

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

*Посвящается памяти
В. П. Цымбала*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И НАУКОЕМКИЕ
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-
ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Труды V Международной научно-практической конференции

14 апреля 2021 г.

**Новокузнецк
2021**

УДК 004.942
М 744

Редакционная коллегия:
А. Б. Юрьев, Н. А. Козырев, И. А. Рыбенко,
Т. В. Киселева, В. И. Кожемяченко

Рецензенты:
д.т.н., доцент, профессор кафедры алгебры и математической логики
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет»
А. В. Чехонадских;

д.т.н., профессор, профессор кафедры исследования операций
ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
Томский государственный университет»
В. И. Смагин

М 744 Моделирование и наукоемкие информационные технологии в технических и социально-экономических системах : труды V Международной научно-практической конференции, 14 апреля 2021 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. И. А. Рыбенко, Т. В. Киселевой. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2021. – 457 с.

Представлены результаты научных исследований и практических работ по созданию математических моделей, теоретических основ наукоемких и ресурсосберегающих технологий, разработке прикладного программного обеспечения, инструментальных программных средств и комплексов, внедрению автоматизированных информационных и управляющих систем.

Ориентирован на инженерно-технических работников предприятий, научных работников, преподавателей вузов, аспирантов, магистрантов и обучающихся по направлениям подготовки бакалавриата.

УДК 004.942

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2021

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАЗНОМОДУЛЬНОМ ГЕОМАССИВЕ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ШИРИНЫ УСТОЙЧИВЫХ УГОЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ УГЛЕДОБЫЧЕ

Фрянов В.Н., Павлова Л.Д., Цветков А.Б.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия, ld_pavlova@mail.ru

Аннотация. Предложена математическая модель геомеханических процессов в массиве горных пород при подземной угледобыче для определения ширины устойчивых ленточных целиков между соседними отработанными выемочными участками. По результатам численного моделирования выявлены закономерности распределения напряжений, деформаций и опасных зон при различных вариантах пространственного расположения подготовительных и очистных выработок, обоснован выбор оптимального варианта.

Ключевые слова: модель, угольный пласт, целик, напряжения, деформации, подземные выработки, численное моделирование, зоны разрушения.

Abstract. A mathematical model of geomechanical processes in a rock mass in underground coal mining is proposed to determine the width of stable belt pillars between adjacent mined mining areas. Based on the results of numerical modeling, the regularities of the distribution of stresses, deformations and hazardous zones are revealed for various options for the spatial arrangement of development and production workings, and the choice of the optimal option is justified.

Keywords: model, coal seam, pillar, stresses, deformations, underground workings, numerical modeling, destruction zones.

Введение. На современных высокопроизводительных угольных шахтах расширяется область применения технологии интенсивной подготовки и отработки длинных выемочных столбов с применением высокопроизводительных механизированных комплексов. При этом между выемочными столбами обязательно оставляют угольные целики, обеспечивающие поддержание подготовительных выработок, изоляцию очистного выработанного пространства, профилактику геодинамических явлений и эндогенных пожаров. Подобная ситуация возникает и при поддержании транспортных и вентиляционных штреков, наклонных стволов, уклонов и бремсбергов. Ширина угольных целиков должна соответствовать горно-геологическим и горнотехническим условиям отрабатываемого угольного пласта при минимальных потерях полезного ископаемого [1, 2]. Однако в настоящее время отсутствует адаптированная к сложным горно-геологическим условиям и большим глубинам современных шахт методика расчёта ширины устойчивых ленточных целиков, расположенных между соседними отработанными выемочными столбами.

Для обоснования ширины устойчивых угольных целиков необходимо выявить закономерности проявления горного давления в окрестности подготовительной выработки, охраняемой угольными целиками между соседними отработанными выемочными участками с учётом влияния формы, размеров и пространственного положения выработок, особенностей геологического строения пластов и вмещающих пород.

Задачей исследования является численное моделирование геомеханических процессов в массиве горных пород для определения размеров угольных целиков между соседними отработанными выемочными участками, обеспечивающих эксплуатационную устойчивость подготовительных выработок, охраняемых этими целиками.

Объект и методы исследования. В качестве объекта исследований рассмотрены процессы деформирования массива горных пород в окрестности целиков и охраняемых ими горных выработок на угольных шахтах Кузбасса, как основного угледобывающего региона страны.

Предметом исследования являются закономерности распределения напряжений, деформаций и опасных зон при различных альтернативных вариантах пространственного расположения подготовительных и очистных выработок.

Математическая модель геомеханических процессов в массиве горных пород описывается совокупностью основных уравнений теории упругих и упруго-пластических деформаций, включающей дифференциальные уравнения равновесия, сплошности, зависимости компонентов напряжений от деформаций [3] с численной реализацией системы разрешающих уравнений методом конечных элементов.

