УДК 66.022.63

РАСЧЕТ НАЧАЛЬНОГО УЧАСТКА ИНЕРЦИОННОГО ФИЛЬТРУЮЩЕГО ГАЗОСЕПАРАЦИОННОГО ЭЛЕМЕНТА ПРИ ПОМОЩИ ТЕОРИИ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ

А. В. Логвин, *ассистент;*
Мустафа Макки Аль-Раммахи Мохаммед Али, *аспирант,*
Сумский государственный университет, г. Сумы

Рассмотрено применение теории клеточных автоматов для моделирования движения газового потока на прямолинейных участках ИФ сепарационного элемента. Получена математическая модель для расчета скорости газа. Проведено сравнение теоретически рассчитанных и экспериментальных значений.

Ключевые слова: *клеточный автомат, газосепарация, скорость, газ.*

Розглянуто застосування теорії кліткових автоматів для моделювання руху газового потоку на прямолінійних ділянках ІФ сепараційного елемента. Отримана математична модель для розрахунку швидкості газу. Проведено зіставлення теоретично розрахованих та експериментальних значень.

Ключові слова: *кліткoвий автомат, газосепарація, швидкість, газ.*

ВВЕДЕНИЕ

Клеточные автоматы как метод исследования сплошных сред известны с середины двадцатого века, однако сейчас снова возник интерес к использованию этой теории. Как правило, её использовали как универсальную вычислительную среду для решения классических уравнений математической физики [1]. В предлагаемой работе делается попытка использования клеточных автоматов для моделирования гидромеханических процессов в газосепарационном оборудовании. Но в отличие от классических взглядов здесь не используются дифференциальные уравнения гидродинамики. Основные расчетные зависимости базируются на фундаментальных зависимостях механики.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Клеточный автомат является дискретной динамической системой и состоит из набора элементов (клеток), функционирующих в дискретном времени. Каждый элемент клеточного автомата имеет некоторые внутренние состояния в конкретный момент времени. Он воспринимает входные сигналы и вырабатывает выходные. Основной особенностью клеточного автомата является то, что его поведение полностью определяется локальными взаимодействиями его элементов.

Рассматривая работу отдельного элемента в определениях теории конечных автоматов [2], необходимо отметить следующее. В каждый момент дискретного времени t_j элемент находится в одном из возможных состояний $z[t_j]$. В следующий момент времени на элемент поступают входные сигналы, которые изменяют его состояние в соответствии с некоторой функцией перехода (1).

При моделировании процессов в сплошных средах принимается, что каждый элемент (автомат) связан своими входами с выходами соседних элементов. Выходной сигнал каждого элемента является тождественным его состоянию и рассматривается как входной сигнал для автомата-соседа:

$$z(t_{j+1}) = \varphi\left[z(t_j), \bar{x}(t_{j+1})\right], \tag{1}$$

где $\overline{x}(t_{j+1})$ - вектор входных сигналов в момент времени t_{j+1}.

Для моделирования работы ИФ газосепарационного элемента расчет узла входа в криволинейный канал является частью алгоритма определения геометрических размером газосепаратора в целом. От длины прямолинейного участка зависит равномерность распределения скоростей по поперечному сечению канала.

Рассмотрим возможность применения клеточно-автоматной модели для исследования двухмерного процесса течения вязкой несжимаемой жидкости под действием давления. Примем следующие допущения. Будем считать, что существует только одна составляющая скорости - вдоль оси x, т.е. течение плоскопараллельное.

В качестве параметра состояния элементов целесообразно взять скорость. Разобьем пространство на элементы размером Δx и Δy. Будем считать, что каждый элемент имеет массу m, а его поведение описывается законом Ньютона для вязкой среды:

$$\tau = \mu \frac{d\varepsilon}{dt}, \tag{2}$$

где τ - касательное напряжение; μ - коэффициент динамической вязкости; ε - относительная деформация; t - время.

Уравнение равновесия для каждого элемента будет иметь вид

$$\sum F = ma = F_{\text{р}} - F_{\text{тр}}, \tag{3}$$

где a – ускорение; F_p – силы давления; $F_{\text{тр}}$ – силы вязкостного трения.

В то же время

$$F_p = \Delta P \cdot \Delta y \cdot h, \tag{4}$$

где ΔP - разность давления; h - толщина элемента.

$$F_{\text{тр}} = \tau \Delta x \cdot h. \tag{5}$$

Выделим элементарную частицу с индексами i, j в некоторый момент времени g, тогда сила давления будет равна

$$F\rho(g) = \left[P_{i,j}(g) - P_{i+1,j}(g)\right]\Delta y \cdot h, . \tag{6}$$

Касательное напряжение, приняв деформацию элементов *и* незначительной по сравнению с линейными размерами и используя закон (2), можно вычислить так:

$$\tau(g) = -\frac{\mu}{\Delta y}\left[v_{i,j+1}(g) - 2v_{i,j}(g) + v_{i,j-1}(g)\right], \tag{7}$$

