

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



Посвящается 300-летию Кузбасса

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 5 - 2019

Главный редактор
д.т.н., проф. Фрянов В.Н.

Редакционная коллегия:
чл.-корр. РАН, д.т.н., проф. Клишин В.И., д.т.н., проф. Никитенко С.М.,
д.т.н. Павлова Л.Д. (технический редактор), д.т.н., проф. Домрачев А.Н.,
д.э.н., проф. Петрова Т.В.

Н 340 Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов : науч. журнал / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк, 2019. - № 5. – 533 с.

Рассмотрены аспекты развития инновационных наукоёмких технологий диверсификации угольного производства и обобщены результаты научных исследований, в том числе создание роботизированных и автоматизированных угледобывающих и углеперерабатывающих предприятий, базирующиеся на использовании прорывных технологий добычи угля и метана, комплексной переработке этих продуктов в угледобывающих регионах и реализации энергетической продукции потребителям в виде тепловой и электрической энергии.

Журнал предназначен для научных и научно-технических работников, специалистов угольной промышленности, преподавателей, аспирантов и студентов вузов.

Номер подготовлен на основе материалов Международной научно-практической конференции «Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов», проводимой в рамках специализированной выставки технологий горных разработок «Уголь России и Майнинг» (Новокузнецк, 4-7 июня 2019 г).

Основан в 2015 г.
Выходит 1 раз в год

Учредитель - Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»

УДК 622.2
ББК 33.1

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ВЕДЕНИИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ В ЗОНАХ ВЛИЯНИЯ КРУПНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ	418
к.т.н. Лазаревич Т.И., Харкевич А.С., Власенко Ю.Н., к.т.н. Шубина Е.А.	418
Научный центр проблем безопасного освоения недр «ВНИИ-ГЕО», г. Кемерово, Россия.....	418
ВАЖНЕЙШИЕ АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СОВМЕЩЕННОЙ ОТКРЫТО-ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ В УСЛОВИЯХ ВОЗРАСТАНИЯ СТЕПЕНИ ИХ ВЗАИМНОГО НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ.....	426
¹ Харкевич А.С., ² Мефодьев С.Н., ¹ Денисов С.В.....	426
1 - Научный центр проблем безопасного освоения недр ВНИИ-ГЕО, г. Кемерово, Россия	426
2 - ООО «Шахта «Южная», г. Кемерово, Россия	426
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИМИ РИСКАМИ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПЛАСТОВ С ТЯЖЕЛЫМИ КРОВЛЯМИ	428
¹ Лазаревич Т.И., ¹ Харкевич А.С., ² Полищук Л.В., ¹ Денисов С.В.	428
1 - Научный центр проблем безопасного освоения недр ВНИИ-ГЕО, г. Кемерово, Россия	428
2 - ООО «Шахта «Юбилейная», г. Новокузнецк, Россия	428
ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНОГО РЕСУРСА СТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИЯХ АКТИВИЗАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ, ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ	433
Лазаревич Т.И., Поляков А.Н., Харкевич А.С., Добрынин Р.Р.	433
Научный центр проблем безопасного освоения недр «ВНИИ-ГЕО», г. Кемерово, Россия.....	433
РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИЙ РУКОВОДИТЕЛЯ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ НА ОБЪЕКТАХ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ.....	436
² д.т.н. Домрачев А.Н., ^{1,2} к.т.н. Говорухин Ю.М., ¹ к.т.н. Криволапов В.Г., ^{1,3} д.т.н. Палеев Д.Ю.	436
1 – Национальный горноспасательный центр, г. Новокузнецк, Россия.....	436
2 –Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	436
3 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	436
SWOT-АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ВОЕНИЗИРОВАННЫХ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ ЧАСТЕЙ.....	439
² д.т.н. Домрачев А.Н., ^{1,2} к.т.н. Говорухин Ю.М., ¹ к.т.н. Криволапов В.Г., ^{1,3} д.т.н. Палеев Д.Ю.	439
1 – Национальный горноспасательный центр, г. Новокузнецк, Россия.....	439
2 –Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	439
3 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	439
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНКИ ДЕБИТОВ МЕТАНА ИЗ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРЫ ГАЗОВОГО БАЛАНСА ВЫЕМОЧНЫХ УЧАСТКОВ.....	445
^{1,2} к.т.н. Говорухин Ю.М., ¹ к.т.н. Криволапов В.Г., ^{1,3} д.т.н. Палеев Д.Ю.	445
1 – Национальный горноспасательный центр, г. Новокузнецк, Россия.....	445
2 –Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	445
3 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	445
АНАЛИЗ И ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ АВАРИЙ И ИНЦИДЕНТОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	448
² д.т.н. Домрачев А.Н., ^{1,2} к.т.н. Говорухин Ю.М., ¹ к.т.н. Криволапов В.Г., ^{1,3} д.т.н. Палеев Д.Ю. 1 –	448
Национальный горноспасательный центр, г. Новокузнецк, Россия.....	448
2 –Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	448
3 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	448
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ОПЕРАТИВНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЁТОВ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНОСПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ	450
^{1,2} к.т.н. Говорухин Ю.М., ¹ к.т.н. Криволапов В.Г., ^{1,3} д.т.н. Палеев Д.Ю., ² д.т.н. Домрачев А.Н.	450
1 – Национальный горноспасательный центр, г. Новокузнецк, Россия.....	450
2 –Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	450
3 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	450
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CFD-ПАКЕТОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТ И ПОДГОТОВКЕ ГОРНЫХ ИНЖЕНЕРОВ.....	453