Условия деформирования пород в определяющих соотношениях нелинейной цифровой модели учитываются посредством аналитического описания графических зависимостей «напряжение-деформация» при растяжении или сжатии пород. Для аппроксимации нелинейных участков диаграммы деформирования использован комбинированный сплайн из аналитически заданных функций [4]. В характерных точках экспериментальных диаграмм выполнена стыковка аппроксимирующих функций исходя из условий, обеспечивающих гладкость при переходе от упругого к упругопластическому участку и непрерывность на предельном участке деформирования.

Для исследования приняты следующие горно-геологические и горнотехнические условия: глубина разработки 200-700 м; угол падения пласта 0-30°; мощность пласта 2-5 м; вмещающие пласт породы представлены слоями аргиллитов, алевролитов и песчаника; предел прочности угля и пород при сжатии 10-70 МПа.

Расчетная схема включала 100 породных слоёв и угольных пластов с разными физико-механическими свойствами. Модуль упругости угля и пород на упругом участке деформирования принимался равным 2000-14000 МПа, а на участках упруго-пластического деформирования модуль деформации снижался в 3-5 раз.

На рисунке 1 представлены общие схемы охраны пластового штрека одним целиком при отработке выемочного столба 1 (традиционная схема, рисунок 1а) и после отработки соседних выемочных столбов 1 и 2 (рисунок 1б).

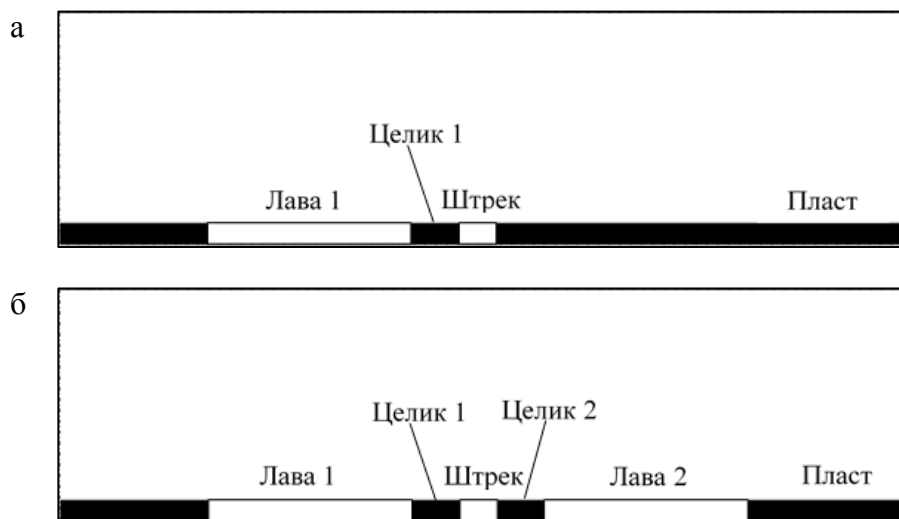


Рисунок 1 – Схема охраны штрека угольными целиками: а – одним целиком; б – двумя целиками

Обсуждение результатов исследования. Программа исследований включала проведение следующих этапов численного моделирования для оценки состояния угольного целика и вентиляционного штрека: влияние опорного горного давления от зависающих пород кровли в первом отработанном выемочном столбе; влияние опорного горного давления от зависающих пород кровли в двух соседних отработанных выемочных столбах.

Вычислительные эксперименты проводились с использованием авторского комплекса программ [5, 6]. По результатам вычислительных экспериментов сравнивались параметры напряжённо-деформированного состояния геомассива при охране штрека одним целиком (рисунок 1а) и двумя целиками (рисунок 1б). Изучалось деформирование разномодульного неоднородного массива горных пород как при определении деформаций соседних породных слоёв и пластов, так и при изменении остаточной прочности угля и пород под влиянием опорного горного давления от зависающих над выработанным пространством пород кровли. В качестве критерия устойчивости угольных целиков принято условие, чтобы в середине целика сохранялось несущее ядро неразрушенного угля шириной не менее 30 % общей ширины целика.

На рисунке 2 представлены изолинии распределения коэффициента остаточной прочности (k_{pr}), определяемого как отношение остаточной прочности угля в целике к исходной прочности, при различных схемах охраны штрека. По результатам сопоставления расчётных значений коэффициента остаточной прочности (рисунок 2) и данных обследования состояния пород на контуре выработок на шахтах Кузбасса [7] установлено, что при отношении $k_{pr} \leq 0,5$ происходит разрушение угля или пород в виде кусков с высыпанием в выработку. При $0,5 < k_{pr} \leq 0,7$ формируются трещины, блоки с вывалами и обрушениями (зона предразрушения), а при $k_{pr} > 0,7$ на контуре выработки дополнительные трещины техногенного происхождения, как правило, отсутствуют.

