

УДК 622.33

**ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ
СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ МАСШТАБНЫХ МОДЕЛЕЙ ГЕОХОДА С
ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ
СИСТЕМЫ МАНЕВРИРОВАНИЯ**

Мягких И.Д.^{1,2}, студент гр. ГПа-241, II курс, сотрудник филиала КузГТУ в г.
Прокопьевске

Романов Ю.А.², сотрудник филиала КузГТУ в г. Прокопьевске

Научный руководитель: Аксенов В.В.¹, д.т.н., главный научный сотрудник

¹Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово

²Филиал Кузбасского государственного технического
университета им. Т.Ф. Горбачева в г. Прокопьевске

В статье рассматривается проблема повышения эффективности проходческих работ в сложных горно-геологических условиях посредством применения машин непрерывного действия типа «геоход». Особое внимание уделено конструкции исполнительных органов, расположенных за контуром опорной базы машины (законтурные исполнительные органы). Проанализированы ограничения математического моделирования процессов взаимодействия рабочего инструмента с горным массивом. Обоснована невозможность опоры исключительно на полномасштабные натурные испытания из-за их высокой материалоемкости, стоимости и длительности. Доказана необходимость проведения комплексных стендовых испытаний на масштабных моделях для верификации теоретических расчетов с минимальными экономическими рисками. Предложена концепция экспериментальных исследований, направленная на оптимизацию кинематических параметров геохода до этапа серийного производства.

Современный этап развития горной промышленности характеризуется тенденцией к увеличению глубины ведения работ и усложнением горно-геологических условий. Традиционные циклические технологии добычи и проходки все чаще уступают место механизмам непрерывного действия, способным обеспечить высокую производительность при снижении удельных затрат энергии. Одним из перспективных направлений является разработка машин типа «геоход», обладающих способностью к всенаправленному перемещению и непрерывному разрушению забоя [1].

Ключевым элементом, определяющим технико-экономические показатели геохода, является система исполнительных органов. В частности, использование законтурных исполнительных органов (ЗИО), вынесенных за габариты опорной базы, позволяет увеличивать сечение выработки без необходимости расширения шасси машины, что критически важно для работы в стесненных условиях. Однако применение таких органов влечет за собой

усложнение динамики машины, возникновение значительных опрокидывающих моментов и неравномерность нагружения привода ЗИО [2].

Несмотря на наличие развитого математического аппарата для описания кинематики геохода, существующие теоретические модели не полностью учитывают реологические свойства горных пород и стохастический характер процесса разрушения. В связи с этим, актуальной задачей является обоснование необходимости проведения экспериментальных исследований. При этом ключевым вопросом становится выбор формы эксперимента: полномасштабные натурные испытания или моделирование.

Постановка проблемы и ограничения теоретического моделирования

Проектирование исполнительных органов геохода традиционно опирается на теории резания и разрушения горных пород. Однако при переходе к схемам с законтурным расположением инструмента возникают следующие проблемы, решение которых чисто аналитическим путем затруднено:

1. Влияние масштабного эффекта. Прочностные характеристики горных пород зависят от размера образца (эффект масштаба). Лабораторные данные, полученные на кернах малого диаметра, не могут быть напрямую экстраполированы на работу крупногабаритного инструмента без соответствующих коэффициентов, точность которых требует экспериментальной проверки [3].

2. Динамическая устойчивость. Вынос рабочего органа за контур опорной базы создает значительный рычаг, усиливающий воздействие реактивных моментов на ходовую часть. Теоретические расчеты устойчивости часто не учитывают вибрационные нагрузки, возникающие при разрушении неоднородного массива.

3. Взаимодействие «инструмент–порода–машина». В замкнутой системе геохода деформации породы влияют на положение машины, а положение машины определяет траекторию инструмента. Эта обратная связь вносит нелинейности, которые сложно формализовать без натурных данных.

Таким образом, отсутствие этапа физических испытаний может привести к критическим ошибкам. Однако выбор между полномасштабным экспериментом и модельными испытаниями требует детального экономического и технического обоснования.

Ограничения и экономическая нецелесообразность полномасштабных натурных испытаний

Прямое изготовление и испытание опытного образца геохода в натуральную величину для отработки конструкции законтурных исполнительных органов сопряжено с рядом существенных ограничений, делающих данный подход экономически неэффективным на ранних стадиях проектирования.

Высокая материалоемкость и стоимость.

Геоход представляет собой сложную металлоемкую конструкцию. Изготовление полномасштабного прототипа требует значительных объемов высокопрочных сталей, дорогостоящих гидравлических компонентов и

приводных систем. Стоимость создания единичного опытного образца может достигать десятков миллионов рублей. В случае выявления конструктивных недостатков законтурных органов (например, недостаточной устойчивости или низкой производительности) после изготовления машины, затраты на доработку прототипа становятся неоправданно высокими. Финансовые риски прямого натурного эксперимента превышают допустимые пределы для научно-исследовательских работ поискового характера [4].

Временные затраты.

Цикл создания полномасштабной машины включает этапы детального проектирования, закупки комплектующих, механической обработки, сборки и транспортировки к месту испытаний. Этот процесс может занимать от 12 до 24 месяцев. В условиях быстро меняющихся требований горно-геологических условий такая длительность цикла «проектирование–испытание–корректировка» снижает конкурентоспособность разработки. Любая ошибка, выявленная на этапе натурных испытаний, отбрасывает проект назад на год и более.

