

«ТВОЯ НАУКА»  
Международный научно-издательский центр  
г. Москва

Сборник статей  
X Международной научно-практической конференции

**«АКТУАЛЬНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
И ИННОВАЦИИ В НАУКЕ  
И ТЕХНИКЕ»**

Москва  
МНИЦ «Твоя наука»  
2023

**УДК 082**

**ББК 60+65**

**A43**

**A43 АКТУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ:** сборник статей X Международной научно-практической конференции. – Москва: Международный научно-издательский центр «Твоя наука». – 2023. – 315 с.

Сборник содержит статьи участников X Международной научно-практической конференции «Актуальные исследования и инновации в науке и технике», состоявшейся 18 декабря 2023 г. в г. Москва.

В сборнике научных трудов рассматриваются современные научные проблемы и практики применения результатов научных исследований. Материалы сборника предназначены для научных работников, преподавателей, аспирантов, магистрантов, студентов в целях применения в научной работе и учебной деятельности.

Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законодательства об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов.

**Ответственный редактор:** *Емельянов Н.В.*, руководитель МНИЦ «Твоя наука».

**Научный редактор:** *Кетова К.В.*, доктор физико-математических наук, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий Ижевского государственного технического университета имени М.Т. Калашникова.

**Рецензент:** *Акифи О.И.*, кандидат филологических наук, доцент кафедры русского языка БГТУ им. В.Г. Шухова.

УДК 082  
ББК 60+65

© МНИЦ «Твоя наука», 2023  
© Коллектив авторов, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

### *ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ*

**ПЕТРОВА Е.С., КРАМОРЕВА Л.И., ВИГУРСКАЯ М.Ю.** ФОРМИРОВАНИЕ ПСЕВДО – БЕССЕЛЕВА ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО СВЕТОВОГО ПУЧКА С ПОМОЩЬЮ ДУБЛЕТА АКСИКОН – СФЕРИЧЕСКОЕ ЗЕРКАЛО ..... 7

### *ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ*

**ККАРИТА СУКАРИ АНИЕЛЬ НОЕМИ** АНАЛИЗ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОВОЙ СМЕСИ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОКРЫТИЯ С ДОБАВКОЙ БАЗАЛЬТА..... 17

### *ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ*

**АКСЕНОВ О.Р., МИХАЙЛОВА О.В.** СЕНСОРЫ И ИХ РОЛЬ В ВОСПРИЯТИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ ..... 23

**АКСЕНОВ О.Р., МИХАЙЛОВА О.В.** ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ..... 29

**АПЁНКИН Д.Е., МАРЧЕНКО Д.И., КОКОРЕВ И.С.** ПРОВЕДЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ И РАЗРЕЗАХ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РЕЖИМЕ ..... 37

**АПЁНКИН Д.Е., МАРЧЕНКО Д.И., СПИРИДОНОВ В.В.** ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗЛЮДНОЙ ВЫЕМКИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИБОРОВ КОНТРОЛЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ..... 43

**ГЕЛЬГЕНБЕРГ И.О., ПИЧУГИН В.А., СПИРИДОНОВ В.В.** СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ГОРНЫХ РАБОТ В ИНЕРТНОЙ СРЕДЕ ..... 51

**ГЕЛЬГЕНБЕРГ И.О., ПИЧУГИН В.А., СПИРИДОНОВ В.В.** АДАПТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ БЕЗЛЮДНОЙ ВЫЕМКИ УГЛЯ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ШАХТ ..... 60

**ГЕРИЛОВИЧ Д.А.** СТРУЙНЫЕ АППАРАТЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ..... 68

**ЖУКОВА Т.Ю.** ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПРОТИВОЭРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ – ГЕОМАТА С ГРУНТОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ И ПОСЕВОМ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ ..... 75

**ЗАХАРОВ Д.П.** ТЕХНИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ТЕРМОЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРОВ НА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТАХ..... 82

**КИЯМОВА Р.Р.** ГИБКИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ..... 90

**МАРТЫНОВ А.А.** ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ..... 94

УДК 004.35

**Аксенов Олег Романович**

**Aksenov Oleg Romanovich**

Студент

Student

**Михайлова Ольга Владимировна**

**Mikhailova Olga Vladimirovna**

Кандидат технических наук

Candidate of Technical Sciences

Доцент

Docent

Сибирский государственный индустриальный университет

Siberian State Industrial University

Новокузнецк, Россия

Novokuznetsk, Russia

## **СЕНСОРЫ И ИХ РОЛЬ В ВОСПРИЯТИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ**

### **SENSORS AND THEIR ROLE IN THE PERCEPTION OF THE ENVIRONMENT BY MOBILE ROBOTS**

**Аннотация:** В данной статье рассмотрены различные технологии сенсоров, которые играют критическую роль в обеспечении мобильных роботов информацией об окружающей среде. Сенсоры не только предоставляют данные для роботов, но и обеспечивают основу для их восприятия и взаимодействия с окружением.

**Abstract:** This article discusses various sensor technologies that play a critical role in providing mobile robots with information about the environment. Sensors not only provide data for robots, but also provide the basis for their perception and interaction with the environment.

**Ключевые слова:** роботехника, мобильные роботы, сенсоры, технологии восприятия.

**Key words:** robotics, mobile robots, sensors, perception technologies.

Современные мобильные роботы становятся все более автономными благодаря развитию сенсорных технологий. Сенсоры, такие как камеры, лидары и ультразвуковые сенсоры, играют важную

роль в обеспечении роботов информацией о окружающей среде. [1]

### **Камеры.**

Одним из наиболее распространенных типов сенсоров в мобильной робототехнике являются камеры. Камеры являются ключевым элементом в визуальной оценке окружающей среды для роботов. Они обеспечивают роботов визуальной информацией о мире вокруг них. Позволяют получать изображения из различных углов обзора, что способствует анализу объектов и их распознаванию. С помощью алгоритмов компьютерного зрения роботы могут распознавать объекты, определять расстояния до них и планировать свой маршрут. Преимущество камер заключается в их относительной доступности и способности обрабатывать большой объем информации. [2]

В табл. 1 приведены примеры, иллюстрирующие различные характеристики и типы камер, используемых в мобильных роботах.

**Таблица 1. Примеры, иллюстрирующие различные характеристики и типы камер, используемых в мобильных роботах**

Тип камеры	Разрешение	Угол обзора	Частота кадров	Особенности
RGB камера	1920x1080 и выше	60-120 градусов	30-60 fps	Предоставляет цветную информацию о сцене
Инфракрасная камера	640x480 и выше	60-90 градусов	30-60 fps	Работает в инфракрасном спектре для ночного видения
Стереокамера	Зависит от модели	Зависит от модели	Зависит от модели	Использует две камеры для определения глубины и расстояний до объектов
Глубокие камеры	1280x720 и выше	60-120 градусов	30-90 fps	Позволяют определять структуру и глубину сцены

Это лишь небольшой обзор типов камер, используемых в мобильных роботах. Каждая из них имеет свои особенности, которые

могут быть ценными в различных сценариях использования роботов, включая навигацию, обнаружение объектов и восприятие окружающей среды. [3]

### **Лидары.**

Лидары работают на основе лазерных лучей, измеряя время, за которое эти лучи отражаются от объектов и возвращаются обратно к сенсору. Это позволяет создавать точные трехмерные карты окружающей среды с высокой точностью. Они способны обнаруживать объекты и измерять расстояния с высокой степенью точности даже в условиях низкой освещенности или сильных изменений в окружающей среде.

В табл. 2 приведены примеры лидаров, применяемых в мобильной робототехнике.

**Таблица 2. Примеры, иллюстрирующие различные характеристики и типы лидаров, применяемых в мобильной робототехнике**

Тип лидара	Разрешение	Угол обзора	Дальность измерения	Скорость сканирования	Особенности
Механический	Зависит от модели	360 градусов	До 100 метров	Высокая	Вращающийся механизм для сканирования окружающей среды
Фазовый	Зависит от модели	180-360 градусов	До 300 метров	Очень высокая	Использует фазовую модуляцию для измерений высокой точности
Стационарный	Зависит от модели	Фиксированный угол	До 200 метров	Высокая	Установлен на месте и сканирует окружающую среду со стационарной позиции
MEMS	Зависит от модели	360 градусов	До 100 метров	Средняя	Использует микроэлектромеханические системы для сканирования

Каждый тип лидара обладает своими уникальными характеристиками, включая угол обзора, дальность измерения, скорость сканирования и особенности конструкции. Выбор определенного типа лидара зависит от конкретных потребностей и задачи, которую необходимо решить мобильному роботу в его окружении. [4]

***Ультразвуковые сенсоры.***

Ультразвуковые сенсоры используют звуковые волны для измерения расстояний до объектов. Они эффективны на близких расстояниях и обычно применяются для избегания столкновений на кратких дистанциях, таких как при навигации в узких пространствах или избегании препятствий на низкой высоте. [5]

В табл. 3 приведены примеры ультразвуковых сенсоров, применяемых в мобильной робототехнике.