^{1,2} к.т.н. Говорухин Ю.М., ¹ к.т.н. Криволапов В.Г., ^{1,3} д.т.н. Палеев Д.Ю.	453
1 – Национальный горноспасательный центр, г. Новокузнецк, Россия	453
2 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	453
3 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	453
СИСТЕМНАЯ ОЦЕНКА ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЭК РЕГИОНА В АСПЕКТЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ	458
к.э.н. Новоселов С.В.	458
Научно-исследовательский институт горноспасательного дела, г. Кемерово, Россия	458
ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ПРОМЫШЛЕННУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ НА ШАХТАХ КУЗБАССА	460
¹ к.э.н. Новоселов С.В., ² д.т.н. Голик А.С., ² д.т.н. Попов В.Б.	460
1 - Научно-исследовательский институт горноспасательного дела, г. Кемерово, Россия	460
2 - Сибирское отделение Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности, г. Кемерово, Россия	460
ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ В АСПЕКТЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ	463
¹ к.э.н. Новоселов С.В., ² д.т.н. Ремезов А.В.	463
1 - Научно-исследовательский институт горноспасательного дела, г. Кемерово, Россия	463
2 - Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия	463
ОПЕРАТИВНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСОВ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ДЕЙСТВУЮЩИХ УГОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	466
¹ д.т.н. Рогова Т. Б., ^{2,3} д.т.н. Шаклеин С. В.	466
1 - Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия	466
2 - Кемеровский филиал Института вычислительных технологий СО РАН, г. Кемерово, Россия	466
3 - Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	466
УЧЕТ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАК ФАКТОРА ПОВЫШЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ	469
д.т.н. Писаренко М.В.	469
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия	469
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВА ГАЗОВОЙ ФАЗЫ ПРИ ГОРЕНИИ МЕТАНОУГОЛЬНОЙ СМЕСИ	473
к.т.н. Рыбенко И. А., к.т.н. Буинцев В. Н.	473
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	473
ПЛАВИЛЬНЫЙ ГАЗИФИКАТОР ДЛЯ БЕЗОТХОДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПЫЛЕВИДНЫХ ФРАКЦИЙ УГЛЯ И ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ	478
д.т.н. Цымбал В.П., к.т.н. Рыбенко И.А., к.т.н. Кожемяченко В.И., к.т.н. Сеченов П.А., Рыбушкин А. А., к.т.н., Оленников А.А.	478
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	478
Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия	478
ОЦЕНКА ЦВЕТОВОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА НА ОСНОВЕ УГЛИСТЫХ АРГИЛЛИТОВ	483
д.т.н. Столбоушкин А.Ю., к.т.н. Фомина О.А., Зенков П.С.	483
Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	483
КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА УГОЛЬНЫХ ОТВАЛОВ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ КЕРАМИКИ	489
к.т.н. Явруян Х.С., д.т.н. Котляр В.Д., Гайшун Е.С.	489
Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия	489
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ ОТХОДАМИ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ	494
д.т.н. Киселева Т.В. ¹ ; к.т.н. Михайлов В.Г. ² ; к.т.н. Михайлов Г.С. ²	494
1 - Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия	494
2 - Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово, Россия	494

Выводы. Внедрение разработанного приложения с определённым спектром методик и печатных форм различных документов с заполнением позволит обеспечить высокую оперативность и качество прогноза развития горноспасательных работ.

