=4**

ОТМАН Мохаммед, PhD, Информатика, коммуникациялық технологиялар және желілер кафедрасының профессоры, Путра университеті (Селангор, Малайзия), **Н=23**

НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебұланқызы, техника ғылымдарының докторы, доцент, ҚР БҒМ ҚҰО ақпараттық және есептеу технологиялар институтының аға ғылыми қызметкері (Алматы, Қазақстан), **Н=3**

БИЯШЕВ Рустам Гакашевич, техника ғылымдарының докторы, профессор, Информатика және басқару мәселелері институты директорының орынбасары, Ақпараттық қауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Қазақстан), **Н=3**

КАПАЛОВА Нұрсұлу Алдажарқызы, техника ғылымдарының кандидаты, ҚР БҒМ ҚҰО ақпараттық және есептеу технологиялар институтының киберқауіпсіздік зертханасының меңгерушісі (Алматы, Қазақстан), **Н=3**

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

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь Ұлттық Ғылым академиясының академигі (Минск, Беларусь), **Н=2**

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

«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: *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/>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2022
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 МНВО 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 МНВО РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан), **Н=7**

МАМЫРБАЕВ Оркен Жумажанович, (ученый секретарь), доктор философии (PhD) по специальности «Информационные системы», заместитель директора по науке РГП «Институт информационных и вычислительных технологий» Комитета науки МНВО РК (Алматы, Казахстан), **Н=5**

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

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

СМОЛАРЖ Анджей, доцент факультета электроники Люблинского политехнического университета (Люблин, Польша), **Н=17**

АМИРГАЛИЕВ Едилхан Несипханович, доктор технических наук, профессор, академик Национальной инженерной академии РК, заведующий лабораторией «Искусственного интеллекта и робототехники» (Алматы, Казахстан), **Н=12**

КЕЙЛАН Алимхан, доктор технических наук, профессор (Doctor of science (Japan)), главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), **Н=6**

ХАЙРОВА Нина, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), **Н=4**

ОТМАН Мохамед, доктор философии, профессор компьютерных наук, Департамент коммуникационных технологий и сетей, Университет Путра Малайзия (Селангор, Малайзия), **Н=23**

НЫСАНБАЕВА Сауле Еркебулановна, доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), **Н=3**

БИЯШЕВ Рустам Гакашевич, доктор технических наук, профессор, заместитель директора Института проблем информатики и управления, заведующий лабораторией информационной безопасности (Казахстан), **Н=3**

КАПАЛОВА Нурсулу Алдажаровна, кандидат технических наук, заведующий лабораторией кибербезопасности РГП «Института информационных и вычислительных технологий» КН МНВО РК (Алматы, Казахстан), **Н=3**

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**

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

«Известия НАН РК. Серия физика-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: *серия 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/>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2022
Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Chief Editor:

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, acting General Director of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), **H=5**

EDITORIAL BOARD:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of the CS MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan), **H = 7**

Mamyrbayev Orken Zhumazhanovich, (Academic Secretary), PhD in Information Systems, Deputy Director for Science of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), **H = 5**

BAIGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabaevich, 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 Technical Sciences (Phys.-Math.), Professor of the Lublin University of Technology (Lublin, Poland), **H=23**

SMOLARJ Andrej, Associate Professor Faculty of Electronics, Lublin polytechnic university (Lublin, Poland), **H= 17**

AMIRGALIEV Edilkhan Nesipkhanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Head of the Laboratory of Artificial Intelligence and Robotics (Almaty, Kazakhstan), **H= 12**

KEILAN Alimkhan, Doctor of Technical Sciences, Professor (Doctor of science (Japan)), chief researcher of Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), **H= 6**

KHAIROVA Nina, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher of the Institute of Information and Computational Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), **H= 4**

OTMAN Mohamed, PhD, Professor of Computer Science Department of Communication Technology and Networks, Putra University Malaysia (Selangor, Malaysia), **H= 23**

NYSANBAYEVA Saule Yerkebulanovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), **H= 3**

BIYASHEV Rustam Gakashevich, doctor of technical sciences, professor, Deputy Director of the Institute for Informatics and Management Problems, Head of the Information Security Laboratory (Kazakhstan), **H= 3**

KAPALOVA Nursulu Aldazharovna, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory cyber-security, Institute of Information and Computing Technologies CS MES RK (Almaty, Kazakhstan), **H=3**

KOVALYOV Alexander Mikhailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Applied Mathematics and Mechanics (Donetsk, Ukraine), **H=5**

MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Belarus), **H=2**

TIGHINEANU Ion Mihailovich, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Academician, President of the Academy of Sciences of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), **H=42**

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: *series 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/>

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2022

Address of printing house: ST «Aruna», 75, Muratbayev str, Almaty.

**М.О. Ногайбаева^{1*}, Б. Ахметов¹, Дж.Дж. Расулзаде², Е.А. Максум¹,
С. Рустамов²**

¹Сатпаев Университет, Казахстан, Алматы;

²Университет АДА, Азербайджан, Баку.

E-mail: mnogaiabayaeva@gmail.com

УСКОРЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ U-NET

Аннотация. На каждом этапе истории одной из актуальных проблем в инженерии и строительной отрасли было снижение стоимости материалов или веса для любого решения. Более легкие изделия (мечи, доспехи и т.д.) означали эффективность для пользователя, а также снижение стоимости означало удешевление производства. На протяжении всей инженерной истории топологическая оптимизация разрабатывалась для достижения желаемых результатов и была научно внедрена примерно в 18 веке. В настоящее время используются два наиболее известных алгоритма топологической оптимизации: Упрощенный изотропный материал с пенализацией (SIMP) или двунаправленная эволюционная структурная оптимизация (BESO). Поскольку SIMP обычно используется исследователями и имеет реализации в готовых инструментах, таких как SolidWorks, в этой статье основное внимание будет уделено этой методологии. Цель этой статьи - попытаться повысить общую эффективность, поскольку даже для простой 2D-модели обработка алгоритма оптимизации SIMP может занять более 10 минут. Было предложено два способа ускорить алгоритм при сохранении его точности: частично и полностью использовать модели глубокого обучения. Для первой модели алгоритм SIMP использовался для более ранних итераций, а затем задание было передано моделям глубокого обучения. В качестве второго предложения была предпринята попытка использовать тот же алгоритм, только с

использованием моделей глубокого обучения. В обоих случаях общее время выполнения было успешно сокращено при сохранении точности алгоритма.

Ключевые слова: топологическая оптимизация, метод конечных элементов, ускорение вычислений, SIMP, сверточная нейронная сеть.

**М.О. Ногайбаева^{1*}, Б. Ахметов¹, Дж.Дж. Расулзаде², Е.А. Максум¹,
С. Рустамов²**

¹Сәтбаев университеті, Қазақстан, Алматы;

²АДА университеті, Әзірбайжан, Баку.