**Таблица 3. Примеры, показывающие различные характеристики и типы ультразвуковых сенсоров, применяемых в мобильной робототехнике**

Тип ультразвукового сенсора	Дальность измерения	Угол обзора	Разрешение	Особенности
Однолучковый ультразвуковой сенсор	До 5 метров	30-60 градусов	Среднее	Измерение расстояний в одном направлении
Многострочный ультразвуковой сенсор	До 8 метров	120-180 градусов	Высокое	Более широкий обзор, но с меньшей точностью измерений
Ультразвуковой сенсор с переменным углом обзора	До 6 метров	30-180 градусов	Высокое	Возможность изменения угла обзора для адаптации к среде

У каждого типа есть свои характеристики и особенности, которые могут быть полезными в различных сценариях использования

мобильных роботов, таких как избегание столкновений или определение расстояний до объектов вблизи робота. [6]

Таким образом, сенсорные технологии остаются ключевым направлением развития в области мобильной робототехники, поскольку они обеспечивают основу для развития более интеллектуальных и адаптивных систем, способных функционировать в разнообразных условиях и выполнять широкий спектр задач.

Сенсоры играют определяющую роль в функционировании мобильных роботов, предоставляя им информацию о внешнем мире. Разнообразие типов сенсоров, таких как камеры, лидары и ультразвуковые сенсоры, существенно влияет на способность роботов воспринимать и адаптироваться к окружению.

Камеры обеспечивают визуальную информацию, позволяя роботам видеть и анализировать окружающую среду. Они способны распознавать объекты, определять пути движения и строить карты пространства.

Лидары, используя лазерное излучение, предоставляют роботам точные трехмерные карты окружающей среды. Эти данные не только помогают в навигации, но и предоставляют роботам детальную информацию о форме и расстояниях до объектов.

Ультразвуковые сенсоры, работающие на основе звуковых волн, эффективны на близких расстояниях и помогают роботам избегать столкновений с объектами в непосредственной близости.

Интеграция данных с различных сенсоров позволяет роботам создавать полноценную картину окружающей среды, что повышает их уровень автономности и эффективности в выполнении задач. Многообразие сенсоров позволяет роботам собирать разностороннюю информацию и принимать обоснованные решения при навигации, избегании препятствий и выполнении миссий.

В дальнейшем развитии мобильной робототехники ключевую

роль будут играть усовершенствование и интеграция сенсоров, а также разработка алгоритмов обработки данных для оптимального использования информации, поступающей от разнообразных сенсорных систем. [7]

### **Библиографический список:**

1. Сенсорика в робототехнике: определение, принципы работы и применение. Источник: <https://nauchniestati.ru/spravka/roboty-i-sensorika-sozдание-mashin-s-chuvstvami/>
2. Камеры глубины — тихая революция (когда роботы будут видеть) Источник: <https://habr.com/ru/articles/457524/>
3. Типы датчиков в робототехнике. Источник: <https://www.evsint.com/ru/types-of-sensors-in-robotics/>
4. Типы и производители 3D лидаров. Источник: <https://www.npk-photonica.ru/info/reading/23153/>
5. Ультразвуковые датчики, микроэлектроника. Источник: <https://mirrobo.ru/micro/ultrazvukovye-datchiki/>
6. Ультразвуковые датчики (часть 2). типы и работа. Применение Источник: <https://oovvna.ru/ultrazvukovye-datciki>
7. Какие бывают и как устроены автономные мобильные роботы. Источник: <https://electricalschool.info/robot/2868-avtonomnye-mobilnye-roboty.html>

© О.Р. Аксёнов, О.В. Михайлова, 2023

УДК 004.021

**Аксенов Олег Романович**  
**Aksenov Oleg Romanovich**

Студент  
Student

**Михайлова Ольга Владимировна**  
**Mikhailova Olga Vladimirovna**

Кандидат технических наук  
Candidate of Technical Sciences

Доцент  
Docent

Сибирский государственный индустриальный университет  
Siberian State Industrial University  
Новокузнецк, Россия  
Novokuznetsk, Russia

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ**

### **RESEARCH OF MOTION PLANNING ALGORITHMS FOR MOBILE ROBOTS**

**Аннотация:** В данной статье проведено сравнение различных типов алгоритмов планирования движения мобильных роботов, таких как алгоритм Дейкстры, алгоритм A\*, волновой алгоритм и метод градиентного спуска. Эти алгоритмы позволяют оптимизировать маршруты движения роботов, повышать эффективность выполнения задач и уменьшать риск повреждения оборудования.

**Abstract:** This article compares various types of algorithms for planning the movement of mobile robots, such as the Dijkstra algorithm, the A\* algorithm, the wave algorithm and the gradient descent method. These algorithms allow you to optimize robot movement routes, increase the efficiency of tasks and reduce the risk of damage to equipment.

**Ключевые слова:** робототехника, мобильные роботы, алгоритмы планирования движения.

**Key words:** robotics, mobile robots, motion planning algorithms.

Мобильная робототехника — это область робототехники, которая занимается проектированием, разработкой и управлением

движущихся роботов. Мобильные роботы используются во многих сферах: производстве; медицине; при автоматизации складов, транспортировке продукции и т.д.

Для эффективной работы мобильных роботов необходимы алгоритмы планирования движения. Эти алгоритмы определяют оптимальный путь, который мобильный робот должен пройти, чтобы достигнуть целевой точки с минимальными затратами по времени и энергии.

Основные типы алгоритмов планирования движения для мобильных роботов перечислены в табл. 1.

**Таблица 1. Типы алгоритмов планирования движения для мобильных роботов**

№	Тип алгоритма	Описание
1	Прямолинейный	Прямолинейный алгоритм позволяет мобильному роботу перемещаться по прямой линии от начальной до конечной точки.
2	Волновой	Волновой алгоритм используется для планирования движения в лабиринте. Робот обходит препятствия, следуя волнам.
3	Алгоритм A*	Алгоритм A* находит оптимальный путь в графе на основе оценки расстояния от текущей точки до конечной точки.
4	Алгоритм Дейкстры	Алгоритм Дейкстры находит путь с наименьшим расстоянием от начальной до конечной точки в графе.
5	Метод градиентного спуска	Метод градиентного спуска используется для планирования движения в пространстве с неровной поверхностью. Робот следует пути, определяемому градиентом функции.

*Прямолинейный алгоритм* планирования движения для мобильных роботов является одним из простых и эффективных подходов для достижения заданной цели. Он позволяет роботу двигаться в направлении цели по прямой линии без учета препятствий. Прямолинейный алгоритм можно реализовать на разных уровнях управления мобильным роботом, включая высокоуровневое планирование пути и низкоуровневое управление движением. [1]

**Волновой алгоритм** — это алгоритм поиска пути, используемый в робототехнике и компьютерных играх для нахождения оптимального пути от начальной точки до целевой точки в сетке или графе с некоторыми препятствиями. Принцип работы алгоритма заключается в том, что он ищет путь, который минимизирует количество шагов от начальной точки до целевой точки, двигаясь волнами из начальной точки к целевой. Каждая ячейка сетки помечается номером волны, соответствующим расстоянию от начальной точки. На каждом шаге алгоритм распространяет волны на все соседние ячейки, помечая их следующим номером волны, пока не достигнет целевой точки. [2]

**Алгоритм  $A^*$  ( $A$  star)** является одним из наиболее распространенных алгоритмов поиска кратчайшего пути в графе, используемых в мобильной робототехнике. Он является комбинацией алгоритмов поиска в ширину и поиска наилучшего сначала (Best-First Search). Алгоритм  $A^*$  был предложен в 1968 году Петером Хартом, Нилом Кортлендом и Бертеллом Рафаэлем.

Основная идея алгоритма  $A^*$  заключается в том, чтобы расширять сначала те узлы графа, которые наиболее вероятно приведут к целевому узлу. Для этого используется эвристическая функция, оценивающая расстояние от текущего узла до целевого узла. Эта функция позволяет оценить стоимость пути от начального узла до целевого, проходящего через текущий узел.

Алгоритм  $A^*$  можно описать следующим образом:

1. Создать два множества: открытый список и закрытый список.
2. Поместить начальный узел в открытый список.
3. Пока открытый список не пустой, повторять следующие шаги:

3.1. Выбрать узел из открытого списка с наименьшей оценкой

$f = g + h$ , где  $g$  - стоимость пути от начального узла до

текущего,  $h$  - эвристическая оценка расстояния от текущего узла до целевого.

3.2. Поместить выбранный узел в закрытый список.

3.3. Для каждого соседнего узла текущего узла:

- Если соседний узел уже находится в закрытом списке, пропустить его.

- Если соседний узел еще не находится в открытом списке, добавить его туда и вычислить для него значения  $g$  и  $h$ .

- Если соседний узел уже находится в открытом списке, обновить для него значения  $g$  и  $h$ , если новые значения лучше.

