

Математическое моделирование динамических процессов в газугольном растворе на основе клеточно-автоматного подхода

Немцев Александр Юльевич, аспирант, 1-
курса

Сибирский государственный индустриальный
университет

Новокузнецк

Научный руководитель:

Калашников Сергей Николаевич, д.т.н.



Тематика

Научные публикации

Синергетика.	Немцев А.Ю., Калашников С.Н. Клеточно-автоматное моделирование кинетики сорбции в конечном объеме угля // Научное моделирование. – 2021. – № 7. – С. 368–371.
Неоднородные среды.	Немцев А.Ю., Калашников С.Н., Бабушкина О.С., Гаун М.А. Клеточно-автоматное моделирование кинетики газовой сорбции в конечном объеме угля // Инженерный вестник Дона. 2021. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7104 .
Клеточные автоматы.	Немцев А.Ю., Калашников С.Н. Клеточно-автоматное моделирование кинетики массопереноса в конечном объеме угля // Информация и образование: границы коммуникаций INFO'21. – 2021. – № 13 (21). – С. 144–148.
Нейронные сети.	Немцев А.Ю., Калашников С.Н. Моделирование движения молекул газа в угольном пласте клеточным автоматом с окрестностью Марголуса в одноклеточном исполнении // Актуальные вопросы науки 2021. – 2021. – С. 33–38.
Конечные автоматы.	Немцев А.Ю., Калашников С.Н. Алгоритм функционирования блочно-синхронного клеточного автомата для моделирования динамических процессов в газугольном растворе // Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) : AS'2021. – 2021. – С. 84–89.
Диффузия.	
Сорбция.	
Конвекция.	
Методы Монте-Карло.	

Научные проекты и конференции

Грант конкурса «УМНИК-Сбербанк» Фонда содействия инновациям, реализованного совместно с ПАО «Сбербанк».

Финалист Всероссийского конкурса молодых технологических предпринимателей.

Международная научно-практическая конференция «Научное моделирование технологий разработки и использования минеральных ресурсов» в рамках XXVII международной специализированной выставки технологий горных разработок «Уголь России и Майнинг» (Новокузнецк, 2021).

XIII Международная научно-практическая конференция «ИНФОРМАЦИЯ И ОБРАЗОВАНИЕ: ГРАНИЦЫ КОММУНИКАЦИЙ» INFO'2021, (Горно-Алтайск, 2021).

XIII Всероссийская научно-практическая конференция (с международным участием) СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ (в образовании, науке и производстве), AS'2021 (Новокузнецк, 2021).

Актуальность

При моделировании процессов в пористых материалах актуальным вопросом является учет внутренних свойств материалов, среди которых такие как морфология среды и характер взаимодействия стенок пор с проходящим через них газом или жидкостью. А рассмотрение пористых материалов как сплошных сред, характеризуемых определенным коэффициентом пористости, не удовлетворяет исследователей горных пород. То есть использование для представления морфологии пористого материала на микроуровне дифференциальных уравнений в частных производных, затруднено из-за невозможности описания непрерывными функциями нарушения сплошности. Так как вычислительные мощности современных компьютеров дают возможность для решения данной проблемы, необходимы методы для раскрытия полного потенциала их вычислительной мощности, с помощью мелкозернистого параллелизма, а конкретнее клеточных автоматов.

Работа посвящена клеточно-автоматному моделированию на основе класса клеточных автоматов с окрестностью Марголуса, с вероятностными функциями перехода, в однитактном исполнении – суперпозиции двух тактов в вероятностном исполнении, с обработкой крайних клеток (внешние краевые условия) замыкание. Выполнено моделирование процесса кинетики массообмена в конечном объеме угля (пористой среде – дисперсная система, где дисперсная среда – это «твердое тело» являющиеся твердым раствор соединения угля и газа (газоугольный раствор), а дисперсная фаза – это «свободный газ» газ находящийся в порах – равномерно распределенных и закрытых), который имитирует три вида движений молекул газа: конвекцию, направленную в сторону прилегающей выработки; диффузию и взаимодействие со стенками пор (сорбция) в конечном объеме угля глубокозалегающего пласта под нагрузкой, сорбция задается внутренними краевыми условиями и для диффузии и для конвекции, а диффузия и конвекция их суперпозицией задаваемой вероятностью, а это вероятность есть выражение пропорции диффузии к конвекции. Для организации подобного рода эволюционного процесса метод клеточно-автоматного моделирования был дополнен методом Монте-Карло.

