Дисциплина «Актуальные проблемы в горном деле»
для магистрантов ОП 7М07203 "Горное дело"

Лекция 10. Методология научных исследований в горном деле: планирование эксперимента, обработка данных, публикационная активность

Цель лекции: Сформировать у магистрантов системное представление о методологии научных исследований в горном деле как целостном процессе от постановки проблемы до публикации её решения. Научить грамотно формулировать научную гипотезу, выбирать адекватные методы исследования, обрабатывать и интерпретировать полученные статистические данные. Привить практические навыки структурирования научного труда, подготовки публикаций в высокорейтинговых журналах (Scopus, Web of Science) и работы над магистерской диссертацией.

План лекции:

1) Постановка научной проблемы, формулирование гипотезы. Выбор методов исследований (натурные, лабораторные, численные).

2) Статистическая обработка результатов, визуализация данных. Ошибки и неопределённости.

3) Структура научной статьи, выбор журнала (Scopus, WoS), рецензирование и публикация. Подготовка диссертации.

Горное дело как область научного познания обладает рядом особенностей, определяющих специфику методологии исследований. Во-первых, объект исследования – горный массив – представляет собой сложную природно-техногенную систему с высокой степенью неопределённости и вариабельности свойств. Во-вторых, прямое наблюдение за процессами, протекающими в недрах, затруднено, а часто и невозможно. В-третьих, многие явления (горные удары, внезапные выбросы газа и породы) носят катастрофический характер и не могут быть воспроизведены в лабораторных условиях в полном масштабе.

Именно поэтому методология научных исследований в горном деле требует от исследователя особого внимания к планированию эксперимента, корректной статистической обработке данных и адекватному выбору методов исследования – натурных, лабораторных или численных. Как справедливо отмечается в учебном пособии «Основы научных исследований. Эксперимент», важнейшим этапом является освоение методологических принципов проведения экспериментальных исследований, методов статистической обработки и планирования эксперимента.

1. Постановка научной проблемы, формулирование гипотезы. Выбор методов исследований

Научное исследование начинается не с эксперимента и не с расчётов, а с осознания проблемной ситуации. Научная проблема – это объективно возникающий в науке вопрос, ответ на который не может быть получен из уже имеющегося знания. Для горного дела характерны проблемы, возникающие на стыке геомеханики, горной технологии, геологии и экономики.

Постановка проблемы включает несколько этапов:

- Обнаружение противоречия между существующей теорией и практикой, либо между достигнутым уровнем технологии и новыми требованиями.
- Формулировка проблемы в виде вопроса: «Каким образом можно обеспечить устойчивость бортов карьера при глубине разработки более 500 м?», «Как снизить разубоживание руды при очистной выемке в сложных структурных условиях?».
- Оценка актуальности - насколько решение данной проблемы важно для теории и практики горного дела.
- Анализ степени разработанности – что уже сделано предшественниками, какие подходы апробированы, где остаются «белые пятна».

Научная гипотеза представляет собой обоснованное предположение о способе решения поставленной проблемы. Важнейшее требование к гипотезе – её принципиальная проверяемость (верифицируемость) с помощью существующих или специально разрабатываемых методов. Гипотеза должна быть конкретной, содержать предсказание, которое можно экспериментально подтвердить или опровергнуть.

Примеры формулировок гипотез в горном деле:

- «Применение комбинированной системы разработки с закладкой выработанного пространства позволяет снизить оседание земной поверхности на 60-70% по сравнению с системами с обрушением».
- «Упорядочение трещиноватости массива в пределах зоны влияния взрыва подчиняется логнормальному распределению, что даёт возможность прогнозировать степень нарушенности приконтурного массива». Здесь, как подчёркивают исследователи, гипотеза о линейном поле напряжений нетронутого проведением выработок массива лежит в основе решения многих задач механики горных пород.

В горном деле используется три основных класса методов исследования, причём наиболее достоверные научные результаты достигаются при их комплексном применении.