Библиографический список

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и ликвидации последствий аварий на опасных производственных объектах, на которых ведутся горные работы», утверждённые приказом Ростехнадзора от 31.10.2016 N 449 (Зарегистрировано в Минюсте России 29.11.2016 N 44480).
2. Устав военизированной горноспасательной части по организации и ведению горноспасательных работ, утверждённый приказом МЧС России от 09 июня 2017 года N 251 (Зарегистрировано в Минюсте России 24.08.2017 N 47930).
3. Сборник нормативных правовых актов военизированных горноспасательных частей / Коллектив авторов. – М.: МЧС России, 2014. – 284 с.
4. Домрачев А.Н. Методология анализа и оценки риска при ведении аварийно-спасательных работ на горных предприятиях / А.Н. Домрачев, В.Г. Криволапов, Ю.М. Говорухин, А.В. Масленков. – Кемерово: Кузбассвуиздат, 2013. – 185 с.
5. Домрачев А.Н. К вопросу об оценке трудоёмкости ведения аварийно-спасательных работ на горных предприятиях / А.Н. Домрачев, Д.Ю. Палеев, Ю.М. Говорухин, В.Г. Криволапов, В.И. Липатин // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – Кемерово. – 2014. – №1. – С.37-39.
6. Домрачев А.Н. К вопросу о формализации оценки действий руководителя ликвидации аварии при ведении аварийно-спасательных работ на горных предприятиях / А.Н. Домрачев, В.Г. Криволапов, Ю.М. Говорухин, Д.Ю. Палеев // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов: сб. науч. статей / Сиб. гос. индустр. ун-т; под общей ред. В.Н. Фрянова. – Новокузнецк. – 2018. – №4. – С.476-479.
7. Алексеев Е.Р. Программирование на языке C++ в среде Qt Creator: / Е.Р. Алексеев, Г.Г. Злобин, Д.А. Костюк [и др.]. – М.: ALT Linux, 2015. – 448 с. (Библиотека ALT Linux).
8. Шлее М. Qt 5.10. Профессиональное программирование на C++ / М. Шлее. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. – 1072 с.
1. Саммерфилд М. Qt. Профессиональное программирование. Разработка кроссплатформенных приложений на C++ / М. Саммерфилд. – СПб.: Символ-Плюс, 2011. – 560 с.

УДК 622.414.2:004.942

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ CFD-ПАКЕТОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ВЕНТИЛЯЦИИ ШАХТ И ПОДГОТОВКЕ ГОРНЫХ ИНЖЕНЕРОВ

^{1,2} к.т.н. Говорухин Ю.М., ¹к.т.н. Криволапов В.Г., ^{1,3}д.т.н. Палеев Д.Ю.

1 – Национальный горноспасательный центр, г. Новокузнецк, Россия

2 – Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия

3 – Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН, г. Кемерово, Россия

Аннотация. Рассмотрены коммерческое и свободное программное обеспечение, применяемое при численном моделировании аэрогидродинамических процессов. Приведены их преимущества и недостатки. Выполнено моделирование и оценка влияния четырёх схем местных сопротивлений на векторное поле скорости потока. Приведены графики изменения x-компоненты вектора скорости и избыточного давления в потоке.

Ключевые слова: программное обеспечение, моделирование, горные выработки, местные сопротивления, турбулентный режим, модели турбулентности, уравнения Навье-Стокса.

Общая часть. С широким развитием и внедрением вычислительной техники всё большее применение находят такие области прикладной математики как численные методы. В этой связи разработаны различные программные продукты, которые позволяют оперативно решать производственные задачи для практически любой отрасли промышленности. К таким задачам можно отнести моделирование аэрогазодинамических процессов, протекающих в горных выработках, анализ шахтной вентиляционной сети и т.п. Результаты такого вида моделирования также могут служить наглядным материалом для обучающихся при описании каких-либо сложных процессов [1 - 3].

Например, при подготовке горных инженеров на дисциплинах «Аэрология горных предприятий», «Системы управления газовойделением угольных шахт» и т.п.

