Н А У Ч Н О - Т Е Х Н И Ч Е С К И Й

В Е С Т Н И К

П О В О Л Ж Ь Я

№1 2020

Направления:

05.13.01 – СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ (технические науки)

05.13.06 – АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ (технические науки)

05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (физико-математические науки)

05.13.11 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ (технические науки)

05.13.18 – МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ (технические науки)

05.13.19 – МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (физико-математические науки)

Казань
2020

УДК 60
ББК 30-1
Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №1 2020г. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2020. – 164 с.
ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован в Управлении Федеральной службы по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС 77 - 75732 от 08 мая 2019г.
Журнал размещен в открытом бесплатном доступе на сайте www.ntvp.ru, и в Научной электронной библиотеке (участвует в программе по формированию РИНЦ).
Журнал включен ВАК РФ в перечень научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.
Подписной индекс в объединенном каталоге «Пресса России» № 12025.

Главный редактор Р.Х. Шагимуллин

Редакционная коллегия

С.В. Анаников – д.т.н., проф.; *Т.Р. Дебердеев* – д.т.н., проф.; *Б.Н. Иванов* – д.т.н., проф.; *В.А. Жихарев* – д.ф-м.н., проф.; *В.С. Минкин* – д.х.н., проф.; *А.Н. Николаев* – д.т.н, проф.; *В.К. Половняк* – д.х.н., проф.; *В.Ф. Тарасов* – д.ф-м.н., проф.; *Х.Э. Харлампиди* – д.х.н., проф.

В журнале отражены материалы по теории и практике технических, физико-математических и химических наук.

Материалы журнала будут полезны преподавателям, научным работникам, специалистам научных предприятий, организаций и учреждений, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

УДК 60
ББК 30-1

ISSN 2079-5920 **© Рашин Сайнс, 2020 г.**

СОДЕРЖАНИЕ

05.13.01 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

С.Г. Абанин, В.А. Карпычев, М.В. Кузнецов ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ 9
А.Ю. Барыкин, Р.М. Галиев, Д.И. Нуретдинов, А.М. Фролов СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОЦЕНОЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РЕСУРСА АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ 15
А.Н. Субботин АЛГОРИТМ КЛАССИФИКАЦИИ ПОТОКОВ ТЕКСТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ЕСТЕСТВЕННОМ ЯЗЫКЕ 18
Г.А. Тимофеева, О.А. Билоус, А.В. Кухарчук СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА 21
В.А. Трипкош, С.С. Акимов ОЦЕНКА ВРЕМЕННОЙ СЛОЖНОСТИ АЛГОРИТМОВ РАСПОЗНАВАНИЯ, ОСНОВАННЫХ НА РЕШЕНИИ СОСТАВНОЙ БАЙЕСОВСКОЙ ЗАДАЧИ 24
С.А. Ямашкин, А.А. Ямашкин КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ХРАНЕНИЯ, АНАЛИЗА И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ДАННЫХ В ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ИНФРАСТРУКТУРАХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ 29

05.13.06 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ И ПРОИЗВОДСТВАМИ

Н.В. Андриевская, О.А. Андриевский ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПЕРЕХОДНЫХ СОСТОЯНИЙ ДЛЯ СИНТЕЗА ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ 32
Н.В. Андриевская, М.А. Базаров РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СТАБИЛИЗАЦИИ ОБРАТНОГО МАЯТНИКА НА ПРИМЕРЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА LEGO MINDSTORMS EV3 36
В.А. Егоров, Каунг Хтет Сан РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА 40
Л.И. Медведева, Н.В. Иевлева, Е.Ю. Орешкина ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СЕРОУГЛЕРОДА 45
А.В. Могильников, О.А Билоус ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ПАКЕТЕ MATLAB/SIMULINK 49
К.И. Новгородов, А.В. Савчиц, В.Е. Костин АВТОМАТИЧЕСКИЙ ГЕЛИОКАТАМАРАН 53
С.С. Павлов, М.А. Иванова, Ю.Г. Федотова, А.В. Спиридонова, Дь.А. Соколов ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БРИКЕТОВ ДЛЯ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ КОТЛОВ 56
Д.П. Салова, Е.П. Шалунов, С.С. Сайкин, С.В. Солин, С.С. Сорокин, П.М. Салов, Т.Г. Виноградова, А.Ф. Денисенко, И.А. Фомичев РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЬБОРОВЫХ КРУГОВ ПРИ ШЛИФОВАНИИ ГЛУБОКИХ ОТВЕРСТИЙ 59
Л.А. Симонова, К.Н. Гавариева РАЗРАБОТКА БАЗЫ ЗНАНИЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ НЕЧЕТКОГО ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА ПРОЦЕССА ПРЕЦИЗИОННОЙ ШТАМПОВКИ 62