E-mail: mnogaibayeva@gmail.com

U-NET КОНВОЛЮЦИЯЛЫҚ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ НЕГІЗІНДЕ ТОПОЛОГИЯЛЫҚ ОҢТАЙЛАНДЫРУДЫҢ ЕСЕПТЕУ ПРОЦЕСІН ЖЕДЕЛДЕТУ

Аннотация. Тарихтың әр кезеңінде кез-келген шешім үшін материалдардың құнын немесе салмағын төмендету инженерия және құрылыс саласындағы өзекті мәселелердің бірі болды. Әлдеқайда жеңіл бұйымдар (кылыштар, қару-жарақтар және т.б.) пайдаланушы үшін тиімділігін, сондай-ақ құнын төмендету өндірісті арзандатуды білдіреді. Инженерлік тарих бойында топологиялық оңтайландыру қажетті нәтижелерге қол жеткізу үшін жасалды және шамамен 18 ғасырда ғылыми түрде енгізілді. Қазіргі уақытта топологиялық оңтайландырудың әлдеқайда танымал екі алгоритмі қолданылады: жеңілдетілген изотропты материал (SIMP) немесе екі бағытты эволюциялық құрылымдық оңтайландыру (BESO). SIMP әдетте зерттеушілермен қолданылып және SolidWorks сияқты дайын құралдарда жүзеге асырылатын болғандықтан, осы мақалада осы әдіснамаға басты назар аударылады. Бұл мақаланың мақсаты - қарапайым 2D моделі үшін SIMP оңтайландыру алгоритмін өңдеу 10 минуттан астам уақытты алатындықтан, жалпы тиімділікті арттыруға тырысу болып табылады. Алгоритмнің дәлдігін сақтай отырып, оны жеделдетудің екі әдісі ұсынылды: терең оқыту модельдерін ішінара және толық пайдалану. Бірінші модель үшін SIMP алгоритмі бұрынғы итерациялар үшін қолданылды, содан кейін тапсырма терең оқыту модельдеріне берілді. Екінші ұсыныс ретінде тек терең оқыту модельдерін қолдана отырып

сол алгоритмді қолдануға әрекет жасалды. Екі жағдайда да алгоритмнің дәлдігін сақтай отырып, жалпы жұмыс уақыты сәтті қысқартылды.

Түйін сөздер: топологиялық оңтайландыру, соңғы элементтер әдісі, есептеулерді жеделдету, SIMP, конвульсиялық нейрондық желі.

**M. Nogaibayeva^{1*}, B. Akhmetov¹, J. Rasulzade², Y. Maksim¹,
S. Rustamov²**

¹Satbayev University, Kazakhstan, Almaty;

²ADA University, Azerbaijan, Baku.

E-mail: *mnogaibayeva@gmail.com*

ACCELERATION OF THE COMPUTATIONAL PROCESS OF TOPOLOGICAL OPTIMIZATION BASED ON THE CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK U-NET

Abstract. At every point in history, one of the actual problems in the engineering and construction industry was reducing the cost of materials or weight for any solution. Lighter products (swords, armor, etc.) meant efficiency for the user, and also reduction in cost meant cheaper production. Throughout engineering history, topology optimization was developed to achieve desired results and was scientifically introduced around the 18th century. Right now, there are two of the most famous topology optimization algorithms that are used: Simplified Isotropic Material with Penalization (SIMP) or Bi-directional evolutionary structural optimization (BESO). As SIMP is commonly used by researchers and has implementations in ready tools such as SolidWorks, this paper will mainly focus on this methodology. The goal of this paper is to try to improve overall efficiency, as, for even a simple 2D model, the SIMP optimization algorithm can take over 10 minutes to process. Two ways were proposed to make the algorithm faster while keeping its accuracy: partly and fully using deep learning models. For the first model, the SIMP algorithm was used for earlier iterations, and then the job was passed to deep learning models. As a second proposition, it was tried to use the same algorithm only using deep learning models. In both cases, overall time execution was successfully reduced, while preserving the accuracy of the algorithm.

Key words: topological optimization, finite element method, acceleration of calculations, SIMP, convolutional neural network.

Введение. Топологическая оптимизация (ТО) – это метод оптимизации распределения материала в пределах рассматриваемого пространства для заданного набора нагрузок и граничных условий. Целью ТО является определение оптимального распределения материала в проектной области. Данный метод основан на повторяющихся шагах анализа и обновления дизайна (Sigmund et al., 2013).

Топологическая оптимизация обычно достигается с помощью численных расчетов, где область проектирования дискретизируется конечными элементами. Другими словами, метод конечных элементов (МКЭ) является основным числовым инструментом. Топологическая оптимизация на основе МКЭ классифицируется как топологии изотропно-твердый / пустой (ИТП), анизотропно-твердый / пустой (АТП) и изотропно-твердый / пустой / пористый (ИТПП). Среди них наиболее важным классом является ИТП, где элементы МКЭ считаются либо заполненными выбранным изотропным материалом, либо не содержащими какого-либо материала. На самом деле применение твердых конструкций на основе изотропных материалов широко распространено во всех отраслях обрабатывающей промышленности и строительства. Точно так же 3D-печать структур с использованием одного материала является наиболее надежной, поскольку более прочная связь между печатными слоями легче достичь по сравнению с подходом с несколькими материалами.

Задачу ТО можно описать как поиск распределения материала, которое минимизирует целевую функцию F при ограничении объема. Распределение материала описывается переменной плотности $\rho(x)$, которая может принимать значение 0 (пустота) или 1 (твердый материал) в любой точке проектной плоскости Ω . Задача оптимизации может быть записана в математической форме как (Kozhnik et al., 2017):

$$\begin{aligned} \text{мин: } F &= F(u(\rho), \rho) = \int_{\Omega} f(u(\rho), \rho) dV \\ x & \\ \text{подвергается: } G_0(\rho) &= \int_{\Omega} \rho(x) dV - V_0 \leq 0 \\ :G_i(u(\rho), \rho) &\leq 0, \quad i = 1, \dots, M \\ : \rho(x) &= 0 \text{ or } 1, \quad \forall x \in \Omega \end{aligned} \quad (1)$$

где u соответствует уравнению состояния. Для простоты дальнейших обозначений мы здесь предполагаем, что целевая функция может быть вычислена как интеграл по локальной функции $f(u(\rho), \rho)$. Также, в связи с тем, что в реальных условиях имеются несколько ограничений, в общую формулировку включены M дополнительных ограничений.

Основная задача оптимизации топологии (1) может быть решена двумя способами: либо как задача оптимизации формы, либо как подход плотности (узловые или поэлементные плотности). Эти два подхода можно также назвать лагранжевым (граница следует за сеткой) и эйлеровым (фиксированная сетка) соответственно.