- Если целевой узел добавлен в закрытый список, построить путь от него к начальному узлу, используя информацию из списка родителей. [2]

**Алгоритм Дейкстры (Dijkstra's algorithm)** – это алгоритм на графах, который позволяет найти кратчайший путь от одной вершины графа до всех остальных вершин. Алгоритм был разработан нидерландским ученым Эдсгером Дейкстрой в 1956 году.

Описание алгоритма:

- Создаем два списка вершин: список посещенных вершин и список непосещенных вершин. Изначально список посещенных вершин пуст, а в список непосещенных вершин добавляем все вершины графа.

- Устанавливаем начальную вершину и присваиваем ей значение 0.

- Для каждой вершины из списка непосещенных вершин вычисляем минимальное расстояние от начальной вершины. Это делается следующим образом: для каждой соседней вершины вычисляем сумму веса ребра, соединяющего эту вершину с текущей, и значения расстояния от начальной вершины до текущей вершины. Если полученное значение меньше текущего значения расстояния до

соседней вершины, то обновляем значение.

- После вычисления минимальных расстояний до всех соседних вершин выбираем из списка непосещенных вершин вершину с минимальным значением расстояния и переносим ее в список посещенных вершин.

- Повторяем шаг 3 и 4 для всех вершин из списка непосещенных вершин.

- После того, как мы посетили все вершины, находим кратчайший путь от начальной вершины до любой другой вершины, проходя по ребрам с минимальными весами. [3]

**Метод градиентного спуска** — это численный метод оптимизации, который используется для нахождения локального минимума (или максимума) функции. Он основан на итеративном уменьшении значения функции путем изменения вектора параметров с определенным шагом в направлении, противоположном направлению градиента функции в данной точке. [4]

Градиент функции — это вектор, указывающий направление наибольшего возрастания функции в данной точке. Поэтому изменение параметров в направлении, противоположном градиенту, должно привести к уменьшению значения функции. [5]

Алгоритм градиентного спуска выглядит следующим образом:

- Инициализировать вектор параметров  $x$ .
- Вычислить градиент функции  $f$  в точке  $x$ .
- Изменить вектор параметров в направлении, противоположном градиенту, на определенный шаг  $\alpha$ .

- Повторять шаги 2-3 до тех пор, пока значение функции не станет достаточно малым или не будет достигнут лимит числа итераций.

Сравнение типов алгоритмов планирования движения для мобильных роботов может быть проведено по следующим критериям:

1. Полнота покрытия области:

- Волновой алгоритм - обеспечивает полное покрытие всей области, но может потребовать большого объема вычислений, если препятствия слишком плотно расположены.

- $A^*$  - обеспечивает оптимальный путь до цели, но может сходиться в локальный минимум и не достичь цели.

- Прямолинейный алгоритм - быстрый, но не обеспечивает полное покрытие всей области.

2. Вычислительная сложность:

- Волновой алгоритм - требует больших вычислительных мощностей и памяти при больших размерах области.

- $A^*$  - имеет более сложный алгоритм, но может работать более эффективно при правильном выборе эвристической функции.

- Прямолинейный алгоритм - имеет самую низкую вычислительную сложность.

3. Сложность реализации:

- Волновой алгоритм - легко реализуется и не требует большого количества опыта в программировании.

- $A^*$  - требует более сложной реализации и правильного выбора эвристической функции.

- Прямолинейный алгоритм - легко реализуется и может использоваться как простейший метод планирования движения.

4. Применимость к конкретным задачам:

- Волновой алгоритм - хорошо подходит для задач полного покрытия области, но может не быть оптимальным при необходимости достижения конкретной цели.

- $A^*$  - хорошо подходит для задач достижения конкретной цели, но может быть менее эффективным при полном покрытии области.

- Прямолинейный алгоритм - хорошо подходит для простых задач планирования движения.

Таким образом, каждый из алгоритмов имеет свои достоинства и недостатки, и выбор конкретного метода зависит от поставленной задачи и условий ее выполнения.

Одним из наиболее популярных является алгоритм A\*. Он используется для нахождения кратчайшего пути между двумя точками на карте, учитывая препятствия и другие ограничения. Алгоритм A\* имеет высокую скорость работы и хорошо подходит для задач навигации мобильных роботов.

Метод градиентного спуска используется для оптимизации траектории движения робота с учетом заданных ограничений. Он может быть применен для решения задачи оптимального управления, а также для планирования движения в пространстве с ограниченной доступностью.

Волновой алгоритм используется для планирования маршрута движения робота в непрерывной среде с препятствиями. [6] Является достаточно простым в реализации и хорошо подходит для решения задач, связанных с перемещением робота в неизвестной среде.

В целом, алгоритмы планирования движения являются одной из важных областей мобильной робототехники и постоянно развиваются. Новые алгоритмы и методы планирования движения появляются с развитием технологий, таких как искусственный интеллект и машинное обучение. Использование современных алгоритмов планирования движения позволяет мобильным роботам работать более эффективно и точно выполнять поставленные задачи.

### **Библиографический список:**

1. The Path Planning of Mobile Robot by Neural Networks and Hierarchical Reinforcement Learning. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnbot.2020.00063/full>

2. Реализация алгоритма A \* для планирования пути. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://skine.ru/articles/400627/>
3. Алгоритм Дейкстры. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/algorithm-dejkstry/>
4. Метод градиентного спуска. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dmitrymakarov.ru/opt/gradient-02/>
5. Математика для искусственных нейронных сетей для новичков, часть 2 — градиентный спуск. Источник: <https://habr.com/ru/articles/307312/>
6. Обход препятствий: волновой алгоритм (Алгоритм Ли). Источник: <https://suvitruf.ru/2012/05/13/1176/volnovojs-algorithm-algorithm-li/>

© О.Р. Аксёнов, О.В. Михайлова, 2023

УДК 622.23.05

**Апёнкин Денис Евгеньевич**  
**Apenkin Denis Evgenyevich**

Студент  
Student

**Марченко Данил Игоревич**  
**Marchenko Danil Igorevich**

Аспирант  
Graduate student

**Волошин Владимир Анатольевич**  
**Voloshin Vladimir Anatolyevich**

Кандидат технических наук  
Candidate of Technical Sciences  
Научный руководитель  
Scientific supervisor  
Доцент  
Docent

**Кокорев Илья Степанович**  
**Kokorev Ilya Stepanovich**

Аспирант  
Graduate student

**Михайлова Ольга Владимировна**  
**Mikhailova Olga Vladimirovna**

Кандидат технических наук  
Candidate of Technical Sciences  
Научный руководитель  
Scientific supervisor  
Доцент  
Docent

Сибирский государственный индустриальный университет  
Siberian State Industrial University  
Новокузнецк, Россия  
Novokuznetsk, Russia

**ПРОВЕДЕНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА УГОЛЬНЫХ  
ШАХТАХ И РАЗРЕЗАХ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ  
РЕЖИМЕ**

**CONDUCTING MINING OPERATIONS AT COAL MINES  
AND OPEN-PIT MINES IN AN AUTOMATED MODE**

*Аннотация:* Данная статья описывает принцип ведения работ по добыче угля с использованием автоматизированных систем без непосредственного участия человека в горной выработке и на угольном разрезе.

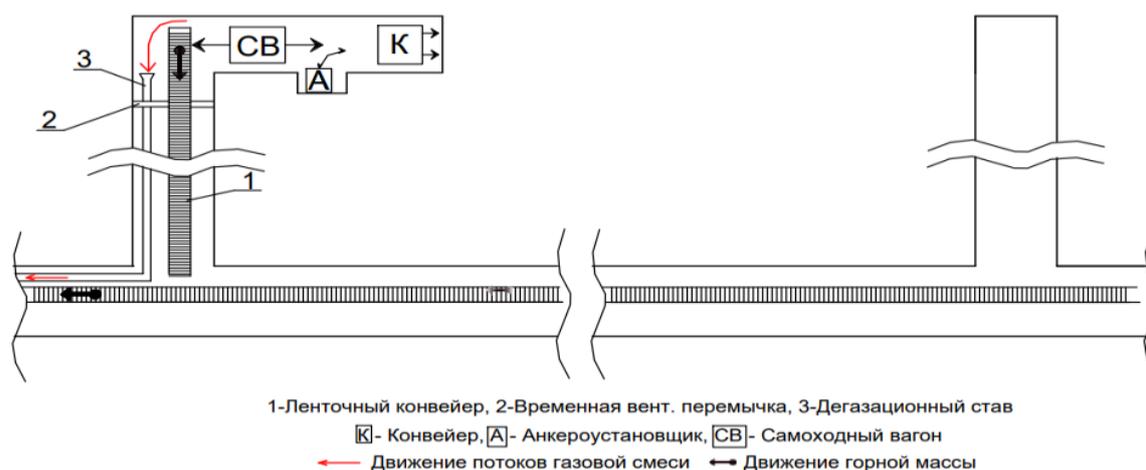
**Abstract:** This article describes the principle of conducting coal mining operations using automated systems without direct human involvement in mining and in a coal mine.

**Ключевые слова:** автоматизация, шахта, малое сечение, диспетчеризация, безлюдная выемка, автоматическое управление, горно-шахтное оборудование.