А.Р. Фардеев ВЫБОР НАСОСА ВЕТРОНАСОСНОЙ УСТАНОВКИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ЖИДКОСТИ 65
А.Р. Фардеев, Р.Г. Марданшин АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ВЕТРОДВИГАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ ЦИРКУЛЯЦИИ ЖИДКОСТИ 68
А.Е. Шорников, С.Л. Сьянов АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНФИГУРАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК GSM МОДУЛЯ 71
А.А. Южаков, О.А. Андриевский РАЗРАБОТКА ИДЕНТИФИКАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ЛИНЕЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ 75

05.13.11 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН, КОМПЛЕКСОВ И КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

А.М. Дергачев, Д.С. Садырин, А.Г. Ильина, И.П. Логинов, Ю.Д. Кореньков МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОБНАРУЖЕНИЯ УЯЗВИМОСТЕЙ АЛЛОКАТОРОВ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПАМЯТИ БИБЛИОТЕКИ GLIBC 79
М.С. Еремкина, Г.Д. Кожевников, И.А. Николаев, А.А. Пожидаев СИСТЕМА ТРИБОМОНИТОРИНГА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ФРЕТТИНГ-ИЗНАШИВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО СКОЛЬЖЕНИЯ 84
А.О. Ступин, Ю.В. Ефремова, Е.Л. Вайтекунене, С.Н. Ежеманская ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИКЛА БОЛЕЗНИ ЛЕСОВ С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТА ANYLOGIC 88
Ю.А. Ушаков, М.В. Ушакова, А.Л. Коннов МАРШРУТИЗАЦИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ПРОГРАММНО-КОНФИГУРИРУЕМОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА 91
Е.О. Ямашкина, С.А. Ямашкин, С.М. Коваленко ТЕСТИРОВАНИЕ И ВЫБОР ГРАФИЧЕСКОГО ПРОЦЕССОРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ NVIDIA CUDA ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ 97

05.13.18 — ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ — МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

В.В. Андреев, М.М. Африн ОБЗОР ЗАРУБЕЖНЫХ РАСЧЕТНЫХ КОДОВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АВАРИЙ С ОТКАЗОМ АВАРИЙНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К БЫСТРЫМ РЕАКТОРАМ С НАТРИЕВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ 100
В.Ю. Артамонов, Н.В. Дубов, П.С. Зубков, Н.А. Кулаев МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ВСТРАИВАЕМОЙ СИСТЕМЫ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП 103
А.В. Волков, С.А. Шиков, О.О. Темаева СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ДАННЫХ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НАТРИЕВЫХ ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ 107
Д.С. Грибач К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ ПРИ ВНЕСЕНИИ КОРРЕКТИРОВОК В АРХИТЕКТУРНУЮ КОНЦЕПЦИЮ 110
Е.Н. Журавлева РЕШЕНИЕ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ БАЛОК МЕТОДОМ ОРТОГОНАЛИЗИРУЮЩИХ ЯДЕР 114
В.А. Карпычев, Д.В. Ковин К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ СТРУКТУРНОГО АНАЛИЗА РЫЧАЖНЫХ ПЕРЕДАЧ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ 117

