

А.В. ЛОГВИН, ас., СГУ, Суммы,
М.М. Аль-РАММАХИ, асп., СГУ, Суммы

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ФИЛЬТРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ИНЕРЦИОННО-ФИЛЬТРУЮЩЕГО СЕПАРАТОРА С ПОМОЩЬЮ ТЕОРИИ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

В работе представлены основные подходы к моделированию пористой среды. Рассмотрен подход моделирования при помощи теории клеточных автоматов. Даны основные требования, которые предъявляются при моделировании и получен программный продукт, который моделирует структуру с заданными свойствами.

Ключевые слова: клеточный автомат, структура, пористость.

Использование пористых сред в строительной промышленности приобретает все большее распространение ввиду их хороших теплоизоляционных и конструкционных свойств. Моделирование структуры пористой среды при помощи теории клеточных автоматов позволяет создать объект с заданными свойствами, что существенно сокращает работу исследователя при проведении физических экспериментов. Также пористые среды активно используются в газосепарационной технике в виде фильтрующих элементов. Примером такого оборудования являются ИФ сепараторы. Участок фильтрования в них еще малоизучен и поэтому необходимо разработать алгоритм моделирования структуры фильтрующего элемента.

Ввиду особенности конструкции ИФ элемента [1] основным сепарационным пространством является криволинейный канал, на исследование которого направлены последние публикации авторов [2, 3, 4]. Таким образом для завершения создания описания гидродинамики элемента нужно рассмотреть движение газового потока в фильтре, что сдерживается из-за отсутствия методики моделирования пористой среды.

Пористые среды активно изучались уже с середины прошлого века. Но вначале пористая среда рассматривалась как целостное вещество с набором характеристик (коэффициент пористости и проницаемости для газов и жидкостей), и все расчеты обычно сводились к применению закона Дарси, связывающего эти два параметра.

© А.В. Логвин, М.М. Аль-Раммахи, 2012

При появлении возможности применения численных методов дифференциальные уравнения в частных производных стали решать с помощью ПК [5], так как они способны моделировать протекание жидкости по каналам пор.

Однако, возможности этих моделей ограничиваются простейшими случаями по причине построения пористой среды – это еще одна непростая задача. Пористую среду представляют как набор геометрических фигур (шаров, треугольников, волокон), но такая аппроксимация обычно слишком груба, особенно когда исследуются мягкие пористые материалы. Во-вторых, течение жидкости моделируется нелинейным уравнением Навье-Стокса, решение которого со сложными граничными условиями чрезвычайно сложно. Способ преодоления этих трудностей, называемый "вычислением по картинке" предложен в [6].

Нашей же задачей является применение метода клеточных автоматов для моделирования течения жидкости (газа) в фильтре ИФ элемента. После построения морфологии пористой среды в программе получен массив с ячейками заполненными значениями «1» (черная клетка) и «0» (белая клетка). Подбирая устойчивую модель можно получить среду с заданными свойствами.

Для моделирования потока жидкости используется известная КА-гидродинамическая FHP модель [7] со специальными функциями переходов на границах пор. Поток представлен абстрактными частицами, движущимися и сталкивающимися в дискретном гексагональном пространстве.

Соответственно множеством имен является множество координат центров гексагонов M_p . В программной реализации используется одно из простейших отображений гексагональной решетки на прямоугольную. Оно отображает центры гексагонов на клетки, расположенные в шахматном порядке таким образом, чтобы каждый гексагон соответствовал паре соседних клеток прямоугольной решетки (рис.1). Модельное расстояние между центрами таких гексагонов принимается за $\kappa = 1$. В клетке может одновременно находиться не более шести частиц. Частица имеет массу $m = 1$ и снабжена вектором скорости, направленным в сторону одного из соседей. Двух частиц, движущихся в одинаковом направлении, в одной и той же клетке быть не может. Формально, состояние клетки выражается шестибитным булевым вектором, в котором $\kappa = 1$ означает, что клетка содержит частицу, движущуюся в направлении κ -го соседа со скоростью равной 1. Если скорость равна 0, то такая

частица отсутствует. Таким образом, алфавит КА состоит из булевых векторов. Множество клеток подразделено на четырех подмножества: клетки пор, клетки источника, клетки стенок пор и клетки стока. Подстановка для всех типов клеток одинакова. Она выполняет перемещение каждой частицы в ту соседнюю клетку, на которую указывает вектор ее скорости.

Подстановка моделирует столкновения частиц в клетке. Правила столкновения для клеток разного типа различны. Функции перехода, которая задается таблицей. Некоторые аргументы функции перехода имеют по два равновероятных исхода (рис. 1).

