

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Сибирский государственный индустриальный университет»**

**ВК «Кузбасская ярмарка»**



**СибГИУ**  
СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Основан в 1930 г.

ГОРДИМСЯ ПРОШЛЫМ - РАЗВИВАЕМСЯ В НАСТОЯЩЕМ - СОЗДАЕМ БУДУЩЕЕ

**Посвящается 90-летию юбилею СибГИУ**

# **НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ**

**№ 6 - 2020**

3 – Владимирский политехнический колледж.....	254
АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ С РЕГУЛИРУЕМЫМИ СОПРОТИВЛЕНИЯМИ В ЦЕПИ РОТОРА .....	259
д.т.н. Островляничик В.Ю., к.т.н. Кубарев В.А., Маршев Д.А. ....	259
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	259
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ С УПРАВЛЯЕМЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ТОКА В ЦЕПИ РОТОРА .....	264
д.т.н. Островляничик В. Ю., к.т.н. Кубарев В. А., Поползин И. Ю., Маршев Д. А., Жданов Е. В. ...	264
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	264
СИСТЕМА ЗАЩИТЫ ОТ ЗАВИСАНИЯ ПОДЪЕМНОГО СОСУДА В СТВОЛЕ.....	270
д.т.н. Островляничик В. Ю., к.т.н. Кубарев В. А., Маршев Д.А. ....	270
Сибирский государственный индустриальный университет», г. Новокузнецк, Россия.....	270
ПРИМЕНЕНИЕ ЧАСТОТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В ЦЕПИ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ С ДВОЙНЫМ ПИТАНИЕМ .....	274
д.т.н. Островляничик В. Ю., Поползин И. Ю., к.т.н. Кубарев В. А., Маршев Д. А. ....	274
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	274
УТОЧНЁННАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ КАНАТОВ И ВАЛОВ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК.....	278
Борщинский М.Ю.....	278
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	278
ОБНАРУЖЕНИЕ ПОМПАЖА ЦЕНТРОБЕЖНОГО ТУРБОКОМПРЕССОРА ПО ТОКУ ПРИВОДНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ .....	285
<sup>1</sup> к.т.н. Кипервассер М.В., <sup>2</sup> Герасимук А.В. ....	285
1 - Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия .....	285
2 - АО «Сибирский Тяжпромэлектропроект», г. Новокузнецк, Россия .....	285
ДИАГНОСТИКА ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ГОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ .....	290
к.т.н. Кипервассер М.В., к.т.н. Симаков В.П., к. ф-м.н., Лактионов С.А., к.т.н. Модзелевский Д.Е. .....	290
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	290
ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ СМЕННЫХ ЗВЕНЬЕВ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНОВОГО КОМПЛЕКСА .....	295
д.т.н. Кулаков С.М., Коинов Р.С. ....	295
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	295
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМАССИВА С УЧЕТОМ РАЗЛИЧНОЙ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ПОРОД РАСТЯЖЕНИЮ ИЛИ СЖАТИЮ .....	297
д.т.н. А.Б. Цветков.....	297
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	297
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ.....	300
к.т.н. Тимофеев А.С., М.О. Курдюков.....	300
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия.....	300
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОГО ВРЕМЕНИ ПЕРЕРЫВА В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ ШАХТНЫХ ВОДОТЛИВНЫХ УСТАНОВОК .....	302
<sup>1</sup> к.т.н. Ефременко В.М., <sup>1,2</sup> Скрёбнева Е.В. ....	302
1 - Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово, Россия .....	302
2 - ООО «КАТЭН», г. Москва, Россия .....	302
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОГО ВРЕМЕНИ ПЕРЕРЫВА В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ ШАХТНЫХ ВЕНТИЛЯТОРНЫХ УСТАНОВОК .....	306
<sup>1</sup> к.т.н. Ефременко В.М., <sup>1,2</sup> Скрёбнева Е.В. ....	306
1 - Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», г. Кемерово, Россия .....	306
2 - ООО «КАТЭН», г. Москва, Россия .....	306
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ.....	308

рабочего звена, с помощью специальной системы мониторинга, в течение каждой смены, подробного ретроспективного анализа и оптимизации планограммы не только по критерию производительности, но и по критериям безопасности.