Натурные исследования – это непосредственное изучение объекта в реальных горнотехнических условиях карьера, шахты, рудника. Они включают:

- Маркшейдерские наблюдения за сдвижением горных пород и земной поверхности;
- Инструментальные измерения напряжённо-деформированного состояния массива (методы разгрузки, гидроразрыва);

- Акустический контроль (сейсмоакустическое зондирование для выявления зон повышенной трещиноватости)8

- Опробование и мониторинг качества рудного потока.

Преимущество натурных исследований – максимальная достоверность, недостаток – трудоёмкость, высокая стоимость и невозможность полного контроля всех факторов. На практике реализуется комплекс натурных и численных методов, где натурные данные выступают в качестве верификационной базы для моделей.

Лабораторные исследования позволяют изучать отдельные свойства пород и процессы в контролируемых условиях. Это:

- Испытания образцов горных пород на одноосное и трёхосное сжатие, растяжение, сдвиг;

- Изучение фильтрационных свойств, акустических характеристик, теплопроводности;

- Физическое моделирование на эквивалентных материалах для изучения геомеханических процессов;

- Стендовые испытания горно-шахтного оборудования.

Лабораторные исследования дают возможность многократного воспроизведения опыта, но всегда несут в себе проблему масштабного фактора – свойства образца могут отличаться от свойств массива в целом.

Численные методы (компьютерное моделирование) стали неотъемлемой частью современной геомеханики и горной технологии. К ним относятся:

- Метод конечных элементов (МКЕ) для расчёта напряжённо-деформированного состояния;

- Метод дискретных элементов для моделирования трещиноватых и блочных сред;

- Компьютерное моделирование процессов взрыва, фильтрации, газодинамики;

- Цифровое моделирование технологических схем.

Как показывает практика, наиболее эффективным является сочетание подходов: *натурные наблюдения* дают исходные данные и служат верификационной базой; *лабораторные эксперименты* позволяют детально изучить механизмы явлений; *численное моделирование* обеспечивает возможность многовариантного прогноза и оптимизации. «Физическое и математическое моделирование с учётом данных натурных экспериментов» является современным стандартом исследований в горном деле.

2. Статистическая обработка результатов, визуализация данных. Ошибки и неопределённости

Результаты любых измерений в горном деле неизбежно содержат элемент случайности: изменчивость свойств горных пород даже в пределах одного месторождения (естественная вариабельность), погрешности измерительных приборов, влияние неконтролируемых факторов. Именно поэтому «основные

приёмы и методы сбора, систематизации и обработки информации массовых явлений, процессов» являются базовыми компетенциями исследователя.

Ключевые задачи статистической обработки:

1. Описательная статистика – вычисление средних значений, медиан, дисперсий, среднеквадратичных отклонений для характеристики типичных свойств пород.
2. Проверка статистических гипотез (например, однородности двух выборок) с использованием t-критерия Стьюдента, F-критерия Фишера, непараметрических критериев.
3. Выявление корреляционных и регрессионных зависимостей – установление связей между различными параметрами горного массива и технологическими показателями.
4. Геостатистический анализ – методы кригинга для пространственного моделирования свойств рудных тел.
5. Кластерный и факторный анализ для выявления скрытых закономерностей и классификации горно-геологических объектов.

Любое измерение принципиально не может быть абсолютно точным. Задача исследователя – правильно оценить уровень неопределённости и корректно его представить.

Систематические ошибки возникают из-за несовершенства методов или приборов и приводят к постоянному смещению результатов в одну сторону. Выявляются путём сличения с эталонными образцами.

Случайные ошибки обусловлены множеством неконтролируемых факторов и подчиняются законам вероятности. Они описываются стандартным отклонением и доверительными интервалами.

Грубые ошибки (промахи) являются следствием сбоев в эксперименте или невнимательности и подлежат отбраковке с использованием специальных критериев (критерий Романовского, Граббса, Диксона).

Правильная визуализация результатов не менее важна, чем корректная статистическая обработка. Современные пакеты (STATISTICA, SPSS, Python с библиотеками matplotlib/seaborn) позволяют строить:

- Гистограммы для демонстрации распределения свойств пород (прочности, плотности, трещиноватости);
- Диаграммы рассеяния (scatter plots), наглядно показывающие корреляции между параметрами;
- Ящики с усами (box plots), иллюстрирующие медиану, квартили и выбросы при сравнении нескольких выборок;
- Карты распределения (геостатистические карты) для пространственного представления содержаний полезных компонентов;
- 3D-визуализацию и сечений моделей для демонстрации напряжённо-деформированного состояния.