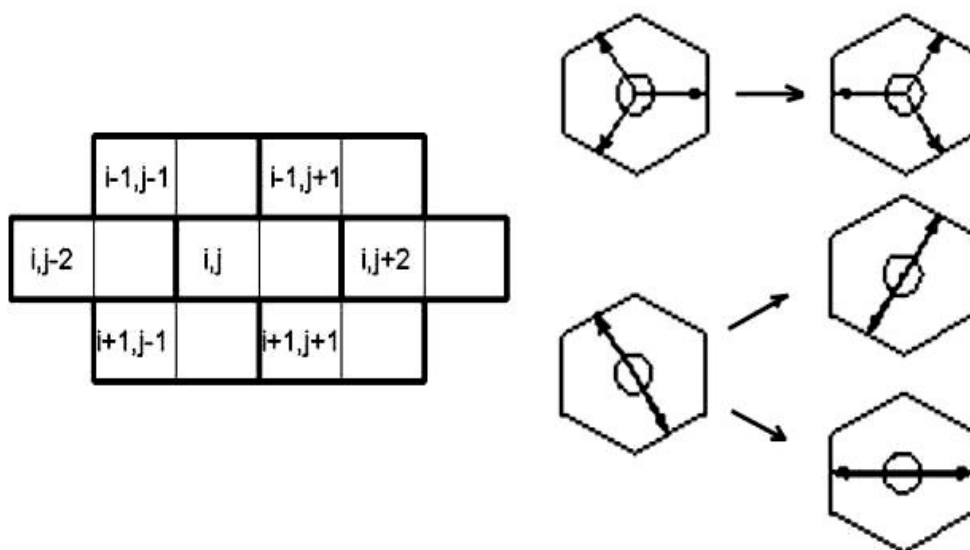


Рис. 1 – Графическое представление отображения гексагональной решетки на прямоугольную

Примером использования пористых материалов может служить полипропиленовая иглопробивная ткань, которая служит для улавливания капель жидкости в ИФ газосепараторе.

Размеры исследуемого образца пористого углерода, из которого сделан катод равны 10 x 50 мм средний диаметр каналов пор равен 15 мкм.

1) Основываясь на среднем диаметре каналов пор равном 15 мкм и известном из методологии моделирования пористых сред [4] соотношении, которое предписывает модельным диаметрам каналов быть равными нескольким десяткам клеток, выбираем масштаб длины $h = 0, 2$ мкм.

2) Исходя из заданных размеров образца и величины h получаем размеры КА: 50000 x 250000 клеток.

Для отладки и тестирования предложенного метода на персональном компьютере и наблюдения его динамики в процессе моделирования был вы-

бран фрагмент размером 400×400 клеток, который почти в 700 раз меньше реального образца. Морфология пористой среды строилась помощью КА типа "разделения фаз". Начальная глобальная конфигурация $0(0)$ составлялась случайным распределением единиц и нулей при средней плотности $p(0) = 0,5$. В результате получена пористая среда, которая представлена на рисунке 2.