Рис. 2. Планограмма работы звена, выбранная в качестве прецедента

Таблица 1

Расчетные параметры циклов рабочей смены

№	Момент начала смены $t_o$	Время приема-передачи смены, мин	Начало/окончание технологических циклов, мин				Скорость рабочего хода комбайна, м/мин.				Скорость перегона комбайна по циклам, м/мин.				Паузы между циклами, мин.			Программы
			$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$V_1^*$	$V_2^*$	$V_3^*$	$V_4^*$	$V_1^n$	$V_2^n$	$V_3^n$	$V_4^n$	$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	
1	0	38	$\frac{38}{125}$	$\frac{125}{210,5}$	$\frac{210,5}{297,5}$	$\frac{297,5}{384,5}$	5,4	5,0	5,0	5,0	5,4	5,0	5,0	5,0	7,5x4	7,5x4	6x3	$PR_j^{\hat{}}$
2	0	19,5	$\frac{19,5}{104,5}$	$\frac{104,5}{190,0}$	$\frac{190,0}{275}$	$\frac{275}{360}$	5,5	5,9	5,0	5,0	5,5	5,9	5,0	5,0	6,8x4	6,8x4	5,9x4	$PR_j^o$

**Вывод.** Практическая реализация системы автоматизированного построения сменных планограмм и соответствующей компьютерной системы мониторинга работы горнорабочего очистного забоя позволит повысить производительность рабочих звеньев и обеспечить четкое выполнение правил безопасной работы.

### Библиографический список

1. Васюченков Ю.Ф. Горное дело. - М.: Недра, 1990. - 512 с.
2. Карпов Л.Е. Адаптивное управление по прецедентам, основанное на классификации состояний управляемых объектов / Л.Е. Карпов, В.Н. Юдин //Труды института системного программирования РАН. - 2007. - т. 13. - Ч. 2. - С. 37-57.
3. Варшавский П.Р. Методы правдоподобных рассуждений на основе аналогий и прецедентов для интеллектуальных систем поддержки принятия решений / П.Р. Варшавский, А.П. Еремеев // Искусственный интеллект и принятие решений. - 2006. - №3. - С. 39-62.
4. Кулаков С.М. Прецедентный подход к формированию программ управления объектами циклического действия / С.М. Кулаков, В.Б. Трофимов, А.С. Добрынин, Е.Н. Тараборина // Труды 11-ой Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции «Системы автоматизации в образовании, науке и производстве» / СибГИУ – Новокузнецк, 2017. – С.11 – 19.
5. Богдановская И.Ю. Прецедентное право. – М.: Наука, 1993. – 239с.

УДК 622:519.635.4

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГЕОМАССИВА С УЧЕТОМ РАЗЛИЧНОЙ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ПОРОД РАСТЯЖЕНИЮ ИЛИ СЖАТИЮ

д.т.н. А.Б. Цветков

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

**Аннотация.** Представлены результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния геомассива при воздействии природных техногенных сил. Для проведения вычислительных экспериментов разработана математическая модель, в определяющих соотношениях которой учтены нелинейная зависимость между напряжениями и деформациями пород и их различная сопротивляемость растяжению или сжатию.

**Ключевые слова:** численное моделирование, математическая модель, геомеханическое состояние, подземные сооружения.

**Введение.** В результате проведения горных работ под влиянием техногенных факторов в окрестности горных выработок формируются зоны растяжения и сжатия, напряжения в которых в несколько раз могут отличаться от природных. Предел прочности пород при растяжении на порядок меньше предела прочности при сжатии, что достаточно для возникновения пластических деформаций под действием собственного веса пород [1].

Следует отметить, что результатами многочисленных экспериментов [1-3] подтверждено, что геоматериалы характеризуются различной сопротивляемостью сжимающим и растягивающим усилиям. С.А. Амбрацумяном разработан теоретический подход, который позволяет оценивать напряжённо-деформированное состояние разномодульного упругого тела. Как направление последующего развития своего подхода он отмечает, что в механике сплошных деформируемых тел, как правило, неупругие задачи решаются в упругом приближении, и решение нелинейных задач в разномодульной постановке может привести к значительным уточнениям полученных результатов [4].

В развитии подхода, предложенного С.А. Амбрацумяном, автором статьи разработано семейство математических моделей, в определяющих соотношениях которых учитывается нелинейная зависимость между напряжениями и деформациями пород и их различная сопротивляемость сжимающим и растягивающим усилиям [5, 6].

Для исследования построенных моделей в системе компьютерной алгебры Mathematica разработана программа для ЭВМ.

**Методы исследования.** Математическая модель напряженно-деформированного состояния геомассива формулируется в виде нелинейной 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 (1) и однородным граничным условиям.

