

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Цаюкова Андрея Андреевича «Разработка методов математического моделирования процессов деформирования соляных междокамерных целиков», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэродинамика и горная теплофизика»

Диссертационная работа Цаюкова А.А. посвящена изучению методов построения математических моделей и разработке методов их численной реализации, адекватно отражающих процесс деформирования и разрушения соляных пород и междокамерных целиков.

Автором получен ряд новых научных результатов, заключающихся в построении на основе экспериментальных данных трёхмерной математической модели упруго-вязкопластического деформирования и разрушения соляных образцов во времени, учитывающей особенности их продольно-поперечного деформирования; разработке метода для моделирования процессов ползучести в соляных породах, основанного на введении в вязкопластическую модель дополнительного внутреннего параметра, предела ползучести, и соответствующего метода вычисления эквивалентного напряжения ползучести; предложении закона, подобного модели Перича, в качестве закона вязкопластичности для модели ползучести, построенной с применением модифицированного метода проекции напряжений; построении алгоритма численной реализации модифицированного метода проекций напряжений, основанного на неявной схеме Эйлера локального интегрирования методом обратного отображения; разработке алгоритма реализации модифицированного метода проекции напряжений для критерия пластичности Кулона-Мора, учитывающего особенности вычисления предела ползучести и эквивалентного напряжения ползучести; предложении методики анализа безопасных условий подработки водозащитной толщи, основанной на оценке оседаний земной поверхности по прогнозным скоростям горизонтальной конвергенции очистных камер, описываемой разработанной упруго-вязкопластической моделью деформирования и разрушения междокамерных целиков с применением модифицированного метода проекции напряжений.

Несомненный практический интерес состоит в том, что установлено, что наиболее адекватными критериями пластичности для описания процесса одноосного деформирования соляных образцов являются классический