Цель и задачи

Цель работы.

Разработка математическое моделирование динамических процессов в газоугольном растворе на основе клеточно-автоматного подхода для реализации серии вычислительных экспериментов по исследованию данных процессов.

Задачи.

1. Разработка математической модели динамических процессов в газоугольном растворе.
2. Разработка нового численного метода и его алгоритмизация на основе применения клеточных автоматов для реализации разработанной математической модели.
3. Разработка итерационной табличной модели на табличном процессоре Excel с применением интегрированного языка приложений VBA и проведение серии вычислительных экспериментов.

Объект, предмет, методы, личный вклад

Объект исследования.

Конечный набор угля как совокупность газоугольного раствора, нарушений сплошности, флюидов и клатроподобных структур.

Предмет исследования.

Закономерности протекания и параметры динамических процессов в конечном объеме угля.

Методы исследования.

Математическое моделирование, имитационное моделирование, алгоритмизация и реализация вычислительного эксперимента.

Личный вклад автора.

Разработка математической модели динамических процессов в газоугольном растворе на основе клеточно-автоматного подхода, а также численного метода реализации разработанной модели, осуществлении алгоритмизации этого численного метода и реализации алгоритма на табличном процессоре Microsoft Excel с применением интегрированного языка Visual Basic for Application (VBA) и реализацией программных Excel-VBA-приложений.

Технология

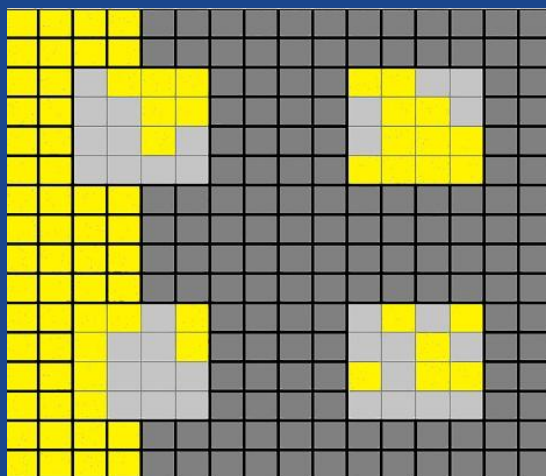
В основе нашего решения лежит клеточно-автоматный подход, на его основе была разработана Математическое моделирование динамических процессов в газозольном растворе, уникальность которой заключается в учете неоднородности среды и многофазного массопереноса, что делает нашу технологию прорывной.

Алгоритм работы

Задается начальное состояние на входе клеточно-автоматной модели, на нечетном и четном шаге модели происходит обмен состояниями, по стохастическому правилу, между клетками в каждом блоке, на которые разбит клеточный массив, в результате серии итераций на выходе модели получаем конечное состояние в виде квазиравномерного распределения флюида по объему угля.

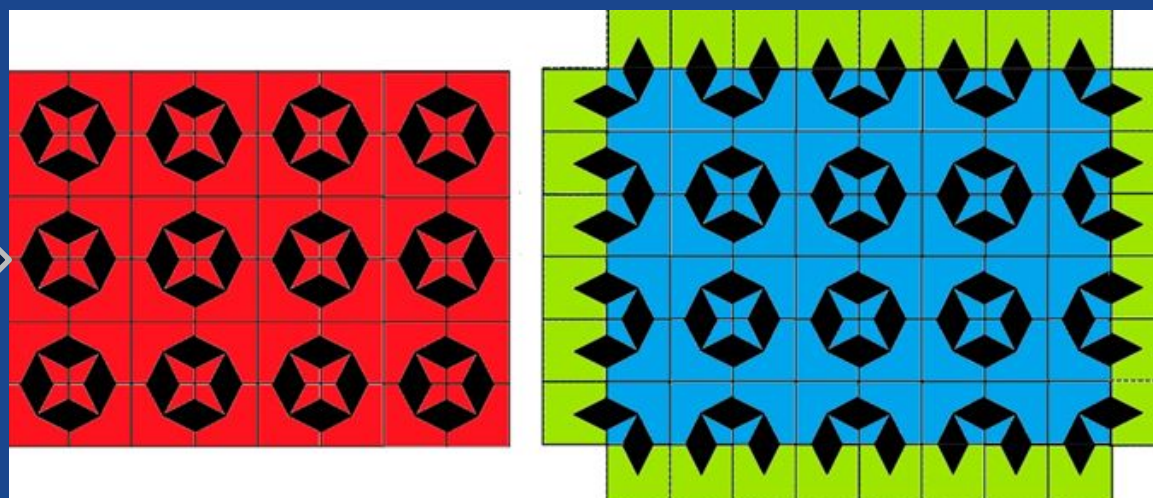
Входные данные

начальное состояние.