Одним из распространённых коммерческих программных комплексов для инженерного анализа является ANSYS [4 - 6]. Этот комплекс является конгломератом, в который входят многочисленные пакеты для разных видов задач. Например, для решения задач вычислительной аэрогидродинамики (CFD) в нём могут применяться:

- DesignModeler и SpaceClaim (создание и редактирование геометрических моделей расчётных областей);
- Meshing (генерирование сетки);
- Fluent и CFX (моделирование аэрогидродинамических процессов).

ANSYS является современным технологичным комплексом, позволяющим решать требуемые задачи и анализировать полученные данные. Это отличный отлаженный инструмент для многих производственных задач в сфере механики жидкости и газа, прочностного анализа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей. При возникновении каких-либо проблем всегда предоставляется техническая поддержка. Данный программный продукт в зависимости от своей компоновки под вид решаемых задач имеет различную цену, но в целом она колеблется в диапазоне нескольких десятков-сотен тысяч евро. При этом распараллеливание вычислительной задачи на несколько ядер также требует приобретения соответствующей лицензии (2 - 4, 5 - 32, 33 - 128 ядер и т.д.), таким образом эта дополнительная лицензия также обходится в диапазоне нескольких десятков-сотен тысяч евро. Также к недостаткам можно отнести ограниченное информационное пространство пользовательской частью, т.е. данный комплекс – это своеобразный чёрный ящик, в котором закрыты все алгоритмы, так они являются бизнес-преимуществом.

Компания ANSYS для ознакомления с программой предоставляет бесплатную академическую версию, которая может использоваться только для целей обучения и ознакомления. Она имеет ряд ограничений для каждого из своих модулей. Например, при построении геометрии доступно не более 50 тел или 300 поверхностей. Fluent и CFX принимают на расчёт не более 512 тысяч ячеек/узлов. Ansys Mechanical для прочностного анализа – не более 32 тысяч элементов.

С развитием мировой сети Интернет и появлением такого феномена как комьюнити (связанные на основе общих целей люди из разных стран) активное развитие получило так называемое свободное программное обеспечение, которое стало альтернативой коммерческим программам. Оно распространяется на основе бесплатных видов лицензий, таких как GNU GPL, GNU LGPL и др. Перспективные проекты зачастую финансируются и поддерживаются крупными компаниями (например, Intel, IBM и др.).

Среди таких программ можно выделить OpenFOAM, SALOME, Paraview, Elmer, Z88Aurora и многие др. OpenFOAM (Open Source Field Operation And Manipulation CFD ToolBox) – свободно распространяемый пакет для операций со скалярными, векторными и тензорными полями [9 - 11]. Он представляет собой фреймворк – набор средств языка программирования C++ для настройки и расширения численных решателей для задач механики сплошной среды, в том числе вычислительной гидродинамики (CFD). Он состоит примерно из 100 C++ - библиотек и 250 предварительно собранных пакетов, которые делятся на решатели (решение задач механики сплошной среды) и утилиты (обработка данных). Структура OpenFoam (The OpenFOAM Foundation Ltd) показана на рис. 1. Комплекс реализован на базе платформ Unix и GNU/Linux.

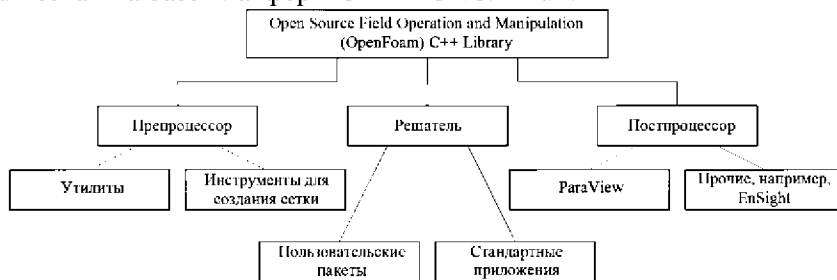


Рис. 1. Структура пакета программ OpenFOAM (The OpenFOAM Foundation Ltd) [7]

Данный комплекс программных пакетов может свободно использоваться без каких-либо ограничений при решении производственных задач любой сложности, поддерживает распараллеливание вычислительной задачи. Результаты моделирования возможно применять при подготовке гор-

ных инженеров для визуального восприятия сущности протекающих процессов (как аэрогазодинамических, так и геомеханических). В качестве примера рассмотрено численное моделирование влияния местных сопротивлений в горных выработках на процессы движения воздуха.

