

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Смирнова Андрея Викторовича «Геомеханическое обоснование безопасной технологии подземной добычи угля в неустойчивых вмещающих породах», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Представленная работа изложена на 349 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 442 наименований, шести приложений, содержит 179 иллюстраций и 23 таблицы.

1. Актуальность избранной темы работы

Свою работу автор посвятил геомеханическому обоснованию безопасной технологии подземной добычи угля в неустойчивых вмещающих породах. В первой главе диссертации на примере шахт публичного акционерного общества «ДТЭК Павлоградуголь» автор провел тщательный технико-экономический анализ горно-геологических, горнотехнологических и геомеханических условий добычи угля на современных высокотехнологичных горных предприятиях и показал актуальность данной темы. Им показано, что при ухудшении горно-геологических условий добычи, связанных с увеличением глубины работ, возрастает стоимость проведения капитальных и подготовительных выработок и ремонтных работ. Этот факт автор называет основной проблемой, которую нужно решить для обеспечения экономичной, рентабельной и безопасной работы современного горного предприятия.

Решение этой проблемы автор видит в установлении закономерностей проявления напряженно-деформированного состояния сложно-структурного породного массива, ослабленного развивающейся во времени и пространстве системой подземных горных выработок, их учет в геомеханических моделях, соответствующих новым горно-геологическим условиям, и последующей разработке на этой основе прогрессивных конструктивных решений и рекомендаций.

Тема исследования и содержание работы соответствует паспорту специальности 25.00.20. – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

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

Автор выносит на защиту пять научных положений, которые он обосновывает во второй, третьей, четвертой и пятой главах.

В первом научном положении автор утверждает, что независимо от вида применяемой крепи величины вертикальной и горизонтальной конвергенции бортового штрека в геомеханической системе «лава-парные выработки» в условиях неустойчивых вмещающих пород описываются убывающими экспоненциальными функциями в зависимости от расстояния до лавы на момент замера, а их показатели определяют, что величина вертикальной конвергенции в 1,2-2 раза меньше горизонтальной, причем вертикальная конвергенция формируется в основном за счет пучения почвы, а горизонтальная сопровождается значительным растрескиванием массива и вывалами породы.

Доказательство этого научного положения осуществляется во второй главе, где, в частности, приведены результаты исследований на шахте «Степная» ПАО «ДТЭК Павлограуголь» при струговой выемке участка угольного пласта. Здесь описаны результаты наблюдений на различных участках в 167-м бортовом штреке как с «чисто» анкерной крепью, так и на участках с комбинированной рамно-анкерной крепью. Получены эмпирические экспоненциальные зависимости горизонтальной и вертикальной конвергенций контура выработки от расстояния до линии очистного забоя, что позволило сделать обобщающие заключения. Следует отметить ясность и четкость описания эксперимента, изложенного хорошим инженерным стилем.

Приведенные данные позволяют сделать вывод о корректности проведенных работ и полученных результатов, а также о достаточной обоснованности данного научного положения, полученного на их основе. Его достоверность сомнения не вызывает.

Во втором научном положении говорится о возможности выявления в кровле присечной выработки зон разгрузки, прочностные свойства породы в которых способны обеспечить закрепление канатных анкеров и создать двухуровневую армопородную несущую конструкцию в кровле, чем достигается требуемая устойчивость геомеханической системы «лава-парные выработки».

Доказательство данного научного положения осуществляется также во второй главе. Здесь на основании численного эксперимента показано наличие над целиками зон разгрузки с ненарушенными породами, в которых возможно закрепление замковой части анкера, что уменьшит опускание пород кровли и повысит ее устойчивость. Следует отметить, что в компьютерных моделях для проведения этого численного эксперимента автор использует механические свойства реальных пород данного месторождения. Моделирование выполнено в лицензионной программной среде Phase 2 канадской компании Rockscience.

Обоснованность данного научного положения подтверждается корректностью постановки задачи, предусматривающей моделирование напряженно-деформированного состояния массива последовательно для различных стадий

формирования геомеханической системы, использованием в качестве исходных свойств пород, полученных непосредственно для данного массива, корректной логикой проведения расчетов. Достоверность полученных результатов подтверждается их непротиворечивостью общим законам механики, а также схожестью полученных распределений с распределениями, получаемыми с помощью других программных продуктов при решении аналогичных или близких задач.