**Key words:** automation, mine, small section, dispatching, unpopulated excavation, automatic control, mining equipment.

В настоящее время подготовительные работы на угольных шахтах идут параллельно с очистными. Для проведения выработок, как правило, задействуется несколько проходческих участков, по 3–4 забоя в каждом. Для нормального функционирования в данные забои нужно подавать достаточное количество воздуха, проводить мероприятия по разгрузке массива, наращивать противопожарный и ленточный став. Эти мероприятия весьма трудоемки [1].

Авторами статьи предлагается экспериментальная технология проведения выработок малого сечения в автоматизированном режиме, которая обеспечит высокую скорость проведения выработок и позволит сократить время на рабочие циклы. Проходческая бригада в стандартном режиме проходит выработку, подготавливая две сбойки и нишу для размещения оборудования. Автоматизированное оборудование без участия человека проходит параллельную выработку малого сечения, которую впоследствии можно будет расширить и докрепить (рис. 1).



**Рис. 1. Технологическая схема проведения выработки**

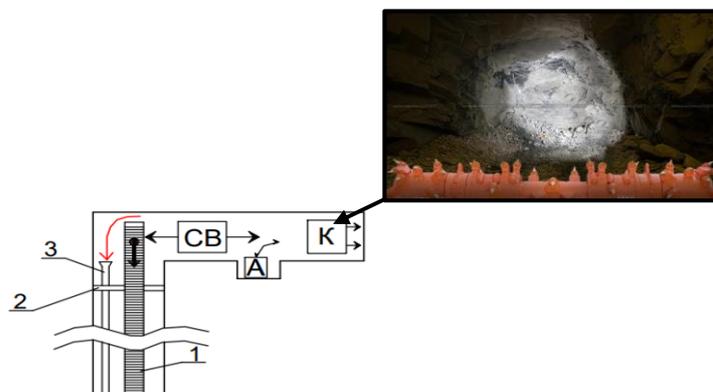
С одной стороны, в сбойке размещается ленточный конвейер (1), оборудованный перегружателем. На расстоянии нескольких метров от сопряжения устанавливается временная перемычка из брезента (2). В перемычку монтируется дегазационный став (3), всасывающий метан из выработки. В отсутствие людей проветривание данных выработок можно не производить [1].

Отделение горной массы производится проходческим комбайном непрерывного действия (К), для транспортирования применяется самоходный вагон (СВ), а также в нише устанавливается самоходный анкероустановщик (А). Во время загрузки и разгрузки самоходного вагона, анкероустановщик производит крепление кровли.

Управление горно-шахтным оборудованием (ГШО) будет осуществляться дистанционно из специальной выработки. Диспетчер с мобильного пункта управления (МПУ) по определенной программе управляет ГШО. Управление осуществляется со специального планшета, разрешенного к применению в угольных шахтах. На него будет установлено специальное программное обеспечение для управления и контроля ГШО. Во внештатных ситуациях с данного планшета можно будет производить диагностику оборудования во

время ремонта, находясь в непосредственной близости [2].

На рабочем мониторе отображается вся техника, используемая в забое, при необходимости с помощью камер можно оценить ситуацию, не находясь в рабочей зоне (рис. 2).



**Рис. 2. Вид с камеры комбайна**

На ГШО в качестве модулей роботизации используются датчики движения на основе микроволн [3]. Такой выбор обоснован требованиями особой точности и возможности защитить датчик от повреждения при помощи любой диэлектрической перегородки. Камера видеонаблюдения также защищена куполом, имеет качество 720р, которого вполне хватает для оценки ситуации. Купол не обладает какими то особыми характеристиками и может быть легко заменен. Связь происходит по сигналу WI-FI, антенны расположены в самых безопасных точках забоя, чтобы минимизировать риск повреждения системы связи [4].

В случае аварии диспетчер первым делом включает камеры наблюдения и оценивает ситуацию. Например, при ошибке программного обеспечения системы, диспетчер перезагружает систему, данная операция занимает около 10–15 минут. В случае критической поломки диспетчер останавливает работу оборудования, вызывает ремонт бригаду, которая выгоняет технику на свежую струю и производит ремонт. При поломке ремонт оборудования не должен

превышать одной смены.

Предлагаемое горно-шахтное оборудование с дистанционным управлением для проведения выработок малого сечения показано на рис.3.



**а) Автоматизированный  
анкероустановщик**

**б) Самоходный вагон**

**Рис. 3. Горно-шахтное оборудование с дистанционным  
управлением**

Аналогичная технология с использованием диспетчерских мобильных пунктов управления оборудования с дистанционным управлением, например, беспилотных самосвалов, может применяться на угольных разрезах при добыче и транспортировке угля [3].

#### **Библиографический список:**

1. Трубецкой К.Н., Кулешов А.А., Клебанов А.Ф., Владимиров Д.Я. Современные системы управления горно-транспортными технологиями/ Пол редакцией акад. РАН К.Н. Трубецкого. – СПб.: Наука, 2007.
2. Клебанов Д.А., Макеев М.А. Роботизированные технологии добычи полезных ископаемых рождаются в недрах инновационного центра Сколково // Горная промышленность. — 2012. — №4. — С. 132.
3. Tu J.N., Hueka V.S. Analysis of open truck haulage sistem by use of a computer model. CiM Bulletin, 1985, pp. 53-59.

4. Ивашкин Ю.А. Агентные технологии и мультиагентное моделирование систем. — М.: МФТИ, 2013. — 268 с. ЕШ2

© Д.Е. Алёнкин, Д.И. Марченко, И.С. Кокорев, 2023

УДК 622.23.05

**Апёнкин Денис Евгеньевич**  
**Apenkin Denis Evgenyevich**

Студент  
Student

**Марченко Данил Игоревич**  
**Marchenko Danil Igorevich**

Аспирант  
Graduate student

**Волошин Владимир Анатольевич**  
**Voloshin Vladimir Anatolyevich**

Кандидат технических наук  
Candidate of Technical Sciences  
Научный руководитель  
Scientific supervisor  
Доцент  
Docent

**Спиридонов Вадим Вячеславович**  
**Spiridonov Vadim Vyacheslavovich**

Аспирант  
Graduate student

**Михайлова Ольга Владимировна**  
**Mikhailova Olga Vladimirovna**

Кандидат технических наук  
Candidate of Technical Sciences  
Научный руководитель  
Scientific supervisor  
Доцент  
Docent

Сибирский государственный индустриальный университет  
Siberian State Industrial University  
Новокузнецк, Россия  
Novokuznetsk, Russia

**ОРГАНИЗАЦИЯ БЕЗЛЮДНОЙ ВЫЕМКИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ  
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИБОРОВ  
КОНТРОЛЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ**

**ORGANIZATION OF UNPOPULATED EXCAVATION DURING  
MINING OPERATIONS USING INSTRUMENTS FOR  
MONITORING GEODYNAMIC PHENOMENA**

*Аннотация:* В данной статье описывается принцип проведения проходческих работ с использованием автоматизированных систем без

непосредственного присутствия человека в горной выработке, использующий современные технологии контроля геодинамических явлений.

**Abstract:** This article describes the principle of conducting sinking operations using automated systems without the direct presence of a person in the mining, using modern technologies for monitoring geodynamic phenomena.

**Ключевые слова:** горная выработка, безлюдное проведение горной выработки, Кузбасс, дегазация, автоматическое управление, гидротранспорт, крепление забоя, прибор контроля геодинамических явлений.

**Key words:** mining, unpopulated mining, Kuzbass, degassing, automatic control, hydraulic transport, face mounting, geodynamic phenomena monitoring device.

В месторождениях Кузбасса угольные пласты, залегающие в благоприятных условиях, встречаются крайне редко. Угольные месторождения представлены свитами сближенных пластов различной мощности, которые находятся в сложных горно-геологических условиях, шахтные поля разбиты геологическими нарушениями различной амплитуды и видов.

На предприятии ООО РУК «Шахта «Есаульская» к отработке принято 2 угольных пласта: 26а, 29а. Из принятых к отработке угольных пластов в работе находится один - 29а, средней мощностью 2,5м. Горные работы ведутся на глубине около 500 м, имеется повышенное горное давление, угол падения варьируется от 15° до 20°, склонность к динамическим явлениям, а также высокая метанообильность - до 25 м<sup>3</sup>/т угля. Сложное строение горного массива и проблемы отработки угольных запасов вынуждает производителей перевести в забалансовые запасы свыше 3,5 млн. тонн угля.

