

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК ПОВОЛЖЬЯ

№8 2021

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
2021**

УДК 60

ББК 30-1

Н-66

Н-66 Научно-технический вестник Поволжья. №8 2021г. – Казань:
ООО «Рашин Сайнс», 2021. – 110 с.

ISSN 2079-5920

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (реестровая запись от 08.05.2019 серия ПИ № ФС 77 -75732)

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» № E12025.

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.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, 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

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

<i>В.В. Баканов, А.А. Кузнецов, К.А. Липатников</i> ДАТЧИК ТОКА НА БАЗЕ ЭФФЕКТА МАГНИТОСТРИКЦИИ	7
<i>А.П. Буйносов</i> АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО ЭЛЕКТРОВОЗА ЭП2К	11
<i>И.А. Волков, Д.С. Зырянова, Л.В. Синицына</i> ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОСВЕЩЕНИЯ СТУДЕНТАМИ ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ УЧЕБНЫХ ЗРИТЕЛЬНЫХ РАБОТ	15
<i>В.С. Крылов</i> СБОРКА АЛГОРИТМА АНАЛИЗА ЛАТЕНТНЫХ ТЕМ НАУЧНЫХ ИЗДАНИЙ	19
<i>Е.С. Кузнецова, А.Ю. Панов, С.В. Кузнецов</i> ПРИМЕНЕНИЕ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ДОВЕРИЯ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ И РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ПРЕДПРИЯТИЙ	22
<i>Р.И. Нургалиев, А.А. Василец, В.И. Баязитова, А.Ж. Сахабутдинов, А.А. Кузнецов, А.Н. Пикулев, В.В. Садчиков</i> АЛГОРИТМ ТРОЙНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ СВЕРХУЗКИХ СТРУКТУР РЕЗОНАНСНОГО ТИПА В ОПТИЧЕСКОМ ВОЛОКНЕ	28
<i>А.А. Хохрин</i> ТРЕХМЕРНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ЛИЦА ИЗ ОДНОГО 2D-ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОТЛИЧИТЕЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И БАЗЕЛЬСКОЙ МОДЕЛИ ЛИЦА	32

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

<i>И.Н. Козлов</i> О ИЗМЕНЕНИИ СВЕТОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВЕТОВОГО ПРИБОРА НА ОСНОВЕ СВЕТОДИОДНОЙ МАТРИЦЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ВТОРИЧНОЙ ОПТИКИ В ВИДЕ ЗЕРКАЛЬНОЙ ПЛОСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ	36
<i>М.В. Таланов, В.М. Таланов</i> БЕЗДАТЧИКОВАЯ СИСТЕМА ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ НА ОСНОВЕ СИГМА-ТОЧЕЧНОГО ФИЛЬТРА КАЛМАНА	39

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

<i>Г.А. Гареева, А.Р. Шакиров, Д.Р. Григорьева, Р.Р. Басыров</i> ДИАГНОСТИКА ПРОГРАММНОГО И АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПК НА ПРЕДПРИЯТИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ	45
<i>А.А. Голубничий, А.Д. Яблонцева</i> РАЗРАБОТКА БАЗЫ ДАННЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ В РАМКАХ ИЗБИРАТЕЛЬНЫХ КАМПАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ)	49

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

<i>А.А. Голубничий, А.Д. Яблонцева</i> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗВЕДОЧНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ	52
---	----