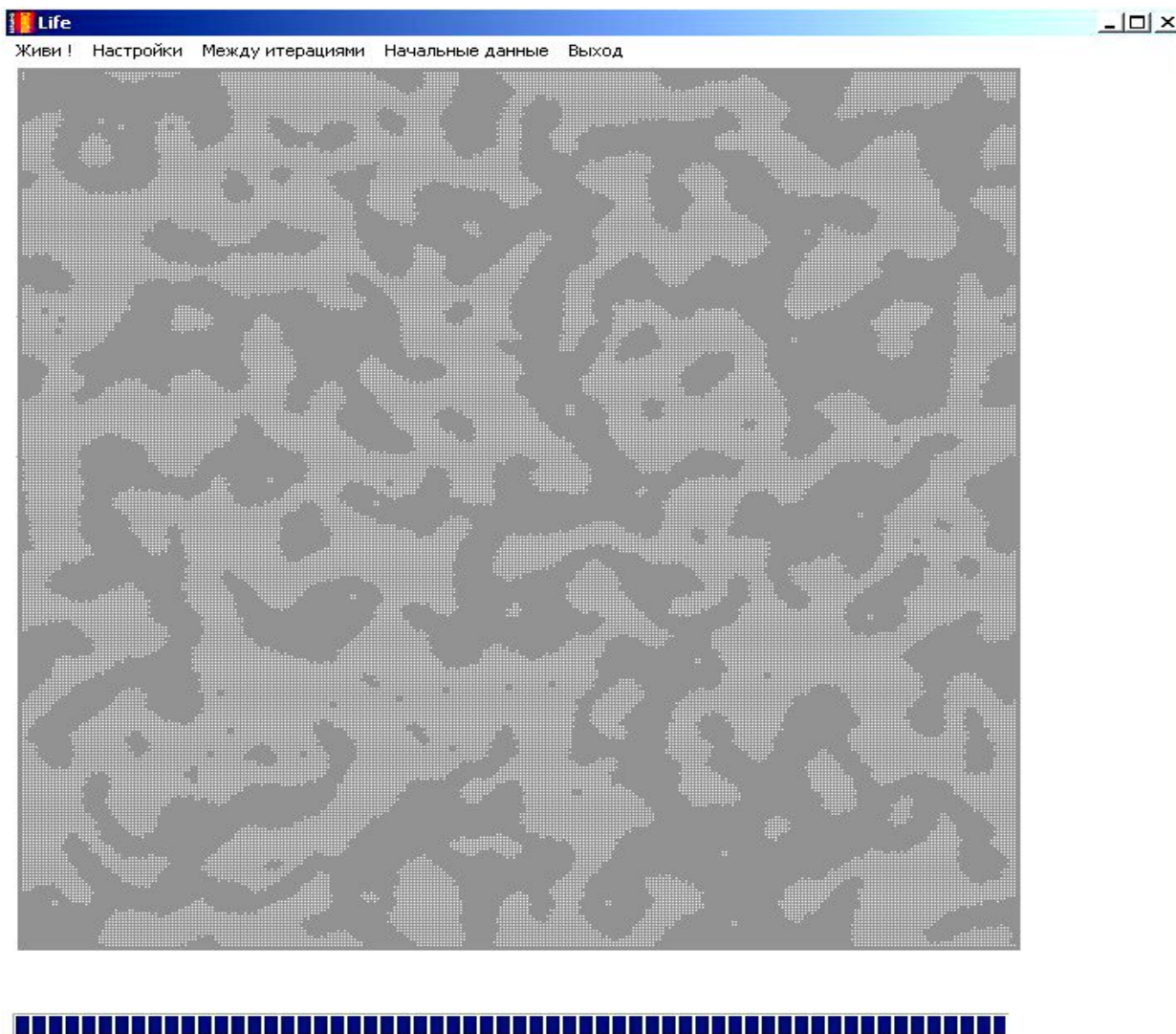


Рис. 2 – Результат работы программного комплекса для моделирования структуры фильтра

Представленный метод определения характеристик пористой среды путем моделирования состояния отдельных клеток. Метод дан в двумерном приближении так как движение считается плоским, но возможно расширение метода до трехмерных образцов. При пропускании среды через пористую среду возможно увидеть наиболее нагруженные участки фильтра и опти-

мально скорректировать его форму, что позволит повысить эффективность работы сепаратора и понизит его гидравлическое сопротивление.

Список литературы: 1. *Склабинский В.И.* Гидродинамические особенности движения двухфазных потоков в инерционно-фильтрующих сепараторах. / *В.И. Склабинский, А.А. Ляпощенко, А.В. Логвин* // *Вестник СумГУ*. – 2009. – № 1 – С. 79 – 83. 2. *Логвин А.В.* Расчет начального участка инерционного фильтрующего газосепарационного элемента при помощи теории клеточных автоматов / *А.В. Логвин, М. Аль-Раммахи М* // *Вестник СумГУ*. – 2011. – № 4. – С. 73 – 76. 3. Аль-Раммахи М. / Фізична модель руху газокраплинних потоків сепараційними каналами та фільтруючими секціями інерційно-фільтруючих газосепараторів / *М. Аль-Раммахи, А.В. Логвин, О.О. Ляпощенко* // *Нафтогазова енергетика*. – 2011. – № 2. С. 5 – 7. 4. *Логвин А.В.* Отримання початкових даних для математичного моделювання газодинаміки газового потоку в каналі іф сепаратора: [Електронний ресурс] / *А.В. Логвин, М. Аль-Раммахи, В.І. Склабинський* // *Інноваційний потенціал української науки – XXI сторіччя: 14 Всеукр. наук.-практ. конф., 12-20 груд. 2011 р.: збірник тез.* – Режим доступу: <http://nauka.zinet.info/14/logvin.php> 5. *Sahimi M.* Flow phenomena in rocks: from continuum models to fractals, percolation, cellular automata and simulated annealing / *M. Sahimi* // *Rev. in Modern Physics*. – 1993. – Vol. 65, № 4. – P. 1393 – 1533. 6. *Garboczi E.J.* Modeling And Measuring the Structure And Properties of Cement-Based Materials [An electronic monograph] / [*E.J. Garboczi, D.P. Bentz, K.A. Snyder et al.*]: <http://ciks.cbt.nist.gov/garbocz/appendix2/node8.html>. 7. *Rothman D.H.* Lattice-Gas Cellular Automata. Simple Models of Complex Hydrodynamics / *D.H. Rothman, S. Zaleski*. – Cambridge: Univ. Press, 1997. – 302 p.

Поступила в редколлегию 10.11.12

УДК 66.074.1 : 547.912

Моделирование структуры фильтрующего элемента инерционно-фильтрующего сепаратора с помощью теории клеточных автоматов / А.В. ЛОГВИН, М.М. АЛЬ-РАММАХИ // *Вісник НТУ «ХП»*. – 2012. – № 63 (969). – (Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія). – С. 159 – 163. – Бібліогр.: 7 назв.

В роботі представлені основні підходи до моделювання пористого середовища. Розглянутий підхід моделювання за допомогою теорії кліткових. Видані основні вимоги, які необхідні при моделювання та отриманий програмний продукт, який моделює структуру із необхідними властивостями.

Ключові слова: клітковий автомат, структура, пористість.

The paper presents the main approaches to the modeling of porous media, The approach of modeling using the theory of cellular automata. Given the basic requirements that apply in the simulation and obtained the software which simulates the structure with desired properties.

Keywords: cellular automata, structure, porosity.