

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента на диссертационную работу Ефременкова  
Андрея Борисовича «Разработка научных основ создания систем  
геоходов», представленную на соискание ученой степени доктора  
технических наук по специальности 05.05.06 – Горные машины**

На рецензию представлена рукопись диссертационной работы полным объемом 314 с. машинописного текста, в том числе 208 рисунков, 39 таблиц, 3 приложения и библиография из 157 наименований. Работа содержит введение, 7 основных разделов и заключение.

### **1. Актуальность темы диссертационного исследования**

Одной из предпосылок успешного решения задач по проведению горных выработок, подземных магистралей и сооружений различного назначения, особенно в неустойчивых породах является создание и использование новой горнопроходческой техники - геоходов.

Рассматриваемые в диссертационной работе вопросы разработки научных основ создания систем геоходов являются развитием работ связанных с созданием нового класса горнопроходческих машин, в основу которых положен принцип использования геосреды для создания силы тяги и напорных усилий у проходческого оборудования. В настоящее время учеными Кузбасса выполнены теоретические и экспериментальные работы, результаты которых доказывают техническую осуществимость и экономическую эффективность предложенного принципа.

Для создания опытных образцов нового класса горнопроходческих машин первоочередной задачей является необходимость разработки научных основ создания систем геоходов, которая также является актуальной научной проблемой в области горного машиностроения и строительства подземных сооружений различного назначения и ориентации в подземном пространстве.

### **2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

Обоснованность первого научного положения доказана автором на основе введения в механизированный процесс проведения выработки такого элемента, как «приконтурный массив горных пород», который ни один из суще-

ствующих типов горнoproходческой техники не использует в качестве опорного элемента для создания силы тяги и напорных усилий на исполнительном органе. Для разработки конструктивных и компоновочных решений автором сформулированы основные требования к системам геохода. Все системы геохода были разделены на две группы: обязательные и опционные, это позволило выделить в структуре геохода наиболее значимые технические системы (без которых геоход не реализует себя как горнoproходческая машина) и вспомогательные системы. Далее автором произведена сравнительная оценка разработанных вариантов компоновки геохода на основе выявленных достоинств и недостатков, и предложено предпочтительное компоновочное решение геохода.

При разработке математической модели взаимодействия геохода с геосредой автор учитывает не только особенности компоновочного решения геохода но и параметры геосреды и горнотехнические факторы проведения выработок. Достоверность полученной математической модели подтверждается основными положениями геомеханики и применением корректных теоретических положений механики и сопротивления материалов, однако эти расчеты применимы только для крепости пород, позволяющих ножом прорезать щели для лопастей.

Обоснованность правильности формулировки второго научного положения вызывает сомнения, не смотря на то, что суть положения подтверждается применением методов математики и теоретических положений динамики. Для описания конструктивных параметров – радиуса геохода и радиуса выработки автор применил закон бета-распределения, позволяющий перейти к интегральной функции распределения случайных параметров, без объяснений выбора типа распределения. Совмещение двух моделей распределения (радиуса выработки и радиуса геохода) позволило получить модель распределения номинального зазора между геоходом и выработкой, которая позволяет определять вероятность заклинивания корпуса геохода в выработке, как при номинальных геометрических параметрах, так и при подработке контура выработки при проведении горнотехнических работ.

Для оценки обоснованности третьего научного положения автором были разработаны конструктивные и компоновочные решения пассивных исполнительных органов геоходов ножевого типа, что накладывает серьезные ограничения на область применения геохода. Аналогом таких исполнительных органов являются ножи землеройных машин, определением силовых и геометрических параметров которых занимались Ветров Ю.А., Зеленин А.Н. и ряд других авторов. Методика расчета параметров исполнительных органов землеройных

машин легла в основу разработанной методики расчета ножевого исполнительного геохода с учетом особенностей движения агрегата в геосреде. Учитывая конструктивные и функциональные особенности как самого ножевого исполнительного органа геохода, так и особенности конструкции всего агрегата, автором разработана модель взаимодействия ножевого исполнительного органа геохода с геосредой. Эта модель взаимодействия позволяет не только определять силовые и геометрические параметры ножевого исполнительного органа различного типа, но и устанавливает зависимость между параметрами внешнего движителя и диаметра геохода с параметрами исполнительного органа.