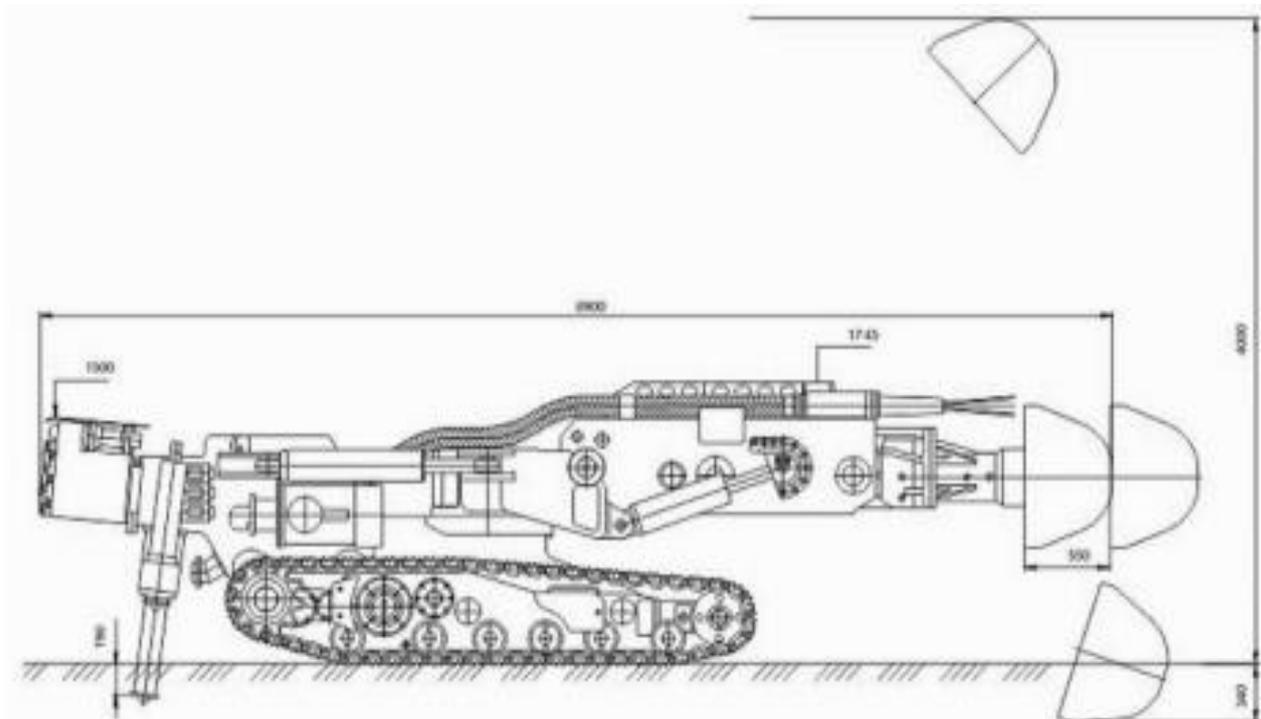
Проведение подготовительных выработок осуществляется механическим способом комбайном КП-21, транспортировка горной массы из забоя производится при помощи скребковых и ленточных конвейеров. Обслуживание и наростка скребкового конвейера -

трудоемкий и травмоопасный процесс, с постоянным присутствием горнорабочих в тупиковой выработке, следовательно, проведение подготовительных горных выработок требует большого количества проходчиков и горнорабочих для крепления выработки, обслуживания комбайна и обслуживания конвейера [1]. Проведение горной выработки осуществляется с постоянным присутствием человека в тупиковом забое, что в свою очередь является опасным фактором в силу сложности проветривания, высокого риска динамических явлений [2,3].

Для снижения воздействия опасных факторов предлагается к рассмотрению технология безлюдного проведения подготовительных горных выработок с предварительной разгрузкой и дегазацией массива по направлению продвижения забоя [2]. Отбойка горной массы осуществляется комбайном КП-21, а ее транспортировка осуществляется с помощью самоходного вагона до перегрузки в бункер накопитель ленточного конвейера. Устраняется вероятность аварийности и травмирования персонала за счет исключения эксплуатации скребковых конвейеров, что позволит увеличить производительность труда в 1 - 2 раза.

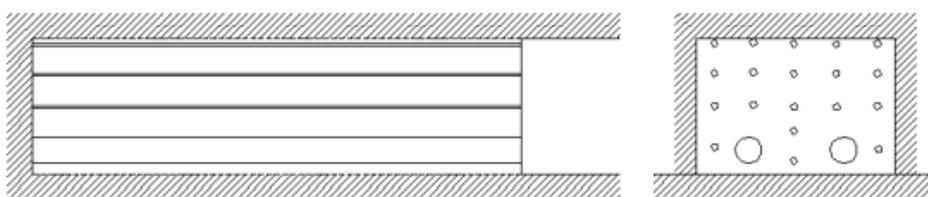
Технология основана на проведении подготовительных горных выработок полного поперечного сечения выработки с постадийным креплением временной и постоянной анкерной крепью. Крепление выработок временной крепью в забое осуществляется с помощью винтовых анкеров с шайбами, установленным на комбайне дистанционно управляемым анкероустановщиком, что позволяет снизить риск аварийности и травмирования персонала, сократить время проходческого цикла, и увеличить темпы проведения выработок с увеличением производительности труда [3]. Проведение выработок осуществляется дистанционно механическим комбайном по типу КСП22МГ (рис. 1). Комбайн способен осуществлять выемку и

транспортирование отбитой горной массы на самоходный вагон без использования скребкового конвейера, что существенно снижает затраты на монтаж, ремонт и обслуживание конвейерного транспорта.



**Рис. 1. Общий вид и размеры комбайна КП-21**

Предварительная разгрузка и дегазация массива производится двумя скважинами направленного бурения диаметром 500 мм, проведенными в почве выработки, и некоторого количества скважинам малого диаметра, пробуренных в направлении движения забоя для большей эффективности процесса (рис. 2). Проветривание проходческого забоя осуществляется за счет общешахтной депрессии по опережающим разгрузочным скважинам [4].



**Рис. 2. Схема бурения длинных опережающих разгрузочных дегазационных скважин**

Вокруг скважин возникает собственная область концентрации напряжений, которая вносит изменения в зону повышенных напряжений впереди подготовительной выработки, что приводит к перемещению зоны повышенного горного давления вглубь угольного массива. Эффективность защитного действия скважин зависит от размера создаваемой ими зоны предельного состояния.

Горная масса транспортируется самоходными вагонами от места разрушения до пункта перегруза на ленточный конвейер. Горная масса поступает на скребковый перегружатель с системой перфорации, а далее выдаётся на поверхность средствами шахтного транспорта.

Представленная технологическая схема подготовки выемочных участков способствует повышению безопасности подготовительных работ за счет исключения присутствия рабочего персонала в зоне работы механизмов, что позволит облегчить проветривание тупикового забоя, разгрузку массива и дегазацию забоя. Технология позволит производить работы без присутствия людей в забое, что снижает опасного воздействия горных ударов, внезапных выбросов угля и газа в забое. Представленная технологическая схема проведения выработок позволит уменьшить затраты на транспортирование горной массы, за счет исключения ленточных или скребковых конвейеров и необходимости их ремонта и обслуживания.

Существенным недостатком предложенной на рассмотрение технологии является отсутствие приборов контроля геодинамических процессов в зоне подготовительного забоя.

Для его устранения предложен к внедрению прибор непосредственного контроля состояния кровли в условиях проведения выработки механизированным способом – разрабатываемый совместно кафедрами геотехнологии и автоматизации и информационных систем Сибирского государственного

индустриального университета (г. Новокузнецк) трехосевой акселерометр с цифровым выходом и программируемым диапазоном полной шкалы [7, 8]. Данный прибор позволит определять негативные воздействия техногенных процессов на вмещающие породы в подготовительном забое и исключить риск аварии из-за внезапного выброса газа путем заблаговременной остановки работ и выключения напряжения на горно-шахтном оборудовании подготовительного забоя.

Нормальный рабочий ток акселерометра 500 мкА не требует существенных затрат электроэнергии, а с применением конденсаторов обеспечит постоянную работу прибора на протяжении нескольких суток. Вспомогательная главная шина I2C для считывания данных с внешних датчиков, установленных в шпурах глубиной 0,3 м и обеспечит перекрестную чувствительность между осями акселерометра и установленных приборов.

Для адаптации прибора контроля геодинамических явлений в рабочей зоне подготовительного забоя необходимо создать программу для связи пользователя с цифровыми фильтрами акселерометра для определения силы сигналов и передачи команды на опасность.

### **Библиографический список:**

1. Обоснование необходимости разработки новой технологии строительства подземных выработок / В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, А.В. Адамков, А.Н. Ермаков // Вестник КузГТУ. — 2015. — №4. — с. 21-25.

2. Увеличение темпов проведения подготовительных выработок на высокогазоносных угольных пластах // Салманова Е.А., Никитина А.М., Риб С.В. / Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией М.В. Темлянцева. 2020. С. 58-

62.

3. Садыков С.Р. Исследование существующих и разработка новых способов и средств прогноза и предотвращения внезапных выбросов угля и газа при проведении подготовительных выработок / С.Р. Садыков, А.М. Никитина, С.В. Риб // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения : труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13-15 мая 2014 г. Вып. 18. Ч. 2 : Технические науки / Сиб. гос. индустр. ун-т ; под общ. ред. М. В. Темлянцева. - Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2014. - С. 21-23.

