

AP19680292 «Разработка экспертной системы принятия решений по вопросам крепления и поддержания горных выработок». – н.р. Томилов А.Н.

Актуальность

Основное отличие создаваемого программного продукта заключается в использовании как эвристического, так и алгоритмического методов, что позволяет дать наиболее оптимальный результат запросов.

База знаний экспертной системы содержит правила (или другие представления знаний), использующая их как основу для принятия решений. Механизм вывода содержит общие знания о схеме управления решением задач. Данный механизм содержит две составляющие: интерпретатор и диспетчер. Первая из них определяет, каким образом применять правила для вывода новых знаний, а вторая - устанавливает порядок применения этих правил. Редактор базы знаний предназначен для модификации правил экспертной системы, а также для ввода новых знаний в экспертную систему.

Цель проекта

Целью проекта является создание отечественной экспертной системы, направленной на представление решений по вопросам крепления и поддержания горных выработок с использованием как эвристического, так и алгоритмического методов, что позволяет дать наиболее оптимальный результат запросов. Размещение базы знаний и основного программного обеспечения экспертной системы предполагается с использованием облачных технологий.

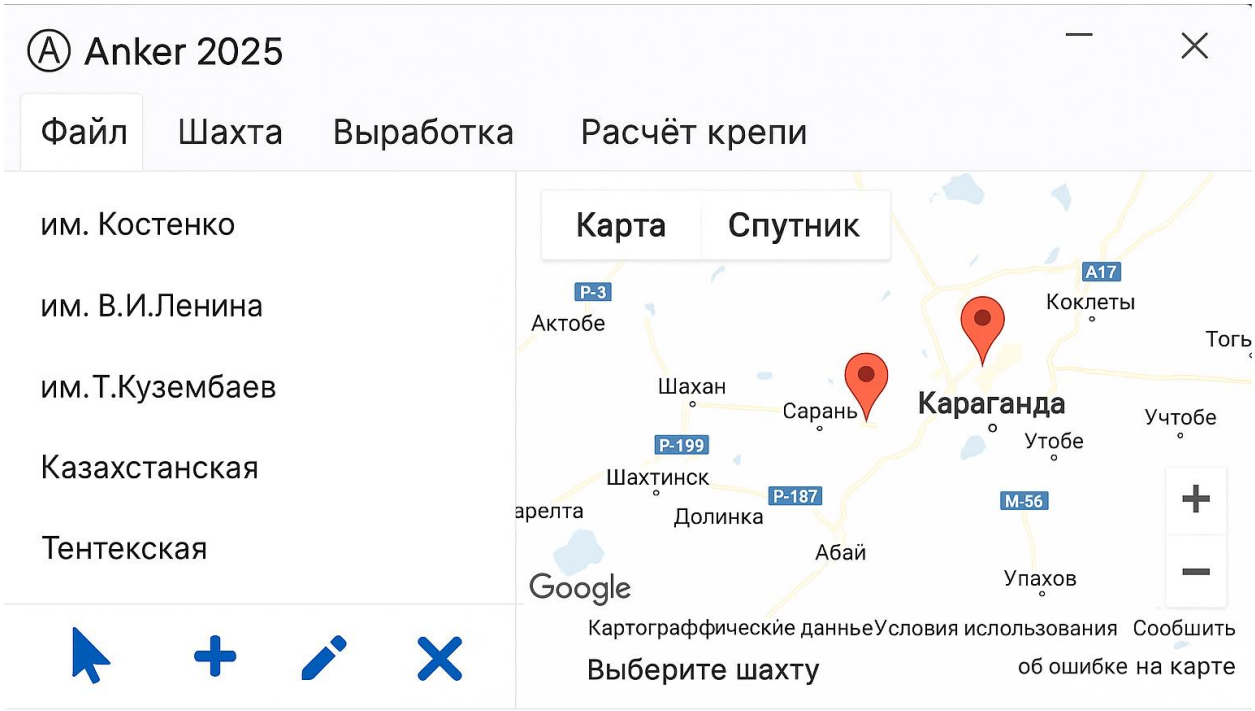
Ожидаемые и достигнутые результаты

Основным результатом реализации проекта является создание отечественной экспертной системы, направленной на представление решений по вопросам крепления и поддержания горных выработок с использованием как эвристического, так и алгоритмического методов. Для размещения базы знаний и основного программного обеспечения экспертной системы предполагается использование облачных технологий. Результатом использования экспертной системы будет предложение оптимальных параметров различных типов крепи для любых сечений горных выработок, параметров и способов охраны горных выработок, определения зон разрушения в окрестности выработок с учетом изменения горно-геологических и горнотехнических условий разработки месторождений полезных ископаемых, учета фактора времени, позволяющий определить ожидаемые смещения и нагрузки. Модульная структура экспертной системы предполагает в дальнейшем расширение для решения широкого спектра задач геомеханики.

