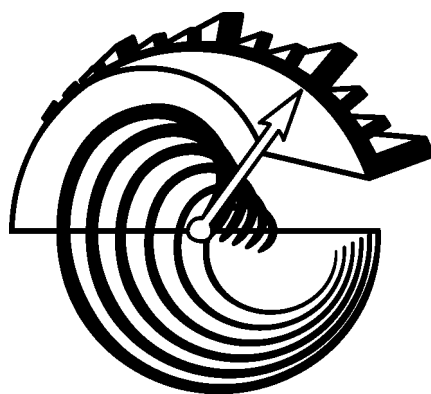


ISSN2304-1943

ЮЖНО-СИБИРСКИЙ НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

№ 4(28) • декабрь



**SOUTH-SIBERIAN
SCIENTIFIC BULLETIN**

ЮЖНО-СИБИРСКИЙ НАУЧНЫЙ ВЕСТНИК

ISSN2304-1943

№ 4 (2 8)

ДЕКАБРЬ
2019

научно-технический журнал

Издается с июля 2012 года

Выходит четыре раза в год

УЧРЕДИТЕЛИ:	ООО «Малое инновационное предприятие «Политех» (издатель) ООО «Центр ультразвуковых технологий АлтГТУ» Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова Учреждение Российской академии наук Институт проблем химико-энергетических технологий Сибирского отделения РАН
РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:	Гл. редактор: Бухтияров В.И., академик РАН Члены редакционной коллегии: Сысолятин С.В., д.х.н., профессор Кильдеева Н.Р., д.х.н., профессор Блазнов А.Н., д.т.н., доцент Абанин В.А., д.т.н., профессор Анисимов И.И., д.т.н., профессор Загидуллин С.Х., д.т.н., профессор Лямкин А.И., д.ф.-м.н., профессор Ленский М.А., к.х.н., доцент Аверьянова Е.В., к.х.н., доцент Певченко Б.В., к.т.н., доцент Куперштох А.Л., д.ф.-м.н., доцент Лапко В.А., д.т.н., профессор Кочетов Ю.А., д.ф.-м.н., профессор Удодов В.Н., д.ф.-м.н., профессор Потатуркин О.И., д.т.н., профессор Пальчиков Е.И., д.т.н., профессор Хмелев В.Н., д.т.н., профессор Леонов Г.В., д.т.н., профессор Шалунов А.В., д.т.н., доцент
РЕДАКЦИЯ:	Ответственный секретарь: Голых Р.Н. Редактор: Стародубцева С.В. Компьютерный дизайн: Вохмин А.А.
АДРЕС РЕДАКЦИИ:	659305, г. Бийск, ул. Трофимова, д. 27, каб. 301Б Тел./факс: +7 (3854) 432450 Internet: http://s-sibsb.ru E-mail: info@s-sibsb.ru

© МИП «Политех», 2018

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ СОПРЯЖЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК

Л.Д. Павлова, А.Б. Цветков, Е.С. Корнев

Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк

В статье описываются результаты решения актуальной научной задачи определения параметров напряженно-деформированного состояния геомассива в окрестности сопряжений подземных горных выработок.

Целью работы является исследование геомеханических процессов в массиве горных пород в зоне влияния сопряжений горных выработок при движении очистного комплексно-механизированного забоя.

Для исследования используются методы математического и численного моделирования, проведения вычислительных экспериментов.

Математическая модель геомеханических процессов в массиве горных пород описывается системой дифференциальных уравнений, которая решается методом конечных элементов в трехмерной постановке на основе вариационного принципа. Для дискретизации области исследования используются трехмерные конечные элементы в форме тетраэдров с узлами, расположенными в вершинах элементов.

Для проведения вычислительных экспериментов применяется авторский комплекс проблемно-ориентированных программ. В качестве объекта исследования выбран участок шахтного поля, для которого приняты горно-геологические условия, характерные для шахт Кузнецкого угольного бассейна.

По результатам вычислительных экспериментов определен характер распределения вертикальных смещений, напряжений и коэффициента концентрации вертикальных напряжений, выявлены пространственные положения концентраторов напряжений при движении комплексно-механизированного забоя и очаги повышенного горного давления в зоне влияния сопряжений подземных горных выработок.

Область применения результатов исследований заключается в разработке на их основе практических рекомендаций, необходимых для управления горным давлением, которые позволяют выбрать оптимальные режимы подвигания очистного комплексно-механизированного забоя и скорость выемки угля в лаве. Также результаты численного моделирования можно использовать при разработке оперативных мероприятий по профилактике опасных производственных ситуаций на угольных шахтах, что позволит повысить безопасность ведения горных работ в сложных горно-геологических условиях.

Ключевые слова: модель, метод, моделирование, эксперименты, напряжения.