Математическая постановка задачи. Для математического описания турбулентного несжимаемого, изотермического, однофазного потока в стационарной постановке используются дифференциальные уравнения Навье-Стокса, осреднённые по числу Рейнольдса (RANS-уравнения). В векторной форме данные уравнения имеют вид [9, 11]

$$\nabla \cdot (\vec{u}\vec{u}) = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nabla \cdot (\nu \nabla \vec{u}) - \overline{u'u'}, \quad (1)$$

где $\vec{u}$ – вектор скорости потока; ρ – плотность воздуха; p – избыточное давление воздуха; ν – кинематическая вязкость воздуха; $\overline{u'u'}$ – тензор турбулентных напряжений Рейнольдса.

Для замыкания данных уравнений дополнительно необходимо ввести уравнения неразрывности и уравнения для определения турбулентных напряжений. Для этой цели принята стандартная высокорейнольдсовая модель турбулентности второго порядка $k - \omega$ (модель Уилкокса). В этом случае для расчёта напряжений Рейнольдса дополнительно решаются два дифференциальных уравнений соответственно одно для k (кинетическая энергия турбулентности), второе для ω (удельная скорость диссипации кинетической энергии) [6, 7, 9 - 11]

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0, \quad (2)$$

$$-\overline{u'u'} = \frac{1}{\rho} \mu_t \{ \nabla \vec{u} + (\nabla \vec{u})^T \} - \frac{2}{3} k \vec{I}, \quad (3)$$

$$\nabla \cdot (\rho \vec{u} k) = \nabla \cdot (\mu_{eff,k} \nabla k) + P_k - \beta^* \rho k \omega, \quad (4)$$

$$\nabla \cdot (\rho \vec{u} \omega) = \nabla \cdot (\mu_{eff,\omega} \nabla \omega) + C_{\alpha 1} \frac{\omega}{k} P_k - C_{\beta 1} \rho \omega^2, \quad (5)$$

$$\mu_t = \rho \frac{k}{\omega}, \quad (6)$$

$$\mu_{eff,k} = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{k1}}, \quad (7)$$

$$\mu_{eff,\omega} = \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_{\omega 1}}, \quad (8)$$

где $\vec{I}$ – единичный тензор напряжений; P_k – коэффициент, учитывающий генерирование турбулентной энергии; $C_{\alpha 1}$, $C_{\beta 1}$, β^* , σ_{k1} , $\sigma_{\omega 1}$ – константы принятой модели турбулентности; μ – динамическая вязкость воздуха; μ_t – турбулентная вязкость.

Общая схема граничных условий для математических моделей схем местных сопротивлений приведена на рис. 2, использованы граничные условия Дирихле (1 рода) и фон Неймана (2 рода). Задача решена в двухмерной пространстве.

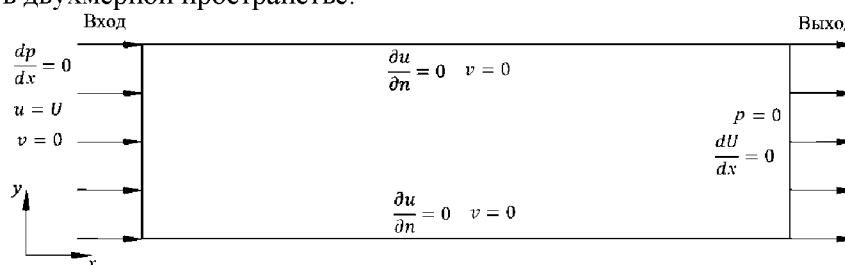


Рис. 2. Граничные условия рассматриваемых моделей для p (избыточное или манометрическое давление) и для U (вектор скорости потока)

Для связи уравнений по скорости и давлению использован алгоритм SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations) метода Патанкара. Рассмотрены четыре схемы местных сопротивлений:

1. Поворот выработки на 90° (рис. 3).
2. Слияние двух потоков в выработках, примыкающих друг другу под углом 90° (рис. 4).
3. Поворот выработки на 90° с уменьшением поперечного сечения и тупиковой частью (рис. 5).
4. Перемычка с вентиляционным окном в выработке (рис. 6).

Результаты моделирования. Для решения указанной системы уравнений (1 - 8) использован стандартный (предварительно собранный) решатель simpleFoam пакета OpenFOAM (The OpenFOAM Foundation Ltd). Результаты решения задачи оценки влияния местных сопротивлений на поле скорости и избыточное давление приведены на рисунках (3 - 6).