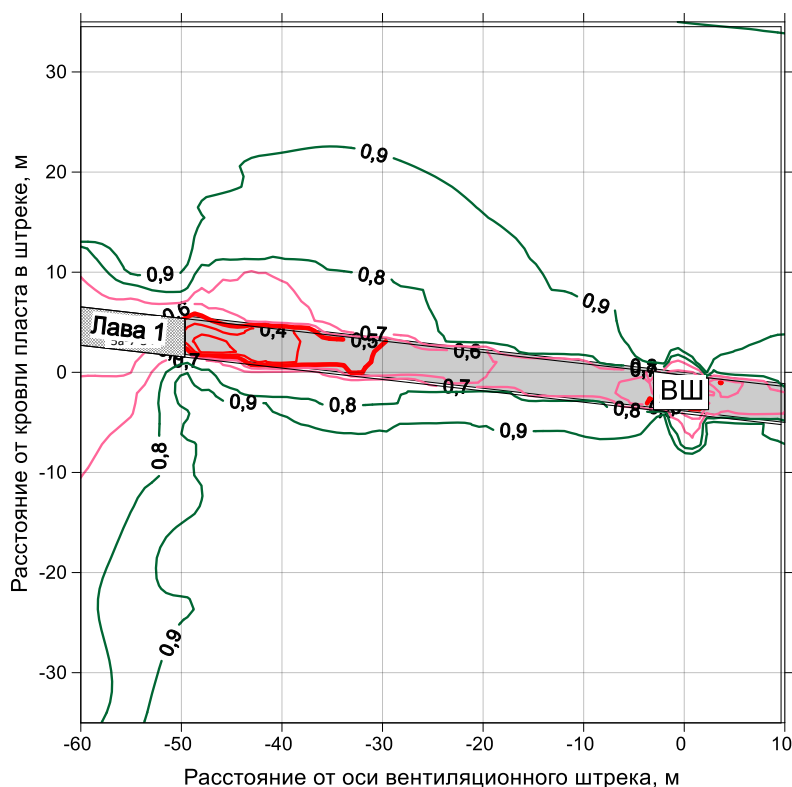


Рисунок 2 – Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности после проведения вентиляционного штрека и отработки выемочного столба 1 при ширине целика 47 м

Границы зоны разрушения пласта по результатам мониторинга состояния штреков на шахтах Кузбасса выделены при $k_{pr} = 0,5$. Из анализа рисунка 2 следует, что при традиционной схеме поддержания выработок одним целиком (см. рисунок 1а) почти половина угольного целика разрушена, однако сохраняется несущее ядро. В окрестности вентиляционного штрека ширина зоны разрушения пласта в боках выработки достигает 2м. Для предотвращения отжима угля с боков выработки рекомендуется установка анкеров и

упрочнение угля клеевыми составами. С учётом указанных мероприятий угольный целик шириной 47 м можно рекомендовать к эксплуатации при традиционной схеме охраны выработок.

После отработки второго выемочного столба и расположения угольного целика между соседними выработанными пространствами, согласно изолиниям распределения коэффициента остаточной прочности (рисунок 3), уголь в целике и вблизи штрека будет полностью разрушен. Ширина целиков по 47 м с каждой стороны вентиляционного штрека оказалась недостаточной для сохранения эксплуатационной устойчивости выработки. В этой связи для определения минимальной ширины устойчивого угольного целика после отработки соседних выемочных столбов проведено дополнительное численное моделирование напряжённо-деформированного состояния массива горных пород при ширине целиков 60 и 70 м.

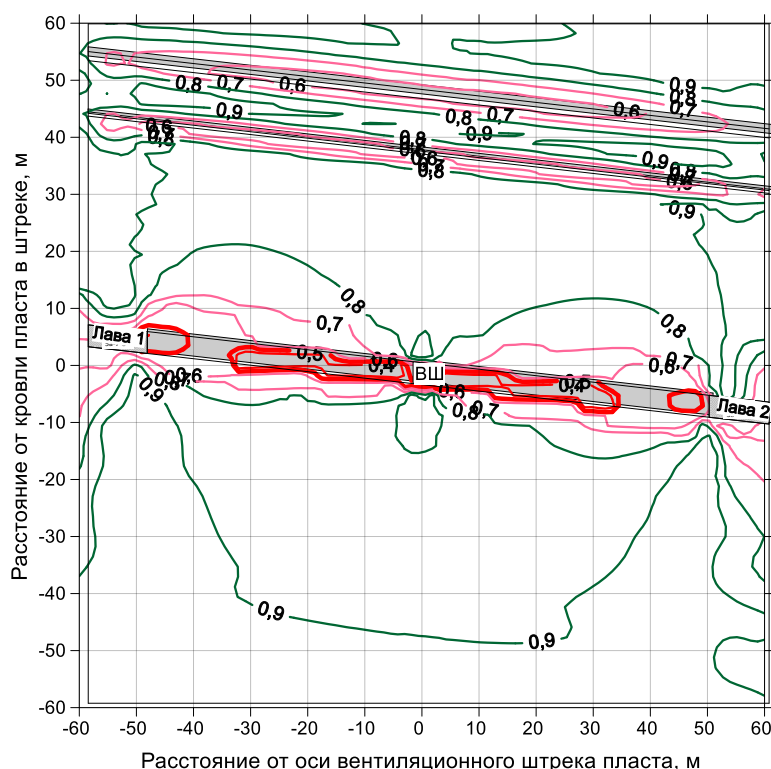


Рисунок 3 – Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности после проведения вентиляционного штрека и отработки соседних выемочных столбов 1 и 2 при ширине целиков 47 м

По результатам вычислительных экспериментов, приведенных в таблице 1, установлено, что при различном сочетании пространственного положения очистных и подготовительных выработок, изменении глубины разработки и мощности пласта, а также физико-механических свойств боковых пород в окрестности вентиляционного штрека, охраняемого двумя целиками, произошли существенные изменения геомеханического состояния по сравнению с традиционной схемой, например, вертикальные напряжения в угольном пласте на боку штрека увеличились в 1,6 раза.