В.Ю. Колесников, И.Н. Сидоров РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КОАКСИАЛЬНОГО СО2 - ЛАЗЕРА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ 121
А.В. Ромодин А.С. Семенов МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ НЕФТИ 129
О.В. Соловьева, С.А. Соловьев, Р.Р. Яфизов, Р.Р. Хусаинов ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ В ПОРИСТЫХ СРЕДАХ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ 132
С.В. Фоминых, А.В. Ромодин ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ 135
А.Н. Хворова, С.В. Ерохин МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОСАЧИВАНИЯ ЖИДКОСТИ В ТРЕЩИНОВАТОМ СЛОЕ 138
А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова, А.В. Корнева ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМАССИВА С УЧЕТОМ РАССЛОЕНИЯ ПОДРАБОТАННЫХ ПОРОД КРОВЛИ 142
П.С. Чурин, А.Н. Федосова, А.А. Брыков ВЛИЯНИЕ ТОЧЕЧНОЙ ЗАСТРОЙКИ ПАРКОВОЙ ТЕРРИТОРИИ НА КОМФОРТНОСТЬ ПЕШЕХОДНЫХ ЗОН 146

05.13.19 — ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ — МЕТОДЫ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ, ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Ю.Ж. Дондоков, Н.И. Кондакова, С.В. Степанова БЕЗОПАСНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ 150

АННОТАЦИИ 153

05.13.18

А.Б. Цветков д-р техн. наук, Л.Д. Павлова д-р техн. наук, А.В. Корнева канд. техн. наук

Сибирский государственный индустриальный университет,
Институт информационных технологий и автоматизированных систем,
кафедра прикладной математики и информатики,
Новокузнецк, atsvet@mail.ru, ld_pavlova@mail.ru, annette_sol@list.ru

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМАССИВА С УЧЕТОМ РАССЛОЕНИЯ ПОДРАБОТАННЫХ ПОРОД КРОВЛИ

Выполнено численное моделирование напряженно-деформированного состояния слоистого геомассива в условиях техногенных воздействий с учетом расслоения подработанных пород кровли.

Ключевые слова: *математическая модель, горная выработка, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние.*

Массив осадочных горных пород представляет собой слоистую структуру, поэтому при добыче полезного ископаемого изгиб отдельных слоев пород кровли над выработкой сопровождается расслоением подработанной толщи по контактам угольных пластов и породных слоев.

Параметры геомеханических процессов, которые развиваются в массиве горных пород при их расслоении, существенно зависят от физико-механических свойств пород, неоднородности геомассива, формы и размеров подземных выработок [1-3].

В результате интенсивного техногенного воздействия на геомассив происходит обнажение контактов породных слоев, вследствие чего подработанная кровля над выработкой начинает опускаться под влиянием собственного веса.

Перераспределение напряжений в подработанных слоях кровли приводит к их изгибу и расслоению в том случае, когда жесткость нижнего породного слоя меньше жесткости верхнего слоя. При превышении предела прочности пород нижнего слоя породы разрушаются. Вес пород в этих зонах частично распределяется на секции крепи очистного забоя и над ней формируются зоны обрушения и трещиноватости [1, 3].

В этой связи изучение процессов деформирования слоистого массива горных пород является актуальным, так как устойчивость современных механизированных крепей в очистном забое существенно зависит от веса, последовательности расслоения и длины консоли зависания подработанных пород кровли.

Методы исследования

Математическая модель напряженно-деформированного состояния геомассива при условии плоской деформации формулируется в виде краевой задачи: для области прямоугольной формы найти вектор перемещений $\vec{U} = (u_x, u_y)$, координаты которого u_x, u_y удовлетворяют системе дифференциальных уравнений

$$(\lambda+\mu)\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial u_x}{\partial x}+\frac{\partial u_y}{\partial y}\right)+\mu\left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2}\right)=0;$$

$$(\lambda+\mu)\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial u_x}{\partial x}+\frac{\partial u_y}{\partial y}\right)+\mu\left(\frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2}\right)+g\gamma=0,$$

и однородным граничным условиям, которые заданы следующим образом [4, 5]:

- вертикальные границы, верхнее и нижнее основания $u_x = 0$;
- вертикальные границы $(u_y)'_x = 0$;
- нижнее основание $u_y = 0$;
- вертикальные напряжения на верхней границе $\sigma_y = 0$.