Система дифференциальных уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} (\lambda^* + \mu^*) \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} \right) + \mu^* \left( \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} \right) = 0; \\ (\lambda^* + \mu^*) \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} \right) + \mu^* \left( \frac{\partial^2 u_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_y}{\partial y^2} \right) + g\gamma = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $\mu^* = \frac{E^*}{2(1+\nu^*)}$ ;  $\nu^* = \frac{\nu^* \cdot E^*}{(1+\nu^*)(1-2\nu^*)}$ ;  $E^* = \frac{3E}{2E\psi+1}$ ;  $\nu^* = \left( \frac{1}{2} - \frac{1-2\nu}{2} \frac{1}{2\psi} \right) / \left( \frac{1}{2} + \frac{1-2\nu}{2} \frac{1}{2\psi} \right)$  – переменные параметры;  $E$  – модуль упругости;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $\gamma$  – плотность,  $g$  – гравитационная постоянная;  $\psi$  – функция, которая определяет нелинейную зависимость между напряжениями и деформациями.

Граничные условия заданы следующим образом:

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

Краевая задача решалась при условии, что массовые силы направлены вдоль вертикальной оси и создавались собственным весом пород. Численное решение получено методом конечных элементов [7, 8].

В качестве примера на рис. 1 рассмотрена расчетная область для участка слоистого геомассива  $\Omega$ , состоящая из восьми подобластей, каждая из которых характеризует породы определенного типа:  $\Omega_1$  – алевролит крупнозернистый;  $\Omega_2$  – алевролит мелкозернистый;  $\Omega_3$  – пласт-спутник;  $\Omega_4$  – переслаивание алевролитов разной зернистости;  $\Omega_5$  – угольный пласт, включающий горную выработку, границы которой отмечены точками  $A_1$  и  $A_2$  на рис. 1;  $\Omega_6$  – алевролит среднезернистый;  $\Omega_7$  – аргиллит;  $\Omega_8$  – песчаник.

**Результаты и их обсуждение.** На рис. 2 и 3 представлены результаты численного моделирования, полученные посредством нелинейной модели, учитывающей условия деформирования пород в зонах влияния горной выработки.

Из анализа результатов, представленных на рис. 2, следует, что отношение секущего модуля деформации к модулю упругости в зоне разгрузки увеличивается при удалении от очистной выработки и достигает единицы в зоне опорного давления и вмещающей толще.

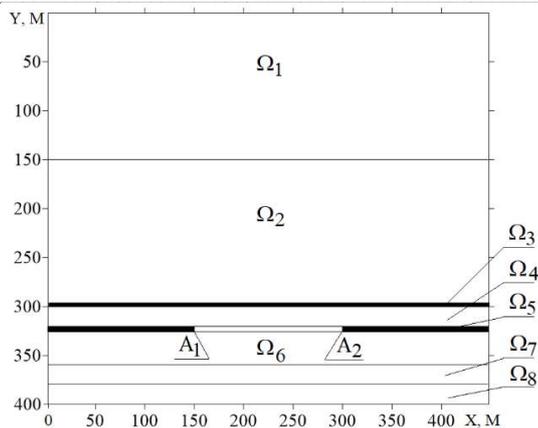


Рис. 1. Расчетная область участка слоистого геомассива, включающего горную выработку

Внутри зоны разгрузки, отмеченной штриховкой на рис. 2, наблюдается пластическое деформирование пород, где учитываются нелинейная зависимость между напряжениями и деформациями, а также их различная сопротивляемость растягивающим и сжимающим усилиям. За пределами зоны разгрузки численное решение удовлетворяет определяющим соотношениям теории упругости.

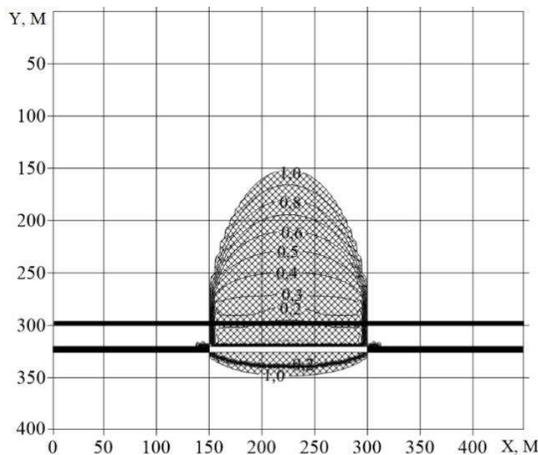


Рис. 2. Зона разгрузки горных пород в области влияния горной выработки

На рис. 3а и 3б сопоставлены результаты численного моделирования вертикальных напряжений, полученных при решении краевой задачи теории упругости и нелинейной задачи (1).

Исходя из количественного анализа распределения вертикальных сжимающих напряжений, действующих в подработанном пласте-спутнике, следует, что их максимальные величины при решении краевой задачи теории упругости составляют 11 МПа, что на 9,1% больше, чем при решении нелинейной задачи.