На текущем этапе провели тестирование экспертной системы совместно со специалистами сторонних научных организаций с целью проверки на адекватность принятых решений.

В 2025 году были достигнуты следующие результаты: программное обеспечение было адаптировано для решения прикладных инженерных задач. Реализованы средства ввода, редактирования и визуализации информации, а также подтверждена стабильность работы системы при решении практических задач. Тестирование проводилось с участием специалистов из сторонних научных и проектных организаций, которые подтвердили корректность экспертных заключений, формируемых системой, а также её применимость в производственной среде.

По итогам испытаний в 2025 году экспертная система была признана готовой к опытно-промышленной апробации. Это предполагает её использование на предприятиях горнодобывающего сектора, сравнение с традиционными методами проектирования и предварительную оценку потенциала внедрения в практику. Получен соответствующий акт, подтверждающий успешное завершение этапа тестирования и согласование его результатов с экспертами привлечённых организаций.



Выберите шахту

Рисунок 1 – Определение шахт



Рисунок 2 – Определение горных выработок

На рисунке 3 продемонстрировали, что большинство выработок располагались на глубинах 400–800 м, кровля в них характеризовалась прочностью от 25 до 50 МПа, а

смещения составляли от 30 до 60 мм, что отражало реальные условия Карагандинского угольного бассейна.

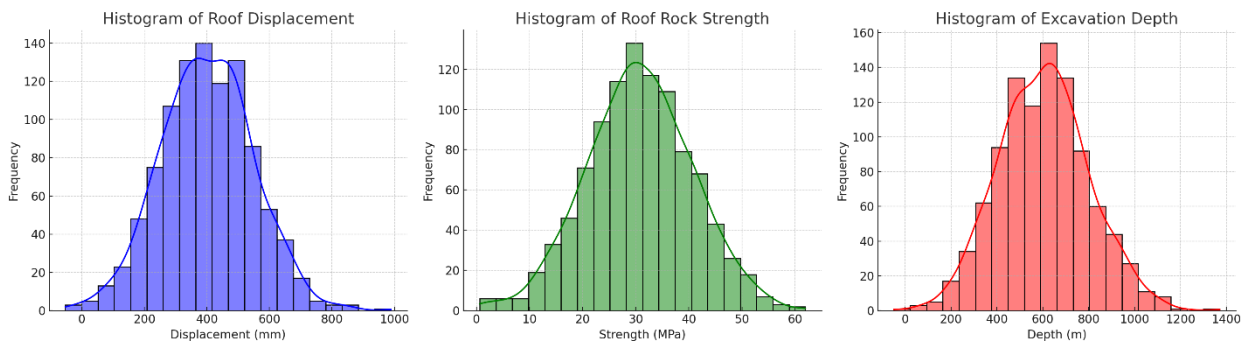


Рисунок 3 – Гистограммы распределения глубины, прочности кровли и смещения кровли

Для дополнительного анализа вариативности параметров были построены коробчатые диаграммы (boxplots), отражающие медианные значения, квартильный размах и выбросы.

