

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора технических наук, профессора Лапина Эдуарда Самуиловича на диссертационную работу Степанова Юрия Александровича «Развитие теоретических основ геоинформационных систем для прогнозирования состояния углепородного массива при ведении очистных работ», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.35 – Геоинформатика

1. Актуальность темы диссертационного исследования.

Диссертационная работа Ю.А. Степанова посвящена развитию теоретических основ построения специализированных геоинформационных систем прогнозирования динамики состояния углепородного массива при ведении очистных работ для принятия управленческих решений по предотвращению аварийных и чрезвычайных ситуаций в очистных забоях угольных шахт.

Необходимо отметить, что достоверность прогноза технологических параметров очистного забоя с использованием традиционных методов моделирования геомеханических процессов на стадии проектирования и инженерной подготовки не превышает 60% для сложных горно-геологических условий, что приводит к несоответствию проектных и фактических технико-экономических показателей и возникновению аварийных ситуаций в комплексно-механизированных забоях.

Анализ существующих информационных систем горной отрасли показал, что их проблемная ориентация определяется номенклатурой решаемых задач, таких как: анализ и оценка запасов полезного ископаемого, проектирование горных выработок, мониторинг складирования и грузопотоков, планирование горных работ и др. Решение задач такого рода, как геомеханика недр, проектирование систем вентиляции, крепления, электроснабжения и водоотлива для подземного предприятия (шахты) практически не обеспечены эффективным программным обеспечением. Что же касается прогнозирования динамики обрушения горных пород при ведении очистных работ и выбора оптимальных вариантов выемки угля, с использованием средств имитационного моделирования, то эти задачи остаются еще нерешенными.

С учетом вышесказанного тему диссертации, направленную на развитие теоретических основ построения геоинформационных систем для анализа напряженно-деформированного состояния горного массива при ведении

очистных работ в различных зонах по длине выемочного столба, следует признать актуальной.

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

Структура диссертационной работы по разделам соответствует сформулированным научным положениям, что существенно упрощает для оппонента задачу оценки степени обоснованности научных положений, выдвигаемых на защиту. При этом заметим, что количество предложенных автором защищаемых положений, можно было бы без ущерба для существа работы сократить.

1-ое научное положение: **Создание информационно-аналитического обеспечения и методов системного проектирования горно-технологических систем возможно на основе компьютерного моделирования подземной части горного предприятия с использованием средств электронного трёхмерного картографирования горно-геологического строения угленородного массива, горных выработок и элементов технологических процессов.**

В качестве основного принципа доказательства данного научного положения автор выбрал путь углубленного анализа существующих горно-геологических геоинформационных систем (ГИС), главным недостатком которых являются проблемы адаптации этих систем к условиям функционирования конкретного горного предприятия и отсутствием большинства функций, необходимых для моделирования напряженно-деформированного состояния угленородного массива в пределах выемочного участка с учетом циклического движения очистного забоя. Отсутствие открытых интерфейсов разработчика и закрытый исходный код делают невозможным добавления требуемых функций без обращения к компании-разработчику.

На основе квалифицированно выполненного анализа представительной выборки литературных источников обоснованы постановка задач и выбор методов исследования. Отмечается, что вопросы построения специализированных геоинформационных систем с открытой архитектурой, базирующихся на принципах объектно-ориентированного подхода, недостаточно изучены.

Автором предложены методологические основы построения геоинформационных систем поддержки процессов ведения безаварийных

очистных работ в высокопроизводительных комплексно-механизированных забоях. Проведена декомпозиция разрабатываемой проблемы на ряд подзадач, связанных с разработкой архитектуры ГИС угледобывающего предприятия, с разработкой методов моделирования горных работ, технологией проведения конечно-элементного анализа при моделировании движения очистного забоя и визуализацией результатов имитационного моделирования геомеханических процессов. Разработана концептуальная модель геоинформационной системы моделирования динамики состояния углепородного массива с учетом циклического движения очистного забоя, позволяющая на базе единой теоретической платформы имитировать процессы функционирования и взаимодействия технологических подсистем и горной среды с учетом пространственно-временной динамики ведения горных работ.

В целом, с выводами автора по данному положению следует согласиться, считать предложенную модель ГИС обоснованной и рекомендовать автору более пристально присмотреться к существующим горным геоинформационным системам (ГГИС). На многих угольных шахтах, рудниках и проектных организациях горного профиля РФ поддерживаются мировые стандарты горно-геологических систем (Micromine и др.), что ни отменить и не учитывать нельзя. Следовательно, логично рассматривать проблему расширения функционала этих систем с учетом существующих форматов горно-геологических моделей.