4. Николаев П. И. Методика обоснования подземных роботизированных геотехнологий без постоянного присутствия людей в забоях / П. И. Николаев, В. В. Зиновьев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2016. – №4 (116). – с. 26—33.

5. Малышев Ю.Н. Новые технологические решения и технические решения подземной угледобычи / Ю.Н. Малышев, О.В. Михеев – М.:МГГУ, 2004. – с. 250.

6. Маметьев Л.Е., Хорешок А.А., Цехин А.М., Борисов А.Ю. Повышение эффективности бурения дегазационных скважин и транспортирования разрушенного угля // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2018. – № 1. – с. 106–112.

7. Куксин, В.С. Создание датчика вибрации с использованием акселерометра и микроконтроллера Arduino Nano / Куксин В.С., Олейник А.А., Михайлова О.В., Садов Д.В. // ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ НАУКА: СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ : сборник статей XXXI Международной научно-практической конференции (22 июня 2023 г.) – Петрозаводск : МЦНП «НОВАЯ НАУКА», 2023. – 362 с. : ил. – С. 74-79. -

<https://sciencen.org/assets/Kontent/Konferencii/Arhiv-konferencij/KOF-833.pdf>

8. Куксин, В.С. Система контроля вибрации оборудования на платформе Arduino / Куксин В.С., Олейник А.А., Михайлова О.В., Садов Д.В. // НАУКА, СТУДЕНЧЕСТВО, ОБРАЗОВАНИЕ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ: сборник статей V Международной научно-практической конференции. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2023. – 222 с. – С. 58-61. - <https://naukaip.ru/wp-content/uploads/2023/06/МК-1751.pdf>

© Д.Е. Апёнкин, Д.И. Марченко, В.В. Спиридонов, 2023

УДК 622.4

**Гельгенберг Илья Олегович**  
**Gilgenberg Ilya Olegovich**

Студент  
Student

**Пичугин Владимир Александрович**  
**Pichugin Vladimir Alexandrovich**

Аспирант  
Graduate student

**Волошин Владимир Анатольевич**  
**Voloshin Vladimir Anatolyevich**

Кандидат технических наук  
Candidate of Technical Sciences  
Научный руководитель  
Scientific supervisor  
Доцент  
Docent

**Спиридонов Вадим Вячеславович**  
**Spiridonov Vadim Vyacheslavovich**

Аспирант  
Graduate student

**Михайлова Ольга Владимировна**  
**Mikhailova Olga Vladimirovna**

Кандидат технических наук  
Candidate of Technical Sciences  
Научный руководитель  
Scientific supervisor  
Доцент  
Docent

Сибирский государственный индустриальный университет  
Siberian State Industrial University  
Новокузнецк, Россия  
Novokuznetsk, Russia

## **СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ГОРНЫХ РАБОТ В ИНЕРТНОЙ СРЕДЕ**

## **MODERN MINING TECHNOLOGY IN AN INERT ENVIRONMENT**

**Аннотация:** В России 80% шахт являются потенциально метановзрывоопасными. Ситуация с метановой опасностью за последние годы существенно обострилась. Попытки понять, что на сегодняшний день происходит, приводят к мысли, что все применяемые на сегодняшний день методы «борьбы с

метаном», включая проветривание, газоуправление, дегазацию и др. не могут в полной мере обеспечить безопасность в современных метанообильных высокопроизводительных шахтах. Для обеспечения безопасности предлагается использовать технологию автоматизированной безлюдной выемки угля при помощи роботизированных комплексов вместе с инертной газовой средой.

**Abstract:** In Russia, 80% of mines are potentially methane-explosive. The situation with the methane hazard has significantly worsened in recent years. Attempts to understand what is happening today lead to the idea that all methods of "methane control" used today, including ventilation, gas control, degassing, etc. they cannot fully ensure safety in modern methane-producing high-performance mines. To ensure safety, it is proposed to use the technology of automated unpopulated coal mining using robotic complexes together with an inert gas environment.

**Ключевые слова:** инертная газовая среда, автоматизированная безлюдная выемка угля, проветривание, дегазация.

**Key words:** inert gas environment, automated unpopulated coal mining, ventilation, degassing.

Комплекс существующих способов проветривания с технологиями дегазации находятся на пределе развития своих возможностей и имеет на сегодняшний день больше вид выдыхающегося стайера на марафонской дистанции, приближающегося к финишу, чем перспективной технологии. Исторически, до появления А.А. Скочинского, Г.Д. Лидина, Н.В. Ножкина в 1940-60-е гг. и др., то же самое произошло с возможностями проветривания шахт отдельно. По данным [1, 2] общие показатели дегазации в Кузбассе ухудшились.

Поэтому необходимо по-новому объективно взглянуть на нетрадиционные подходы к современной способам добычи угля подземным способом в пользу применения альтернативных технологий.

Одним из направлений решения проблемы высокогазоносных шахт авторами предлагается ранее известная, но несправедливо

забытая возможность добычи угля с использованием инертных газовых сред в сочетании с ведением горных работ без постоянного присутствия людей в рабочих зонах с применением передовых цифровых, автоматизированных и/или роботизированных технологий, обеспечивающих возможность удаленной работы производственного персонала – автоматизированная безлюдная выемка угля (далее - АБВУ).

Сущность технологии заключается в том, что процессы по добыче угля, связанные с выделением метана, сопряженные с опасностями для горнорабочих, выполняются в изолированном от общешахтной атмосферы пространстве, заполненном взрывобезопасной (инертной) смесью газов. Работы производятся дистанционно управляемыми, автоматизированными или роботизированными комплексами оборудования, обслуживающий персонал в это время находится в хорошо проветриваемых горных выработках или на поверхности [3].

У некоторых специалистов-горняков упоминание о существовании данной технологии с начала вызывает чувства скептицизма, однако после ознакомления с имеющимися аспектами истории развития идеи, непременно появляется понимание, что предлагаемый способ скорее относится к «hi-tech», у которой есть возможность продвинуть в эволюционном отношении вперед технологии подземной добычи угля глубоких шахт Кузбасса и этим самым ознаменовать рождение следующей эпохи горного производства.

Группой компаний «Цифра» совместно с Министерством энергетики РФ проведено масштабное исследование, целью которого выступало определение уровня цифрового развития крупнейших игроков рынка угледобычи. Результаты исследования показали, что большинство участвующих в опросе компаний на начальном пути

внедрения цифровых технологий, в то время как другие уже используют самые передовые зарубежные практики по автоматизации производства. Средний уровень цифровой зрелости составил 53,89% (табл. 1).

Впервые способ предотвращения взрывоопасных ситуаций путем создания в выработках искусственной невзрывоопасной атмосферы с заполнением рабочего пространства горных выработок «мертвым воздухом» предложил ещё академик Академии наук СССР А. А. Скочинский в 1950-х годах прошлого столетия [4]. На 1-ой Всесоюзной конференции по технике безопасности и горноспасательному делу в каменноугольной промышленности в 1932 г. (г. Донецк), он говорил: «Не было бы правильнее, вместо того, чтобы гонять гремучий газ по всему руднику, умертвлять этого злого врага угольных шахт, как только он выделяется в угольную выработку, расщепляя, поглощая или хотя бы ослабляя его взрывчатые свойства...».

Широкое развитие идея получила в 70-80-х годах при выполнении комплексной научно-исследовательской работы «Шахта будущего» по заданию Совета Министров СССР у академика Академии наук СССР А. С. Бурчакова [5].

В 1990-х годах по заказу АОТ «Ленинскуголь» на поле шахты «Комсомолец» (Кузбасс) в рамках Государственной научно-технической программы «Недра России» утвержденной Министерством науки России при поддержке Государственной угольной компании «Росуголь» в 1993 г. даже планировалась опытно-промышленные испытания технологии АБВУ при отработке пласта «Бреевский» на горизонте – 200 м согласно научно-технического проекта института «Кузбассгипрошахт» (г. Кемерово) под контролем Московского государственного горного университета (МГГУ). Для этого был привлечен целый ряд специализированных научных и

производственных объединений России: институты «Гипроуглемаш» и «Гипроуглеавтоматизация», НПО «Точных приборов», ИМАШ РАН, РосНИИГД, ТамбовНИХИ, ВостНИИ [3, 6].

Результатов опытно-промышленные испытания на шахте «Комсомолец» опубликовано не было, по всей видимости, в сложные для страны 90-е, на фоне общего падения уровня добычи угля в Кузбассе, из-за недостатка финансирования инновационный проект в итоге не был реализован.

Далее, но уже в 2000-х годах история технологии снова получила продолжение в качестве новой научной доктрины «Шахта XXI века», которая предлагалась учеными специалистами ДонГТУ для развития угольной промышленности Донбасса.

После ознакомления с теоретическими возможностями технологии АБВУ начинаешь понимать причину настойчивых желаний ученых и специалистов возвращаться к ней снова и снова.