Наличие в угольных целиках вблизи горной выработки знакопеременных напряжений подтверждает необходимость использования разных модулей деформации угля и пород, что учтено в математической модели посредством комбинированного сплайна на участках их сжатия и растяжения.

Таблица 1 – Результаты моделирования напряжённо-деформированного состояния геомассива

Наименование параметра	Схема с одним целиком при ширине целика 47 м	Схема с двумя целиками при ширине целиков, м		
		47	60	70
Отношение ширины несущего ядра в целике к ширине целика	0,59	0,4	0,6	0,8
Ширина зоны разрушения целика в боках штрека, м	0,8	7,5	4,0	2,5
Вертикальные напряжения в боках штрека, МПа	-24*	-38	-34	-30
Вертикальные напряжения в кровле штрека, МПа	0	0	0	0
Горизонтальные напряжения в боках штрека, МПа	0	+2	0	0
Горизонтальные напряжения в кровле выработки, МПа	-2	-2	0	0
Конвергенция кровля-почва штрека, мм	110	190	165	160
Конвергенция боков- штрека, мм	70	100	90	80
*знак минус соответствует напряжениям сжатия, а плюс - растяжения				

Следует отметить, что при увеличении ширины целиков ширина несущего ядра изменяется согласно следующей зависимости:

$$b_{\text{я}} = -0,6b_{\text{ц}} + 0,02b_{\text{ц}}^2, \quad (1)$$

где $b_{\text{я}}$ – ширина несущего ядра в целике, м;
 $b_{\text{ц}}$ – ширина целика, м.

На рисунке 4 приведены результаты моделирования при ширине целика 60 м. В этом варианте несущее ядро в целике составляет 36 м (таблица 1), то есть больше половины ширины целика. Согласно требованиям методического руководства [8] при разработке документации на ведение горных работ коэффициент запаса прочности целика следует принимать в пределах 1,2-1,4 в зависимости от конкретных горно-геологических условий.

При отношении ширины несущего ядра шириной $b_{\text{я}}=36$ м в целике шириной 60 м к минимальной ширине целика $b_{\text{ц}}=30$ м, получена величина, равная 1,2, которая соответствует принятому в горной практике [9] коэффициенту запаса прочности. Таким образом, угольные целики шириной 60 м с обеих сторон от охраняемого штрека обеспечат эксплуатационную устойчивость выработки. Для предотвращения разрушения угольного пласта в боках выработки предлагается применять паспорт крепления штрека, представленный на рисунке 5.

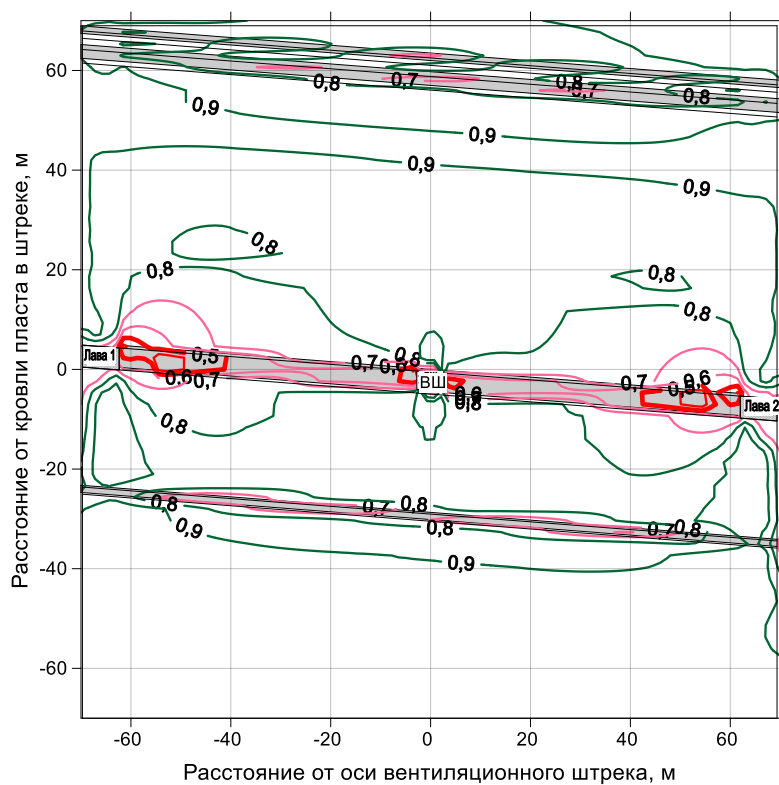


Рисунок 4 – Изолинии распределения коэффициента остаточной прочности после проведения вентиляционного штрека и отработки соседних выемочных столбов 1 и 2 при ширине целиков 60м