До настоящего времени было разработано несколько методов для решения задач ТО: плотностный подход (density approach), подход с набором уровней (level-set approach), подход фазового поля (phase field approach) и дискретные подходы. Имеется несколько работ, в которых сравнивают преимущества и недостатки каждого из этих методов с точки зрения их вычислительной эффективности (Munk et al., 2015; Rozvany, 2009; Deaton et al., 2014; Sigmund et al., 2013). Среди них метод плотностный подход, и, в частности, метод SIMP (твердый изотропный материал с пениализацией) обычно используется исследователями / инженерами и включен в коммерческие программные обеспечения, такие как SolidWorks / COMSOL / ANSYS и так далее. Также метод SIMP получил широкое применение в аддитивных технологиях (технологии 3D-печати) (Kozhnik et al., 2017). Таким образом, обычная задача ТО на основе подхода SIMP, где цель состоит в том, чтобы минимизировать степень соответствия (то есть максимизировать жесткость конструкции), может быть записана как (Sigmund et al., 2001):

$$\begin{aligned} \text{МИН: } C(x) &= U^T K U = \sum_{e=1}^N (x_e)^p u_e^T k_0 u_e \\ \text{X} & \\ \text{подвергается: } \frac{V(x)}{V_0} &= f & (2) \\ \text{:} KU &= F \\ \text{:} 0 < x_{\min} \leq x \leq 1 & \end{aligned}$$

где C - целевая функция; U и F - векторы глобального смещения и силы соответственно; K - матрица глобальной жесткости; u_e и k_e - вектор смещения элемента и матрица жесткости соответственно; x - вектор проектных переменных; x_{\min} - вектор минимальных относительных плотностей (ненулевой, чтобы избежать сингулярности); N - количество элементов МКЭ, p - мощность штрафа, $V(x)$ и - объем материала и объем расчетной области соответственно, а f - предписанная доля объема.

Задача оптимизации может быть решена с использованием различных итерационных методов, таких как метод критериев оптимальности

(OC), метод последовательного линейного программирования (SLP) или метод перемещения асимптот (MMA), (Svanberg, 1987). Любой из этих методов требует значительного вычислительного времени. В качестве примера можно рассмотреть ТО симметричной половины Messerschmitt-Bölkow-Blohm (MBB) как показано на рисунке 1. Результаты, полученные на основе метода MMA, показывают, что общий контур/форма возможной структуры достигается после 13 итераций, в то время как для получения окончательного точно настроенного двоичного результата требуются дополнительные 67 итераций.



Рисунок 1 – Пример луча MBB: а) область проектирования, граничные условия; и б) промежуточные и окончательные результаты ТО на основе метода SIMP для элементов МКЭ размером 120×40

Более того, в последнее десятилетие техника ТО была значительно усовершенствована (Sigmund et al., 2013), и ее применение для решения сложных задач заметно расширилось (Lundgaard et al., 2018). Такие задачи, как улучшение теплопередачи (Wadbro et al., 2009; Dbouk, 2017), взаимодействие жидкости и конструкции (Neofytou et al., 2021), термоупругое поведение конструкции (Gao et al., 2016) и улучшение геометрии электротермомеханических приводов (Ramírez-Gil et al., 2016; Ramírez-Gil et al., 2021) были численно дискретизированы в трехмерных областях и оптимизированы с использованием ТО для повышения производительности. Изучение задач с несколькими взаимодействующими физическими свойствами в трехмерных измерениях приводит к заметному повышению вычислительной сложности, и, следовательно, увеличению времени вычислений задач ТО.

Существует несколько методов для решения данной проблемы. Одними из них являются параллельные вычисления разработанные, как и для центральных процессоров (ЦПУ) (Mahdavi et al., 2006; Vemaganti et al., 2005; Borrvall et al., 2001), так и для графических процессоров (ГПУ) (Suresh et al., 2010; Schmidt et al., 2011; Zegard et al., 2013). Так же, с появлением технологий искусственного интеллекта

(ИИ) и платформ ИИ с открытым исходным кодом, применение методов машинного обучения (МО) в передовых производственных процессах значительно расширилось (Paraskevoudis et al., 2020; Johnson et al., 2020). Такая тенденция заметна и в области ТО, где с помощью обученных нейронных сетей прогнозируются структурная топология и такие свойства, как прочность, модуль упругости, поля деформаций и напряжений (Wang et al., 2021; Sosnovik et al., 2019; Guo et al., 2021). Данная работа посвящена ускорению ТО методом МО с использованием архитектуры U-net.

Архитектура U-net. Основная идея. U-net — это особый тип сверточной нейронной сети, который был представлен факультетом компьютерных наук Фрайбургского университета, и предназначен для решения задач связанных с сегментацией изображений. Он состоит из двух основных стадий: свертка и развертка. На каждом шаге первой стадии (свертки) модель генерирует N уменьшенных (сжатых или свертанных) отфильтрованных версий изображения, причем при каждом шаге количество фильтров будет увеличиваться вдвое. Последующая стадия (развертка) представляет собой обратную версию свертки. На каждом шаге данной стадии изображения будут увеличиваться в размере и фильтроваться, причем начальное количество фильтров соответствует конечному количеству фильтров 1-й стадии, также количество фильтров уменьшается вдвое при каждом шаге. Ключевым действием в этой модели является сохранение и передача промежуточных изображений со стадии свертки на развертку, причем результат первого шага свертки будет использоваться в последнем шаге развертки, второй – в предпоследнем и т.д. Конечным решением данной задачи является изображение размером, соответствующим с первоначальным.

Промежуточные этапы, слои: Как было указано выше, U-net является особым типом сверточной нейронной сети, которая состоит из следующих слоев: свертки (convolution), уменьшения (pooling), отсева (dropout) и увеличения (up-sampling).

Сверточный слой представляет собой набор карт (набор матриц) с обучаемыми фильтрами (в разных источниках его называют по-разному: сканирующее ядро или синаптическое ядро), которые имеют небольшое рецептивное поле, но проходят на всю глубину входного объема. В рамках данного эксперимента на каждом шаге свертки количество фильтров с активационной функцией ReLU (Rectified Linear Unit) будет увеличиваться вдвое с начальным количеством

равным шестнадцати. Далее, на каждом шаге развертки количество фильтров будет уменьшаться вдвое. Последний набор из шестнадцати отфильтрованных изображений будет отфильтрован в последний раз с функцией активации сигмоид.

Слой уменьшения — это выборочный процесс дискретизации, целью которого является уменьшение разрешения входной матрицы. В рамках этого эксперимента для выделения области были использованы горизонтальные и вертикальные шаги равные двум ($N = 2$, $M = 2$), также максимальное значение каждой области было присвоено полученной матрице.

$$f'(x, y) = [f(N * x + i, M * y + j)]$$

Слой отсева — метод регуляризации, используемый в искусственных нейронных сетях для предотвращения переобучения. По сути, он обнуляет случайные значения во входном наборе данных и увеличивает эффективность алгоритмов машинного обучения.

$$w'_j = \{w_j, c P(c) \text{ , иначе } 0$$

$P(c)$ – вероятность сохранения матрицы
 w_j – первоначальная матрица до отсева
 w'_j – матрица после отсева

Слой увеличения – это процесс увеличения ширины и длины входной матрицы в N и M раз соответственно. В экспериментах данная матрица заполнялась по следующей формуле, где $N=2$, $M=2$:

$$f'(x, y) = f\left(\text{int}\left(\frac{x}{N}\right), \text{int}\left(\frac{y}{M}\right)\right),$$