2-ое научное положение: Для прогнозирования динамики НДС горного массива при отработке угольных пластов, требуется построение специализированной ГГИС на основе выявления функциональных единиц горнотехнических систем и их комплексирования в соответствующие модельные блоки, отличающиеся использованием функционально-объектного представления взаимодействующих объектов.

Рассмотрены вопросы разработки новых и адаптации имеющихся типовых компонентов региональной геоинформационной системы для имитационного моделирования динамики состояния углепородного массива в окрестности очистного забоя с учетом циклического воздействия на него секций механизированной крепи. Обосновано и приведено решение таких задач, как: разработка структуры горных информационных систем на базе ГИС-технологий; разработка баз геофизических данных и горношахтного

оборудования для создания специализированных ГИС; адаптация методов моделирования напряженно-деформированного состояния углепородного массива в окрестности очистного забоя; разработка методов визуализации результатов моделирования.

Анализ предметной области определил систему, в которой взаимодействуют анизотропный углепородный массив, выработанное пространство и секция механизированной крепи. Отличительной особенностью этой системы является изменение ее геометрических и механических параметров во времени и пространстве. Это в свою очередь требует адаптации численных методов моделирования, поскольку имитация движения механизированной крепи относительно окружающей среды требует постоянного изменения данных о форме, размерах области техногенного взаимодействия и об измененных свойствах деформированного материала конечных элементов.

Данная проблема является наиболее трудоемкой и необходимо признать, что автор решает ее на достаточно понятном и оптимальном уровне реализации.

3-е научное положение: Адаптивность компьютерных систем поддержки принятия решений к горно-геологическим условиям при проектировании и эксплуатации горно-технических систем в специализированной ГГИС обеспечивается использованием объектно-ориентированного подхода от стадии построения математической модели до разработки приложений с модульной структурой и графическим интерфейсом.

Анализ предметной области определил систему, в которой взаимодействуют анизотропный углепородный массив, выработанное пространство и секция механизированной крепи. Отличительной особенностью этой системы является изменение ее геометрических и механических параметров во времени и пространстве. Это требует адаптации численных методов моделирования, поскольку имитация движения механизированной крепи относительно окружающей среды связана с постоянным изменением данных о форме, размерах области техногенного взаимодействия и об измененных свойствах деформированного материала конечных элементов.

Автор разработал инструментарий для моделирования напряженно-деформированного состояния углепородного массива при ведении очистных

работ. Прогнозирование этого состояния предложено осуществлять с помощью пошаговой процедуры на основе имитационного моделирования процесса взаимодействия углепородного массива с угледобывающим комплексом. При реализации компьютерных экспериментов секция механизированной крепи очистного забоя перемещалась до исследуемого положения с шагом передвижки. Для моделирования процесса выемки угля в движущемся комплексно-механизированном забое предложен метод расчета параметров нестационарного состояния углепородного массива в окрестности очистного забоя для различных режимов нагружения и разгрузки секции механизированной крепи. Алгоритм метода прогноза параметров геомеханического взаимодействия механизированных крепей с углепородным массивом на базе программно – технического комплекса включает в себя пять модулей. В основу выбора инструментальной системы была положена парадигма объектно-ориентированного проектирования с использованием средств быстрой разработки программ и визуального программирования. Технология настройки алгоритма состоит в использовании итеративной процедуры корректировки параметров алгоритма на основе отклонений расчетных смещений горных пород в окрестности очистного забоя от фактических смещений.

Адаптация метода конечных элементов обеспечивалась за счет настройки параметров модели по экспериментальным данным, неравномерной дискретизации области исследований на конечные элементы, интерактивной корректировки положения узлов и параметров этих элементов, включением модели накопления деструктивных изменений в массиве горных пород.

Разработанный метод позволил выполнить компьютерное моделирование состояния породного массива при отработке угольного пласта и получить представление о динамике развития горного давления.

Отметим достоинство и целесообразность предлагаемого подхода с точки зрения учета технологии ведения подземных горных работ, однако следует помнить, что решение проблемы оценки структуры и параметров НДС горного массива необходимо рассматривать в контексте предварительно нагруженных нелинейно-упругих сред (например, в работах К.М.Зингермана, В.А.Левина, Е.М.Морозова - САЕ Fidesys).

Данное положение следует считать обоснованным и доказанным.