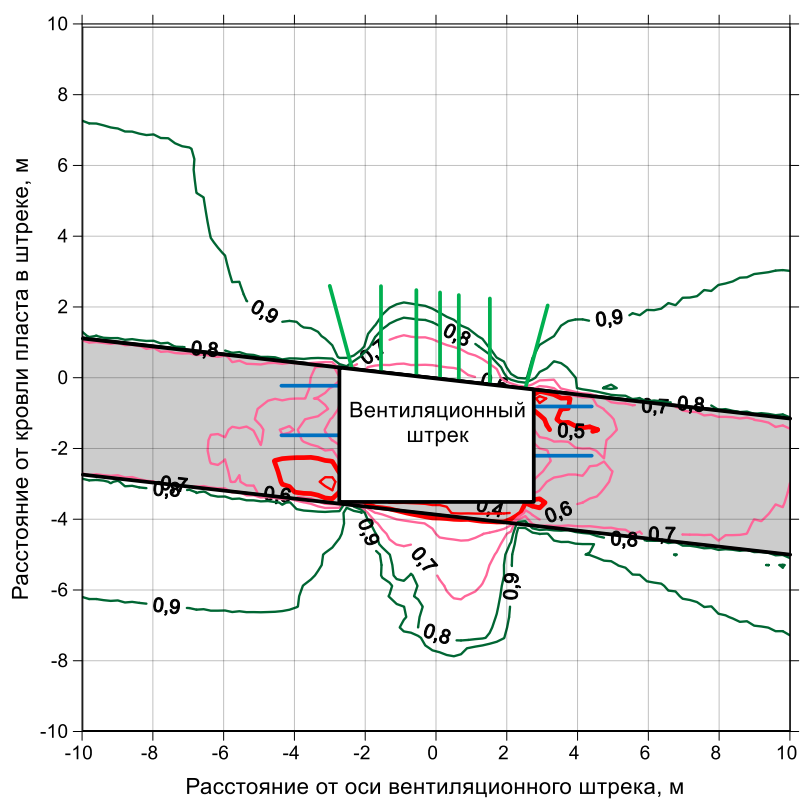


Рисунок 5 – Паспорт крепления вентиляционного штрека

Выводы. По результатам проведённых исследований напряжённо-деформированного состояния массива горных пород в окрестности угольного целика

между соседними отработанными выемочными столбами обоснованы следующие выводы и рекомендации.

Подтверждено что наличие в угольных целиках вблизи горной выработки знакопеременных напряжений подтверждает необходимость использования разных модулей деформации угля и пород с использованием диаграмм деформирования угля и пород на участках их сжатия или растяжения.

Установлено, что для каждой горнотехнической ситуации существует предельная ширина целиков, меньше которой безопасная эксплуатация охраняемой выработки не обеспечивается.

Определение ширины ленточных угольных целиков на основе результатов численного моделирования геомеханических процессов в неоднородном массиве горных пород обеспечивает прогноз ширины угольных целиков между двумя соседними отработанными выемочными столбами. Разработанный подход рекомендуется к использованию в широком диапазоне горно-геологических условий залегания пологих угольных пластов.

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

Библиографический список

1. Геомеханические принципы подготовки горного производства на угольных шахтах / Пер. с англ. В.М. Шика. - М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2015. - 256 с.
2. Охрана подготовительных выработок целиками на угольных шахтах / В.Б. Артемьев, Г.И. Коршунов, А.К. Логинов [и др.] ; под ред. Ю.В. Шувалова ; Сибирская угольная энергетическая компания. – СПб.: Наука, 2009. – 230 с.
3. 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.
4. Цветков А.Б. Построение аппроксимирующей функции полной диаграммы деформирования горных пород / А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2016. – № 3. – С. 144–148.
5. Корнев Е.С. Разработка комплекса проблемно-ориентированных программ для моделирования геомеханических процессов методом конечных элементов / Е.С. Корнев, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2013. – № 2. – С. 65–69.
6. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2020618419. Программа для численного исследования нелинейной математической модели деформирования геомассива с учетом разномодульности горных пород /А.Б. Цветков, Л.Д. Павлова, В.Н. Фрянов; ФГБОУ ВО Сиб. гос. индустр. ун-т. – Фед. служба по интелект. собств.; Дата регистр. 27 июля 2020.
7. Черепов А.А. Оценка соответствия результатов численного моделирования и шахтных исследований параметров напряженно-деформированного состояния массива горных пород / А.А. Черепов, Л.Д. Павлова // Вестник КузГТУ. – 2017. – № 6. – С 61-68.
8. Методическое руководство по выбору геомеханических параметров технологии разработки угольных пластов короткими забоями / Кол. авторов. – СПб.: ВНИМИ, 2003. – 55 с.
9. Черепов А.А. Анализ производственного опыта отработки короткими забоями склонного к динамическим явлениям мощного угольного пласта / А.А. Черепов // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2018. – № 4. - С. 108-112.