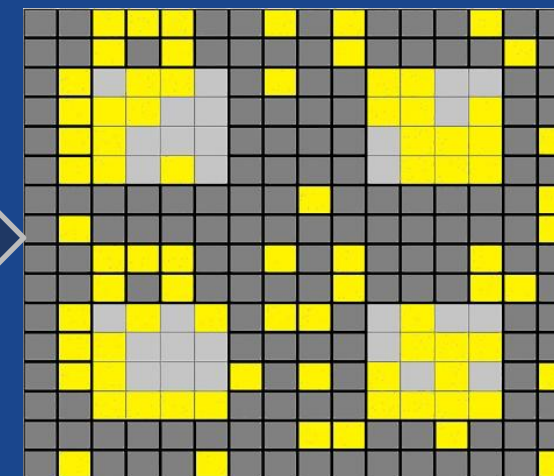
Алгоритм работы

клеточно-автоматной модели на нечетном и четном шаге.



Результаты

финальное состояние.



Наименование работ

1 этап.
1. Разработка математической модели динамических процессов в газугольном растворе с помощью клеточных автоматов.
2. Разработка численного метода, реализующего математическую модель.
3. Разработка алгоритма, реализующего разработанный численный метод.

2 этап
1. Разработка компьютерной модели, реализующая алгоритм.
2. Разработка комплекса программ, реализующего компьютерную модель.
3. Исследование параметров динамических процессов в газугольном растворе на комплексе программ.

Ресурсное обеспечение

Компьютеризованное рабочее место для ресурсоемких вычислений на графическом адаптере NVIDIA Geforce 3090 с CUDA-ядрами обеспечивающие доступ к ресурсам видеокарты.

Сроки

1 этап.
12 месяцев.

2 этап.
13 месяцев.

Итого.
25 месяцев.

Стоимость этапа

1 этап.
200000 руб.

2 этап.
300000 руб.

Итого.
500000 руб.

Вид отчетности

1 этап.
Научно-технический отчет о выполнении НИР (промежуточный).

2 этап.
Научно-технический отчет о выполнении НИР (заключительный)

Заявка на регистрацию прав на РИД.

Бизнес-план.

Дорожная карта.

Прохождение преакселерационной программы.

Ожидаемые результаты

1. Математическая модель движения газа сквозь газугольный раствор из пор и внешней среды, отличающаяся тем, что в ней учитывается динамическая неоднородность среды, заключающаяся в зарождении и исчезновении пор, а также их перемещении в объеме газугольного раствора, с помощью метода задания внутренних краевых условий на основе композиции двух клеточных автоматов над одним клеточным массивом, где первый клеточный автомат задаёт динамику топологии моделируемого объекта зарождение, исчезновение и движение пор, а второй клеточный автомат имитирует течение эволюции внутренних состояний моделируемого объекта движение газа, что позволяет прогнозировать динамику протекания физико-химических процессов протекающих в газугольном растворе.
2. Численный метод расчета поля концентрации по объему, отличающийся учетом проникновения газа из газовой в твердую фазу, внешней среды, что реализуется методом задания внешних краевых условий в виде внешнего контура, с четырьмя режимами работы, два из которых являются режимами обработки краевых клеток: краевые клетки либо не обрабатываются, что симулирует замкнутую систему, либо обрабатываются, что симулирует однородную среду или конечный объем однородной среды, а два других режима - это симуляции либо притока, либо оттока энергии, вещества, информации в открытой системе, а так же различные комбинации этих режимов для симуляции сложных систем, и позволяющий спрогнозировать взрывоопасность с помощью метода иерархичной композиции нескольких клеточных автоматов, число которых зависит от числа масштабных уровней учитывающихся при моделировании объекта исследования, представленный как набор неориентированных клеточных автоматов, где каждый клеточный автомат это слой в клеточно-автоматной сети.
3. Комплекс программ, реализующий разработанный алгоритм вычисления движения газа в газугольном растворе, отличающийся представлением программного кода в виде неориентированной сети конечных автоматов по автоматной парадигме программирования, более эффективной нагрузкой на каждое вычислительное ядро матричного процессора, что обеспечивается модифицированным стохастическим блочно-синхронным методом разбиения клеточного массива, заключающийся в обмене значениями клеток в блоке не по или против часовой стрелки, как с использованием окрестности Марголуса, а по горизонтали и вертикали, что позволяет представить один блок как набор логических полублоков для более плотной вычислительной нагрузки отдельных ядер в матричном процессоре (СБИС, нейроускоритель, графический ускоритель) за один такт, а также визуализацией результатов расчёта в виде клеточно-автоматного представления, и позволяющей вычислять с высокой вычислительной скоростью поле концентрации газа в конечном объеме угля за счет естественной параллельности клеточных автоматов.