В системе уравнений принято: μ и λ параметры Ламе, $\mu = \frac{E}{2(1+\nu)}$; $\lambda = \frac{\nu \cdot E}{(1+\nu)(1-2\nu)}$; E – модуль упругости; ν – коэффициент Пуассона; γ – плотность, g – гравитационная постоянная.

Краевая задача решалась при условии, что массовые силы направлены вдоль вертикальной оси и создавались собственным весом пород [5, 6]. Численное решение получено методом конечных элементов. Расчетная область разбивалась на подобласти четырехугольными конечными элементами с билинейной аппроксимацией перемещений на каждом конечном элементе. После минимизации функционала полной потенциальной энергии и вычисления узловых перемещений определялись величины векторов деформаций и напряжений [7, 8].

На рисунке 1 расчетная область для участка слоистого геомассива Ω представлена вертикальным сечением вдоль оси отрабатываемого выемочного столба и состоит из подобластей $\Omega = \sum_{i=1}^{8} \Omega_i$, каждая из которых характеризует породы определенного типа: Ω_1 – алевролит крупнозернистый; Ω_2 – алевролит мелкозернистый; Ω_3 – угольный пласт-спутник; Ω_4 – переслаивание алевролитов разной зернистости; Ω_5 – угольный пласт, включающий очистную выработку длиной 200 м, границы которой на рисунке 1 отмечены точками A_1 и A_2; Ω_6 –алевролит среднезернистый; Ω_7 – аргиллит; Ω_8 – песчаник.

На границе контакта между пластом-спутником и породой, обозначенными на рисунке 1 соответственно Ω_3 и Ω_4, возникает расслоение пород, которое формируется в результате техногенного воздействия на геомассив при очистной выемке угольного пласта Ω_5.

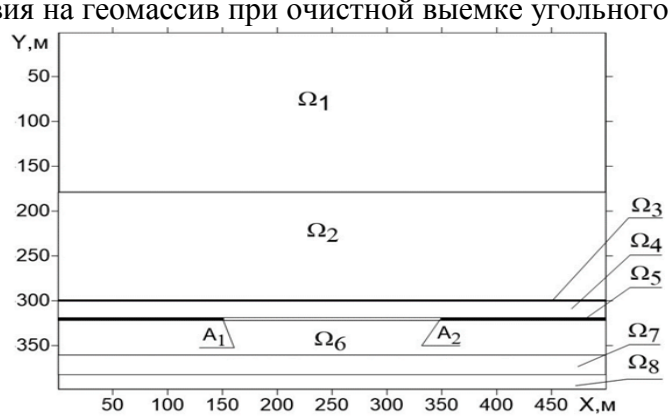


Рис. 1 – Расчетная область участка слоистого геомассива, включающая выработку A_1A_2

На основе численного моделирования напряженно-деформированного состояния геомассива необходимо определить площадь расслоения пород в окрестности горной выработки (участок A_1A_2 на рисунке 1) и выявить его влияние на распределение напряжений в окрестности очистного забоя.

Результаты и их обсуждение

Результаты вычислительных экспериментов, выполненных с использованием разработанного пакета проблемно-ориентированных программ [9], представлены на рисунках 2-4.

При численном моделировании напряженно-деформированного состояния геомассива в зоне влияния очистной выработки между слоем Ω_3 и пластом-спутником Ω_4 задавался слой контакт-элементов толщиной 0.001 м.

Площадь расслоения пород в расчете на 1 м ширины отрабатываемого выемочного столба определялась итерационным методом. В контакт-элементах, которые попадали в область вертикальных растягивающих напряжений, физико-механические свойства изменялись на величины, характерные для зоны трещинообразования.