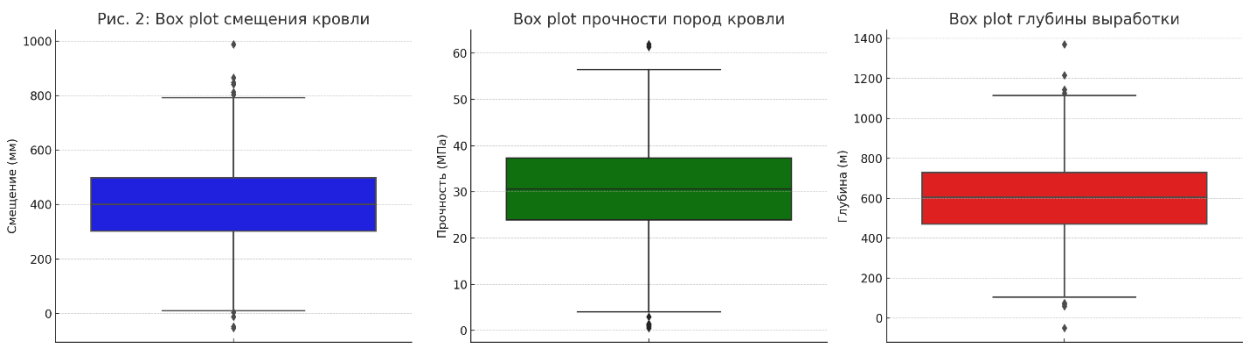


Рисунок 4 – Коробчатые диаграммы распределения ключевых параметров массива

Кроме графиков, в подраздел включена таблица 1, содержащая примеры типичных параметров реальных выработок, использованных для обучения моделей. Эти данные были получены в результате натурных наблюдений и интегрированы в базу знаний системы.

Таблица 1. Пример данных из базы знаний об устойчивости горных выработок

Шахта	Глубина (м)	Ширина (м)	Высота (м)	Форма сечения	Воздействие других выработок	Рс кровли (МПа)	Коэффициент влажности	Смещение кровли (мм)
Казахстанская	448	5,4	3,5	Арочная	Одиночная	45	0,47	40,3
Казахстанская	466	5,5	3,8	Прямоугольная	Примыкающая	42	0,50	42,8
Карагандинская	600	6,0	4,0	Арочная	Пересечение	35	0,55	50,2
Центральная	900	5,2	3,6	Арочная	Пересечение	28	0,60	65,5

Анализ этих данных показал наличие закономерностей, важных для построения предсказательных моделей: увеличение глубины и влажности породы коррелирует с ростом смещений кровли, тогда как высокие значения прочности горных пород, напротив, сопровождаются снижением деформаций. Таким образом, визуализация и систематизация исходных параметров позволили подтвердить достоверность исходной выборки и заложить основу для качественного обучения алгоритмов прогнозирования устойчивости.

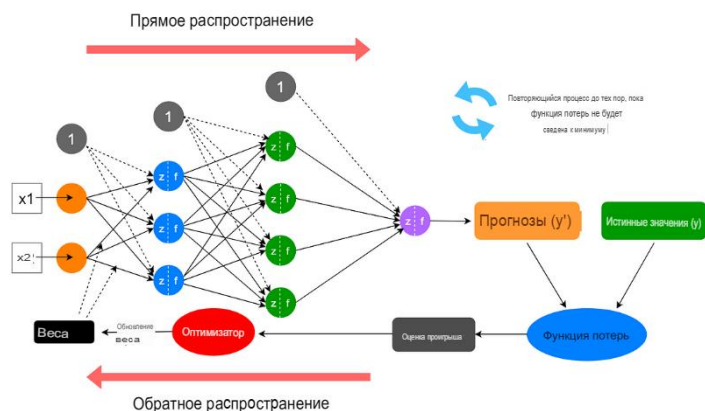


Рисунок 5 – Коробчатые диаграммы распределения ключевых параметров массива

На изображении представлена схема работы искусственного нейронного сетевого алгоритма, включающая этапы прямого и обратного распространения ошибок.