Обоснованность четвертого научного положения подтверждается законами механики и сопротивления материалов. Для определения влияния исполнительного органа геохода на напряженно-деформированное состояние породы забоя автором проведено математическое моделирование процесса взаимодействия исполнительного органа с породой. Сначала автор проводит оценку влияния фоновых напряжений, возникающих при разрушении пород исполнительным органом, на процесс резания. Затем автор обосновывает применение распределенной нагрузки при моделировании суммарного воздействия исполнительного органа на породу. С этой целью моделировались различные схемы нагружения образцов, которые представляют собой твердотельную 3Дмодель. Для получения корректных результатов математического моделирования автор обосновывает величины прикладываемых усилий, создаваемых исполнительным органом на породу, обосновывает размеры конечных элементов, необходимых при твердотельном моделировании, при этом, к сожалению, отсутствуют расчеты параметров лопастей.

Обоснованность пятого научного положения подтверждают корректные результаты математического моделирования фоновых напряжений. Они создают предпосылки к снижению удельной энергоемкости процесса разрушения породы. Применение обоснованных распределенных нагрузок обеспечивает достоверность определения значений фоновых напряжений. Для этого автором проведена оценка влияния геометрических параметров формируемого в процессе резания уступа на напряженно-деформированное состояние породы.

Для обоснования шестого научного положения автором введено понятие образующей забоя. Форма поверхности забоя является винтовой поверхностью, вследствие сложного, вращательно-поступательного движения геохода на забой выработки. Поскольку форма поверхности забоя зависит от формы исполнительного органа от кромка уступа, формируемая в процессе разрушения, будет являться образующей забоя. Для выявления рациональной формы образующей

забоя было проведено математическое моделирование влияния формы образующей на напряженно-деформированное состояние забоя выработки. В результате моделирования получена предпочтительная форма забоя, которая в центральной части должна выступать внутрь выработки.

Обоснованность правильности формулировки седьмого научного положения требует разъяснений, т.к. затрагивает конструкцию без подкрепления результатами научных исследований. Предлагаемая формулировка определяет направление проектирования, подтверждается разработкой конструктивных вариантов гидравлического привода геохода и выбором его рациональной схемы с предпочтительными технологическими параметрами. На основании сформулированных критериев оценки и требований к системам гидропривода геохода, автором выделена многофазная схема привода с гидроцилиндрами, как предпочтительна, к сожалению, нет указаний по использованию термина «многофазная схема». Следовало бы дать особенности и суть разработанной математической модели определения конструктивных, кинематических и силовых параметров для выбранной схемы гидропривода.

### 3. Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций.

Научные положения, выводы и рекомендации, полученные в диссертации, достоверны, но требуют уточнения области применения геохода. Особенность рецензируемой диссертационной работы состоит в том, что она посвящена развитию теоретических положений и получению практических результатов, направленных на обоснование и разработку принципиально новой горнопроходческой машины - геохода. В работе представлено решение новых задач по выбору вида, определению основных параметров систем геохода известными методами, базирующихся на фундаментальных исследованиях в области разработки горной техники. Наряду с этим достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается обоснованностью принятых допущений, корректным использованием методов математики, классической механики, сопротивления материалов, теории разрушения горных пород, применением современных экспертных методов многокритериального анализа, компьютерного имитационного моделирования.

Для многих частных задач достоверность научных выводов и рекомендаций, наряду со строгим использованием аналитических методов, могла бы быть оценена достаточной сходимостью с конкретными результатами экспериментальных исследований опытного образца геохода модели 401, диамет-

ром 3,2 м, однако в диссертации результатов таких испытаний нет. Разработка и изготовление опытного образца геохода выполнялась в рамках комплексного проекта «Создание и постановка на производство нового вида щитовых проходческих агрегатов многоцелевого назначения – геоходов» (договор №02.G25.31.0076 от 23.05.2013 г.)