Условие окончания итерационного процесса определялось по критерию:

$$\sqrt{\left(\frac{S_{k+1}-S_k}{S_k}\right)^2} \leq \varepsilon, \qquad (1)$$

где ε – заданная точность ($\varepsilon = 10^{-1}$); S_k – площадь расслоения; k – номер итерации.

По результатам моделирования начальная площадь расслоения пород между пластами Ω_3 и Ω_4 составила 140 м^2 (участок B_1B_2 на рисунке 2). Наличие расслоения привело к росту

зоны растягивающих напряжений над кровлей очистного выработанного пространства и увеличению на следующей итерации площади расслоения пород до 160 м^2 (точки C_1, C_2 на рисунке 2).

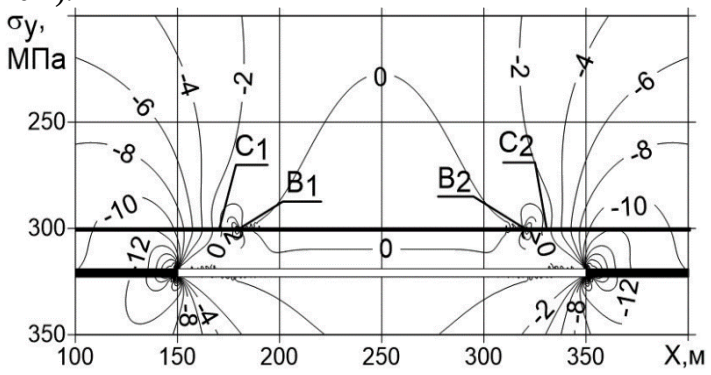


Рис. 2 – Распределение вертикальных напряжений в окрестности очистного забоя

На рисунке 3 приведены графики площади расслоения пород и ее изменение в зависимости от числа итераций. Из анализа графиков следует, что увеличение количества итераций приводит к уменьшению приращения площади расслоения и при достижении площади расслоения пород 184 м^2 итерационный процесс завершился.

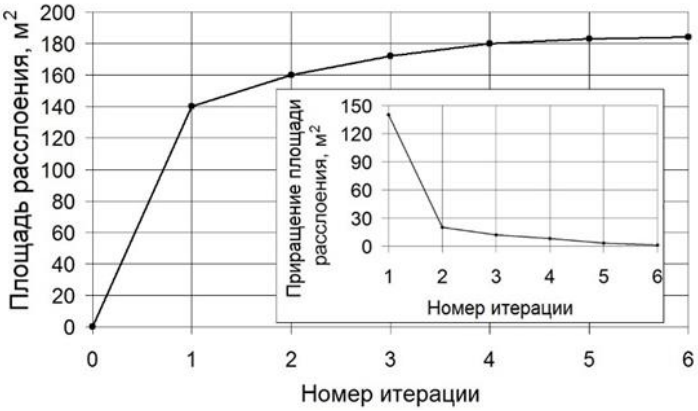
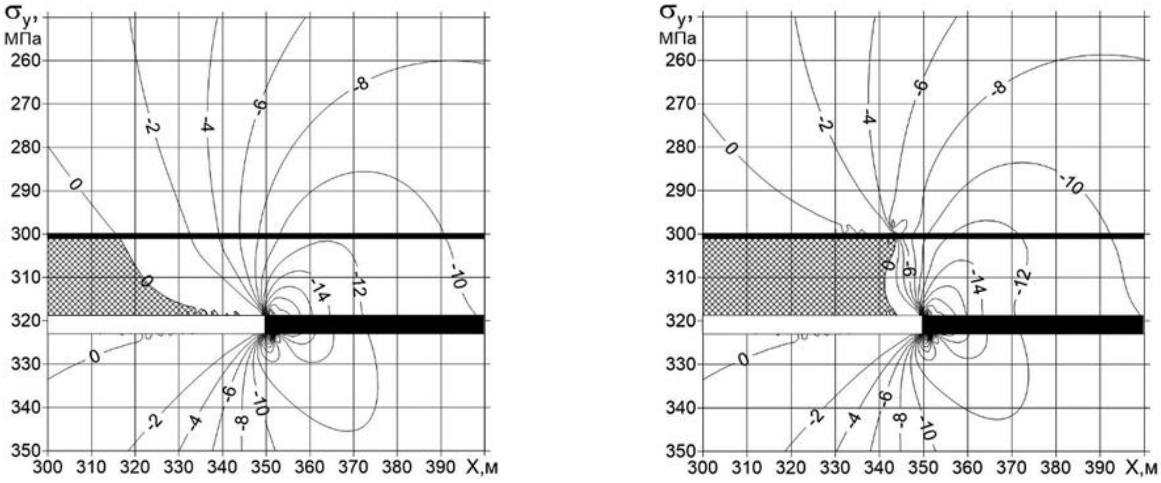