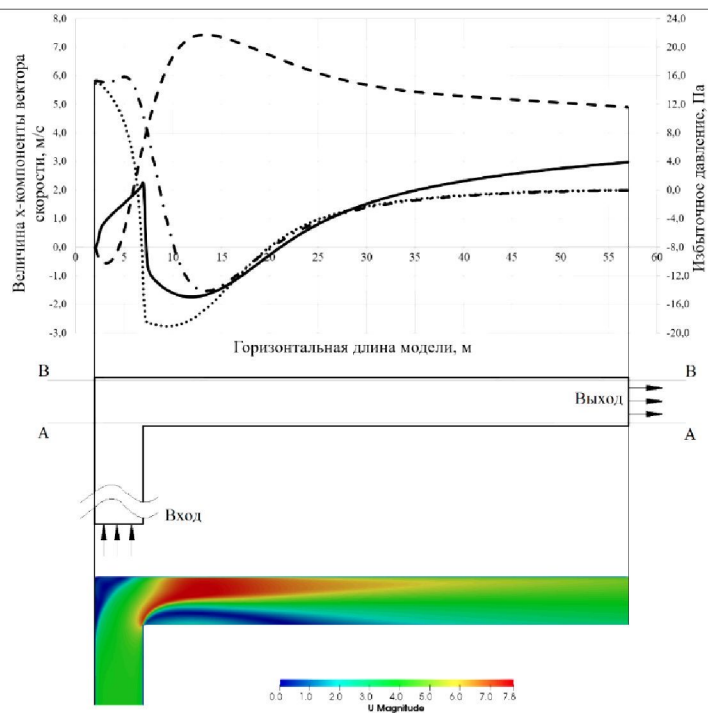


Рис. 3. Изменение скорости потока воздуха при повороте выработки на 90° : изменение x -компоненты вектора скорости (сплошная линия) и избыточного давления (линия точками) по линии А-А, по линии В-В (соответственно, пунктирная линия и штрихпунктирная линия)

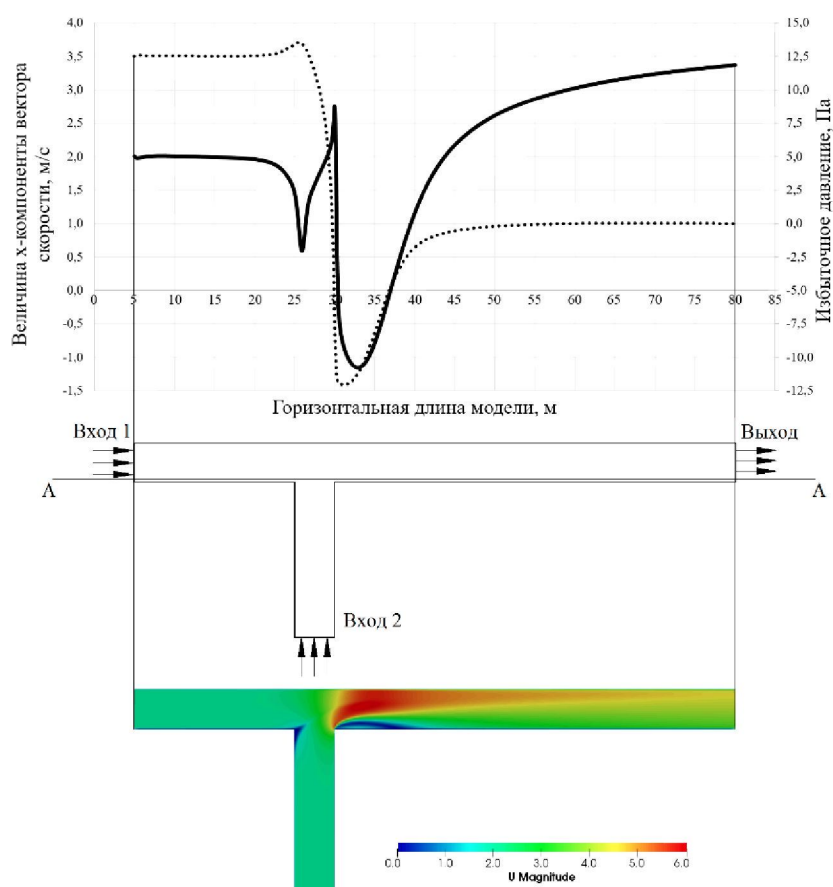


Рис. 4. Изменение скорости воздуха при слиянии двух потоков в выработке (угол примыкания выработок 90°): изменение x -компоненты вектора скорости (сплошная линия) и избыточного давления (линия точками) по линии А-А