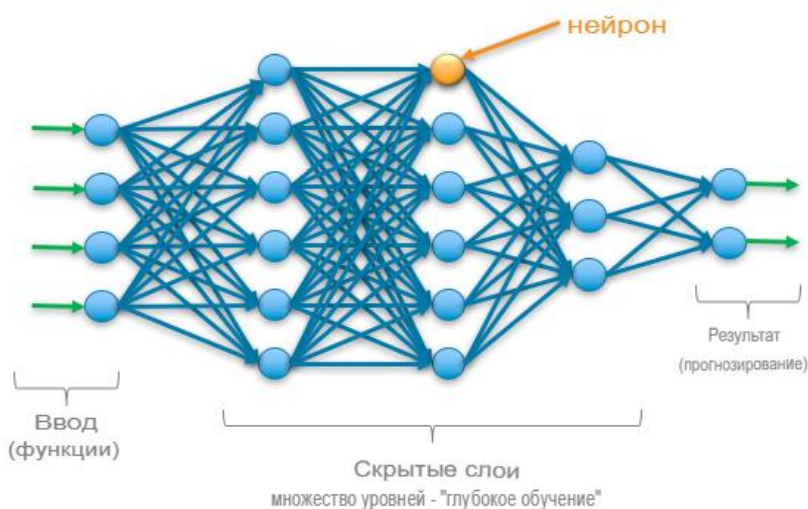


Рисунок 6 – Архитектура глубокого обучения с многослойной нейронной сетью

На изображении представлена архитектура искусственной нейронной сети (ИНС), показывающая ее ключевые элементы и принципы работы.

На изображении представлена схема процесса **ETL (Extract, Transform, Load)** — одного из ключевых методов обработки данных для последующего анализа или хранения.

Исследовательская группа

Томилов Александр Николаевич - научный руководитель, PhD, заведующий лабораторией кафедры ИВС. Индекс Хирша - 3 ORCID ID 0000-0002-0491-1640 Scopus ID 57201117035

Калинин Алексей Анатольевич - ответственный исполнитель, к.т.н., заведующий кафедрой ИВС. Индекс Хирша - 4 ORCID 0000-0003-4699-7240 Scopus Author ID 57193550259

Демин Владимир Федорович - д.т.н., профессор кафедры РМПИ. Индекс Хирша - 8. ORCID ID: 0000-0002-1718-856x. Scopus ID: 57212219714.

Томилова Надежда Ивановна - к.т.н., доцент кафедры ИВС. Индекс Хирша – 2 ORCID ID: 0000-0001-8782-5627; Scopus ID: 57194212148

Мутовина Наталья Викторовна - к.т.н., старший преподаватель кафедры ИВС. Индекс Хирша - 2 Scopus ID: 57218196942 ORCID ID: 0000-0002-8116-9507 Researcher ID Web of Science: ABC-3961-2020

Смагулова Асемгуль Сериковна - к.т.н., старший преподаватель кафедры ИВС. 2 Scopus Author ID: 57216143249 Researcher ID: AGX-6097-2022 ORCID ID: 0000-0003-1534-1644

Штефан Кирилл Борисович - м.т.н., руководитель Software центра. Индекс Хирша – 1 ORCID 0000-0003-3174-7214

Нұртай Марғұлан Дәуітұлы - м.т.н., преподаватель кафедры ИВС. Индекс Хирша – 1 Scopus ID 57216143287

Список публикаций и ожидаемые публикации

Статьи, входящие в базу данных Scopus имеющих процентиль не менее 65 (шестьдесят пять)

1. Vladimir Demin 1, Alexey Kalinin , Murat Baimuldin , Aleksandr Tomilov, Natalya Mutovina , Assemgul Smagulova , Denis Shokarev , Samat Aliev , Assem Akpanbayeva and Tatiana Demina «Developing a Technology for Driving Mine Workings with Combined Support and Friction Anchors in Ore Mines» <https://doi.org/10.3390/app142210344>, www.mdpi.com/journal/applsci

2. Vadimir Demin , Alexey Kalinin, Nadezhda Tomilova, Aleksandr Tomilov, Assemgul Smagulova, Natalya Mutovina, Denis Shokarev, Anton Popov, Rustam Shakirtov, Tatiana Demina «Digital Modeling of the Stress–Strain State of Rock Masses to 2 Enhance the Stability of Underground Mine Workings». Appl. Sci. 2024, 14, x. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>, www.mdpi.com/journal/applsci.