Рис. 3 – Графики площади расслоения пород и приращение площади в зависимости от числа итераций

На рисунке 4 а и 4 б приведен фрагмент расчетной области в окрестности очистного забоя, на котором штрихована зона вертикальных растягивающих напряжений над кровлей выработки.



а) б)

Рис. 4 – Зона вертикальных растягивающих напряжений в окрестности очистного забоя: а – без расслоения, б – площадь расслоения 184 м^2

Количественный анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что при наличии расслоения, площадь которого составила 184 м^2, зона растягивающих напряжений,

отмеченная на рисунке 4 а и 4 б штриховкой, увеличилась почти в 2 раза и ее граница сместилась в направлении очистного забоя.

Так как предел прочности горных пород при растяжении на порядок меньше, чем при сжатии, то в зоне растяжения, граница которой сместилась к очистному забою, прочность пород снижена по сравнению с их природным состоянием. В результате образования трещин и блоков формируется зона обрушения, вес пород в которой оказывает влияние на устойчивость механизированной крепи очистного забоя.

Выводы

Анализ результатов численного моделирования геомеханического состояния массива горных пород при подземной отработке свиты угольных пластов позволяет установить влияние процесса расслоения подработанных пород кровли на горное давление в окрестности очистного забоя.

Предложенный метод количественного прогнозирования напряженно-деформированного состояния геомассива в зоне влияния подземной выработки может быть использован при разработке проектной документации отработки свиты угольных пластов высокопроизводительными очистными забоями.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Кемеровской области в рамках научного проекта № 20-41-420004

Список литературы

1. *Борисов, А.А*. Механика горных пород и массивов / А.А. Борисов. –М. : Недра, 1980.–360 с.
2. *Серяков, В.М.* Влияние порядка отработки месторождения на процесс перераспределения напряжений в массиве горных пород / В.М. Серяков // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли : тр. междунар. конф. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1999. – С. 190–194.
3. *Фадеев, А.Б.* Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б. Фадеев. – М. : Недра, 1987. – 221 с.
4. *Тимошенко, С.П.* Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер; пер. с англ. М.И. Рейтмана. – М. : Наука, 1975. – 576 с.
5. *Цветков, А.Б.* Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния геомассива в условиях интегрального воздействия гравитационных и геотектонических сил / А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 6. – С. 485–488.
6. *Цветков, А.Б.* Выявление закономерностей нелинейного деформирования пород при отработке свиты угольных пластов / А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – №10. – С. 324–332.
7. *Зенкевич, О.К.* Метод конечных элементов в технике / О.К. Зенкевич; под ред. Б.Е. Победри. – М. : Мир, 1975. – 541 с.
8. *Сегерлинд, Л.* Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд. – М. : Мир, 1979. – 392 с.
9. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 19867. Пакет программ NDSolver V1.0 для математического моделирования напряженно-деформированного состояния газоносного геомассива / А.Б. Цветков // Объединенный фонд электронных ресурсов «Наука и образование». – Дата регистрации 10.01.2014.