где $f'(x, y)$ - полученная матрица, $f(x, y)$ - первоначальная матрица

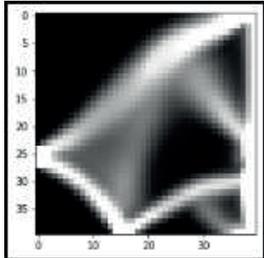
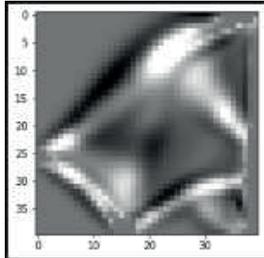
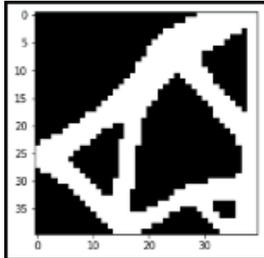
Материалы и методы исследования. Первая стадия: Свертка. Архитектура первой стадии соответствует обычной архитектуре сверточной нейронной сети. Она состоит из нескольких чередующихся шагов, которые условно обозначают глубину модели. Входными данными первого шага являются два изображения: N -ная итерация SIMP-а и разница между N -ным и предыдущим изображением. Каждый шаг начинается с применения двух повторных сверток с ядрами 3×3 с увеличивающимся количеством фильтров и активационной функцией ReLU, с промежуточным слоем отсева в 10%. Далее следует слой уменьшения с шагом 2×2 . В данном эксперименте начальное количество

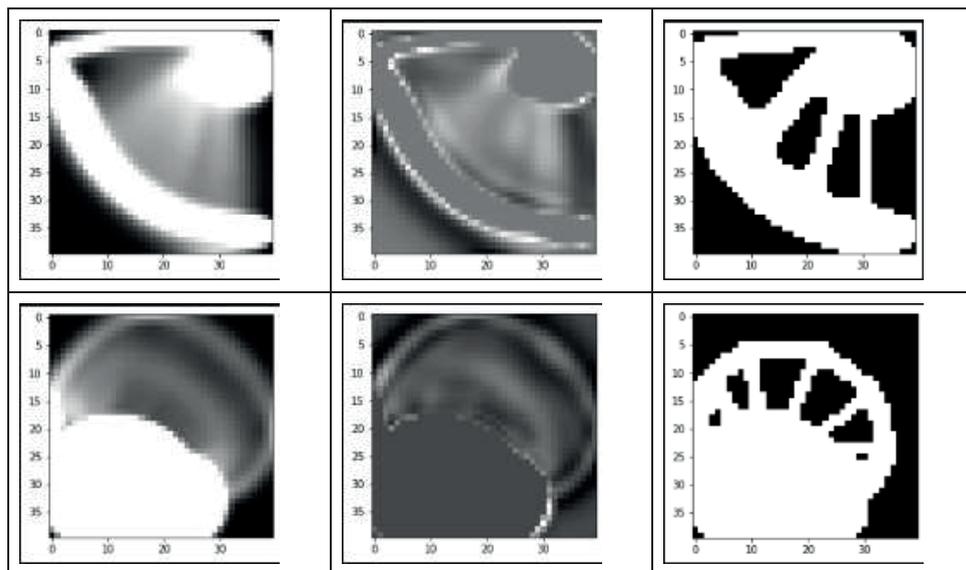
фильтров было взято за 16 и для каждого шага оно увеличивалось вдвое. Также конечный результат каждого шага сохраняется для передачи в следующую стадию.

Вторая стадия: Развертка. Стадия развертки (вторая стадия) является обратной к первой стадии и отличается тем, что в качестве входных данных для каждого шага, помимо полученных данных используются данные, ранее сохранённые в стадии свёртки. При каждом шаге происходят две повторные свертки 3×3 с уменьшающимся количеством фильтров и активационной функцией ReLU, с промежуточным слоем отсева в 10%. Далее следует слой увеличения с коэффициентом равным двум по вертикали и горизонтали. После 4-й, финальной итераций, полученный результат проходит через последний слой свертки с единственным фильтром и активационной функцией сигмоид. После округления полученного результата мы получаем бинарное изображение с первоначальным разрешением, где 0 соответствует пустоте, а 1 материалу.

Данные. Для реализации вышеописанной модели необходимы изображения итераций SIMP модели вместе с ожидаемым результатом. Были использованы синтетические данные, созданные И. Сосновиком и И. Оселедетом (Sosnovik et al., 2022) с использованием автоматического вычислителя 2D и 3D топологий SIMP Topu (Hunter et al., 2017), который находится в открытом доступе. В итоге было сгенерировано и использовано 10 000 мнимых задач, также для каждой задачи было сгенерировано 100 итераций SIMP наряду с ожидаемым результатом. В таблице 1 показаны 3 примера входных данных для N-ной итерации, градиент (разница N-ной итераций с предыдущей), и ожидаемый результат.

Таблица 1 – Входные данные.

N-ная итерация SIMP	Градиент	Ожидаемый результат
		



Метод оценки. Одним из распространенных применений машинного обучения является выполнение бинарной идентичности, которая просматривает входные данные и предсказывает, к какому из двух возможных классов они принадлежат. Практическое использование включает анализ настроений, обнаружение спама и обнаружение мошенничества с кредитными картами. Такие модели обучаются с помощью наборов данных, помеченных 1 и 0, представляющих два класса, используют популярные алгоритмы обучения, такие как логистическая регрессия и наивный байесовский алгоритм, и часто строятся с помощью библиотек глубокого обучения.

Бинарная идентичность. Данный способ оценки проверяет идентичность каждого пикселя изображения. Условно он будет обозначаться β и, учитывая, что каждый пиксель изображения имеет множество значений состоящих из двух цифр (ноль для обозначения пустоты и один для обозначения материала), будет вычисляться согласно формуле:

$$\beta = \frac{\omega_{00} + \omega_{11}}{n_0 + n_1}$$

Коэффициент Жаккара либо же отношение пересечения к объединению будет использоваться для вычисления уровня перекрытия предугаданного изображения с истинным.

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$$

Благодаря тому, что имеется всего два интересующих класса мы можем модифицировать оригинальную формулу и привести ее к следующему виду:

$$K = 0.5 * \left[\frac{\omega_{00}}{n_0 + \omega_{10}} + \frac{\omega_{11}}{n_1 + \omega_{01}} \right]$$

Во всех вышеперечисленных формулах, ω_{tp} это количество экземпляров класса t предугаданных как класс p , а n_x это суммарное количество экземпляров класса x в исходном изображении.

Результаты и обсуждения. В качестве примера рассмотрим ТО балки Мессершмитта-Белькова-Блома (МВВ). С помощью методов глубокого обучения уменьшается объемная доля балки МВВ.

На начальном этапе исследования были проведены два эксперимента с определения действия глубины на модели. Для более полной характеристики рассматриваемого вопроса были изучены две различные глубины разного размера: в первом эксперименте использовалась глубина – 3, а во втором максимальная – 4. Максимальная глубина ограничена разрешением изображения и на одну единицу меньше минимального логарифма разрешения по основанию два. Для данного случая (40x40) эта величина равна четырем.

Также каждый эксперимент имеет четыре раздела, где исследуется эффективность выбора начальных данных. Для этого наряду с равномерным распределением было использовано распределение Пуассона. Следует отметить, что распределение Пуассона было взято с тремя различными коэффициентами 5, 10, 30 и для каждого коэффициента были проведены эксперименты. В таблице 2 даны основные начальные параметры всех моделей. Как видно из таблицы, были проведены 8 эксперимента, 4 эксперимента с глубиной равной 3, и ещё 4 эксперимента с глубиной 4.