4-ое научное положение: **Достоверность результатов расчета параметров НДС углепородного массива в различных зонах по длине выемочного**

столба обеспечивается предложенной процедурой настройки компьютерной модели силовых и геометрических характеристик оборудования очистного забоя на основе ретроспективных данных измерения фактических характеристик горных пород и деформаций крепи.

Здесь следует заметить, что автор недостаточно обоснованно считает естественную структуру горного массива как сплошную с последующим переходом в дискретное состояние в окрестности горной выработки. На наш взгляд исходное состояние геологической среды любого генезиса дискретно (седиментационной слоистой толщи в особенности). Следовательно, процессы разрушения дискретной среды имеет целый ряд особенностей, не рассматриваемые автором. Справедливости ради, необходимо отметить, что четкой теории дискретных сред на сегодняшний день не существует. Соответственно и обоснованных алгоритмов решения геомеханических задач в подобных постановках не существует, но учет соотношения сдвиговых и нормальных компонент напряжений в такой постановке является ключевым (Byerlee, J.D., 1978. Friction of rocks).

Данное замечание не умаляет общего впечатления от идей автора и рассматриваемое положение следует признать доказанным.

5-ое научное положение: Эффективность принимаемых управленческих решений и рекомендаций по снижению рисков аварий в очистных забоях угольных шахт повышается с использованием имитационного моделирования и выявления положения опасных зон обрушения породного массива на основе разработанных принципов формирования новых видов компьютерных геоизображений на электронных картах.

Результаты проведенного исследования позволяют обосновать необходимость передвижки крепи с подпором до 30% от рабочего в зоне неустановившегося геомеханического взаимодействия и 60% - в зоне периодически-установившегося, что обеспечит частичное сохранение структуры пород кровли и предотвращение вывалов. Таким образом, стабильность и безопасность высокопроизводительной работы добычных машин при разработке пластов с изменяющимися горно-геологическими условиями на этапе разработки проектной документации обеспечивается имитацией неустановившегося и периодически-установившегося

геомеханического взаимодействия механизированных крепей с углепородным массивом при движении очистного забоя, прогнозом опасных зон и разработкой профилактических мероприятий по предотвращению аварийных ситуаций.

Однако, при рассмотрении теоретических основ разработки специализированных геоинформационных систем требуется конкретизация частных задач с учетом вариантов изменчивости причин в проявлении неравномерности распределения напряжений в очистном забое на различных угледобывающих предприятиях.

С данным положением следует согласиться.

6-ое научное положение: Качество обработки геоинформации и эффективность управленческих решений при проектировании и эксплуатации горнотехнических систем повышаются, по сравнению с типовыми ГИС, за счет применения предметно-ориентированных программных решений, реализованных в виде специализированного ГИС-приложения, позволяющего прогнозировать геомеханическое поведение массива горных пород при ведении очистных работ.

На основе выполненных автором теоретических исследований разработана типовая конфигурация информационно-аналитического обеспечения в виде ГИС-приложения, отличающаяся наличием средств электронного картографирования и математического моделирования геомеханических процессов взаимодействия углепородного массива и технологического оборудования, что повышает полноту обработки информации по сравнению с типовыми ГИС и улучшает условия для принятия управленческих решений.

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

Достоверность научных положений автора и выводов подтверждается детальным и аналитическим исследованием публикаций по данной проблеме, обсуждением хорошо подобранного комплекта практических примеров и экспериментальных оценок. Конкретная и удачно логически выстроенная схема рекомендаций ориентирована на типовые условия угледобывающих шахт, что определяет формирование нового научного направления.

Научная новизна работы состоит в:

- разработке и апробации нового научного подхода к решению задач обеспечения безопасности очистных работ и предотвращения чрезвычайных ситуаций, основанного на упреждающем пространственном прогнозировании результатов техногенного воздействия на углепородный массив;
- обосновании методологии построения целого ряда современных геоинформационных систем угольных предприятий;
- использовании теории нечетких множеств для расширения функциональности специализированных программных средств компьютерного моделирования породных слоев на основе электронного картографирования;
- разработке методики компьютерного моделирования процесса взаимодействия секции механизированной крепи с вмещающими породами;
- разработке методики расчета параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива при циклическом движении очистного забоя;
- разработке метода формирования геоизображений, отображающих результаты пространственного прогнозирования опасных зон с высоким горным давлением для выбора безопасных режимов работы и предотвращения чрезвычайных ситуаций;

Эти результаты являются значимыми для разработки научных и теоретических основ проектирования и создания геоинформационных систем прогнозирования динамики состояния углепородного массива при ведении очистных работ для обеспечения стабильной и безопасной высокопроизводительной работы комплексно-механизированных забоев.