Третье научное положение касается расчетной схемы определения коэффициента разрыхления пород в приконтурной области протяженных выработок. Здесь установлен линейный характер его зависимости от количества операций по устранению области пучения пород почвы, что позволяет вести прогноз объемов горных работ.

Данная расчетная схема описана в п. 3.3 диссертации. Она основана на практических наблюдениях за состоянием пород в приконтурной области выработок, геометрических соотношениях, описывающих размеры нижней части зоны неупругих деформаций и части массива пород, которые вовлечены в процесс пучения, а также ряде допущений, принятых в практике таких расчетов.

Положение обосновано в достаточной степени, поскольку базируется на корректных исходных положениях, расчетных соотношениях и допущениях. Достоверность положения подтверждается близостью результатов расчета к данным, полученным по другим методикам, принятым в настоящее время.

В *четвертом научном положении* рассматривается установленное автором явление последовательного изменения напряженно-деформированного состояния приконтурного массива, выявленное экспериментально и описанное геомеханической моделью. Оно проявляется в том, что в неустойчивых вмещающих породах угольного пласта по мере перемещения забоя выработки происходит образование трех характерных зон: в первой образуется замкнутая область неупругих деформаций, во второй происходит потеря устойчивости приконтурного массива, реализуемая в виде вспучивания пород почвы, в третьей - продолжается деструкция вмещающих пород, сопровождающаяся развитием трещин в боках и кровле выработки с образованием свода естественного равновесия.

Доказательство этого научного положения изложено в п. 3.2, где автор проводит подробный анализ публикаций, посвященных исследованию изменений напряженно-деформированного состояния приконтурного углепородного массива в окрестности протяженных выработок и особенно тщательно – механизма пучения почвы. Автор делает вывод о необходимости дополнительного исследования этих процессов с целью выявления особенностей, связанных со спецификой шахт Западного Донбасса и условий других месторожде-

ний угля, разрабатываемых в неустойчивых вмещающих породах. С этой целью был поставлен ряд экспериментальных натуральных наблюдений в условиях действующих шахт. Наблюдения были сделаны с помощью глубинных реперов, заложенных на различном расстоянии от обнажения, на основе измерения вертикальной и горизонтальной конвергенций по мере приближения забоя струговой лавы. Итогом является предложенная автором обобщенная деформационная модель выработки, описывающая эволюцию геомеханических зон в приконтурном породном массиве по мере удаления забоя выработки, объясняющая полученные результаты.

Корректность постановки проведенных натуральных наблюдений, их объем и ход полученных зависимостей, а также предложенная геомеханическая модель, объясняющая эти зависимости, позволяют сделать вывод о достаточной степени обоснованности четвертого научного положения. Его достоверность сомнения не вызывает.

Пятое научное положение содержит практические рекомендации, полученные на основе исследований, результаты которых отражены в предыдущих четырех. В нем утверждается, что сохранность капитальных выработок, пройденных в неустойчивых вмещающих угольный пласт породах, достигается за счет применения комбинированной крепи типа АСН+А, работающей с использованием несущей способности упрочнённого набрызг-бетонным покрытием приконтурного породного массива. Автором показано, что это позволяет двукратно уменьшить величину поднятия пород почвы, сократить эксплуатационные затраты не менее чем на 17 % и обеспечить безопасность ведения работ.

Доказательство этого положения осуществляется автором в четвертой и пятой главах диссертации. Здесь автор подробно анализирует различные виды крепей, используемых на современных угольных шахтах, результаты их эксплуатации в различных горно-геологических условиях, сравнивает эффективность их использования с предлагаемой крепью АСН+А (анкер-сетка-набрызганкер). Свои выводы о преимуществах этой крепи автор основывает на результатах численного моделирования и натуральных наблюдениях за смещением контура выработок и поднятием пород почвы в процессе длительной эксплуатации крепей. Им убедительно показано преимущества рекомендуемой крепи по сравнению с другими.

Объем представленных результатов, строгая логика при изложении материала четвертой главы убедительны, полученные выводы обоснованы в достаточной степени.