Важно соблюдать принцип «одно сообщение на один график» и избегать избыточной детализации, затрудняющей восприятие. Каждый график в

диссертации или статье должен иметь осмысленное название, подписанные оси с указанием единиц измерения и, при необходимости, легенду.

3. Структура научной статьи, выбор журнала (Scopus, WoS), рецензирование и публикация. Подготовка диссертации

Для индексации в наукометрических базах Scopus и Web of Science статья должна иметь чёткую структуру IMRaD (Introduction - Methods - Results - Discussion).

Требования к структурным элементам:

Раздел	Содержание	Объём/Особенности
Заголовок	Простой, лаконичный, максимально полно отражающий суть работы	Должен быть понятным для международной аудитории
Аннотация	Краткое резюме цели, методов, главных результатов и выводов	Обычно 150-250 слов
Ключевые слова	4-8 терминов для индексации	Должны быть из числа принятых в данной предметной области
Введение (Introduction)	Актуальность, обзор литературы, цель и задачи исследования, гипотеза	Заканчивается формулировкой цели
Методы (Methods)	Детальное описание натурных, лабораторных или численных методов	Должно обеспечивать воспроизводимость эксперимента
Результаты (Results)	Фактические данные в виде таблиц, графиков, фотографий, диаграмм	Без интерпретации – только «голые факты»
Обсуждение (Discussion)	Интерпретация результатов, сопоставление с работами других авторов, объяснение полученных закономерностей	Ключевой раздел, демонстрирующий научную новизну
Заключение (Conclusions)	Главные выводы, практическая значимость, направления будущих исследований	Не нумеруется, 3-5 тезисов
Список литературы	Полное оформление согласно требованиям журнала (обычно APA, Chicago или их модификации)	Не менее 15-20 источников, желательны ссылки на высокорейтинговые журналы

Перед подачей важно соблюсти все формальные требования: проверить оформление списка литературы и правильность внутритекстовых ссылок. При

их некорректности статья может быть автоматически отклонена или возвращена авторам на переделку.

Критерии выбора журнала:

- Индексация в целевой базе (Scopus – научный, Web of Science – более широкий охват, включая социально-экономические науки)
- Квартиль (Q1-Q4) – показатель места журнала в рейтинге по цитируемости (публикации в Q1/Q2 наиболее престижны)
- Тематическая направленность: специализированные горные журналы («Горный журнал», «Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук», «Горное эхо»)
- Скорость публикации (от момента подачи до появления онлайн-версии)
- Открытость доступа (Open Access) – позволяет повысить цитируемость, но может предполагать публикационный взнос.

Процесс рецензирования:

1. Техническая проверка редакцией на соответствие формальным требованиям и наличие плагиата (системы антиплагиата).
2. Назначение рецензентов (обычно 2-3 эксперта в соответствующей предметной области).
3. Рецензирование «слепое» (single-blind – автор не знает рецензента) или «двойное слепое» (double-blind – оба не идентифицированы).
4. Решение редактора: принять, принять с доработками (minor/major revisions), отклонить.
5. Корректура и публикация.
6. Пост-публикационное продвижение (размещение препринта в ResearchGate/Pure, распространение ссылок в профессиональных сообществах).

Подготовка магистерской диссертации

Структура магистерской диссертации по направлению «Горное дело» должна быть утверждена научным руководителем и соответствовать принятым на кафедре требованиям. Типовая структура:

- Титульный лист (оформление согласно ГОСТ или вузовскому стандарту)
- Аннотация (на русском и английском языках)
- Содержание с указанием страниц разделов
- Введение (актуальность, степень изученности, цель и задачи, объект и предмет исследования, методы, научная новизна, практическая значимость, положения, выносимые на защиту, апробация работы)
- Глава 1. Обзор литературы и состояние вопроса (анализ работ предшественников, обоснование направления собственных исследований)
- Глава 2. Теоретические и/или методические основы исследования (разработка математических моделей, обоснование методов)
- Глава 3. Экспериментальные исследования (описание методики экспериментов, оборудования, полученные результаты)

- Глава 4. Анализ и обсуждение результатов. Рекомендации производству (статистическая обработка данных, проверка гипотез, экономическое обоснование)

- Заключение (краткие выводы по каждому разделу и общие итоги)

- Список использованной литературы (не менее 40-60 источников, включая статьи из высокорейтинговых журналов)

- Приложения (акты внедрения, протоколы испытаний, коды программ, громоздкие таблицы).