#### 4. Новизна научных положений, сформулированных в диссертационной работе

Новизна научных положений, сформулированных в диссертации, определяется прежде всего тем, что объектом научного исследования избраны системы впервые создаваемой горнoproходческой машины. Технологические процессы по образованию полости в массиве пород геохода рассмотрены во взаимосвязи с особенностями принципа действия, конструктивно-кинематической схемы, режимов работы агрегата и главным элементом – приконтурной части массива горных пород. По существу, все результаты проведенных исследований, направленные на разработку основ теории работы основных систем геоходов, в совокупности представляют собой элемент создаваемой новой технологии строительства подземных сооружений. При этом новые научные результаты получены, с одной стороны, путем обобщения научно-технической информации по теории создания технологий и оборудования проходки горных выработок и выбору их параметров, с другой – рассмотрением функционально-конструктивных особенностей, присущих рабочим процессам и конструкции геохода в целом с учетом разработанных требований к основным системам агрегата.

Научной новизной обладают следующие конкретные результаты исследований диссертационной работы:

1) разработка нового подхода к созданию горнoproходческой техники, вовлекающей геосреду в процесс создания силы тяги и напорных усилий на исполнительном органе проходческой машины;

2) разработка математической модели взаимодействия геохода с геосредой, учитывающей физико-механические свойства горной породы забоя, особенности функционально-компоновочной схемы геохода;

3) разработка математической модели распределения номинального зазора между геоходом и выработкой, которая позволяет определять вероятность заклинивания корпуса геохода в выработке при номинальных геометрических параметрах;

4) разработка модели взаимодействия ножевого исполнительного органа с забоем выработки, основанная на функционально-конструктивных особенностях и разработанных требованиях к исполнительным органам геоходов; установлено влияние геометрических параметров винтового движителя и радиуса геохода на конструктивные и силовые параметры исполнительного органа геохода ножевого типа;

5) для определения рациональной формы забоя математическим моделированием решена задача по обоснованию геометрических параметров поверхности взаимодействия исполнительного органа геохода с породой забоя, в результате получена рациональная форма образующей забоя, гарантирующая смещение главных напряжений в разрушаемой породе в сторону растягивающих;

6) постановка задачи и результаты сравнительной оценки массовых, силовых и энергетических характеристик гидравлического привода геохода различного конструктивного исполнения; научно обоснована целесообразность применения многофазной системы привода с гидроцилиндрами.

## 5. Практическое значение диссертационной работы

Применение результатов работы на практике позволит:

1) на предприятии ОАО «КОРМЗ» (город Кемерово) с учетом результатов испытаний опытного образца разработать и изготовить экспериментальный образец геохода диаметром 3,2 метра для проверки его работоспособности в шахтных условиях;

2) проектно-конструкторскими и научно-исследовательскими организациями использовать разработанные практические методы и подходы при создании новых технологий по образованию выработок и строительству подземных сооружений;

3) проектировать основные системы нового вида горнопроходческой техники для различных горнотехнических условий проведения выработок и различного типа размера геохода;

4) для учебного процесса, разрабатывать новые учебные курсы и рабочие программы для подготовки специалистов по профилю, связанного с проектированием и эксплуатацией горных машин;

5) промышленным предприятиям, занимающимся производством горношахтного оборудования, расширить номенклатуру выпускаемой продукции.