3. Natalya Mutovina, Margulan Nurtay, Alexey Kalinin, Aleksandr Tomilov and Nadezhda Tomilova «Application of Artificial Intelligence and Machine Learning in Expert Systems for the Mining Industry: modern methods and technologies». International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), <https://doi.org/10.11591/ijece.v15i3.pp3291-3308>

4. Aleksandr Tomilov, Alexey Kalinin *, Nadezhda Tomilova, Margulan Nurtay, Natalya Mutovina, Kirill Shtefan «Expert System for Assessing the Stability of Underground Excavations based on Machine Learning Methods and Numerical Modeling».

Статьи, рекомендованные Министерством образования и науки РК.

5. Mutovina N., Smagulova A., Demin V., Baimuldin M., Tomilov A. «Development of an Expert System for Fixing and Maintaining Mine Workings in the Mining Industry» / Труды университета, №3, 2023г С.400-406.

6. Мутовина Н. В., Смагулова А. С., Демин В. Ф., Томилов А. Н. «Оптимизация параметров анкерного крепления горных выработок с учетом факторов условий эксплуатации: анализ шахт Карагандинского угольного бассейна» / Труды университета, №, 2025г С.

7. Томилов А.Н., Утяшев А.Р., Томилова Н.И., Мутовина Н.В. «Повышение устойчивости распределенных систем с использованием механизма отказоустойчивости Elixir/ОТР» / Труды университета, №, 2025г С.

Монография в зарубежном издательстве.

1. Tomilov A.N., Demin V.F., Tomilova N.I., Mutovina N.V. Justification of parameters and automation of calculation of anchor support of mining workings the monograph Tomilov A.N., Demin V.F., Tomilova N.I., Mutovina N.V. – Urbana : Arrow Science & Technology, LLC – 2025.

236

c.DOI:10.29013/JPACASMW.TomilovA.N.DeminV.F.TomilovaN.I.MutovinaN.V.236.2025

Свидетельство интеллектуальной собственности РК.

1. Смагулова Асемгуль Сериковна, Калинин Алексей Анатольевич, Мутовина Наталья Викторовна, Томилов Александр Николаевич «Программа для расчета эффекта, полученного вследствие извлечения целика увеличенного размера» дата создания объекта: 09.06.2025.

-будут опубликованы 4 (четыре) статьи и (или) обзора в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в Science Citation Index Expanded и входящих в 1 (первый) и (или) 2 (второй) квартиль по импакт-фактору в базе Web of Science и (или) имеющих процентиль по CiteScore в базе Scopus не менее 65 (шестьдесят пять) ;

-будут опубликованы 3 (две) статьи или обзора в рецензируемом зарубежном или отечественном издании, рекомендованном КОКСНВО ;

-будет опубликована 1 монография в зарубежном издательстве ;

-будет получено 1 Свидетельство РК о регистрации прав на объект интеллектуальной собственности.

Информация для потенциальных пользователей

Экспертная система по креплению и поддержанию горных выработок может быть полезной для всех, кто работает или занимается исследованиями в области горных работ и строительства подземных сооружений, предоставляя аналитические данные горных пород, оценки стабильности горных выработок и разработки методов их поддержания. Предприятия, специализирующиеся на строительстве шахт, тоннелей, подземных сооружений и объектов горнодобывающей промышленности, могут использовать систему для разработки и применения оптимальных методов крепления и поддержания. Система предоставляет пользователю не только информацию и рекомендации, но и инструменты для принятия обоснованных и информированных решений, что помогает повысить безопасность, эффективность и надежность горнодобывающих и строительных проектов.

Область применения

Область применения: маркшейдерские и геотехнические службы горнодобывающих предприятий, позволяющего в сжатые сроки на основе эмпирических и алгоритмических методов принимать решения по вопросам крепления и поддержания горных выработок. Внесенные в базу знаний нормативные методики расчета параметров крепления горных выработок обеспечивают соблюдение всех правил безопасности при ведении горных работ, принятых в Республике Казахстан.

Дата обновления информации: 01.07.2025 г.