По предварительно выполненным расчетам, предлагаемая технология может позволить решительно закрыть существующие проблемные вопросы:

- высокой метанообильности всех современных действующих и проектируемых шахт, существенно повысить уровень безопасности посредством исключения вероятности горения, вспышек и взрывов всех горючих газов подземных условиях;
- полностью исключить необходимость большинства видов предварительной (сопутствующей) дегазации угольных пластов и изолированном отводе метана;
- обеспечить возможность использовать технические данные всего существующего высокопроизводительного угледобывающего и проходческого оборудования, сдерживаемого «газовым барьером» с дальнейшим наращиванием производственных мощностей предприятий;

- снизить общее необходимое количество воздуха, подаваемого для проветривания горных выработок шахт, значительно уменьшить сечения подготовительных горных выработок;
- снизить объемы и время на подготовку участков для возобновления фронта выемочных работ;
- повысить технологичность строительно-монтажных работ и проходческого оборудования, связанного с отсутствием необходимости в задействовании тяжелых габаритных комбайнов, вентиляторов местного проветривания и так далее;
- исключить необходимость строительства мощных вентиляторов главного проветривания и газоправления, затраты на обслуживание инфраструктурных объектов на поверхности шахт;
- уменьшить расходы электроэнергии, а также численность производственно-промышленного и вспомогательного персонала, снизить уровень затрат на страхование работников;
- внедрить технологии совместной добычи угля и метана, обеспечивающей высокую степень извлечения метана с значительными объемами добываемого газа высокой концентрации, а также способствовать значительному уменьшению выбросов газов в атмосферу планеты.

Группой компаний «Цифра» совместно с Министерством энергетики РФ проведено масштабное исследование, целью которого выступало определение уровня цифрового развития крупнейших игроков рынка угледобычи [7]. Результаты исследования показали, что большинство участвующих в опросе компаний на начальном пути внедрения цифровых технологий, в то время как другие уже используют самые передовые зарубежные практики по автоматизации производства. Средний уровень цифровой зрелости составил 53,89% (табл. 1). Для создания своего полноценного автономного «цифрового предприятия» потребуется еще время, только затем произойдет

поэтапный переход всех производственных процессов на автономную работу. Развитие техники – это не инновационные рывки, а скорее непрерывное улучшение уже имеющейся унифицированной техники.

**Таблица 1. Цифровая зрелость отечественных угледобывающих компаний**

Компания	Уровень цифровой зрелости	Уровень цифровизации бизнес-процессов		Уровень технологического развития ИТ
		Основных	Вспомогательных	
СУЭК	67,13%	63,03%	65,00%	74,87%
Евраз	66,45%	62,54%	64,23%	74,12%
Русский уголь	65,19%	59,22%	63,30%	73,04%
Восточная горнорудная компания	64,46%	56,78%	61,51%	72,08%
Кузбасская топливная компания	64,09%	60,42%	56,63%	65,23%
СДС-Уголь	62,02%	58,53%	52,73%	58,81%
Кузбассразрезуголь	61,82%	61,58%	54,29%	56,60%
Сибуглемет	61,52%	58,74%	61,06%	54,77%
Воркутауголь	60,23%	56,87%	55,21%	53,18%
Востсибуголь	59,54%	53,98%	53,56%	52,87%

Технология АБВУ отвечает требованиям чистых угольных технологий, пропагандируемых во всём мире («clean coal technologies»), обеспечивающих значительное снижение выбросов в окружающую среду углерода.

Проведенный авторами статьи обзор существующих технических возможностей позволяет утверждать, что на сегодняшний день можно решить все вопросы, из-за которых более 50 лет сдерживался процесс внедрения и полномасштабных опытно-промышленных испытаний предлагаемой технологии в России. К ним можно отнести следующие:

1. Отсутствие в России полностью автоматизированных агрегатов и комплексов, обеспечивающих выемку угля без

постоянного присутствия людей в забое, т. к. работа оборудования предусматривается в нейтральной газовой среде при содержании метана с концентрацией до 100%;

2. Отсутствие прямых упоминаний технологии АБВУ в Федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности для организации проектирования, проведения экспертиз проектной документации и внедрения технологии в угольных шахтах России;

3. Не адаптированность технических решений XX века для угледобывающих предприятий XXI века. При внедрении потребуется возможность поэтапного внедрения технологии АБВУ, без остановки действующих предприятий.

#### **Библиографический список:**

1. Забурдяев В.С. Технологические решения по снижению метановой опасности в угольных шахтах / Вологда: Инфра – Инженерия, 2023. – 208 с.

2. Забурдяев В.С. Выработанные пространства метанообильных угольных шахт: монография / В.С. Забурдяев. – Москва: Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 136 с.

3. Пучков Л.А., Красюк Н.Н., Мазикин В.П. и др. Технология интенсивной отработки высокогазоносных пологих угольных пластов с применением автоматизированных комплексов оборудования и инертных сред // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1994. – № 5.,

4. Ушаков К.З., Бурчаков и др. Аэрология горных предприятий: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1987. – 421 с.

5. Бурчаков А.С. Доклад о разработке научных основ шахты будущего Текст / Сост. проф., д-р техн. наук А. С. Бурчаков; М-во

высш. и сред. спец. образования СССР. МГИ, 1970.

6. Красюк Н.Н., Косьминов Е.А., Казаков В. Б, Савков К.В. Технология отработки высокогазоносного угольного пласта «Бреевский» на поле шахты Комсомолец» АОТ «Ленинскуголь» в инертной газовой среде // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1995. – № 5., С. 10-16.

7. Жданеев О.В., Власова И.М. Вызовы и приоритеты цифровой трансформации угольной отрасли // Уголь. 2023. № 1. – 167 с.

© И.О. Гельгенберг, В.А. Пичугин, В.В. Спиридонов, 2023

**УДК 621.865.8**

**Гельгенберг Илья Олегович**  
**Gilgenberg Ilya Olegovich**

Студент  
Student

**Пичугин Владимир Александрович**  
**Pichugin Vladimir Alexandrovich**

Аспирант  
Graduate student

**Волошин Владимир Анатольевич**  
**Voloshin Vladimir Anatolyevich**

Кандидат технических наук  
Candidate of Technical Sciences  
Научный руководитель  
Scientific supervisor  
Доцент  
Docent

**Спиридонов Вадим Вячеславович**  
**Spiridonov Vadim Vyacheslavovich**

Аспирант  
Graduate student

**Михайлова Ольга Владимировна**  
**Mikhailova Olga Vladimirovna**

Кандидат технических наук  
Candidate of Technical Sciences  
Научный руководитель  
Scientific supervisor  
Доцент  
Docent

Сибирский государственный индустриальный университет  
Siberian State Industrial University  
Новокузнецк, Россия  
Novokuznetsk, Russia

## **АДАПТАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ БЕЗЛЮДНОЙ ВЫЕМКИ УГЛЯ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ШАХТ**

### **ADAPTATION OF AUTOMATED UNPOPULATED COAL MINING TECHNOLOGY FOR MODERN MINES**

*Аннотация:* Главной задачей адаптации технологии автоматизированной безлюдной выемки угля (далее – АБВУ) для современных шахт, по мнению авторов, является новое техническое решение по обеспечению максимально безопасных условий для горных работ в виде взрывобезопасной газовой среды на

участках подземных горных выработок, характеризующихся потенциально опасными факторами среды, такими как риски возгорания, вспышек, взрывов горючих газов.

**Abstract:** The main task of adapting the technology of automated unpopulated coal mining (hereinafter referred to as ABLU) for modern mines, according to the authors, is a new technical solution to ensure the most safe conditions for mining in the form of an explosion-proof gas environment in underground mining sites characterized by potentially dangerous environmental factors such as the risks of fire, outbreaks, explosions flammable gases.

**Ключевые слова:** инертная газовая среда, автоматизированная безлюдная выемка угля, шахтные перемычки, ударная волна.

**Key words:** inert gas environment, automated unpopulated coal mining, mine bridges, shock wave.

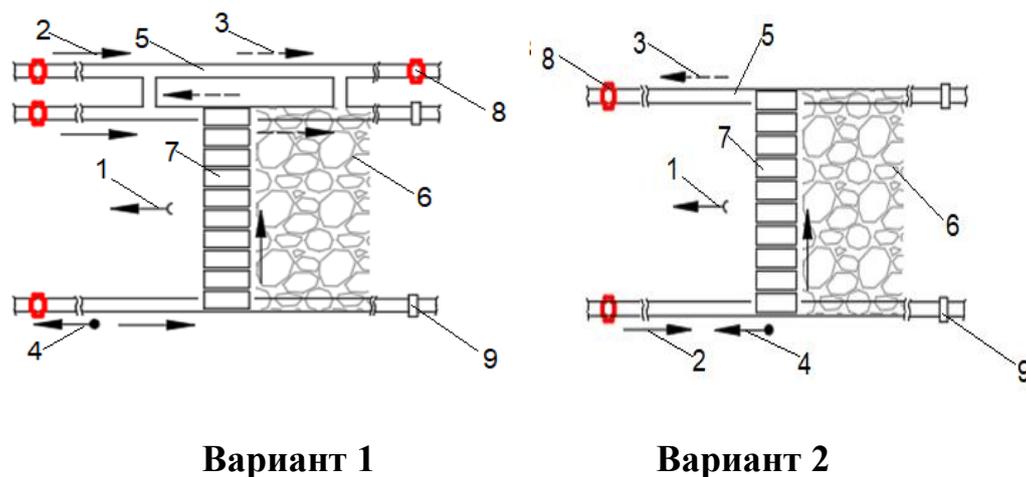
Технический результат предлагаемого решения заключается в повышении безопасности на участках подземных горных выработок, в повышении технологичности и эффективности достижения безопасных условий за счет возможности дистанционного регулирования количества подаваемого воздуха на рабочие участки горных выработок [1].