Таблица 2 – Начальные параметры модели.

№	Распределение	Глубина	Оптимизатор	Количество фильтров
1	Равномерное [1-100]	3	Адам	16, 32, 64, 64, 32, 16
2	Пуассон (5)	3	Адам	16, 32, 64, 64, 32, 16
3	Пуассон (10)	3	Адам	16, 32, 64, 64, 32, 16

№	Распределение	Глубина	Оптимизатор	Количество фильтров
4	Пуассон (30)	3	Адам	16, 32, 64, 64, 32, 16
5	Равномерное [1-100]	4	Адам	16, 32, 64, 128, 128, 64, 32, 16
6	Пуассон (5)	4	Адам	16, 32, 64, 128, 128, 64, 32, 16
7	Пуассон (10)	4	Адам	16, 32, 64, 128, 128, 64, 32, 16
8	Пуассон (30)	4	Адам	16, 32, 64, 128, 128, 64, 32, 16

Результаты начальных параметров каждого из экспериментов, а также, какие данные были использованы, и как модель была построена – представлены в таблице 3. Вследствие чего мы получили 8 различных моделей из 8 различных экспериментов. Каждая модель была оценена с помощью различных итераций SIMP. Таким образом, в данном эксперименте были выбраны итерации SIMP с 5-го по 80-го, с интервалом в 5 итераций. Для получения удовлетворительной средней точности в 94% было достаточно 5/10 итераций. Подводя промежуточные итоги, хотелось бы отметить, что каждая из этих итераций была проверена с помощью представленной модели.

Таблица 3 – Результаты эксперимента с глубиной в три слоя. P- распределение, PP- равномерное распределение, П(x)- Распределение Пуассона с коэффициентом x.

№	P	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
1	PP	93.59	95.44	96.23	96.68	97.20	97.59	97.77	97.97	98.08	98.22
2	П(5)	94.03	95.66	96.20	96.62	96.99	97.35	97.52	97.55	97.65	97.76
3	П(10)	94.06	95.48	96.09	96.47	96.82	97.23	97.42	97.48	97.53	97.64
4	П(30)	93.88	95.96	96.85	97.19	97.61	97.83	98.00	98.19	98.28	98.42

На основе вышесказанного результаты первых 4-х экспериментов указаны в таблице 3, а последующих четырёх в таблице 4 ниже. Исходя из данных таблиц, можно прийти к выводу, что точность представленной модели высокая, и что она может быть использована для ускорения SIMP. Также можно отметить, что минимальная точность модели равная 94% наблюдалась при использовании пятой итераций. А максимальная точность в 99% была достигнута при использовании 80-й итераций. Вместе с тем следует подчеркнуть, что в данном случае изменение глубины модели минимально повлияло на результаты. Это можно объяснить тем, что изображения имеет малый размер, а увеличение глубины с 3-х до 4-х не делает большой разницы, однако увеличивает вычислительную сложность и время выполнения модели.

Таблица 4 – Результаты эксперимента с глубиной в четыре слоя. P- распределение, PP- равномерное распределение, П(x)- Распределение Пуассона с коэффициентом x.

№	P	5	10	15	20	30	40	50	60	70	80
5	PP	93.78	95.38	96.33	96.70	97.16	97.47	97.73	97.89	97.87	98.00
6	П(5)	94.08	95.59	95.94	96.38	96.92	97.10	97.34	97.46	97.59	97.55
7	П(10)	93.98	95.43	96.03	96.46	96.95	97.15	97.36	97.46	97.56	97.66
8	П(30)	93.53	95.74	96.51	96.74	97.42	97.76	97.97	98.14	98.19	98.23

На рисунке 2 показаны ожидаемые результаты (верхний ряд) и результаты вычислений (нижний ряд) представленной модели для трех различных случаев. Можно заметить, что точность во всех показанных случаях превышает 98%. Также можно отметить, что неточности в результатах в основном связаны с тонкими соединениями.

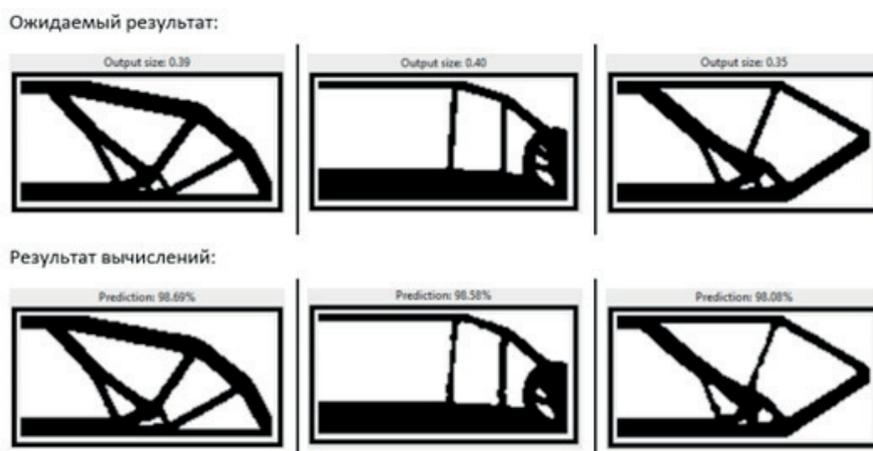


Рисунок 2 – Визуализация результатов.

Такие методы обладают высокой точностью и могут использоваться вместо традиционных методов топологической оптимизации, которые требуют много времени для получения окончательного дизайна структуры. Подход, основанный на данных, с передовыми алгоритмами, является многообещающим методом для будущих сценариев «Промышленности 4.0», таких как цифровые двойники или интеллектуальное производство, где необходимы крупномасштабные и долгосрочные симуляции.

Заключение. Данная работа посвящена разработке метода ускорения задачи ТО для балки МББ. Была представлена модель на основе архитектуры U-Net для ускорения вычисления рассматриваемой задачи. Результаты с использованием бинарной идентичности, где проверяется

идентичность каждого пикселя, показали, что для получения точности выше 95% требуется данные с 10-ой итерации SIMP. А при использовании 80 итераций, точность возрастает до 98%. Кроме того, было замечено, что изменение глубины с 3-го до 4-го уровня не улучшает точность эксперимента, хотя увеличивает вычислительную сложность и время выполнения задачи. Это может быть связано с маленьким размером рассматриваемых изображений.

***Подтверждение.** Это исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан по теме «Разработка метода топологической оптимизации на основе Глубокого Обучения и GPU-ускоренных вычислений для создания аэродинамических структур» (2020-2022) (Номер гранта AP08856141).*

Information about authors:

Nogaibayeva Makpal – senior lecturer, al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, *mnogaibayeva@gmail.com*, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1205-2564>;

Akhmetov Bakytzhan– PhD, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, *eng.akhmetov@gmail.com*, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-3323-0059>;

Rasulzade Jalal – master’s student, ADA University, Baku, Azerbaijan, *jalal.rasulov@gmail.com*;

Maksum Yelaman – PhD student, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, *maksum.yelaman@gmail.com*, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6573-1689>;

Rustamov Samir – PhD, professor, ADA University, Baku, Azerbaijan, *samir.rustamov@gmail.com*, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3247-5882>.