ВВЕДЕНИЕ

Применяемая на угольных шахтах система сейсмического мониторинга (GITS) позволяет оценить сейсмическую обстановку в текущий и прошлые периоды. Однако на стадии разработки документации по ведению горных работ и для оценки геомеханической ситуации в будущие периоды в различных участках шахтного поля необходимо осуществлять прогнозирование пространственно-временного состояния массива горных пород посредством выявления концентраторов напряжений и очагов вероятных динамических событий. Прогноз геомеханической ситуации в зоне ведения горных работ при совместном влиянии очистных выработанных пространств ранее отработанного и отрабатываемого выемочных столбов можно выполнить по результатам численного моделирования напряженно-деформированного состояния геомассива в окрестности сопряжений подземных выработок.

В этой связи задачей исследования является определение параметров напряженно-деформированного состояния геомассива в окрестности сопряжений вентиляционного и

конвейерного штреков при подходе и пересечении разрезной печи очистным комплексно-механизированным забоем (КМЗ).

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Математическая модель геомеханических процессов в массиве горных пород строится в виде краевой задачи.

Параметры напряженно-деформированного состояния массива горных пород определяются для области в форме прямоугольного параллелепипеда размерами $0 \leq x \leq a$, $0 \leq y \leq b$, $0 \leq z \leq c$.

Краевая задача формулируется в перемещениях [1-3]: найти вектор перемещений $\vec{U} = (u, v, w)$, координаты которого u, v, w – удовлетворяют системе дифференциальных уравнений:

$$\mu(u''_{xx} + u''_{yy} + u''_{zz}) + (\lambda + \mu)(u''_{xx} + v''_{xy} + w''_{xz}) = 0;$$

$$\mu(v''_{xx} + v''_{yy} + v''_{zz}) + (\lambda + \mu)(u''_{xy} + v''_{yy} + w''_{yz}) = 0;$$

$$\mu(w''_{xx} + w''_{yy} + w''_{zz}) + (\lambda + \mu)(u''_{xz} + v''_{yz} + w''_{zz}) + \gamma g = 0,$$

и граничным условиям: $u(0, y, z) = 0$, $u(x, 0, z) = 0$, $u(x, y, 0) = 0$, $u(a, y, z) = 0$, $u(x, b, z) = 0$, $u(x, y, c) = 0$

$$\begin{aligned} 0, \quad v(0, y, z) = 0, \quad v(x, 0, z) = 0, \quad v(x, y, 0) = 0, \\ v(a, y, z) = 0, \quad v(x, b, z) = 0, \quad v(x, y, c) = 0, \\ w'_x(0, y, z) = 0, \quad w'_x(a, y, z) = 0, \quad w'_y(x, 0, z) = 0, \\ w'_y(x, b, z) = 0, w(x, y, c) = 0, \sigma_{zz}(x, y, 0) = 0. \end{aligned}$$

В системе дифференциальных уравнений приняты следующие обозначения: u, v, w – компоненты вектора перемещений; g – гравитационная постоянная;

λ, μ – параметры Ламе $\lambda = \frac{\nu \cdot E}{(1+\nu)(1-2\nu)}$; $\mu = \frac{E}{2 \cdot (1+\nu)}$; E – модуль упругости; ν – коэффициент Пуассона; γ – плотность σ_{zz} – вертикальные напряжения.

Для численного решения системы дифференциальных уравнений используется метод конечных элементов [4, 5], в котором посредством минимизации функционала, представляющего потенциальную энергию системы, формируется система линейных алгебраических уравнений. Дискретизация расчетной области выполняется посредством трехмерных симплекс-элементов в виде тетраэдров. Решение находится на пространстве линейных кусочно-полиномиальных функций.

Для численной реализации метода конечных элементов авторами разработан комплекс проблемно-ориентированных программ [6], который используется для решения различных задач геомеханики в трехмерной постановке [7, 8].

При проведении вычислительных экспериментов в качестве объекта исследования принят участок шахтного поля, обладающий следующими горно-геологическими и горнотехническими условиями, характерными для шахт Кузбасса: глубина работ от поверхности 560-730 м, угол падения пласта – 0°, выемочный столб 01 – отработан, выемочный столб 02 находится в стадии отработки. Полная мощность пласта изменяется в пределах 3,01-3,50 метра, при среднем значении 3,08 метра. Пласт состоит из двух угольных пачек, разделенных прослойкой слабого, трещиноватого алевролита, мощность которого варьируется в пределах 0,05-0,40 м, при среднем значении 0,22 м. Ложная кровля пласта мощностью 0,02-0,35 м сложена слабым аргиллитом, склонным к обрушению вслед за выемкой угля. Основная кровля мощностью 16 м сложена алевролитом от мелко- до крупнозернистого.

Участок шахтного поля размером 800×820×610 м дискретизировался на 22680 тетраэдров. Система линейных алгебраических уравнений решалась методом Гаусса.

На рис. 1 приведено горизонтальное сечение области исследования, на котором отражена система горных выработок в угольном пласте и положения очистного забоя.