СОДЕРЖАНИЕ

Творческое наследие Валентина Павловича Цымбала	3
---	---

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Цымбал В.П.

Варианты промышленной реализации новых технологических схем струйно-эмульсионного металлургического процесса	8
--	---

Kongoli F.

Flogen new sustainability framework and the primary role of science and technology	13
--	----

Спирин Н.А., Лавров В.В., Рыболовлев В.Ю., Шнайдер Д.А., Краснобаев А.В., Гурин И.А.

Цифровизации производства чугуна: состояние, научные проблемы и перспективы развития	23
--	----

Mukhambetzhanov S.T., Kalashnikov S.N., Janabekova S.K.

Improving the ecological situation in the oil regions of the Republic of Kazakhstan with the issuance of proposals for environmental protection measures	31
--	----

Каледин В.О., Галдин Д.А., Паульзен А.Е., Ульянов А.Д.

Вариант парадигмы программирования и среда реализации вычислительного эксперимента	37
--	----

Бурков В.Н., Киселева Т.В.

Многоканальные активные системы управления сталеплавиельными процессами.....	43
--	----

СЕКЦИЯ 1. Методы и программно-инструментальные системы математического, физического моделирования и идентификации

Рыбенко И.А., Роос Х-Г.

Постановка и решение оптимизационной задачи применительно к металлургическим технологиям	51
--	----

Рыбенко И.А.

Инструментальная система «Инжиниринг-Металлургия» для решения широкого круга задач в металлургии.....	57
---	----

Roos K., Rybenko I.A.

Prototypische umsetzung der methode zur wissensbasierten prozesskonfiguration	63
---	----

Сеченов П.А., Цымбал В.П., Рыбенко И.А.

Быстрый алгоритм изменения количества взаимодействующих частиц в имитационной модели колонного струйно-эмульсионного реактора	68
---	----

Зеркаль С.М., Кондратьев Н.О., Рабинович Е.В., Чащин О.Н.

Разработка вычислительного алгоритма решения задачи фокусирования акустических волн	75
---	----

Зеркаль С.М., Чащин О.Н.

Вычислительная технология гравиметрического моделирования	81
---	----

Базайкина О.Л.

Модели теплового импульса, упрочняющего поверхность металлического изделия	87
--	----

Галдин Д.А.

Метод конечных элементов в задачах моделирования тепловых процессов в здании 94

Калашиников С.Н., Мартусевич Е.А., Мартусевич Е.В., Буинцев В.Н.

Разработка информационно-обучающих систем на основе алгебраического подхода к интеллектуальной обработке данных и знаний 100

Белоусова О.Н., Зеркаль С.М., Шапошникова Е.В.

Инновационная вычислительная томография в конусе лучей 103

Корнеев В.А., Корнеев П.А., Климович К., Добрынин А.С., Кулебакин И.И.

Методика развития у обучающихся навыков построения 3D-моделей горных машин, оборудования и инструмента и их математического моделирования в системе автоматизированного проектирования «T-FLEX CAD» 108

Чистяков А.С.

Гравитационная модель пассажиропотоков направления Красноярск-Ачинск 112

Бабушкина О.С., Калашиников С.Н.

Имитационное моделирование процессов в 2D-линейной динамической системе..... 118

Калашиников С.Н., Бабушкина О.С.

Применение метрик для построения математических моделей 123

Буинцев В.Н., Рыбенко И.А., Мартусевич Е.А., Белавенцева Д.Ю.

Автоматизированная обучающая система для дистанционного и самостоятельного обучения операторов сложных технологических процессов 128

Блюмин С.Л., Галкин А.В., Орешина М.Н.

Кластерная редукция моделей: метод галеркина-петрова, гиперграфы, метаграфы 131

Добронец Б.С., Попова О.А., Мерко А.М.

Численное моделирование для исследования сложных процессов в условиях неопределенности 137

Грачев А.В.

О моделировании узла сети для прогнозирования состояния узла-посредника в системе управления компьютерной сетью 142

Кузьмин С.А., Кузнецов В.А., Кузнецова Е.С., Романюк С.Ю.

Автоматизированная информационно-измерительная система учета электроэнергии с разделением на условно-постоянные и условно-переменные расходы..... 146

Киселева Т.В., Маслова Е.В., Бычков А.Г.

Применение методов машинного обучения для решения задачи распознавания образов..... 151

Ежель А.Ю.

Применение интеллектуальных методов для оценки риска аварий на опасном производственном объекте..... 156

Губанов Н.В., Рыбенко И.А.