А.А. Каменских, М.М. Пащенко ВЛИЯНИЕ ЗАЩИТНО-УПРОЧНЯЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ НА КОНТАКТ ШТАМПА И ПОЛУПРОСТРАНСТВА	56
А.А. Каменских, М.М. Пащенко ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРА КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ШТАМПА С МНОГОСЛОЙНЫМ ЗАЩИТНО-УПРОЧНЯЮЩИМ ПОКРЫТИЕМ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ ШТАМП-ПОЛУПРОСТРАНСТВО	59
А.В. Колсанов, С.С. Чаплыгин, Е.Г. Орехова, А.В. Иващенко МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ И ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ ОПЕРАЦИОННОГО МИКРОСКОПА	63
А.С. Мальцев, П.В. Максимов ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В КВАРЦЕВОМ АКСЕЛЕРОМЕТРЕ ПРИ СВАРНОМ И КЛЕЕВОМ СОЕДИНЕНИЯХ	67
А.С. Мальцев, П.В. Максимов ОЦЕНКА МЕТОДАМИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КВАРЦЕВОГО АКСЕЛЕРОМЕТРА ПРИ РУЧНОЙ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СБОРКЕ	71
А.Г. Мухаметзянова, В.В. Бронская МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ БУТИЛКАУЧУКА В РЕАКТОРЕ С МЕШАЛКОЙ	75
А.С. Титовцев, П.В. Антонова ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОГРАНИЧЕННЫМ ВРЕМЕНЕМ ПРЕБЫВАНИЯ ЗАЯВКИ В ОЧЕРЕДИ И ВРЕМЕНЕМ ОБСЛУЖИВАНИЯ, РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПО ЗАКОНУ ЭРЛАНГА	79
А.С. Титовцев, П.В. Антонова ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАБИЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОГРАНИЧЕННЫМ СРЕДНИМ ВРЕМЕНЕМ ПРЕБЫВАНИЯ ЗАЯВКИ В СИСТЕМЕ И ВРЕМЕНЕМ ОБСЛУЖИВАНИЯ, РАСПРЕДЕЛЕННЫМ ПО ЗАКОНУ ЭРЛАНГА	83
Г.М. Тутаев, М.А. Бобров, С.А. Моисеев, Ю.А. Агафонов МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ФУНКЦИЕЙ РЕЗЕРВНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ	86
Н.Г. Фетисова, А.П. Буйносов СНИЖЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНОСА И КОЛИЧЕСТВА ОБТОЧЕК БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА	91
В.Н. Фрянов, Л.Д. Павлова ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД НА ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ	95
А.Б. Цветков КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМАССИВА	99
АННОТАЦИИ	103

05.13.18

А.Б. Цветков д-р техн. наук

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

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМАССИВА

В работе представлен подход, предназначенный для разработки нелинейных математических моделей геомеханического состояния массива горных пород при интегральном воздействии природных и техногенных сил.

Ключевые слова: Математическая модель, напряженно-деформированное состояние, массив горных пород.

Для описания геомеханического состояния горных пород предлагается концепция, согласно которой геосреда рассматривается как иерархическая нелинейная система, подверженная воздействию природных и техногенных сил. Согласно концепции рассматриваются два состояния геомассива по отношению к воздействию техногенных сил – природное и нарушенное. Для ненарушенного техногенными воздействиями геомассива характерно природное состояние, формирующееся в течении геологических масштабов времени. В нарушенном состоянии геомассив находится под влиянием техногенных воздействий, которые приводят к формированию вокруг областей нарушения целостности пород разгруженных зон и концентраторов напряжений, существенно изменяющих природное состояние горного массива, описание которого необходимо выполнять посредством математических соотношений, построенных на основе законов, соответствующих нелинейному характеру деформирования горных пород [1,2] (рисунок 1).



Рис. 1 – Схема построения математических моделей напряженно-деформированного состояния геомассива

Выемка угольного пласта приводит к смещениям части углепородной толщи [3,4]. По результатам натурных исследований установлено, что в зоне D_1 горные породы сохраняют сплошность, не нарушены техногенными трещинами, поэтому в этой зоне можно применять соотношения теории упругости. В зоне D_2 породы частично ослаблены трещинами, поэтому для них характерна нелинейная зависимость деформаций от напряжений (рисунок 2).

Контуром Γ_1 задаются зоны D_1 , D_2 в соответствии с теорией сдвижения горных пород.

Контуром Γ_2 определена область очистного выработанного пространства.

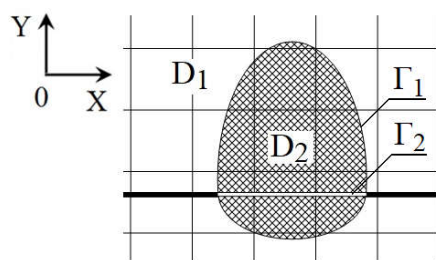


Рис. 2 – Зоны деформирования

Дифференциальные уравнения разработанной нелинейной математической модели имеют вид [5]

$$\mu^* \Delta \vec{u} + (\lambda^* + \mu^*) \text{grad div } \vec{u} = \vec{F}, \quad (1)$$