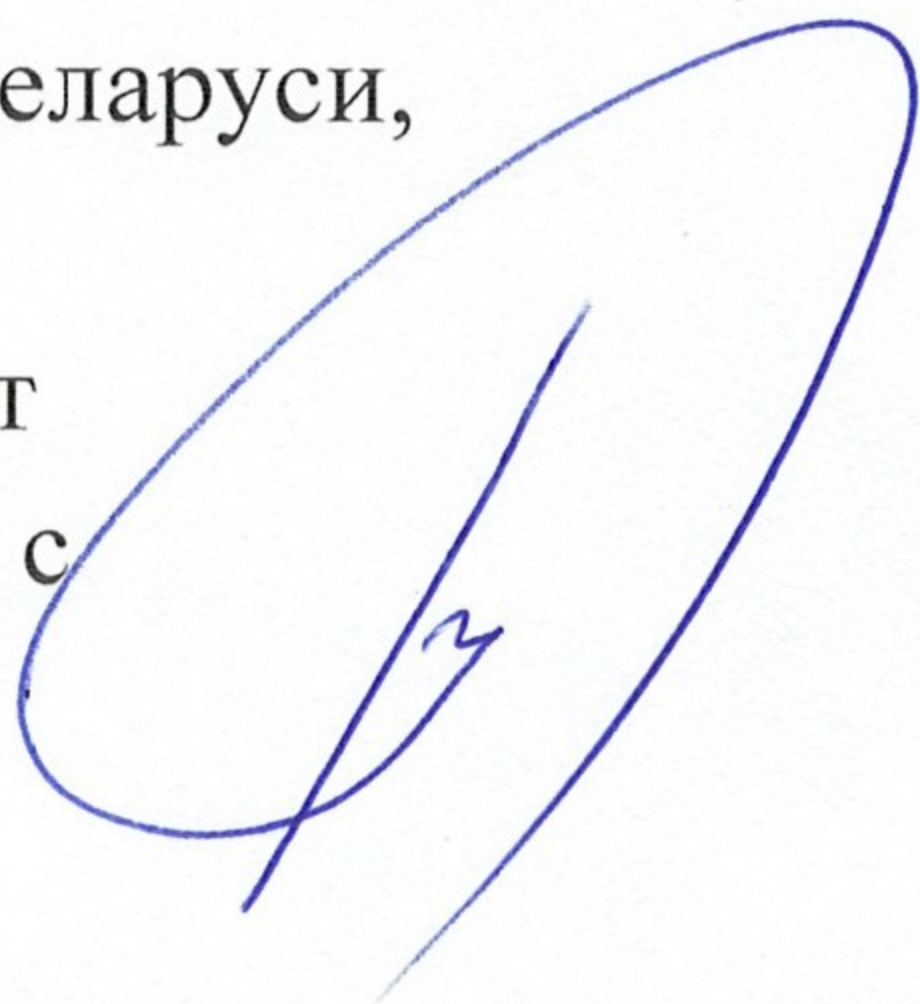
критерий Кулона-Мора с неассоциированным законом течения пластических деформаций и объёмный параболический критерий прочности с ассоциированным пластическим течением и линейным изотропным упрочнением; по результатам анализа откалиброванных параметров упруго-вязкопластической модели сделан вывод об использовании закона Перича для описания стадии установившейся ползучести характеризуется относительно простым, стабильным параметрическим обеспечением при фиксированных параметрах пластичности; в качестве закона вязкопластичности для модели ползучести, построенной с применением модифицированного метода проекции напряжений, предложен закон, подобный модели Перича; разработаны алгоритмы численной реализации модифицированного метода проекций напряжений для критерия пластичности Кулона-Мора и объёмного параболического критерия, основанных на неявной схеме Эйлера интегрирования вязкопластических соотношений методом обратного отображения; использование модифицированного метода проекции напряжений позволяет адекватно, с приемлемой точностью описать нарастание продольной и поперечных деформаций междукамерных целиков; введённый предел ползучести модифицированного метода проекции напряжений даёт возможность ограничить зоны вмещающих пород, где активизируются процессы ползучести, и получить области нарушения, наиболее соответствующие фактическому характеру разрушения междукамерных целиков; построенная упруго-вязкопластическая модель процесса деформирования камерного блока во времени позволяет прогнозировать срок сохранения устойчивого состояния междукамерных целиков; предложенная методическая схема оценки оседаний земной поверхности и параметрического обеспечения анализа безопасных условий подработки водозащитной толщи методами математического моделирования, основанная на прогнозе скорости поперечной деформации междукамерных целиков в соответствии с разработанной упруго-вязкопластической моделью процесса деформирования камерного блока.

Научные положения и основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных Европейских симпозиумах по геомеханике «EUROCK 2018» (г. Санкт-Петербург, 2018 г.) и «EUROCK 2020» (г. Тронхейм, Норвегия, 2020 г.), научных сессиях «ГИ УрО РАН» (г. Пермь, 2017, 2018, 2023, 2024 гг.), XXIII Зимней школе по механике сплошных сред (г. Пермь, 2023 г.), отчётной конференции по итогам 1 этапа выполнения проекта «Фундаментальная механика в новых материалах, конструкциях, технологиях» (г. Пермь, 2024 г.), II Всероссийской конференции «Разрушение горных пород и минералов» (г. Екатеринбург, 2025 г.). Результаты работы

использованы при анализе напряженно-деформированного состояния междокамерных целиков, оценке развития процесса сдвижения во времени и прогнозе безопасных условий подработки водозащитной толщи на участках шахтных полей рудников ПАО «Уралкалий».

В целом, по содержанию, оформлению и полученным результатам автореферат соответствует требованиям ВАК Минобрнауки РФ, заявленной специальности и отрасли наук. Выполненная работа свидетельствует о хорошей научной квалификации соискателя. Цаюков Андрей Андреевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика», за изучение методов построения математических моделей и разработке методов их численной реализации, адекватно отражающих процесс деформирования и разрушения соляных пород и междокамерных целиков.

Доктор технических наук,
профессор, академик НАН Беларуси,
технический директор
ЗАО «Солигорский Институт
проблем ресурсосбережения с
Опытным производством»



Прушак Виктор Яковлевич

Республика Беларусь, 223710,
г. Солигорск, ул. Козлова, 69
тел/факс (375 174 26 28 37),
E-mail: ipr@sipr.by

25 сентября 2025 г.