Технические сложности проведения измерений.

Полномасштабные испытания, проводимые в реальных шахтных условиях, полигонах или полномасштабных стендах, затрудняют сбор точных диагностических данных. Высокий уровень запыленности, вибраций, ограниченный доступ к узлам машины и агрессивная среда препятствуют установке чувствительной измерительной аппаратуры непосредственно на рабочие органы. Получение достоверных данных о нагрузках на конкретные резцы законтурного органа в натурных условиях часто бывает невозможным без дорогостоящей защиты датчиков, что искажает результаты измерений.

Низкая гибкость конструктивных изменений.

На полномасштабном образце изменение геометрических параметров законтурных органов (угла вылета, длины рычага, схемы вооружения) требует изготовления новых крупногабаритных деталей и проведения сварочных работ высокой сложности. Это делает метод проб и ошибок неприменимым. В отличие от модели, где параметры можно изменить заменой модуля за несколько часов, натуральный образец обладает низкой степенью вариативности.

Суммируя вышесказанное, можно констатировать, что проведение полномасштабных испытаний для первичной отработки эффективности законтурных органов является экономически нецелесообразным и технически рискованным шагом. Это обуславливает необходимость перехода к методам физического моделирования.

Ожидаемые результаты внедрения модельных испытаний

Использование масштабных моделей вместо полномасштабных прототипов позволяет нивелировать описанные выше риски и достичь следующих результатов:

1. Снижение затрат. Стоимость изготовления модели составляет доли процента от стоимости натурной машины, что позволяет провести серию

испытаний с различными вариантами конструкции без угрозы бюджету проекта.

2. Верификация математических моделей. Экспериментальные данные полученные при испытании модели послужат базой для корректировки коэффициентов в уравнениях механики разрушения, используемых при проектировании полно размерных машин.

3. Оптимизация геометрии законтурных органов. В ходе модельных испытаний будет определена рациональная длина вылета инструмента, при которой прирост производительности не нивелируется потерями на обеспечение устойчивости и дополнительным трением, что невозможно сделать в разумные сроки на натурном образце.

4. Оценка ресурса оборудования. Циклические нагрузки на узлы крепления законтурных органов могут быть зафиксированы в ускоренном режиме, что позволит прогнозировать усталостную долговечность узлов до начала металлообработки для реальной машины.

Научная новизна исследования заключается в комплексном подходе к оценке эффективности законтурных органов не только по критерию производительности, но и по критерию влияния на динамическую устойчивость всего агрегата, что ранее не было в полной мере отражено в литературе по машинам типа геолоход [5].

Разработка геолоходов с законтурными исполнительными органами является перспективным направлением совершенствования проходческой техники. Однако попытка отработки данных конструкций методом полномасштабных натурных испытаний сопряжена с чрезмерными финансовыми, временными и материальными затратами, а также высокими рисками неудачи.

Проведение масштабных стендовых испытаний на моделях является необходимым и экономически обоснованным этапом научно-исследовательских работ. Оно позволяет учесть реальные физико-механические свойства горных пород, динамику взаимодействия машины с массивом и масштабный эффект, избегая при этом затрат, характерных для создания натурального образца. На основе данных, полученных в ходе модельных испытаний, возможно построение адекватных инженерных методик расчета, гарантирующих высокую эффективность и надежность геолоходов в промышленных условиях. Дальнейшие исследования планируется направить на разработку стандартизированной методики испытаний и создание специализированного полигонного комплекса.

Список литературы:

1. Трушко В.И. Геолоходы: теория, расчет, проектирование. – СПб.: Санкт-Петербургский горный университет, 2018. – 350 с.
2. Петров А.В., Сидоров В.К. Динамика рабочих органов проходческих машин непрерывного действия // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 5. – С. 45–52.

3. Протодяконов М.М., Чирков С.Э. Механические свойства горных пород и методов их определения. – М.: Недра, 1978. – 280 с.
4. Кутузов Б.Н. Моделирование процессов разрушения горных пород при бурении и проходке. – Л.: Недра, 1985. – 190 с.
5. Иванов Д.С. Перспективы развития всенаправленных проходческих механизмов // Записки Горного института. – 2021. – Т. 248. – С. 210–217.
6. Аксенов, В.В. Определение силовых и кинематических параметров исполнительных органов геохода методом имитационного моделирования / В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, К.А. Ананьев, А.Н. Ермаков // Вестник кузбасского государственного технического университета. — 2016. — № 1. — С. 77-82.
7. Аксенов, В.В. Оценка возможности применения методов имитационного моделирования для определения параметров законтурных исполнительных органов геохода / В.В. Аксенов, А.А. Хорешок, К.А. Ананьев, А.Н. Ермаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 2. — С. 145–152.
8. Буялич, Г.Д. Варианты расчета моделей в Autodesk Inventor 2014 / Г.Д. Буялич, Воеводин, В.В., Увакин С.В. // VI Всероссийская, 59 научно-практическая конференция молодых ученых с международным участием «Россия молодая». — Кемерово : КузГТУ, 2014. — С. 10.