Научная новизна

1. Разрабатываемая математическая модель движения газа сквозь газугольный раствор из пор и внешней среды, отличающаяся тем, что в ней учитывается динамическая неоднородность среды, заключающаяся в зарождении и исчезновении пор, а также их перемещении в объеме газугольного раствора, что позволяет прогнозировать динамику протекания физико-химических процессов.
2. Разрабатываемый численный метод и алгоритм расчета поля концентрации газа по конечному объему угля, отличающийся учетом проникновения газа из внешней среды и газовой фазы в твердую фазу дисперсной системы, и позволяющий спрогнозировать газугольный выброс.
3. Разрабатываемый комплекс программ, реализующий разработанный алгоритм вычисления движения газа в газугольном растворе, отличающийся представлением программного кода в виде неориентированной сети конечных автоматов, более эффективной нагрузкой на каждое вычислительное ядро матричного процессора, а также визуализацией результатов расчёта, и позволяющей вычислять с высокой вычислительной скоростью поле концентрации газа в конечном объеме угля.

Практическая значимость

Возможность использования результатов.

1. Для расчётно-экспериментальной оценки вероятности газугольного выброса для неразгруженных угольных пластах глубокого залегания, во избежания выбросов на угледобывающих предприятиях.
2. Для расчётно-экспериментальной оценки фильтрационных свойств угля, при его дроблении, во избежания выбросов на углеобогатительных предприятиях.
3. Для расчётно-экспериментальной оценки газофильтрационных свойств неразгруженных угольных пластах глубокого залегания, при проведении работ по их дегазации на горнодобывающих предприятиях.
4. Для расчётно-экспериментальной оценки газофильтрационных свойств угля, при проведении работ по его дегазации на углеобогатительных предприятиях.

Экономическая эффективность

Меры по прогнозированию аварийных ситуаций, приводящих к простоям на производстве, недополученная прибыль, день простоя на шахте 10 - 20 миллионов, и снижения вероятности их возникновения путем проведения более эффективной дегазации.

Партнеры

Проведение исследований по теме диссертационной работы, а также выполнение работ в рамках целевого использования средств гранта конкурса «УМНИК-Сбербанк» Фонда содействия инновациям, реализованного совместно с ПАО «Сбербанк», на лабораторной базе Сибирского государственного индустриального университета.

Преимущества клеточных автоматов

Дискретность — учет неоднородности среды и отсутствие ошибки дискретизации.

Композиция — учет многофазного массопереноса, модульность, мультифизичность.

Параллельность — параллельные вычисления и учет самоорганизации, эмерджентности, синергии.

Аналоги

Метод конечных разностей - не учитывают неоднородность среды.

Метод подвижных клеточных автоматов - не учитывает многофазный массоперенос.

Оба метода применяется в отечественных и иностранных проектных организациях для инженерных расчетов в различных отраслях.

Цель участия в Конкурсе

Получить опыт публичного выступления.

Получение сертификата для портфолио.

Прохождение преакселерационной программы.

Математическое моделирование динамических
процессов в газугольном растворе на основе клеточно-
автоматного подхода

Немцев Александр Юльевич

Сибирский государственный индустриальный
университет

Новокузнецк

Телефон: +79609231005

Email: alexg02r02l@gmail.com

**БЛАГОДАРЮ ЗА
ВНИМАНИЕ!**