REFERENCES:

Kozhnik A.M., Guzh T.S., Ilyichev V.A. Modern trends in the optimization of metal structures // Youth. sci. forum: tech. and matem. science. – 2017. – February – number 2(42) – pp. 51-57 URL: [http://www.nauchforum.ru/archive/MNF_tech/2\(42\).pdf](http://www.nauchforum.ru/archive/MNF_tech/2(42).pdf) (in Russ.).

A. Mahdavi, R. Balaji, M. Frecker, and E. M. Mockensturm, Topology optimization of 2D continua for minimum compliance using parallel computing, Structural and Multidisciplinary Optimization, 32 (2), 2006, pp. 121–132. <https://doi.org/10.1007/s00158-006-0006-1> (in Eng.).

A. Neofytou, F. Yu, L. Zhang, and H.A. Kim, Level Set Topology Optimization for Fluid-Structure Interactions, (January), 2021, pp. 1–17 <https://doi.org/10.2514/6.2021-1686> (in Eng.).

C. Lundgaard, J. Alexandersen, M. Zhou, C. Schousboe and A. Ole, Revisiting density-based topology optimization for fluid-structure-interaction problems, 2018, pp. 969–995. <https://doi.org/10.1007/s00158-018-1940-4> (in Eng.).

D.J. Munk, G.A. Vio and G.P. Steven, Topology and shape optimization methods using evolutionary algorithms: a review, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 52 (3), 2015. <https://doi.org/10.1007/s00158-015-1261-9> (in Eng.).

D. Wang, C. Xiang, Y. Pan, A. Chen, X. Zhou, and Y. Zhang, A deep convolutional neural network for topology optimization with perceptible generalization ability, *Engineering Optimization*, 2021. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2021.1902998> (in Eng.).

E.P. Paraskevoudis, K. Karayannis P. and Koumoulos, Real-Time 3D Printing Remote Defect Detection (Stringing) with Computer Vision and Artificial Intelligence, *Processes*, 8(11), 2020. <https://doi.org/10.3390/pr8111464> (in Eng.).

E. Wadbro and M. Berggren, Megapixel topology optimization on a graphics processing unit, *SIAM Review*, 51 (4), 2009. <https://doi.org/10.1137/070699822> (in Eng.).

F.J. Ramírez-Gil, E.C.N. Silva and W. Montealegre-Rubio, Topology optimization design of 3D electrothermomechanical actuators by using GPU as a co-processor, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 302, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2015.12.021> (in Eng.).

F.J. Ramírez-Gil, C.M. Pérez-Madrid, E.C.N. Silva, and W. Montealegre-Rubio, Parallel computing for the topology optimization method: Performance metrics and energy consumption analysis in multiphysics problems, *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 30, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2020.100481> (in Eng.).

G.I.N. Rozvany, A critical review of established methods of structural topology optimization, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 37 (3), 2009. <https://doi.org/10.1007/s00158-007-0217-0> (in Eng.).

Huang X, Xie Y.M. (2007) Convergent and mesh-independent solutions for the bidirectional evolutionary structural optimization method. *Finite Elements in Analysis and Design* 43(14):1039–1049 <https://doi.org/10.1016/j.finel.2007.06.006> (in Eng.).

I. Sosnovik and I. Oseledets, Neural networks for topology optimization, *Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling*, 34 (4), 2019. <https://doi.org/10.1515/rnam-2019-0018> (in Eng.).

I. Sosnovik and I. Oseledets, Neural networks for topology optimization. Retrieved 17 April 2022, from <https://arxiv.org/abs/1709.09578> (in Eng.).

J.D. Deaton and R.V. Grandhi, A survey of structural and multidisciplinary continuum topology optimization: Post 2000, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 49 (1). 2014. <https://doi.org/10.1007/s00158-013-0956-z> (in Eng.).

K. Guo, Z. Yang, C.-H. Yu, and M.J. Buehler, Artificial intelligence and machine learning in design of mechanical materials, *Materials Horizons*, 2021. <https://doi.org/10.1039/D0MH01451F> (in Eng.).

K. Suresh, A 199-line Matlab code for Pareto-optimal tracing in topology optimization, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 42 (5), 2010. <https://doi.org/10.1007/s00158-010-0534-6> (in Eng.).

K. Svanberg, The method of moving asymptotes—a new method for structural

optimization, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 24 (2), 1987. <https://doi.org/10.1002/nme.1620240207> (in Eng.).

K. Vemaganti and W.E. Lawrence, Parallel methods for optimality criteria-based topology optimization, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 194 (34–35), 2005, pp. 3637–3667. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2004.08.008> (in Eng.).

M.P. Bendsøe, E. Lund, N. Olhoff, O. Sigmund, Topology optimization-broadening the areas of application, *Control and Cybernetics* 34 (2005) 7–35. journal ISSN: 0324-8569.

M.P. Bendsøe, Optimal shape design as a material distribution problem, *Structural and multidisciplinary optimization* 1 (4) (1989) 193-202 <https://doi.org/10.1007/BF01650949> (in Eng.).

N.P. Van Dijk, K. Maute, M. Langelaar, and F. Van Keulen, Level-set methods for structural topology optimization: A review, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 48 (3). 2013. <https://doi.org/10.1007/s00158-013-0912-y> (in Eng.).

N.S. Johnson et al., Invited review: Machine learning for materials developments in metals additive manufacturing, *Additive Manufacturing*, 36, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101641> (in Eng.).

O. Sigmund and K. Maute, Topology optimization approaches: A comparative review, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 48 (6), 2013, pp. 1031–1055. <https://doi.org/10.1007/s00158-013-0978-6> (in Eng.).

O. Sigmund, A 99 line topology optimization code written in matlab, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 21 (2), 2001. <https://doi.org/10.1007/s001580050176> (in Eng.).

S. Schmidt and V. Schulz, A 2589 line topology optimization code written for the graphics card, *Computing and Visualization in Science*, 14 (6), 2011. <https://doi.org/10.1007/s00791-012-0180-1> (in Eng.).

T. Borrvall and J. Petersson, Large-scale topology optimization in 3D using parallel computing, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 190 (46–47), 2001, pp. 6201–6229. [https://doi.org/10.1016/S0045-7825\(01\)00216-X](https://doi.org/10.1016/S0045-7825(01)00216-X) (in Eng.).

T. Dbouk, A review about the engineering design of optimal heat transfer systems using topology optimization, *Applied Thermal Engineering*, 112, 2017, pp. 841–854. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.10.134> (in Eng.).

T. Gao, P. Xu, and W. Zhang, Topology optimization of thermo-elastic structures with multiple materials under mass constraint, *Computers and Structures*, 173, 2016, pp. 150–160. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2016.06.002> (in Eng.).

T. Zegard and G.H. Paulino, Toward GPU accelerated topology optimization on unstructured meshes, *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 48 (3), 2013. <https://doi.org/10.1007/s00158-013-0920-y> (in Eng.).