Вычислительные эксперименты проводились для трех положений очистного забоя (рис. 1) при подходе его к разрезной печи:

начальное положение очистного забоя на расстоянии 35 м от лавы до сопряжения разрезной печи и конвейерного штрека ($x=450$ м);

положение очистного забоя на расстоянии 15 м от лавы до сопряжения разрезной печи и конвейерного штрека ($x=430$ м);

положение забоя, при котором совпадает сопряжение лавы и разрезной печи на конвейерном штреке, то есть расстояние от лавы до разрезной печи равно нулю ($x=415$ м).

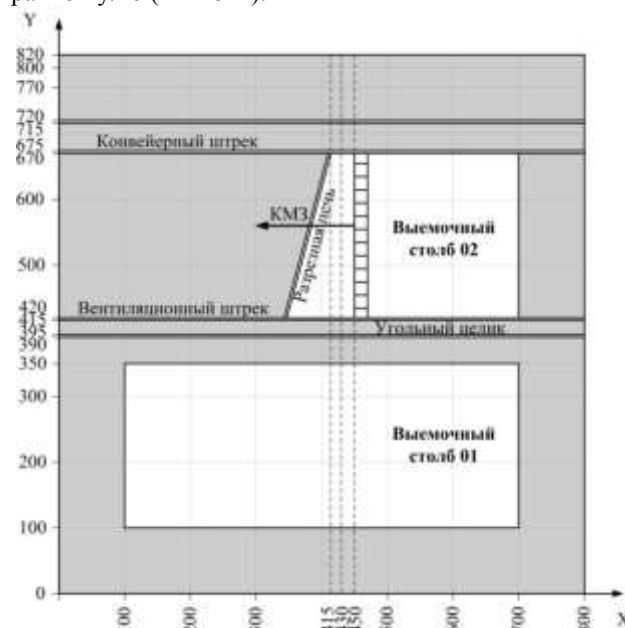


Рис. 1. Расчетная схема модели массива горных пород для проведения вычислительных экспериментов

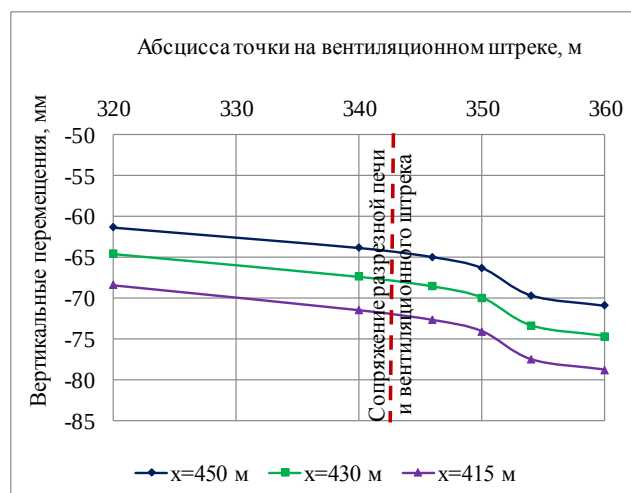
По результатам численного моделирования определялись следующие параметры напряженно-деформированного состояния геомассива:

- дополнительные вертикальные перемещения пород кровли угольного пласта, мм;
- вертикальные напряжения в угольном пласте, МПа;
- коэффициент концентрации вертикальных напряжений в угольном пласте.

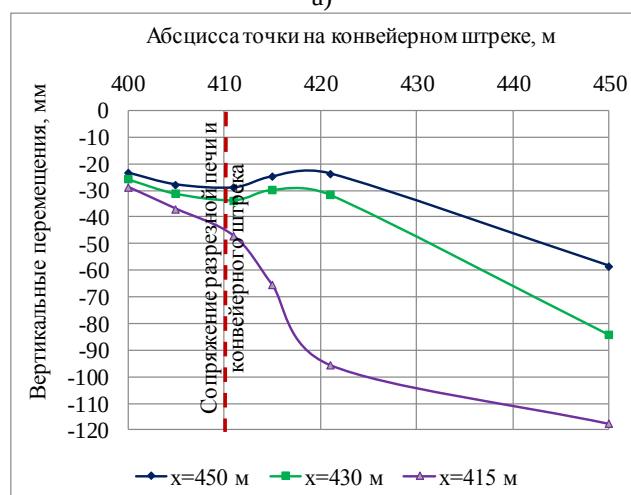
На рис. 2 приведены графики распределения дополнительных вертикальных смещений кровли пласта под влиянием веса пород кровли, зависящих над выработанным пространством выемочных столбов. Согласно графикам смещения пород кровли в окрестности разрезной печи увеличиваются при приближении очистного забоя.

Смещения пород кровли над угольным целиком в окрестности вентиляционного штрека (рис. 2 а) увеличиваются почти по линейной зависимости, то есть возрастает податливость целика и происходит снижение его несущей способности вплоть до разрушения. В окрестности конвейерного штрека (рис. 2 б) при подходе к сопряжению с разрезной печью происходит зависание пород кровли в виде плиты, что приводит к ее частичному подъему в зоне

влияния сопряжения (рис. 2 б, графики $x=450$ м, $x=430$ м). При переходе забоем разрезной печи на конвейерном штреке (рис. 2 б, график $x=415$ м) происходит резкое увеличение смещений в 3,3 раза, что объясняется увеличением площади обнажения пород кровли и перераспределения веса пород кровли на угольный пласт.