В целом можно отметить, что все научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, базируются на большом экспе-

риментальном материале, корректном компьютерном эксперименте, современных методах обработки данных и обоснованы автором в достаточной степени.

3. Новизна и достоверность результатов

Новизна результатов работы имеет несколько аспектов, наиболее существенные из которых связаны с новыми закономерностями деформирования приконтурного массива слабых пород, вмещающего протяженные выработки угольных шахт, как в зоне, как и вне зоны влияния очистных работ; новыми и усовершенствованными геомеханическими моделями подрабатываемого массива пород с крепью и других конструктивных элементов системы разработки; зависимостями изменения коэффициента разрыхления пород от количества операций по устранению области пучения почвы.

Работа построена на нескольких видах исследования и включает системный анализ источников информации в области теории и практики обеспечения устойчивости подземных выработок, пройденных в сложных горно-геологических условиях, натурные и компьютерные эксперименты, обработку и интерпретацию данных с использованием методов теории вероятности и математической статистики, и как практический результат – конструкторскую проработку крепи и ее широкое внедрение на шахтах Западного Донбасса, что характерно для работы, отличающейся новизной результатов.

Достоверность полученных автором результатов сомнения не вызывает. Это подтверждается обоснованной логикой исследования, построением защищаемых научных положений, выводов, рекомендаций на основе многолетних наблюдений и представительного объема данных натурных экспериментов, корректным использованием современных средств вычислительного эксперимента, удовлетворительным схождением результатов натурных измерений и компьютерных экспериментов, обширным внедрением полученных результатов в практику, а также их непротиворечивостью общепринятым физическим законам и результатам других исследователей.

4. Значимость результатов для науки и практики

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы заключается в разработке новых геомеханических моделей и установлении новых закономерностей, зависимостей и связей, характерных для деформированного состояния массива слабых пород, включающую геомеханическую систему «лава–парные выработки»; для процессов деструкции этих пород в зависимости от расстояния до лавы вплоть до образования свода естественного равновесия в кровле; для анкерной крепи различной длины, влияющей на устойчивость пород, окружающих выработки.

Значимость результатов исследований Смирнова А.В. для практики заключается в усовершенствовании конструкций, разработке и обоснованию конструктивных и технологических параметров анкерной и рамно-анкерной крепей капитальных, рабочих выработок и их сопряжений при струговой отработке угольных пластов; разработке нормативных документов, позволивших обеспечить широкое внедрение этих видов крепей на угольных шахтах, разрабатывающих пласты в неустойчивых вмещающих породах, а также в разработке экономико-математической модели, позволяющей оптимизировать затраты на сооружение и эксплуатацию протяженной капитальной выработки с комбинированной крепью АНС+А.

5. Публикации, отражающие основное содержание диссертационной работы, апробация результатов

Основные результаты диссертации изложены в 47 печатных работах, в том числе 17 – в изданиях, рекомендуемых ВАК Министерства образования и науки РФ, 7 – в изданиях, входящих в международные наукометрические базы, 9 – в материалах конференций. По результатам работы опубликованы две монографии, 2 стандарта и один патент. 11 научных работ опубликованы единолично. Результаты исследований в необходимых объемах докладывались на российских и международных научных конференциях, симпозиумах, семинарах, техсоветах. Публикации в полной мере раскрывают содержание диссертационной работы.

В автореферате в достаточной степени изложены основные идеи, научные положения и выводы диссертации, показаны вклад автора в проведенное исследование, степень новизны и практическая значимость результатов исследований. Он полностью отражает основное содержание диссертации.

6. Замечания

1. Выводы, представленные в первом положении, претендуют на общность геомеханических условий месторождений. В то же время здесь при оценке соотношения между вертикальной и горизонтальной конвергенциями ничего не говорится о влиянии тектонических напряжений, горизонтальная составляющая которых в некоторых случаях может значительно превышать вертикальную и нарушить указанное соотношение 1,2-2,0. Как можно было бы учесть этот факт для условий, рассматриваемых в работе?

2. В последних столбцах таблиц 1 на стр. 80 и 2 на стр. 81 непонятно, о какой характеристике трещиноватости идет речь, каковы единицы измерения. Следовало бы привести название и единицы измерения этого свойства в соответствии с «ГОСТ Р 50544-93. Породы горные. Термины и определения». В

нем, в частности, отдельно определяются объемный и линейный коэффициенты трещиноватости горной породы.