Методология научных исследований в горном деле требует от магистранта овладения полным циклом: от осознания проблемы и построения проверяемой гипотезы до выбора адекватных методов (натурных, лабораторных, численных), корректной статистической обработки данных и оформления результатов в виде публикации в высокорейтинговом журнале или магистерской диссертации. В эпоху цифровизации и искусственного интеллекта особую актуальность приобретает владение пакетами статистической обработки (STATISTICA, SPSS, Python/R) и технологиями геостатистического моделирования.

Для магистранта горного дела важно не просто «сделать эксперимент», а получить достоверные, воспроизводимые и статистически значимые результаты, способные продвинуть отрасль вперёд. Именно этими критериями будет оценена ваша научная работа комиссией, рецензентами журналов и, в конечном счёте, практиками горного производства, которые будут использовать ваши рекомендации.

Вопросы для самоконтроля

1. В чём различие между научной проблемой и научной гипотезой? Приведите пример формулировки гипотезы применительно к исследованию устойчивости бортов глубокого карьера.
2. Каковы преимущества и ограничения натурных, лабораторных и численных методов исследования в горном деле? В каких случаях комплексное применение всех трёх типов методов является необходимым?
3. Что такое доверительный интервал, и почему он является обязательным элементом представления экспериментальных данных? Рассчитайте доверительный интервал для среднего значения предела прочности при сжатии на одноосное, если выборка: 45, 48, 47, 46, 49, 44 МПа.
4. Опишите полную структуру научной статьи в формате IMRaD для журнала Scopus. Каковы ключевые требования к каждому разделу?
5. Каковы требования к структуре магистерской диссертации по направлению «Горное дело»? Какие разделы являются обязательными, а какие носят вариативный характер?

Список использованной литературы

1. Афанасьев А.И., и др. Математическая обработка результатов эксперимента: учебник по направлению «Горное дело». Тараз: Dulaty University, e-library, 2023. (438 с.).
2. Бойко Н.И., Чеснокова Н.Н. Основы научных исследований. Эксперимент. Том 1: Методологические принципы экспериментальных исследований. Минск: БНТУ, 2025. 200 с.
3. Бойко Н.И., Чеснокова Н.Н. Основы научных исследований. Эксперимент. Том 2: Примеры статистической обработки и планирования эксперимента с применением STATISTICA. Минск: БНТУ, 2024. 266 с.
4. Гальянов А.В. Математическая обработка результатов измерений в горном деле: учебное пособие. Ставрополь: СКФУ, 2022. (На примерах из практики горного производства иллюстрируется статистический анализ).
5. Методические рекомендации по подготовке и оформлению научных статей в журналах, индексируемых в Scopus и Web of Science. Алматы: КазГАУ, 2019. (Структура IMRaD, этические нормы).
6. Краткая инструкция по написанию статьи в журналы Scopus и WOS. Уральск: Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, 2024. (Требования к заголовку, аннотации, оформлению ссылок).
7. Общие требования и рекомендации по выполнению магистерской диссертации / под ред. Леонова С.Л., Маркова А. Тараз: ТарГУ, 2023. (Структура разделов, требования к защите).
8. Певзнер М.Е., Костовецкий В.П. Методология экспериментальных исследований в горном деле. М.: Горная книга, 2021. 320 с. (Классическая российская методика).
9. Baecher G.B., Christian J.T. Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. Wiley, 2003. 619 p. (Международный классический труд по статистике и надёжности для геомеханики).
10. Hoek E., Brown E.T. The Hoek-Brown failure criterion and GSI – 2018 edition // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. 2019. Vol. 11. - P. 445-463. (Пример использования статистических данных о трещиноватости в геомеханике).