Предлагаемая технология обеспечения взрывобезопасной газовой среды на участках подземных горных выработок включает установку взрывоустойчивых регулируемых перемычек (далее - ВРП), выполненных с возможностью регулирования количества воздуха, подаваемого на рабочие участки горных выработок, оснащенных механизмом их открывания и закрывания, и управление механизмом открывания и закрывания взрывоустойчивых регулируемых перемычек дистанционно.

Установка взрывоустойчивых регулируемых перемычек необходима для обеспечения возможности регулирования количества воздуха, подаваемого на рабочие участки горных выработок. На рис. 1 показаны схемы с основными вариантами установки

взрывоустойчивых регулируемых перемычек на выемочных участках горных выработок газовых угольных шахт [2].

Монтаж взрывоустойчивых регулируемых перемычек и горношахтного оборудования осуществляется только в нормально проветриваемых горных выработках согласно существующим требованиям норм и правил в области промышленной безопасности.



**Рис. 1. Схемы установки взрывоустойчивых регулируемых перемычек:**

1-направление движения выемочного участка, 2- направление движения струи свежего воздуха, 3-направление движения отработанной струи воздуха, 4-направление движения горной массы, 5-горная выработка, 6-отработанное пространство, 7-забой выемочного участка, 8-участок горной выработки с установленной взрывоустойчивой регулируемой перемычкой, 9-участок горной выработки с установленной стандартной изоляционной перемычкой

Перед началом очистных или проходческих работ взрывоустойчивые регулируемые перемычки закрываются, изолируя участки с их постепенным заполнением инертным газом, метаном или смесью этих газов за счет естественного выделения до значений, превышающих верхний предел горения и взрываемости. Таким

образом осуществляется контролируемое технологическое загазирование.

Известно, что концентрация метана (СН<sub>4</sub>) в воздухе, составляющая более 16%, исключает риск его возгорания или взрыва. Таким образом, происходит полное самогашение метана [1].

Запуск оборудования в изолированном пространстве допускается только при полной инертизации рабочей среды до безопасных для работы оборудования концентраций. Контроль состояния атмосферы в горных выработках осуществляется дистанционно с помощью специализированных датчиков.

Для выполнения вспомогательных работ и обслуживания оборудования на горных участках, по специальным мероприятиям, согласно существующим требованиям норм и правил в области промышленной безопасности, взрывоустойчивые регулируемые переключки постепенно (плавно) открываются и производится контролируемое разгазирование выработок до достижения допустимой концентрации (до 1,0%), при которой метан также не подвержен горению или взрыву, и специалисты могут безопасно работать в горных выработках.

В разгазированные горные выработки рабочий персонал допускается строго при снижении концентрации вредных газов до безопасных норм, установленных действующим требованиям норм и правил в области промышленной безопасности [2]. До начала работ и в течении всего времени работы персонала на местах ведения работ с помощью стационарной и переносной аппаратуры в подземных горных выработках шахты ведется непрерывный контроль безопасного состояния атмосферы.

После окончания выполнения всех необходимых вспомогательных работ на производственных участках, люди выводятся в безопасное место (на свежую струю воздуха или дневную

поверхность), взрывоустойчивые регулируемые переключки закрываются, рабочий цикл подземных производственных участков снова повторяется.

Оснащение взрывоустойчивых регулируемых переключек механизмом открывания и закрывания переключек, в качестве которого может быть использован электрический, гидравлический, комбинированный или другие механизмы, и управление механизмом открывания и закрывания переключек дистанционно характеризует заявленную технологию возможностью ее применения при осуществлении других мероприятий непосредственно в горных выработках, в частности, связанных с дистанционной добычей угля, внедрения комплексно-механизированных (автоматизированных) забоев, роботизированной техники, применения агрегатов различной конструкции для добычи угля без присутствия человека. Заявленная технология основана на управлении режимами работы переключек и контроля их состояния «Открыто – Закрыто» - дистанционно.

При полной автоматизации оборудования шахт возможен вариант создания взрывобезопасной газовой среды во всех горных выработках шахты с установкой взрывоустойчивых регулируемых переключек на устьях выработок, выходящих на поверхность [3].

Выбор наиболее оптимальных вариантов расстановки и работы взрывоустойчивых регулируемых переключек, количество переключек, необходимость и состав специальных конструктивных элементов их усиления либо использование дополнительных взрывозащитных инженерных устройств, определяется в каждом отдельном случае индивидуально в соответствие с конкретными горно-технологическими условиям шахт по требованиям, изложенным в проектной документации, выполненной и прошедшей экспертизу согласно всем действующим требованиям норм и правил в области промышленной безопасности [4].

Расчеты параметров, выбор материалов и конструкции, изготовление взрывоустойчивых регулируемых перемычек осуществляется специализированной организацией. Допуск взрывоустойчивых регулируемых перемычек и технологии к эксплуатации на угольных шахтах разрешается в порядке, определенном действующим законодательством [5].

Заявляемая технология обеспечивает формирование инертной взрывобезопасной газовой среды (без кислорода или с минимальным его содержанием) в отдельных изолированных от доступа свежего воздуха подземных участках угольных шахт, оборудованных автоматизированными, дистанционно управляемыми и контролируемыми забоями, ведущими подземные горные работы с частичным сохранением вентиляции в основных горных выработках шахт. Изолированные с помощью регулируемых перемычек участки могут включать отдельно действующие очистные или проходческие забои.

Таким образом, для перехода от механизированных технологий добычи к роботизированным комплексам с помощью ВРП и внедрения новой технологии АБВУ в угольных шахтах для собственных исследований необходимо выделить следующие приоритетные задачи [5, 6]:

1. Провести обзор возможных способов остановки энергии ударной волны (далее – УВ) в подземных условиях угольных шахт с помощью специальных устройств, в том числе способных снижать интенсивность УВ в выработках.

2. Выполнить математические модели конструкций ВРП для разных условий эксплуатации (при УВ различной интенсивности). Главное условие - ВРП в закрытом состоянии должны выдерживать максимально возможные давления на фронте УВ.

3. Разработать научное обоснование безопасности применения

технологии АБВУ на ОПО с детальной оценкой всех рисков появления возможных аварий и связанных с ними угроз.

4. Обосновать и выработать практические рекомендации применения ВРП в угольных шахтах.

5. Выполнить расчеты технико-экономических показателей эффективности результатов внедрения технологии АБВУ с применением ВРП в угольных шахтах.

6. Изготовить опытные образцы ВРП, провести испытания в ударной трубе типа УТ-5000.

7. Получить разрешения Ростехнадзора РФ на применение в угольных шахтах России (при выполнении п. 6).

#### **Библиографический список:**

1. Бурчаков А.С. Доклад о разработке научных основ шахты будущего Текст / Сост. проф., д-р техн. наук А. С. Бурчаков; М-во высш. и сред. спец. образования СССР. МГИ, 1970.

2. Ганг Сонг. Опыт внедрения автоматизации процессов подземной добычи угля на примере китайской угольной промышленности // Уголь. 2016. № 2. С. 25–29.

3. Громов Е. В. Цифровая трансформация технологических процессов подземных горных работ: ретроспективный анализ и мировой опыт / Известия вузов. Горный журнал. – 2020. - № 8., С. 90-105.

4. Шваб К. Четвертая промышленная революция / пер. с англ. / – М.: «ЭКСМО», 2016. – 138 с.

5. Палаткин Ю. А., Палаткина Л. С. Программы «Индустрия-4.0» и «Цифровая экономика Российской Федерации» – возможности и перспективы в угольной промышленности // Горная промышленность. № 1(137). 2018. С. 22–28.

6. Литвинский Г.Г. Научная доктрина «Шахта XXI века» / Сб.

науч. тр. ДонГТУ: Исторические и футурологические аспекты горного дела. – Алчевск, 2005. – С. 190-231.

© И.О. Гельгенберг, В.А. Пичугин, В.В. Спиридонов, 2023

Научное издание

**АКТУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ В НАУКЕ  
И ТЕХНИКЕ**

Сборник статей

X Международной научно-практической конференции

Статьи публикуются в авторской редакции  
после рецензирования и с учетом рекомендаций редколлегии.

Международный научно-издательский центр  
«Твоя наука»