а)



б)

Рис. 2. Графики распределения дополнительных вертикальных смещений (мм) кровли пласта на сопряжении разрезной печи с вентиляционным (а) и конвейерным (б) штреками при трёх положениях забоя: $x=450$ м; $x=430$ м; $x=415$ м

Риск разрушения угольного целика между выработанным пространством выемочных столбов 01 и 02 подтверждается также изолиниями распределения вертикальных напряжений, представленными на рис. 3. Ширина зоны опорного горного давления составляет 100-130 м. Наиболее интенсивно впереди очистного забоя нагружены участки пласта в середине лавы и на сопряжении штреков и лавы. Такое явление зависания пород кровли на боковых опорах в виде «конверта» в длинных лавых доказано А.А. Борисовым [9] и подтверждает волнообразный характер обрушения пород кровли по длине лавы.

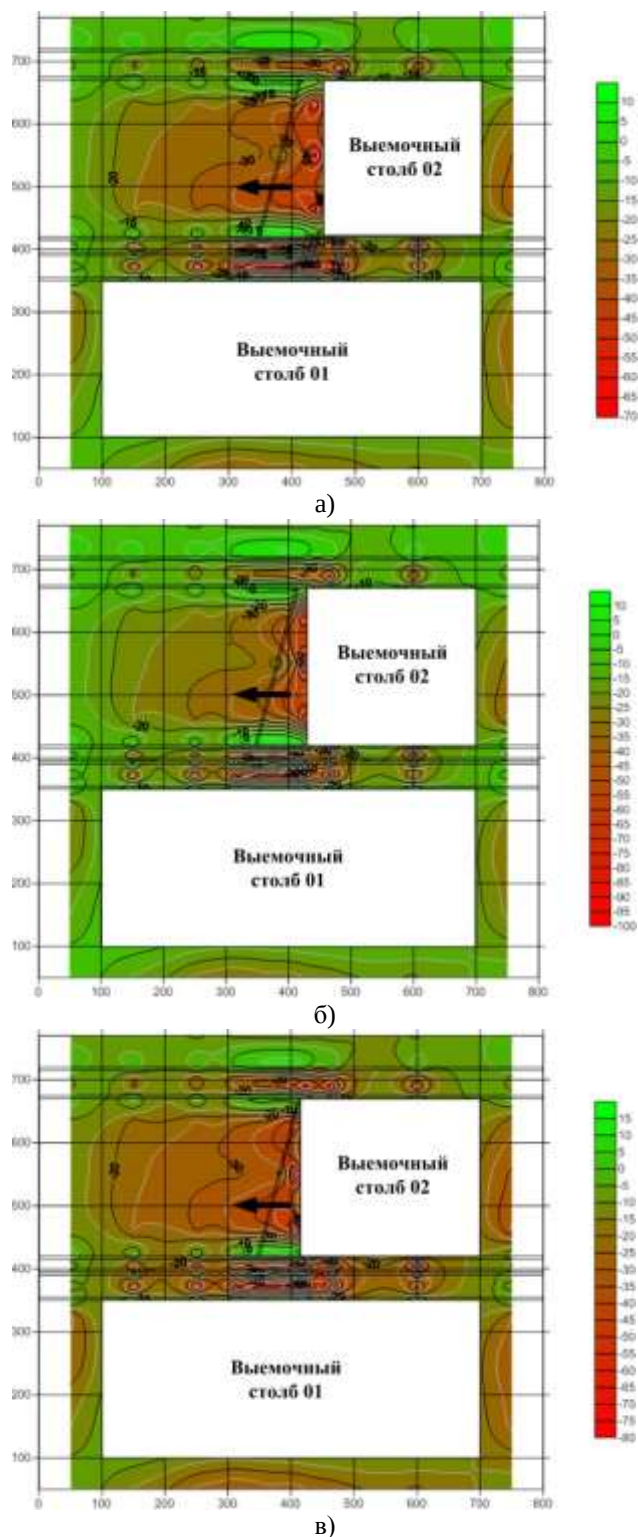


Рис. 3. Изолинии распределения полных вертикальных напряжений (МПа) в пласте при трёх положениях забоя а) $x=450$ м; б) $x=430$ м; в) $x=415$ м

Неравномерность распределения веса пород кровли на угольный пласт подтверждается 3D изображением изменения интенсивности коэффициента концентрации вертикальных напряжений (рис. 4), построенным по результатам

численного моделирования. Наличие пиков, положение которых соответствует концентраторам вертикальных напряжений, подтверждает сложный характер распределения горного давления при взаимном влиянии системы очистных и подготовительных выработок.