4. *Автореферат полностью соответствует тексту диссертации.*

5. *Личный вклад соискателя и репрезентативность эмпирического материала.*

Личный вклад автора заключается в постановке задач, в развитии теоретических положений и анализе результатов научных исследований, в разработке методологических основ построения специализированной ГГИС и реализации программных средств электронного картографирования горно-геологического строения массивов горных пород, в разработке принципов исследования антропогенных систем на основе компьютерного

моделирования динамики разрушения горных пород с учетом прогрессирующего снижения устойчивости пород кровли и вынимаемого угольного пласта, в разработке комплекса компьютерных программ для расчета параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива с учетом циклического воздействия на него секций механизированной крепи, в разработке принципов формирования компьютерных геоизображений новых видов для определения положения опасных зон в массиве горных пород.

Диссертантом разработаны модели и алгоритмы компьютерного моделирования, выполнены расчеты по конкретным проектам, проведен анализ полученных результатов и их сравнение с экспериментальными данными, предложены технологические решения. При личном участии автора проводилась промышленная апробация предложенной специализированной ГГИС и внедрялись результаты работы. Выводы и рекомендации автора подкреплены существенным эмпирическим материалом.

6. Содержание диссертации, ее завершенность и публичность.

Диссертация объемом 313 страниц состоит из введения, шести глав и заключения, содержит 95 рисунков и 9 таблиц. Список литературы включает 237 наименований цитированных источников.

Текст и стиль диссертации соответствует научному уровню, подтверждая высокую квалификацию соискателя.

Основные положения и результаты диссертации Ю.А. Степанова обсуждались на Международных научно-практических конференциях, а также на отраслевых научно-технических конференциях и семинарах. По теме диссертации опубликовано 44 печатные работы, в том числе 17 статей в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России; 1 монография, 20 статей в сборниках материалов всероссийских и международных конференций, 6 свидетельств об официальной регистрации программ для ЭВМ. Все основные положения диссертации отражены в опубликованных работах.

7. Значимость результатов.

Практическая ценность диссертации состоит в использовании разработанной методологии и созданных на её основе рекомендаций по предотвращению аварийных и чрезвычайных ситуаций в очистных забоях угольных шахт, что имеет существенное значение для развития угольной отрасли. Предложенная методология проектирования специализированных горных информационных систем использовалась при разработке реальных проектов, представленных на XVIII и XIX Сибирских промышленных форумах. Разработанные проекты получили положительную оценку и были удостоены диплома и бронзовой медали. Комплекс программных продуктов, вошедших в состав ГИС, представленный на международной выставке-ярмарке «Кузбасский образовательный форум» и отмеченный золотой медалью, используется для проведения исследовательских и лабораторно-практических работ студентов и аспирантов в учебном процессе НФИ КемГУ.

8. По содержанию работы необходимо высказать и отдельные **замечания.**

1. В работе по-существу отсутствует описание технологии построения компьютерной модели породных слоев в пределах шахтного поля. В связи с этим осталось неясным, каким образом при расчете параметров напряженно-деформированного состояния углепородного массива учитывается угол залегания пластов.

2. Известно, что протекание геомеханических процессов в углепородном массиве сопровождается горными ударами, выбросами, суфлярным выделением метана и другими нештатными ситуациями. Все эти процессы существенно влияют на безопасность ведения подземных горных работ. В диссертации не отражено моделирование этих процессов. Производилось ли оно вообще?

Заключение

Диссертационная работа Степанова Юрия Александровича на тему «Развитие теоретических основ геоинформационных систем для прогнозирования состояния углепородного массива при ведении очистных работ» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно

обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, и соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Министерства образования и науки РФ, утвержденного Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013. Автор работы по своей квалификации заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.35 – Геоинформатика.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой автоматизации и компьютерных технологий
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Уральский государственный горный университет».
Шифр специальности, по которой защищена диссертация 05.13.06 –
Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами (в горной промышленности).
620144, Свердловская обл., г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д.30.
Телефон: +7 (343) 257-25-47
E-mail: office@ursmu.ru
Web-сайт: <http://www.ursmu.ru>

Лапин Эдуард Самуилович

Подпись докт.техн.наук, профессора Э.С. Лапина удостоверяю.

Начальник отдела кадров ФГБОУ ВО УГГУ

С.В. Катюев

