

ОТЗЫВ

официального оппонента

о диссертации Бунтова Алексея Евгеньевича «Устойчивость монолитных крепей подземных сооружений с учетом пористой структуры материала и сложной реологии сжатого скелета», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Создание капитальных подземных конструкций различного назначения непосредственно связано с возведением в них постоянных крепей; возникает необходимость в разработке сложных математических моделей описания процессов и явлений в подкрепляющих конструкциях и методов их расчета.

Одним из важнейших приложений трехмерной линеаризированной теории устойчивости деформируемых тел являются задачи механики объектов горных пород: горных выработок, подземных полостей, их крепей. Анализ возможности разрушения крепей, разработка комплекса мероприятий, обеспечивающих безаварийное функционирование объектов, являются одной из основных и актуальных проблем.

Теоретический анализ и практика эксплуатации горных выработок показывают, что при увеличивающейся интенсивности проявлений горного давления с возрастанием глубины ведения горных работ и при сложных природных условиях залегания полезных ископаемых материал массива горных пород вблизи таких выработок, а также материал крепи ведут себя неупругим образом. Реальные твердые материалы обладают внутренней структурой. Получение достоверных результатов по исследованию устойчивости горных выработок и их крепей требует привлечения все более сложных моделей, полнее отражающих реальное поведение материалов. Разработка и использование моделей сложных сред, в которых учитываются такие свойства, как пористость, пластичность, вязкость, упрочнение, представляют существенный научный и практический интерес.

Вышесказанное предопределяет **актуальность** темы диссертации А.Е. Бунтова.

Целью диссертационной работы А.Е. Бунтова является исследование вопросов устойчивости монолитных крепей вертикальных и сферических горных выработок при малых докритических деформациях в рамках общей трехмерной линеаризированной теории устойчивости для материалов с пористой структурой. Полагается, что материал в состоянии с полностью сжатой матрицей является упруго-пластическим или упруго-вязкопластическим.

Сопутствующие цели задачи определяют **научную новизну** работы:

- выполнено построение аналитических зависимей, описывающих напряженно - деформированные состояния (НДС) монолитных цилиндрических и сферических крепей как на этапе упругого деформирования пористого материала, так и в фазах неупругого деформирования материала крепи с полностью сжатой матрицей (оба варианта модели среды) при условии малости деформаций;

- средствами метода возмущений, примененного к линеаризованным уравнениям устойчивости, решены классы задач устойчивости монолитных крепей вертикальных горных выработок и подземных сферических полостей;

- на основе конечно-разностного метода разработан метод анализа характеристических уравнений, сводящийся к решению задач многомерной оптимизации критических величин нагрузок в зависимости от параметров волнообразования.

Традиционные допущения, используемые при анализе нелинейных объектов, представляются корректными:

- для достаточно жестких пород докритическое состояние достаточно определять в рамках геометрически линейной теории упругости;

- выработки достаточно удалены от земной поверхности, поэтому потеря устойчивости на рассматриваемой глубине обуславливается действием горного давления, а не краевыми эффектами;

- при моделировании задач устойчивости с учетом пластических деформаций принимается обобщенная концепция продолжающегося нагружения.

Формулировки цели и задачи диссертационной работы Бунтова А.Е. вытекают из результатов выполненного им обширного аналитического обзора. Последовательность решения задач исследования соответствует логике их взаимосвязи. Постановка задач носит системный характер; методы их решения соответствуют общей постановке и конкретному содержанию задач и применяются адекватно предмету исследования.

Теоретической и методологической основой диссертационного исследования служат знания фундаментальных разделов механики сплошных сред и, в частности, трехмерной теории устойчивости деформируемых систем. Для формализации реальных и теоретических объектов исследования применены современные подходы математического моделирования. **Достоверность** результатов проверена численными экспериментами, сопоставлением с результатами, полученными другими исследователями изучаемой проблемы. Научная апробация результатов исследования осуществлена публикацией основных положений диссертации в научно-технических периодических изданиях, в том числе рекомендованных ВАК РФ (4 статьи) и представлением их на многих научных конференциях. Сказанное позволяет сделать вывод об обоснованности и достоверности проведенных Бунтовым А.Е. диссертационных исследований.

Проведенные исследования носят направленное **практическое приложение**. Окончательные соотношения в форме определителей для каждой рассматриваемой задачи позволяют качественно и количественно оценить критические параметры монолитных крепей горных выработок. Важные практические результаты применимы к диагностике устойчивости подкрепленных горных выработок глубокого заложения.

Построенный алгоритм численной реализации исследуемых процессов может применяться к ряду смежных задач горной механики. Строгая постановка в исследовании устойчивости позволяет оценить погрешность и определить область применения результатов, найденных с помощью приближенных теорий.

В целом: диссертационное исследование содержит теоретические материалы, их обобщения, задачи исследования, теоретический анализ влияния большого спектра физико-механических (удельный объем пор, вязкость, пластичность, упрочнение, давление на крепь жидкости, газа, массива горных пород и др.) и геометрических параметров монолитных крепей на критические для потери устойчивости значения параметров НДС соответствующих подземным конструкциям монолитным крепям; обнаружены новые эффекты (влияние пористости материала в сочетании с другими физико-механическими параметрами на области устойчивости) и подтверждены эффекты, отмеченные в работах предшественников (напр., потеря устойчивости крепи вертикальной выработки с круговым профилем, а также монолитной крепи сферической полости происходит по осесимметричным формам, исчерпанию несущей способности конструкции предшествует ее потеря устойчивости и др.).

Замечания по работе:

1. В работе давление на внешнюю поверхность крепи считается независимым от физико-механических свойств горного массива и глубины заложения выработки, хотя известно, что нагрузка на крепь в первую очередь определяется перемещениями горной породы и образованием зоны неупругого деформирования в приконтурной области массива горных пород.

2. Мало внимания уделено качественной оценке полученных критических значений внутреннего давления и их сравнению с экспериментальными данными.

3. Для большей полноты картины НДС было бы неплохо рассмотреть задачу о взаимодействии массива горных пород с крепью. Задача интересна, но довольно сложна, поскольку механические свойства (модули упругости, плотность,...) даже предположительно однородных в ненагруженном состоянии пород оказываются в реальности зависящими от глубины залегания. Это – задача на перспективу.

4. Терминологическое замечание: фигурирующая непосредственно в уравнениях равновесия внешняя сила некорректно называется массовой, хотя по сути является

объемной. При постоянной плотности материала это принципиального значения не имеет, но становится важным в задачах с неоднородной плотностью.

Высказанные замечания не снижают общей положительной оценки работы А.Е. Бунтова. Диссертация написана четким научным языком и хорошо структурирована. Каждая глава содержит принципиально важные результаты научных исследований автора и заканчивается содержательными выводами. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы. Основные результаты проведенного исследования, выводы и рекомендации отражены в автореферате и публикациях автора (18 работ, из них 4 статьи в журналах ВАК). Материал, содержащийся в диссертации, соответствует указанной специальности. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу.

В целом считаю, что представленная к защите диссертационная работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор Бунтов Алексей Евгеньевич достоин присуждения искомой степени по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент, доктор
физико-математических наук,
профессор

31.05.17.