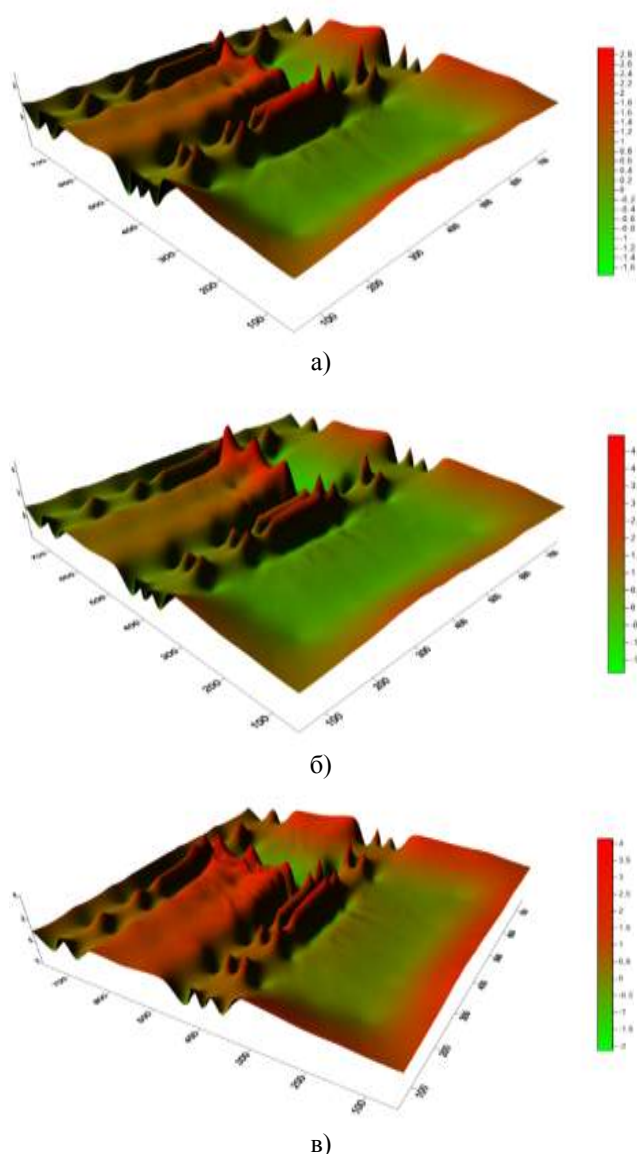


Рис. 4. Пространственное изображение интенсивности изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений в угольном пласте при трёх положениях забоя: а) $x=450$ м; б) $x=430$ м; в) $x=415$ м

Результаты численного моделирования геомеханических процессов в зоне влияния системы горных выработок удовлетворительно подтверждаются пространственным расположением динамических событий, выявленных системой сейсмического мониторинга GITS [10]. Области на рис. 4, подобны зонам распределения, получаемым при сейсмическом мониторинге системой GITS, однако преимущество предлагаемого подхода состоит

в возможности прогнозирования динамических событий в будущие периоды.

На рис. 5 по результатам численного решения построены графики изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений в угольном пласте на сопряжении разрезной печи с вентиляционным штреком в сечении $y = 450$ м (рис. 1) и с конвейерным штреком в сечении $y = 685$ м (рис. 1). Согласно графикам, коэффициент концентрации увеличивается более интенсивно в зоне влияния сопряжения разрезной печи с конвейерным штреком (в 2,1 раза). В окрестности вентиляционного штрека, вследствие податливости угольного целика между выработанными пространствами, происходит релаксация напряжений и постепенное его разрушение.

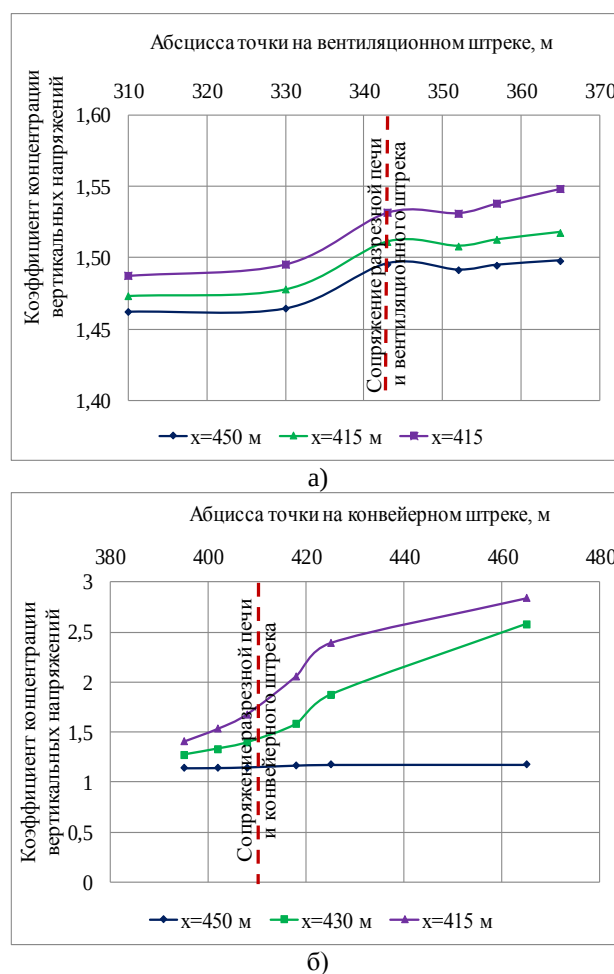


Рис. 5. Графики изменения коэффициента концентрации вертикальных напряжений в угольном пласте на сопряжении разрезной печи с вентиляционным (а) и конвейерным (б) штреками при трёх положениях забоя: $x=450$ м; $x=430$ м; $x=415$ м