W. Hunter, et al., Topy – topology optimization with python, <https://github.com/williamhunter/topy> (2017).

МАЗМҰНЫ

А.С.Ақанова, А.А.Макашев, С.А. Наурызбаева, Н.Н.Оспанова ИНТЕРНЕТТЕН ТАҚЫРЫП БОЙЫНША ДЕРЕКТЕРДІ АЛУЫН МОДЕЛДЕУ.....	5
Ж.С. Авкурова, С.А. Гнатюк, Б.К. Абдураимова, Л.М. Кыдыралина КИБЕРКЕҢІСТІКТЕГІ АРТ-ШАБУЫЛДАРДЫ ЕРТЕ АНЫҚТАУ ЖӘНЕ БҰЗУШЫЛАРДЫ СӘЙКЕСТЕНДІРУ ҮШІН ЭТАЛОН МОДЕЛЬДЕРІ АНЫҚТАУШЫ ЕРЕЖЕЛЕР.....	19
М.А. Болатбек, К.Б. Багитова, Ш.Ж. Мусиралиева КИБЕРҚАУІПСІЗДІК МӘСЕЛЕЛЕРІН ТАБИҒИ ТІЛДІ ӨНДЕУ ӘДІСТЕРІ АРҚЫЛЫ ШЕШУ ТАҚЫРЫБЫНА ЖҮЙЕЛІК ШОЛУ.....	52
А.К. Жумадиллаева, М.Д. Кабибуллин, Б.Б. Оразбаев, К.Н. Оразбаева, Ж.Н. Тулеуов КАТАЛИТИКАЛЫҚ РИФОРМИНГ ҚОНДЫРҒЫСЫ РИФОРМИНГТЕУ РЕАКТОРЛАРЫ ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІН КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ НЕГІЗІНДЕ ОПТИМИЗАЦИЯЛАУ.....	71
Ж.Д. Изтаев, Г.Т. Джусупбекова, Г.К. Ордабаева УНИВЕРСИТЕТ ҮШІН АҚПАРАТТЫҚ ҚАУІПСІЗДІК ҚАТЕРЛЕРІНІҢ ЖЕКЕ МОДЕЛІН ӨЗІРЛЕУ.....	91
Ж.С. Каженова, Ж.Е. Кенжебаева, А.М. Прудник MQTT (ТЕЛЕМЕТРИЯ ХАБАРЛАМАЛАРЫ КЕЗЕГІН ТАСЫМАЛДАУ) ХАТТАМАСЫНЫҢ ҚАУІПСІЗДІК МЕХАНИЗМДЕРІ.....	117
А.Ж. Картбаев, Г.С. Ыбытаева, О.Ж. Мамырбаев, К.Ж. Мухсина, Б.Ж. Жумажанов АВТОМАТТЫ ҚЫЛМЫС ОНТОЛОГИЯСЫН ҚҰРУ ҮШІН ҚЫЛМЫС ЖАҒАЛЫҚТАРЫНДА СУБЪЕКТИЛЕРДІ ФОРМАЛЬДЫ КӨРСЕТУ ӘДІСТЕРІ.....	136
А.Т. Мазақова, Қ.Б. Бегалиева, Т.Ж. Мазаков, Ш.А. Жомартова, Г.З. Зиятбекова КВАДРАТ ҚИМАСЫ БАР ӨЗЕКШЕНІҢ ЖЫЛУ ӨТКІЗГІШТІК ТЕҢДЕУІН ҚАРАПАЙЫМ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕУЛЕР ЖҮЙЕСІНЕ ҚОЮ АРҚЫЛЫ ШЕШУ.....	153

Ж.Ж. Молдашева, Б.Б. Оразбаев, Б.У. Асанова, С.Ш. Исакова, К.Н. Оразбаева МҮНАЙ ҚҰБЫРЫ АГРЕГАТТАРЫНЫҢ ЖҰМЫС РЕЖИМДЕРІН БАСҚАРУ ҮШІН ЭВРИСТИКАЛЫҚ ТӘСІЛ ҚҰРУ.....	164
А.Б. Мименбаева, А.С. Аканова СОЛТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН ОБЛЫСЫНЫҢ АУЫЛШАРУАШЫЛЫҒЫ ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ КҮЙІН NDVI СЫЗЫҚТЫҚ ТРЕНДТЕРІ АРҚЫЛЫ ЗЕРТТЕУ.....	185
М.О. Ногайбаева, Б. Ахметов, Дж.Дж. Расулзаде, Е.А. Максум, С. Рустамов U-NET КОНВОЛЮЦИЯЛЫҚ НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ НЕГІЗІНДЕ ТОПОЛОГИЯЛЫҚ ОҢТАЙЛАНДЫРУДЫҢ ЕСЕПТЕУ ПРОЦЕСІН ЖЕДЕЛДЕТУ.....	198
Г.Б. Туребаева, А.К. Сыздықов, А.Р. Тенчурина, Ж.Б. Дошакова ҚОЛДАНБАЛЫ БАҒДАРЛАМАЛАРДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕНДЕУЛЕРДІ ШЕШУДІҢ САНДЫҚ ӘДІСТЕРІ.....	214
К.С. Чезимбаева, А.Н. Хайруллина LORA ҚАБЫЛДАҒЫШ/ТАРАТҰЫШЫНЫҢ ӨНІМДІЛІГІН БАҒАЛАУ.....	228
А.Г. Шаушенова, А.А. Нурпейсова, Ж.С. Муталова, Д.Б. Досалянов, М.Б. Онгарбаева ҚАШЫҚТЫҚТАН ОҚЫТУДА БІЛІМ АЛУШЫНЫ ИДЕНТИФИКАЦИЯЛАУ ЖӘНЕ БЕЙНЕМОНИТОРИНГТЕУ ШЕТЕЛДІК ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ.....	247
К. Якунин, Р.И. Мухамедиев, М. Елис, Я. Кучин, Н. Юничева, А. Сымагулов, Е. Мухамедиева КОВИД-19 ПАНДЕМИЯСЫ ТАҚЫРЫП БОЙЫНША ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БАҚ БАСЫЛЫМДАРЫНЫҢ ТАҚЫРЫПТЫҚ КЛАСТЕРЛЕРІН ТАЛДАУ.....	260