Разработка алгоритма распознавания китайских иероглифов 159

<i>Сидорова Е.А., Баутина Е.В., Перевалова О.С.</i>	
Цифровизация: риски и перспективы развития	162
<i>Седых И.А., Истомин В.А.</i>	
Недетерминированные динамические окрестностные модели с переменными окрестностями в Python	168
<i>Калашиников С.Н., Сеченов П.А., Рыбенко И.А.</i>	
Разработка детерминированной математической модели нестационарного теплового состояния железорудного концентрата в рудоразмораживающей установке.....	173
<i>Бабушкина О.С., Калашиников С.Н., Рыбенко И.А., Гаун М.А., Шабалина Е.В.</i>	
Гармоническая деформация 2D-линейной динамической системы при имитационном моделировании её эволюции.....	178
<i>Гаун М.А., Калашиников С.Н.</i>	
Разработка алгоритмического и программного обеспечения многомерной интерполяции.....	185
СЕКЦИЯ 2. Моделирование и наукоемкие информационные технологии в металлургии, добыче сырья и обогащении	
<i>Рыбенко И.А., Едильбаев Б.А., Нохрина О.И., Рожихина И.Д., Голодова М.А., Ходосов И.Е.</i>	
Термодинамическое моделирование процесса восстановления железа из железорудного концентрата месторождения Бапы углем месторождения Каражыра (Казахстан)	189
<i>Веровкин В.И., Калашиников С.Н., Атавин Т.А.</i>	
Моделирование электромагнитного перемешивания при электрошлаковом литье прокатных валков	194
<i>Веровкин В.И., Игушев В.Ф., Веровкин С.В.</i>	
Причины возникновения и пути сдерживания электрохимической коррозии стальных обшивок судов	201
<i>Школлер М.Б.</i>	
Исследование и разработка перспективных пылеугольных топлив для доменных печей	206
<i>Школлер М.Б.</i>	
Исследование и разработка способа рециклинга высоковлажных и высокзолых угольных шламов	213
<i>Школлер М.Б.</i>	
Исследование и разработка способа рециклинга цинксодержащих отходов черной металлургии	217
<i>Князев С.В.</i>	
Алгоритм диагностики дефектности отливок и структура системы управления их качеством	224
<i>Голодова М.А., Рыбенко И.А., Рожихина И.Д., Нохрина О.И.</i>	
Термодинамическое моделирование процесса восстановления марганца из марокита	228

<i>Островляничик В.Ю., Поползин И.Ю., Кубарев В.А.</i> Построение модели асинхронного электропривода шахтной подъемной установки на основе машины двойного питания	234
<i>Сеченов П.А., Рыбенко И.А.</i> Расчет содержания веществ по высоте колонного струйно-эмульсионного реактора в агрегате СЭР.....	240
<i>Калашиников С.Н., Мартусевич Е.А., Мартусевич Е.В., Буинцев В.Н.</i> Применение кластерного анализа для оценки алюминиевого расплава в литейных ковшах	246
<i>Леонтьев А.С., Рыбенко И.А., Борисов А.С., Волкова И.В.</i> Опыт разработки и применения системы математического моделирования на «Евраз ЗСМК»	250
<i>Анакин С.Д., Борщинский М.Ю.</i> Цифровая система управления производительностью вентиляторной установки главного проветривания типа ВОД-30М.....	256
<i>Лисиенко В.Г., Чесноков Ю.Н., Лаптева А.В.</i> Эмиссия СО₂ при производстве меди.....	262
<i>Дмитриев А.Н., Золотых М.О., Витькина Г.Ю., Алекторов Р.В.</i> Использование цифровых технологий в аглококсоменном производстве металлургических предприятий	268
<i>Фрянов В.Н., Павлова Л.Д., Цветков А.Б.</i> Моделирование геомеханических процессов в разномодульном геомассиве для обоснования ширины устойчивых угольных целиков при подземной угледобыче.....	273
<i>Трофимов В.Б.</i> О разработке интеллектуальной системы диагностики шлака при выпуске металла из кислородного конвертера	280
<i>Дворянчиков М.В., Павлова Л.Д.</i> Разработка конвейера исследования данных для определения взаимного влияния подземных горных работ и сейсмических событий.....	285
<i>Кулюшин Г.А., Иванов Д.В., Коровин Д.Е., Грачев В.В., Коришунов С.Ю.</i> Создание резервируемой инфокоммуникационной сети АСУ ТП ОФ «Шахта №12»	291
<i>Коровин Д.Е., Макаров Г.В., Горб Д.С., Иванов Д.В., Кулюшин Г.А.</i> Разработка и внедрение системы формирования отчетной документации на обогатительной фабрике «Барзасская»	295
<i>Спирин Н.А., Лавров В.В., Щипанов К.А., Истомин А.С.</i> Об информативности видеокамер для контроля состояния фурменных очагов доменной печи	299
<i>Спирин Н.А., Щипанов К.А., Истомин А.С., Першин А.А., Блинков А.С.</i> О представительности температурного поля на уровне засыпи для контроля неравномерности распределения потоков материалов и газов в доменной печи	304

Болгов А.Е., Спирин Н.А.

Структура и функциональная модель информационно-моделирующей системы движения слоев шихты и накопления расплава в горне доменной печи 309

Кузнецов В.А., Кузнецова Е.С., Зайцев Н.С.

Модернизация системы управления синхронным электроприводом вращения валков прокатного стана. 315

Рыбенко И.А., Буинцев В.Н.