где $\vec{F}$ – вектор, учитывающий воздействие веса пород; $\vec{u} = (u, v)$ – вектор перемещений;

$$\lambda^* = E^* v^* / ((1 + v^*)(1 - 2v^*)), \quad \mu^* = E^* / (2(1 + v^*)), \quad E^* = \frac{3E_1}{2E_1\Psi + 1 - 2v}, \quad v^* = \left(\frac{1}{2} - \frac{1 - 2v}{E_1} \frac{1}{2\Psi} \right) / \left(1 + \frac{1 - 2v}{E_1} \frac{1}{2\Psi} \right) -$$

переменные параметры; E_1 – начальное значение переменного параметра; v – коэффициент

$$\frac{1}{2\mu}$$

Пуассона; Ψ – функция, описывающая условия деформирования пород, которая равна $\frac{1}{2\mu}$ в

зоне упругого деформирования, $\frac{3\varepsilon}{2\sigma(\varepsilon)}$ – в остальных зонах; $\sigma(\varepsilon)$ – функция, аппроксимирующая экспериментальные диаграммы деформирования, полученные по результатам испытаний видов угля и пород.

Начальное значение переменного параметра E_1 предлагается задавать по формуле

$$E_1 = k \cdot E, \quad (2)$$

где E – модуль упругости; k – безразмерный эмпирический коэффициент, ($0 < k \leq 1$). Для вычисления эмпирического коэффициента k разработана формула вида

$$k = \begin{cases} \frac{y - y_{\Gamma_2}}{y_{\Gamma_1} - y_{\Gamma_2}}, & \text{если } (x, y) \in D_2; \\ 1, & \text{если } (x, y) \in D_1, \end{cases} \quad (3)$$

где y – вертикальные координаты точек, принадлежащих зоне D_2 (рисунок 2); y_{Γ_1} , y_{Γ_2} – вертикальные координаты точек, принадлежащих контурам Γ_1 и Γ_2 .

Математическая модель (1) исследуется методом конечных элементов, который реализован в комплексе проблемно-ориентированных программ. Для определения узловых перемещений в программном комплексе применяется модифицированный алгоритм метода конечных элементов, адаптированный к системам символьной математики [6]. Алгоритм построен следующим образом. Функционал задается в виде аналитически построенной функции, представляющей собой сумму по всем конечным элементам. Разрешающая система уравнений получается минимизацией функционала посредством символьных преобразований, что позволяет автоматически перестраивать дискретную модель при модификации математической модели. После решения системы уравнений формируется массив узловых перемещений, с использованием которых вычисляются величины тензоров деформаций и напряжений, остаточной прочности пород и других параметров напряженно-деформированного состояния геомассива.

Пример исследования геомеханического состояния участка геомассива в зоне влияния очистной выработки приведен на рисунках 3 и 4. Расчетная область исследуемого участка геомассива представлена алевролитом крупнозернистым Ω_1 , алевролитом мелкозернистым

Ω_2 , прослаиванием алевролитов разной зернистости Ω_3 , пластом угля Ω_4 , алевролитом среднезернистым Ω_5 , аргиллитом Ω_6 и песчаником Ω_7 (рисунок 3).

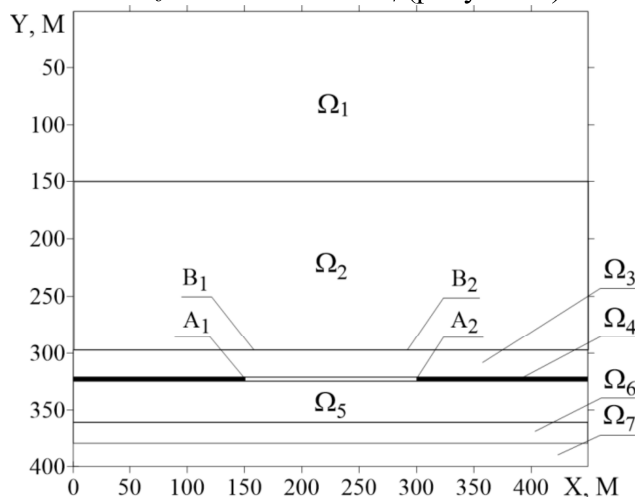


Рис. 3 – Схема исследуемого участка геомассива

Границы очистной выработки в угольном пласте обозначены точками A_1 и A_2 (рисунок 3). Над выработанным пространством в результате техногенных воздействий произошло расслоение пластов Ω_2 и Ω_3 , протяженность которого отмечена на рисунке 3 точками B_1 и B_2 .