Таким образом, по результатам численного моделирования установлено, что по мере приближения очистного забоя к разрезной печи модульные значения исследуемых параметров напряженно-деформированного состояния в её окрестностях увеличиваются более интенсивно, по

сравнению с участками, расположенными вне сопряжений выработок. Количественные оценки геомеханического состояния массива горных пород в зоне влияния сопряжений подземных выработок позволяют разрабатывать практические рекомендации, обеспечивающие безопасность ведения горных работ в будущие периоды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение разработанного метода численного прогноза параметров напряженно-деформированного состояния при взаимном влиянии системы подземных горных выработок дает возможность количественно определять пространственное положение концентраторов напряжений, что позволяет разрабатывать оперативные мероприятия по профилактике опасных производственных ситуаций.

Выявленные зависимости изменения вертикальных напряжений и перемещений в окрестности передовой выработки (разрезной печи), как основных параметров, необходимых для управления горным давлением, позволяют выбрать оптимальные режимы подвигания очистного забоя и скорость выемки угля в лаве.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тимошенко, С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М.: Наука, 1979. – 560 с.
2. Безухов, Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н.И. Безухов. – Москва: Высшая школа, 1968. – 512 с.
3. Писаренко, Г.С. Уравнения и краевые задачи теории пластичности и ползучести / Г.С. Писаренко, Н.С. Можаровский. – Киев: Наукова думка, 1981. – 496 с.
4. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в теории сооружений и механике сплошных сред / О. Зенкевич, И. Чанг. – М.: Недра, 1974. – 173 с.
5. Строкова, Л.А. Применение метода конечных элементов в механике грунтов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 143 с.
6. Свидетельство о регистрации электронного ресурса № 17997. Комплекс проблемно-ориентированных программ для моделирования геомеханических процессов в горном массиве при подземной разработке угольных пластов / Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов, ФГБОУ ВПО Сиб. гос. индустр. ун-т. – Гос. акад. наук, ИНИПИ РАО, ОФЭРНиО; Дата регистр. 01.03.2012.
7. Цветков, А.Б. Нелинейная математическая модель геомеханического состояния углепородного массива / А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 1. – С. 365–370.
8. Корнев, Е.С. Численное моделирование геомеханического состояния геомассива при двусторонней выемке коротких угольных столбов / Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 2 (108). – С. 20–26.
9. Борисов, А.А. Механика горных пород и массивов / А.А. Борисов. – М.: Недра, 1980. – 306 с.
10. Отчёт по результатам сейсмического мониторинга (GITS) о состоянии горного массива / Кузбасский сектор сейсмического мониторинга АО Межотраслевого научного центра ВНИМИ. – СПб.: 21-27.01.2019 г.

Павлова Лариса Дмитриевна – доктор технических наук, доцент, директор института информационных технологий и автоматизированных систем ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», тел. +7-961-705-30-74, e-mail: ld_pavlova@mail.ru.

Цветков Андрей Борисович – доктор технических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», тел. +7-903-994-51-87, e-mail: atsvet@mail.ru.

Корнев Евгений Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», тел. +7-923-622-43-99, e-mail: ekornev@yandex.ru.

NUMERICAL MODELING OF GEOMECHANICAL CONDITION OF THE ROCK MASS IN THE IMPACT ZONE OF UNDERGROUND MINING PRODUCTION

L.D. Pavlova, A.B. Tsvetkov, E.S. Kornev

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk

Article describes the results of research within the scientific problem of determining parameters of the stress-strain state of geomassive in vicinity of underground mining conjugations. Purpose of the work is to study geomechanical processes in rock massif in the zone of influence of longwall mining.

Methods of mathematical and numerical modeling, computational experiments are used in the research.

Mathematical model of geomechanical processes in an array of rocks is described by a system of differential equations, which is solved by the finite element method in three-dimensional formulation based on variational principle. Three-dimensional finite elements in form of tetrahedrons with nodes located at vertices of the elements are used to discretize the study area.

To perform computational experiments, the authentic set of problem-oriented programs is used. The site of the mine field was selected as the object of study, for which mining and geological conditions of the Kuznetsk coal basin mines are stated.

According to the results of computational experiments, nature of distribution of vertical displacements, stresses and concentration factor of vertical stresses was determined, spatial positions of stress concentrators during longwall mining and the center of high rock pressure in zone of influence of interfaces of underground mining are revealed.