Математическая модель и инструментальная система для исследования процессов горения отходов углеобогащения 321

Сеченов П.А., Рыбенко И.А., Цымбал В.П.

Расчет энтальпии и энтропии химических элементов в колонном струйно-эмульсионном реакторе 326

Грачев В.В., Мышляев Л.П., Иванов Д.В., Коровин Д.Е., Кулюшин Г.А.

Информационное обеспечение автоматизированной системы управления технологическими процессами сушильно-топочного отделения обогатительной фабрики «Шахта №12». 330

Кожухов А.А.

Перспективы использования отходов производства прямого восстановления железа в качестве шихтовых материалов дуговых сталеплавильных печей. 335

СЕКЦИЯ 3. Информационные технологии в социально-экономических системах

Александрова Е.В., Платонов А.В.

Моделирование совместной работы промышленного здания и грунтового основания. 339

Блохина Е.С., Петрова Т.В.

Анализ моделей управления организационной деятельностью благотворительных фондов 345

Трубникова О.А., Тарасова И.В., Белый А.М., Никитенко М.С., Кухарева И.Д., Барбараиш О.Л.

Разработка алгоритма и программы для реализации когнитивного тренинга путем выполнения двойной задачи 350

Кожевников А.А.

Особенности стратегической рефлексии при принятии решений в сфере профессионального медицинского образования. 354

Гусев М.М., Киселева Т.В., Кораблина Т.В., Пермякова Е.П.

Модель взаимодействия агентов в социальной сети с учетом их психофизиологических особенностей. 359

Бондин Ю.А., Спирин Н.А.

Планирование капитального ремонта межкраных участков газопроводов с учетом техногенных рисков, рассчитанных в среде геоинформационной системы ARCGIS DESKTOP. 362

Темербекова А.А., Байкунакова Г.В.

Использование компьютерных программ Paint и CorelDraw в развитии пространственного воображения обучающихся 367

<i>Байкунакова Г.В.</i>	
Развитие пространственного воображения обучающихся как элемента графической культуры	372
<i>Поповян Н.О., Усов А.Б.</i>	
Моделирование системы контроля качества речной воды.....	378
<i>Киселева Т.В., Конюхова Е.С.</i>	
Разработка и внедрение digital-продукта в телекоммуникационном бизнесе	383
<i>Кузнецова Е.С., Костык А.В., Кузнецов В.А.</i>	
Исследование параметров генератора для разработки модели предиктивной диагностики.....	389
<i>Киселева Т.В., Михайлов В.Г., Михайлова Я.С.</i>	
Апробация алгоритма оптимизации степени использования производственной мощности предприятия на основе учета эколого-экономических показателей.....	395
<i>Жилина Н.М., Чеченин Г.И., Кан С.Л., Климантова И.П.</i>	
Анализ кадрового обеспечения здравоохранения врачами различных специальностей на примере Уральского федерального округа и Республики Крым.....	400
<i>Корягин М.Е., Вылегжанин И.А.</i>	
Математическая модель конкуренции не равноудаленных парковок	406
<i>Пимонов А.Г., Попова К.В., Раевская Е.А.</i>	
Программное обеспечение для формирования экспертных групп и проведения сложных экспертиз	410
<i>Губина А.А., Кораблина Т.В.</i>	
Исследование и оптимизация бизнес-процессов подготовки технической документации и выпуска конечной продукции.....	414
<i>Авдеева Е.А., Аверина Т.А., Бутырина Н.А.</i>	
Информационные технологии – главный фактор ускорения экономического роста и глобального развития	419
<i>Порядина В.Л., Лихачева Т.Г., Лаврова Ю.С.</i>	
Применение методов оптимизации для выбора приоритетной стратегии в условиях пандемии	423
<i>Киселева Т.В., Михайлов В.Г., Михайлов Г.С.</i>	
Разработка и апробация алгоритма управления отходами производства и потребления.....	429
<i>Зимин А.В., Койнов Р.С., Зимин В.В.</i>	
Интеллектуализация механизма планирования образовательной и научной деятельности преподавателя университета	434
<i>Гусев М.М., Киселева Т.В., Кораблина Т.В.</i>	
Программный модуль для моделирования распространения информации в социальной сети.....	440
<i>Шатов А.А.</i>	
Использование суперкомпьютеров для визуализации данных	444
СПИСОК АВТОРОВ	448
СОДЕРЖАНИЕ	451

Научное издание

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И НАУКОЕМКИЕ
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ТЕХНИЧЕСКИХ И СОЦИАЛЬНО-
ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Труды V Международной научно-практической конференции

14 апреля 2021 г.

Под общей редакцией

д.т.н., доц. И.А. Рыбенко,
д.т.н., проф. Т.В. Киселевой

Техническое редактирование и компьютерная верстка В.И. Кожемяченко

Напечатано в полном соответствии с авторским оригиналом

Подписано в печать 07.04.2021 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 27,15. Уч.-изд. л. 28,84. Тираж 300 экз. Заказ 89.

Сибирский государственный индустриальный
университет 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, зд. 42.
Издательский центр СибГИУ