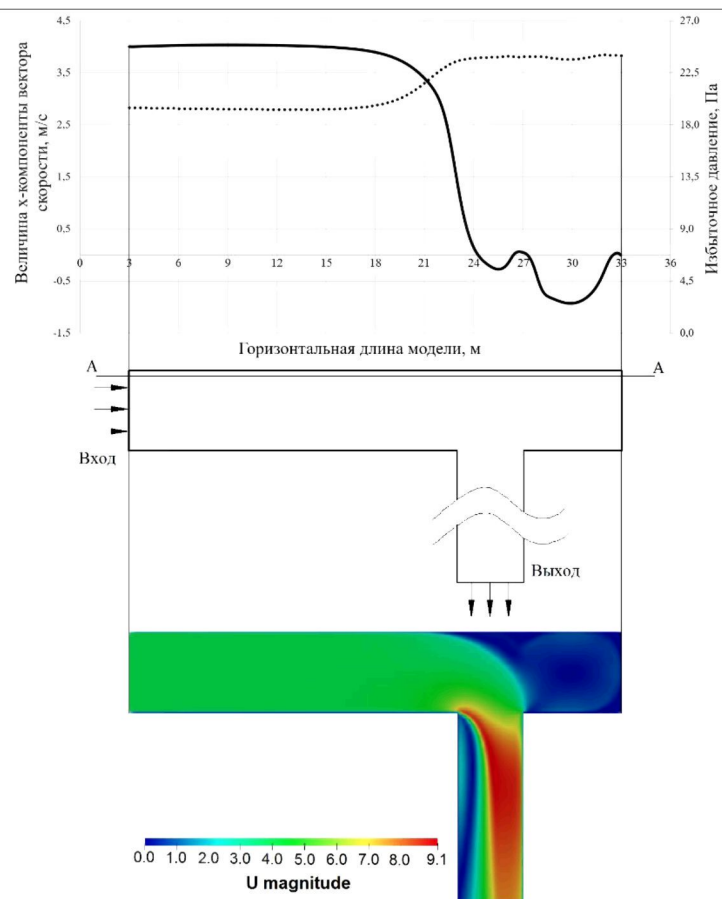


Рис. 5. Изменение скорости потока воздуха при повороте выработки на 90° с уменьшением сечения и тупиковой частью: изменение x-компоненты вектора скорости (сплошная линия) и избыточного давления (линия точками) по линиям А-А

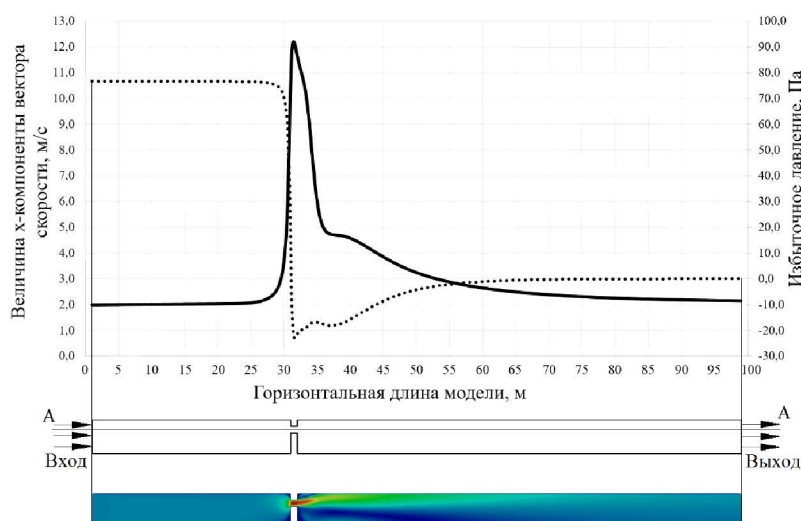


Рис. 6. Изменение скорости потока воздуха при его прохождении через вентиляционное окно: изменение x-компоненты вектора скорости (сплошная линия) и избыточного давления (линия точками) по линиям А-А

Вывод. Полученные результаты качественно совпадают с данными экспериментальных работ по исследованию режимов движения жидкости и газов, приведённых в [8].