The scope of research results provides development of practical recommendations necessary for rock pressure control, which allow us to choose the optimal modes of movement of longwall face and speed of coal extraction in the longwall. Also, the results of numerical simulation can be used in development of operational measures for prevention of hazardous production situations at coal mine, which will raise safety of mining operations in difficult mining and geological conditions.

Index terms: model, method, modeling, experiments, voltages.

REFERENCES

1. Tymoshenko, S.P. Elasticity theory / S.P. Tymoshenko, J. Goodier. - M.: Science, 1979. - 560 p.
2. Bezukhov, N.I. Fundamentals of the theory of elasticity, plasticity and plastic flow / N.I. Bezukhov. - Moscow: Higher School, 1968. - 512 p.
3. Pisarenko, G.S. Equations and boundary value problems of the theory of plasticity and plastic flow. G.S. Pisarenko, N.S. Mozharovsky. - Kiev: Naukova dumka, 1981. - 496 p.
4. Zenkevich, O. Finite element method in the theory of structures and mechanics of continuous media / O. Zenkevich, I. Chang. - M.: Nedra, 1974. - 173 p.
5. Stokov, L.A. Application of finite element method in soil mechanics. - Tomsk: Publisher of Tomsk Polytechnic University, 2010. - 143 p.
6. Certificate of registration of electronic resource № 17997. A complex of problem-oriented programs for modeling of geomechanical processes in a mountain massif at underground development of coal seams / E.C. Kornev, L.D. Pavlova, V.N. Fryanov, FGBOU VPO Sib. state. industrial Univ. - State. Acad. Sciences, INIPI RAO, OFERNi; Date of registration 01.03.2012.
7. Tsvetkov, A.B. Nonlinear mathematical model of the geomechanical state of carbonaceous massif. Tsvetkov, L.D. Pavlova, V.N. Fryanov // Mining information and analytical bulletin. - 2015. - № 1. - Pp. 365–370.
8. Kornev, E.S. Numerical modeling of geomechanical state of geomassive under two-sided excavation of short coal pillars / E.S. Kornev, L.D. Pavlova, V.N. Fryanov // Bulletin of Kuzbass State Technical University. - 2015. - No. 2 (108). - P. 20-26.
9. Borisov, A.A. Mechanics of rocks and massifs / A.A. Borisov. - M.: Nedra, 1980. - 306 p.
10. Report on the results of the seismic monitoring (GITS) on the state of the mountain massif / Kuzbass sector of seismic monitoring JSC Inter-branch scientific center VNIMI. - St.-Sat.: 21-27.01.2019

Pavlova Larisa Dmitrievna - Dr Sci Eng, Associate Professor, Director of the Institute of Information Technologies and Automated Systems of the Siberian State Industrial University, tel. +7-961-705-30-74, e-mail: ld_pavlova@mail.ru.

Tsvetkov Andrey Borisovich - Dr Sci Eng, Associate Professor of the Chair of Applied Mathematics and Informatics, Siberian State Industrial University, tel. +7-903-994-51-87, e-mail: atsvet@mail.ru.

Kornev Evgeniy Sergeevich - Cand Sci Eng, Associate Professor of the Chair of Applied Mathematics and Informatics, Siberian State Industrial University, tel. +7-923-622-43-99, e-mail: ekornev@yandex.ru.