3. Для эмпирических зависимостей (2.1)...(2.4) на стр. 96 следовало бы привести показатели точности аппроксимации – коэффициент детерминации и среднеквадратическое отклонение. Для параметров $V_{\text{верт}}$ и $V_{\text{горз}}$ в зависимостях (2.3) и (2.4) больше подошло бы название «градиент конвергенции» как отношение приращений конвергенции к расстоянию, на котором эти приращения изменяются. Параметр «скорость» более применим к изменениям во времени и будет измеряться в единицах конвергенции, отнесенных к единице времени.

4. Во втором научном положении автор утверждает, что «Учет прочностных свойств... позволяет выявить зоны разгрузки...». Получается, что прочность пород и нагрузка в них связаны друг с другом. Следует пояснить это утверждение, т. к. прочность и горное давление, которое формирует области повышенных нагрузок и зоны разгрузки, в общем случае не зависят друг от друга и определяются различными факторами.

5. Хотелось бы знать конкретные значения параметров для рассматриваемого случая при моделировании напряженно-деформированного состояния массива пород вокруг выработок: константы Хоека-Брауна m_b , постоянных величин s и a , учитывающих генезис и состояние (качество) породного массива, упоминаемых при описании критерия Хоека-Брауна (2.5) на стр. 103, а также, откуда они были взяты и как эти величины определялись автором для моделируемого месторождения. В таблице 2.4 исходных данных для моделирования эти параметры отсутствуют.

6. Автором в п. 3.3 и в третьем научном положении предложена новая схема расчета коэффициента разрыхления пород вокруг протяженных выработок, что необходимо для прогноза объемов ремонтных работ. В доказательство правильности полученных результатов автор приводит близость результатов, полученных по предложенной методике и по методикам, полученным ранее А. Лаббасом, А.Н. Ставрогиным, А.Г. Протосеней, И.Л. Черняком и другими. Почему возникла необходимость разработки новой методики расчета коэффициента разрыхления, если существующие зарекомендовали себя с положительной стороны?

7. При описании трех зон, образующихся вокруг выработки и упомянутых в третьем научном положении, автору следовало бы уделить большее внимание отличию предложенной им геомеханической модели от аналогичных моделей, разработанных ранее, в частности, от геомеханической концепции трех зон деформирования, сформулированной И.Л. Черняком и кратко изложенной в диссертации на стр. 158.

Приведенные выше замечания носят частный, уточняющий или рекомендательный характер и не снижают общей положительной оценки работы.

7. Заключение

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой на единой методологической основе представлена совокупность научных и технических решений, позволивших установить значимые для практики закономерности деформирования протяженных горных выработок в угольных пластах, расположенных в неустойчивых вмещающих породах, создать геомеханические модели поведения породного массива в этих условиях, которые адекватно описывают деформационные процессы, протекающие в окрестности капитальных и подготовительных выработок, повысить их устойчивость путем широкого внедрения усовершенствованных видов крепи и существенно снизить себестоимость добываемого угля, что имеет важное хозяйственное и социальное значение для интенсификации производства и повышения безопасности горных работ в угольной промышленности.

Диссертация соответствует п. 9. Положения ВАК РФ о порядке присуждения ученых степеней, а ее автор, Смирнов Андрей Викторович, заслуживает присвоения ученой степени доктора технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Официальный оппонент, доктор технических наук, профессор кафедры физических процессов горного производства и геоконтроля Национального исследовательского технологического университета «МИСиС»



Вознесенский Александр Сергеевич

119991, г. Москва, Ленинский проспект, 4, НИТУ «МИСиС», Горный институт (МГИ), кафедра Физических процессов горного производства и геоконтроля (ФизГео).

Тел.: 8 (499) 230-25-93 (каф.), +7-910-409-94-93 (моб.)

E-mail: al48@mail.ru.

Подпись официального оппонента, д.т.н., проф. А.С. Вознесенского удостоверяю.

Директор Горного института (МГИ) НИТУ «МИСиС»



8



А. В. Мясков