## 6. Замечания по содержанию и оформлению работы

1. 1. Нет четкого определения понятия «геоход» и описания работы геохода в породном массиве различной крепости, в разных горно-геологических условиях.
2. Перспективная идея – использование винтового движителя обечайки («винтореза») в передней части корпуса или использование горного давления на исполнительный орган (или обечайку, оболочку исполнительного органа) для создания его осевого усилия на забой в широком диапазоне крепостей пород (до 6 по шкале проф. Протодьяконова) – не в достаточной степени нашла реализацию в работе.
3. В п. 2.3 автором сформулировано следующее требование: «оборудование должно обеспечивать выполнение всех операций проходческого цикла с возможностью их полного совмещения во времени». Существует три основных операции проходческого цикла - разрушение горной породы, уборка отбитой горной массы и крепление образовавшегося пространства, а базовый элемент – геоход, способен выполнять только первые две.
4. Нет результатов исследований по изучению совместной работы частей комбайна, не обоснованы параметры конструкции и соответствия производительности по отбойке, транспортировке отбитой породы и креплению выработки за ИО по отбойке (геоходом). Говорится о возможности «ручной уборки отбитой горной массы» (стр. 62), что вряд ли допустимо для современной техники.
5. Не достаточно полно решены задачи создания модели движения геохода в выработке (НДС массива над оболочкой геохода и за его корпусом не рассматривается, есть только исследования ИО при использовании НДС забоя).
6. Нет рекомендаций по применению. В каких же массивах можно применять геоход и какие кровли допустимы? Какие диаметры рекомендуются? Для легко обрушаемых кровлей без крепления пройденной выработки сразу за геоходом его работа не возможна.
7. Научные положения 2 и 7 требуют пояснения: во 2-ом говорится о малой вероятности процесса, такая формулировка не может являться научным положением, в 7-ом говорится о конструкции, и не содержится новых научных данных.
8. В главе 3 рассматриваются параметры - диаметр ИО и диаметр выработки, указывается, что они по сути - случайные величины, и определяются их

вероятностные характеристики, но без привязки средних значений диаметров и их дисперсий к параметром заданных значений точности изготовления конструкций и величин НДС массива (или величин фактического горного давления над обечайкой ИО) эти расчеты не могут быть прокомментированы (расчеты не имеют практического значения).

9. При выборе моделей распределения геометрических параметров геохода и выработки (п. 3.1), автор разрабатывает модели распределения случайных параметров на основе закона бета-распределения. Непонятно, почему выбран именно этот закон и по каким критериям были выбраны рациональные модели для дальнейшего рассмотрения. Неясно, также, каким образом «вероятность опасности 3%» (стр. 122) может быть учтена в расчетах и при проектировании.

10. Нет результатов исследований по определению параметров лопастей винтового устройства, не ясно как выбраны параметры фрез для нарезания щелей (рис. 7.10).

11. В автореферате говорится о том, что опытный образец геохода прошел стендовые испытания, но в диссертации результатов ни стендовых, ни лабораторных исследований конструкции нет, проверить теоретические расчеты и адекватность матмоделей описываемым процессам весьма затруднительно.

12. Нет четко сформулированной методики расчета параметров ИО, геометрические расчеты в диссертации и финальные формулы чрезмерно громоздки, не читаемы, однако, в большинстве своем носят элементарный характер.

13. Нет рекомендаций к составу и параметром гидропривода, какие должны применяться насосы и как управлять насосами – не ясно.

Замечания не снижают научной значимости диссертации, но без четкого и развернутого ответа на перечисленные выше вопросы положительный отзыв будет дополнен весьма критическими замечаниями во время защиты.

## 7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждении ученых степеней

Диссертационная работа Ефременкова А.Б. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научные основы создания систем геоходов, направленные на обоснованный выбор рациональных вариантов разработки принципиальной компоновки и обоснования основных параметров систем геохода, обеспечивающей повышение эффективности проведения горных выработок при строительстве шахт и подземных со-

оружений, что имеет существенное значение для развития горной промышленности и строительной отрасли страны.

Диссертационная работа обладает внутренним единством, содержит новые научные и практические результаты в области синтеза и проектирования оригинальных конструкций нового вида горнопроходческого оборудования, совершенствования методов расчета и проектирования горных машин.

Основные научные результаты опубликованы в 74 научных публикациях, в том числе: 42 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ, 5 патентов и авторских свидетельств РФ.

Автореферат диссертации отражает ее основные научные положения, выводы и рекомендации, а также научную и практическую ценность работы.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.05.06 – Горные машины и соответствует Положению, ее автор, Ефременков Андрей Борисович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.05.06 – Горные машины.

**Официальный оппонент:**

Профессор кафедры машиностроения  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования (ФГБОУ ВО) «Санкт-Петербургский горный университет»,  
д.т.н., профессор.  
199034, г. Санкт-Петербург, 18 линия, д.11,  
кв.21  
тел: (812) 312-51-80  
e-mail: [iungmeister@yandex.ru](mailto:iungmeister@yandex.ru)

Юнгмейстер  
Дмитрий Алексеевич



*D. A. Юнгмейстера*

Е.Р. Яновицкая

12 09 2016 г.