СОДЕРЖАНИЕ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ЖИДКОСТИ В СФЕРИЧЕСКОЙ ПРОСЛОЙКЕ	
<i>С.В. Соловьев, А.В. Кучма</i>	3
ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НА МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА ОДНООСНЫХ ФЕРРОМАГНИТНЫХ НАНООБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ	
<i>Н.А. Манаков, А. М. Ерёмин, Г.С. Шилинг, П.В. Захаров</i>	10
ВЛИЯНИЕ НАНОАЛМАЗОВ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ИОНАМИ МЕДИ ПОВЕРХНОСТЬЮ НА СВОЙСТВА МЕДНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ	
<i>И.Р. Волкова, А.И. Лямкин</i>	19
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВУЮЩЕГО РЕАКТОРА СИНТЕЗА АММИАКА	
<i>Л.М. Титова, И.Ю. Алексанян, О.В. Лоцманова</i>	24
РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ СЕТЯМИ ПЕТРИ И РАСЧЁТА показателей ИХ надёжности и производительности	
<i>А.В. Васяшин, А.Р. Теплякова</i>	30
ГРУППОВОЙ ОТБОР ИНФОРМАТИВНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ В РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЯХ	
<i>М.П. Базилевский, А.С. Вергасов, С.И. Носков</i>	36
ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ЗАРЯДА МЕЛКОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ С РАЗЛИЧНЫМИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ СВОЙСТВАМИ	
<i>М.Ю. Степкина, А.А. Жирнов, О.Б. Кудряшова</i>	40
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВАЛОВЫХ ВЫПУСКОВ В МОДЕЛИ САМУЭЛЬСОНА-ХИКСА	
<i>О.С. Карнадуд, П.Н. Победаш, А.В. Кузнецова</i>	45
ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА ВЫХОД БИОГАЗА ПРИ РАЗНЫХ РЕЖИМАХ МЕТАНОВОГО СБРАЖИВАНИЯ НАВОЗА КРС	
<i>А.Т. Жумагажинов, В.Я. Федянин</i>	51
К ОЦЕНКЕ ВЕЛИЧИНЫ ТЕПЛОВОГО ЭФФЕКТА РЕАКЦИИ НИТРОВАНИЯ 2-ЭТИЛГЕКСАНОЛА	
<i>Д.Б. Иванова, М.С. Василишин, А.А. Кухленко, О.С. Иванов, А.Г. Карпов, С.Е. Орлов</i>	55
СРАВНЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ И ВЫСОКОМОДУЛЬНЫХ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН	
<i>А.И. Гомзин, Р.Ф. Галлямова, С.Н. Гальшиев, Н.Г. Зарипов, Ф.Ф. Мусин</i>	58
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ СОЛЬВАТОТЕРМОЛИЗА МЕДНОЙ СОЛИ ДИНИТРОМОЧЕВИНЫ	
<i>М.В. Тильзо, С.Г. Ильясов, И.В. Казанцев</i>	64
СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ НАПРЯЖЁННЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НИТРАМИНОВ	
<i>С.В. Сысолятин, А.Э. Паромов</i>	69
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ <i>N,N'</i> -динитромочевина с ЭТИЛЕНДИАМИНОМ	
<i>Д.С. Ильясов, В.С. Глухачева, С.Г. Ильясов</i>	75

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫДЕЛЕНИЯ ПОЛИСАХАРИДОВ ИЗ БИОМАССЫ МИЦЕЛИЯ ВЫСШИХ ГРИБОВ В УСЛОВИЯХ СУБКРИТИЧЕСКОЙ ЭКСТРАКЦИИ	
<i>Д.В. Минаков, Ю.В. Мороженко</i>	81
ТЕХНОЛОГИЯ СКВОЗНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОГЛОЩЕННОЙ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ	
<i>П.А. Дорогой, А.Г. Якунин</i>	87
НУКЛЕОФИЛЬНОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ НИТРОГРУППЫ 1-МЕТИЛ-5-НИТРО-1,2,4-ТРИАЗОЛА МЕНТОЛОМ В СИСТЕМЕ tBuOH/NaOH	94
<i>Г.Т. Суханов, А.Г. Суханова, И.А. Крупнова, К.К. Босов, Ю.В. Филиппова, Е.В. Пивоварова</i>	94
МЕТОДЫ МОДИФИКАЦИИ КРИСТАЛЛОВ ПРОДУКТА CL-20	
<i>С.Н. Апоныкина, И.И. Золотухина, А.В. Киреева</i>	100
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ПОЛУЧЕНИЯ ФЛОРОГЛЮЦИНА ГИДРОЛИЗОМ ДИСУЛЬФАТА 1,3,5-ТРИАМИНОБЕНЗОЛА	
<i>И.А. Щурова, Н.А. Алексеева, А.А. Арбагозова</i>	104
УЗ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КОМБИНИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ ВНЕЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ	
<i>В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, В.А. Нестеров, Д.В. Генне, QiQuan Quan²</i>	108
СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ СТУДЕНТОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОГО УНИВЕРСИТЕТА	
<i>И.В. Винокуров</i>	113
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ЖИДКОСТИ В СФЕРИЧЕСКИХ СЛОЯХ В СИЛЬНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ	
<i>Т.Н. Ряйсянен, Т.Г. Уленгова</i>	118
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ СОПРЯЖЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК	
<i>Л.Д. Павлова, А.Б. Цветков, Е.С. Корнев</i>	125
КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ГИДРИРОВАНИЕ В РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЙ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ	
<i>И.А. Щурова, А.А. Арбагозова, В.В. Малыхин</i>	131
СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИКАТОРОВ ДЛЯ ПОЛИДИМЕТИЛСИЛОКСАНОВ	
<i>Е.И. Костылева, А.Н. Новиков, П.А. Рахманова</i>	140
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОРЕЗАНИЯ ПАЗОВ ВРАЩАЮЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ-ИНСТРУМЕНТОМ	
<i>В.П. Житников, Н.М. Шерыхалина, А.А. Соколова</i>	146
N-БЕНЗИЛИРОВАНИЕ 1,5-ДИАМИНОГЛИКОЛЬУРИЛА	
<i>А.А. Синицына, С.Г. Ильясов</i>	152
РЕАЛИЗАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ФРОНТА ГОРЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ОГНЕВЫХ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ	
<i>Д.А. Кондрашов, В.Г. Ефимов, А.Н. Галахов, А.В. Финажсин, А.Н. Охотникова</i>	157
СОЛИ ОСЕЛЬТАМИВИРА И ИХ СТАБИЛЬНОСТЬ	