Результаты численного моделирования распределения вертикальных напряжений приведены на рисунках 4а и 4б (на рисунках знак минус соответствует сжимающим напряжениям).

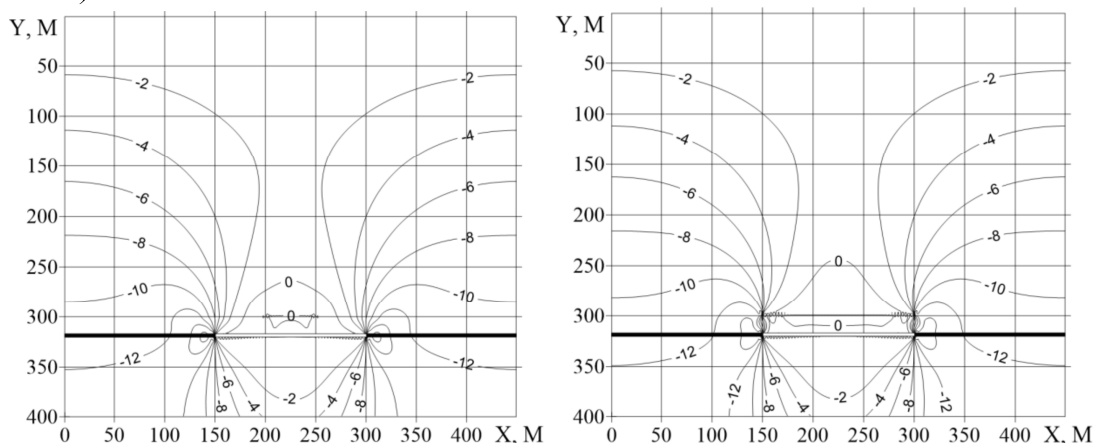


Рис. 4 – Изолинии распределения вертикальных напряжений при наличии расслоения над очистной выработкой, МПа: а – длина расслоения B_1B_2 составляет 50 м; б – длина расслоения B_1B_2 составляет 150 м

Из сопоставления результатов, представленных на рисунках 4а и 4б, можно сделать вывод, что изменение длины расслоения B_1B_2 над очистным выработанным пространством с 50 м до 150 м приводит к увеличению размера зоны растягивающих напряжений на 20 м в направлении к дневной поверхности.

В зоне растяжения, сформировавшейся над выработкой, происходит деформирование пород и рост объема пор и трещин, заполняющихся газом, который поступает в очистное выработанное пространство. Как следствие повышенная концентрация метана в выработках создает опасные ситуации при проведении горных работ, что необходимо учитывать при создании проектной документации.

Таким образом, предложенная нелинейная математическая модель позволяет исследовать напряженно-деформированное состояние геомассива и выявлять опасные условия при проведении горных работ.

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

Список литературы

1. *Цветков А.Б.* Сравнительная оценка математических моделей геомеханического состояния массива горных пород / А. Б. Цветков, Л. Д. Павлова, В. Н. Фрянов // Краевые задачи и математическое моделирование : темат. сб. науч. ст. – Новокузнецк, 2014. – С. 314–317.
2. *Ершов Л.В.* Математические основы физики горных пород / Л.В. Ершов, В.А. Максимов – М.: МГИ, 1968. – 293 с.
3. *Грицко, Г.И.* Прогнозирование и расчет проявлений горного давления / Г. И. Грицко, Б. В. Власенко, Г. Е. Посохов. – Новосибирск : Наука, 1980. – 159 с.
4. *Турчанинов И.А.* Основы механики горных пород / И. А. Турчанинов, М. А. Иофис, Э. В. Каспарьян. – Ленинград : Недра, 1989. – 488 с.
5. *Цветков А.Б.* Численное моделирование напряженно-деформированного состояния геомассива с учетом различной сопротивляемости пород растяжению или сжатию / А.Б. Цветков // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – Новокузнецк, 2020. – № 6. – С. 297-300.
6. *Цветков А.Б.* Адаптация алгоритма метода конечных элементов к системе символьной математики [Текст] / А. Б. Цветков, Л. Д. Павлова // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. Международная научно-практическая конференция : сб. науч. ст. – Новокузнецк, 2015. – С. 121–125.