Библиографический список

1. Говорухин Ю.М. К вопросу об управлении газовыделением выемочного участка / Ю.М. Говорухин, В.Г. Криволапов // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов сборник научных статей. Под общей редакцией В.Н. Фрянова. – 2010. – С.396-399.

2. Говорухин Ю.М. Программа расчёта вентиляции выемочных участков / Ю.М. Говорухин, В.Г. Криволапов, А.Н. Домрачев, О.Ю. Лукашов // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. Под общей редакцией В.Н. Фрянова. – 2016. – №3. – С. 445-448.
3. Говорухин Ю.М. Математическое моделирование миграции метана в горные выработки при остановленном очистном забое / А.Н. Домрачев, В.Г. Криволапов, Д.Ю. Палеев // Научно-технические разработки и использования минеральных ресурсов. Под общей редакцией В.Н. Фрянова. – 2017. – №3. – С.424-429.
4. Основы работы в ANSYS 17 / Н.Н. Фёдорова [и др.]. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 210 с.
5. Денисов М.А. Компьютерное проектирование. Ansys: учебное пособие / М.А. Денисов. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 77 с.
6. Миньков Л.Л. Численное решение задач гидродинамики с помощью вычислительного пакета Ansys Fluent: учебное пособие / Л.Л. Миньков, К.М. Моисеева. – Томск: STT, 2017. – 122 с.
7. Аэрология горных предприятий: учебник для вузов / К.З. Ушаков [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1987. – 421 с.
8. Ван-Дайк М. Альбом течений жидкости и газа / М. Ван-Дайк. – М.: Мир, 1986. – 184 с.
9. Moukalled F. The Finite Volume Method in Computational Fluid Dynamics: An Advanced Introduction with OpenFOAM and Matlab / F. Moukalled, L. Mangani, M. Darwish. – Springer, 2016. – 817 p.
10. OpenFOAM. The OpenFOAM Foundation: User Guide. Version 6. – 2018. – 237 p.
11. Jasac H. Error Analysis and Estimation for the Finite Volume Method with Application to Fluid Flows. – Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy of the University of London and Diploma of Imperial College. – June 1996. – 396 p.

338.1:658.012:622.8(571.17)

СИСТЕМНАЯ ОЦЕНКА ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЭК РЕГИОНА В АСПЕКТЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

к.э.н. Новоселов С.В.

Научно-исследовательский институт горноспасательного дела, г. Кемерово, Россия

Аннотация. Статья раскрывает актуальное научное направление – системную оценку промышленной безопасности ТЭК региона в аспекте экономической безопасности Кемеровской области. Дана характеристика промышленной безопасности ТЭК Кемеровской области. Предлагается формирование синергетического эффекта при взаимодействии различных подсистем безопасности.

Ключевые слова: система экономической безопасности, промышленная безопасность, экологическая безопасность, синергетический эффект.

Кемеровская область имеет мощный ТЭК, который представлен Сибирской генерирующей компанией (СГК), 42 действующими шахтами, 110 угольными разрезами и 79 объектами по обогащению и переработке полезных ископаемых.

Сибирская генерирующая компания ведущий энергохолдинг России. Компания обеспечивает надежное теплоснабжение, участвует в рынке электрической энергии, активно развивает инфраструктуру городов присутствия. Главным конкурентным преимуществом компании остается использование местных энергетических углей, добываемых предприятиями СУЭК.

В составе СГК четыре филиала:

- Абаканский (Республика Хакасия, Республика Тыва, часть Красноярского края);
- Барнаульский (Алтайский край);
- Кузбасский (Кемеровская область);
- Красноярский (Красноярский край).

Суммарная установленная электрическая мощность СГК составляет 10,9 ГВт, тепловая мощность - 23,9 тыс. Гкал/час [1].

Результаты работы экономики региона, выраженные валовым региональным продуктом (ВРП), и объемы части ВРП, созданного основными отраслями ТЭК Кемеровской области – горной промышленностью и электроэнергетикой, приведены на рис.1

Научное издание

НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Под общей редакцией профессора В.Н. Фрянова

Компьютерная верстка Л.Д. Павловой

Подписано в печать 24.05.2019 г.

Формат бумаги 60x84 1/16. Бумага писчая. Печать офсетная.
Усл.печ.л. 31,68 Уч.-изд. л. 33,52 Тираж 1000 экз. Заказ 132

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