СОДЕРЖАНИЕ

А.С. Аканова, А.А. Макашев, С.А. Наурызбаева, Н.Н. Оспанова МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМАТИЧЕСКОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДАННЫХ ИЗ ИНТЕРНЕТА.....	5
Ж.С. Авкурова, С.А. Гнатюк, Б.К. Абдураимова, Л.М. Кыдыралина МОДЕЛИ ЭТАЛОНОВ И ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРАВИЛА ДЛЯ СИСТЕМРАННЕГО ВЫЯВЛЕНИЯ АРТ-АТАКИ ИДЕНТИФИКАЦИИ НАРУШИТЕЛЕЙ В КИБЕРПРОСТРАНСТВЕ.....	19
М.А. Болатбек, К.Б. Багитова, Ш.Ж. Мусиралиева СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ТЕМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА.....	52
А.К. Жумадиллаева, М.Д. Кабибуллин, Б.Б. Оразбаев, К.Н. Оразбаева, Ж.Н. Тулеуов ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ РЕАКТОРОВ РИФОРМИНГА УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	71
Ж.Д. Изтаев, Г.Т. Джусупбекова, Г.К. Ордабаева РАЗРАБОТКА ЧАСТНОЙ МОДЕЛИ УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЛЯ УНИВЕРСИТЕТА.....	91
Ж.С. Каженова, Ж.Е. Кенжебаева, А.М. Прудник МЕХАНИЗМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОТОКОЛА MQTT (ТРАНСПОРТ ТЕЛЕМЕТРИИ ОЧЕРЕДИ СООБЩЕНИЙ).....	117
А.Ж. Картбаев, Г.С. Ыбыгаева, О.Ж. Мамырбаев, К.Ж. Мухсина, Б.Ж. Жумажанов МЕТОДЫ ФОРМАЛЬНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ СУЩНОСТЕЙ В КРИМИНАЛЬНЫХ НОВОСТЯХ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ ОНТОЛОГИИ ПРЕСТУПЛЕНИЙ.....	136
А.Т. Мазакова, К.Б. Бегалиева, Т.Ж. Мазаков, Ш.А. Жомартова, Г.З. Зиятбекова РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТЕРЖНЯ С КВАДРАТНЫМ СЕЧЕНИЕМ ПРИВИДЕНИЕМ К СИСТЕМЕ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ.....	153

Ж.Ж. Молдашева, Б.Б. Оразбаев, Б.У. Асанова, С.Ш. Искакова, К.Н. Оразбаева РАЗРАБОТКА ЭВРИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ АГРЕГАТОВ НЕФТЕПРОВОДА.....	164
А.Б. Мименбаева, А.С. Аканова ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР СЕВЕРО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ЛИНЕЙНЫМ ТРЕНДАМ NDVI.....	185
М.О. Ногайбаева, Б. Ахметов, Дж.Дж. Расулзаде, Е.А. Максум, С. Рустамов УСКОРЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ U-NET.....	198
Г.Б. Туребаева, А.К. Сыздыков, А.Р. Тенчурина, Ж.Б. Дошаков ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИКЛАДНЫХ ПРОГРАММ.....	214
К.С. Чежимбаева, А.Н. Хайруллина ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРИЕМОПЕРЕДАТЧИКА LORA.....	228
А.Г. Шаушенова, А.А. Нурпейсова, Ж.С. Муталова, Д.Б. Досалянов, М.Б. Онгарбаева ОСОБЕННОСТИ ЗАРУБЕЖНЫХ СИСТЕМ ВИДЕОМОНИТОРИНГА И ИДЕНТИФИКАЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ В ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ.....	247
К. Якунин, Р.И. Мухамедиев, М. Елис, Я. Кучин, А. Сымагулов, Н. Юничева, Е. Мухамедиева АНАЛИЗ ТЕМАТИЧЕСКИХ КЛАСТЕРОВ ПУБЛИКАЦИЙ СМИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН ПО ТЕМЕ ПАНДЕМИИ COVID-19.....	260

CONTENTS

A.S. Akanova, A.A. Makashev, C.A. Наурызбаева, N.N. Ospanova MODELING OF THEMATIC DATA EXTRACTION FROM THE INTERNET.....	5
Zh. Avkurova, S. Gnatyuk, B. Abduraimova, L. Kydyralina MODELS OF STANDARDS AND GOVERNING RULES FOR THE SYSTEMS OF EARLY DETECTION OF APT-ATTACKS AND IDENTIFICATION OF VIOLATORS IN CYBERSPACE.....	19
M. Bolatbek, K. Bagitova, Sh. Musiralieva A SYSTEMATIC REVIEW ON CYBERSECURITY ISSUES USING NATURAL LANGUAGE PROCESSING TECHNIQUES.....	52
A. Zhumadillayeva, M. Kabibullin, B. Orazbayev, K. Orazbayeva, Zh. Tuleuov OPTIMIZATION OF THE OPERATING MODES OF THE REFORMING REACTORS OF THE CATALYTIC REFORMING UNIT BASED ON COMPUTER MODELING.....	71
Zh.D. Iztayev, G.T. Dzhusupbekova, G.K. Ordabaeva DEVELOPMENT OF A PRIVATE MODEL OF INFORMATION SECURITY THREATS FOR THE UNIVERSITY.....	91
Zh.S. Kazhenova, Zh.E. Kenzhebayeva, A.M. Prudnik SECURITY MECHANISMS OF PROTOCOL MQTT (MESSAGE QUEUEING TELEMETRY TRANSPORT).....	117
A.Zh. Kartbayev, G.S. Ybytayeva, O.Zh. Mamyrbayev, K.Zh. Mukhsina, B.Zh. Zhumazhanov METHODS FOR FORMAL REPRESENTATION OF ENTITIES IN CRIME NEWS FOR AUTOMATIC CRIME ONTOLOGY CONSTRUCTION.....	136
A.T. Mazakova, K.B. Begaliyeva, T.Zh. Mazakov, Sh.A. Jomartova, G.Z. Ziyatbekova SOLUTION OF THE THERMAL CONDUCTIVITY EQUATION OF A ROD WITH A SQUARE SECTION BY CASTING TO A SYSTEM OF ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS.....	153

Zh. Moldasheva, B. Orazbayev, B. Assanova, Sh. Iskakova, K. Orazbayeva OPTIMIZATION OF OPERATION MODES OF REFORMING REACTORS OF A CATALYTIC REFORMING UNIT ON THE BASIS OF COMPUTER MODELING.....	164
A.B. Mimenbayeva, A.C. Akanova RESEARCH OF THE STATE OF AGRICULTURAL CROPS NORTH KAZAKHSTAN REGION ACCORDING TO LINEAR NDVI TRENDS.....	185
M. Nogaibayeva, B. Akhmetov, J. Rasulzade, Y. Maksim, S. Rustamov ACCELERATION OF THE COMPUTATIONAL PROCESS OF TOPOLOGICAL OPTIMIZATION BASED ON THE CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK U-NET.....	198
G. Turebaeva, A. Syzdykov, A. Tenchurina, J. Doshakov NUMERICAL METHODS FOR SOLVING DIFFERENTIAL EQUATIONS USING APPLICATION PROGRAMS.....	214
K.S. Chezimbayeva, A.N. Khairullina EVALUATION OF LORA TRANSCEIVER PERFORMANCE.....	228
A.G. Shaushenova, A.A. Nurpeisova, Z.S. Mutalova, D.B. Dosalyanov, M.B. Ongarbaeva FEATURES OF FOREIGN SYSTEMS OF VIDEO MONITORING AND IDENTIFICATION OF STUDENTS IN DISTANCE LEARNING.....	247
K. Yakunin, R.I. Mukhamediev, M. Elis, Ya. Kuchin, N. Yunicheva, A. Symagulov, E. Mukhamedieva ANALYSIS OF THEMATIC CLUSTERS OF KAZAKHSTAN MEDIA PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF THE COVID-19 PANDEMIC.....	260

**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)

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*

Заместитель директор отдела издания научных журналов НАН РК *Р. Жәліқызы*

Редакторы: *М.С. Ахметова, Д.С. Аленов*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадыранова*

Подписано в печать 15.09.2022.

Формат 60x88/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

17,5 п.л. Тираж 300. Заказ 3.