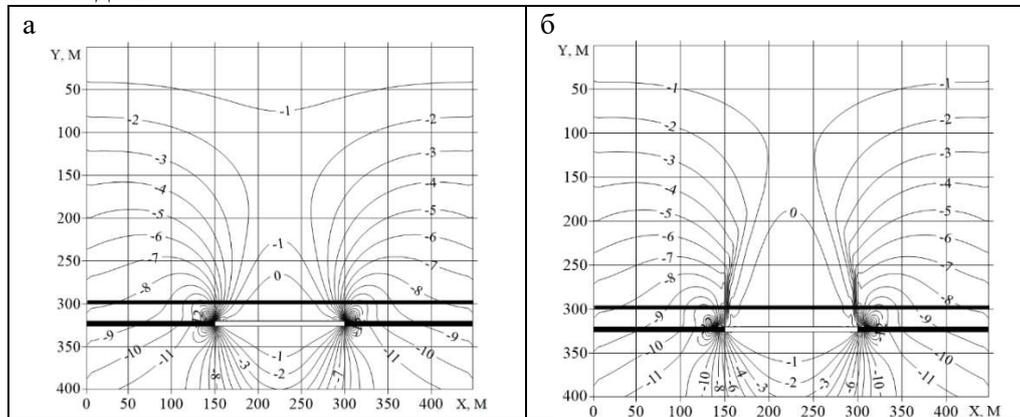


Рис. 3. Распределение вертикальных напряжений, МПа: а – решение краевой задачи теории упругости; б – нелинейное решение, полученное с учетом различной сопротивляемости пород растягивающим или сжимающим напряжениям

Из сопоставления распределения растягивающих вертикальных напряжений над выработанным пространством, представленных на рис. 3а и 3б, следует, что очистные работы приводят к формированию в окрестности проведения горных работ зоны растяжения, высота которой при нелинейном решении существенно больше, чем это можно определить на основе краевой задачи теории упругости. При решении нелинейной задачи высота области растяжения, формирующейся над очистным выработанным пространством, составила 132м, при упругом решении она в 2,5 раза меньше и не превышает 53м.

В результате техногенных воздействий в зоне разгрузки создаются условия для формирования зон повышенной трещиноватости, в которых происходит увеличение объема пор и трещин, что приводит к формированию в зоне сдвижения газового коллектора. Когда напряжения, вызванные давлением газа и силами гравитации в газовом коллекторе, превысят предел прочности пород в окрестности выработанного пространства, то возникнет опасная ситуация выдавливания метановоздушной смеси в горные выработки, что может приводить к авариям.

**Вывод.** Изучение разработанной нелинейной математической модели напряженно-деформированного состояния геомассива позволяет выявлять в окрестности очистного забоя опасные зоны, которые формируются в зоне сдвижения в результате техногенных воздействий. Учет в проектной документации таких зон позволит повысить безопасность ведения горных работ.

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

### Библиографический список

1. Физико-технические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна: справ. / Г. Г. Штумпф [и др.]. – Москва: Недра, 1994 - 447 с.
2. Геомеханика / П. В. Егоров [и др.] – Кемерово: КузГТУ, 2011. – 325 с.
3. Свойства горных пород и методы их определения / Е.И. Ильницкая [и др.]. – Москва: Недра, 1969. – 392 с
4. Амбарцумян С. А. Разномодульная теория упругости / С.А. Амбарцумян. – Москва: Наука, 1982. – 320 с.
5. Tsvetkov A. V. Approach to construction of mathematical models of geomassif stress-deformed state under the influence of natural and technogenic forces / A. V. Tsvetkov, L. D. Pavlova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 206. - P. 1-6 (012008). – Режим доступа: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/206/1/012008/pdf>
6. Цветков А.Б. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния геомассива с учетом расслоения подработанных пород кровли / А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова, Корнева А.В. // Научно-технический вестник Поволжья. – 2020. – № 1. – С. 142–145.
7. Зенкевич О. К. Метод конечных элементов в технике / О.К. Зенкевич; под ред. Б.Е. Победри. – Москва: Мир, 1975. – 541 с.
8. Цветков, А. Б. Адаптация алгоритма метода конечных элементов к системе символьной математики / А. Б. Цветков, Л. Д. Павлова // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. стат. междунар. науч.-практ. конф. – 2015. – С. 121–125.

УДК 621.3:622.3

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

к.т.н. Тимофеев А.С., М.О. Курдюков

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

**Аннотация.** Научно обоснованы предпосылки на системном уровне и комплекс технических мер для определения эффективности и устойчивости энергосистемы угольного предприятия.

**Ключевые слова:** техноценоз, энергосистема, энергообмен, база данных, ранговая поверхность, корреляция, доверительный интервал, индекс жизнеспособности.

Основным потребителем электроэнергии горных предприятия являются горные машины и механизмы с электроприводами различного назначения и различных мощностей, в которых преоб-