Исходя из таких же соображений, можно найти выражение для силы трения. Подставив все найденные величины в уравнение 3, получим уравнение равновесия

$$m \cdot a_{i,j}(g) = \left[P_{i,j}(g) - P_{i+1,j}(g)\right] \cdot \Delta y h + \frac{\mu \Delta x h}{\Delta y} \cdot \left[v_{i,j+1}(g) - 2v_{i,j}(g) + v_{i,j-1}(g)\right]. \tag{8}$$

Массу можно выразить через произведение объема на плотность, а ускорение - как разницу скоростей за единицу времени:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot h \tag{9}$$

$$a_{i,j}(g) = \frac{v_{i,j}(g+1) - v_{i,j}(g)}{\Delta \tau}. \tag{10}$$

Перепишем вышеизложенные уравнения с учетом изменений:

$$\rho \frac{v_{i,j}(g+1) - v_{i,j}(g)}{\Delta t} = \left[\frac{P_{i,j}(g) - P_{i+1,j}(g)}{\Delta x}\right] + \mu \left[\frac{v_{i,j+1}(g) - 2v_{i,j}(g) + v_{i,j-1}(g)}{\Delta y^2}\right]. \tag{11}$$

Уравнение (11) является правилом перехода, позволяющим на каждом шаге времени определять новое состояние (скорость) каждого элемента.

Рассмотрим процесс движения вязкой несжимаемой жидкости между двумя параллельными неподвижными стенками бесконечно длинного канала. Расстояние между стенками примем равным h. Пусть жидкость до момента времени находится под действием постоянного давления, а в момент времени возникает градиент давления, равный P.

Разобьем моделируемое пространство на конечное число элементов. Функция переходов для внутренних элементов запишется так:

$$v_{i,j}(g+1) = v_{i,j}(g) - \frac{\Delta t}{\rho}\left[\frac{P}{\Delta x} + \mu\left(\frac{v_{i,j+1}(g) - 2v_{i,j}(g) + v_{i,j-1}(g)}{\Delta y^2}\right)\right]. \tag{12}$$

Для элементов, которые соприкасаются со стенками при j=1 и j=n:

$$v_{i,1}(g+1) = v_{i,1}(g) - \frac{\Delta t}{\rho}\left[\frac{P}{\Delta x} + \mu\left(\frac{v_{i,2}(g) - 2v_{i,2}(g)}{\Delta y^2}\right)\right], \tag{13}$$

$$v_{i,n}(g+1) = v_{i,n}(g) - \frac{\Delta t}{\rho}\left[\frac{P}{\Delta x} + \mu\left(\frac{v_{i,n-1}(k) - 2v_{i,n}(g)}{\Delta y^2}\right)\right]. \tag{14}$$

Учитывая все вышеизложенное получен массив функций перехода для всех клеток, который позволяет произвести моделирование процесса движения вязкой жидкости во времени в прямолинейном канале сепарационного элемента.

Результаты моделирования процесса приведены на рис. 1. В качестве исходных данных были взяты физические параметры газа при 20°С. Расстояние между стенками принято равным 0,1 м, перепад давления – 230 Па. Пространство было разбито на элементы размером 1х1 мм, шаг дискретного времени составлял 0,001 с, расход газа Q=0,306 м^3/с.

Рисунок 1 иллюстрирует профиль скорости для момента времени 0,008 секунд. Следует отметить, что результаты моделирования хорошо совпадают с проведенными экспериментальными исследованиями на стенде.

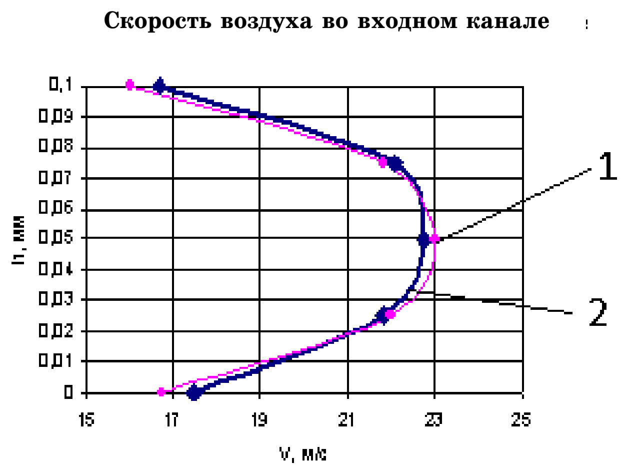

Рисунок 1 – Результаты моделирования процесса движения вязкой жидкости:
1 - расчетные данные; 2 – экспериментальные данные

ВЫВОДЫ

Полученная методика определения длины прямолинейного канала для равномерного распределения скоростей по сечению канала позволяет рассчитывать узел входа в криволинейные газосепарационные каналы ИФ газосепаратора.

SUMMARY

THE CALCULATIONS OF THE INITIAL PART OF THE INERTIAL FILTERING ELEMENT ON THE BASIS OF GAZ SEPARATION THEORY OF CELLULAR AUTOMATA

Logvyn A. V., Al-Rammahi M. M.,
Sumy State University, Sumy

The application of cellular automata for modeling gas flow movement on the straight-line sections of separation of IF element is examined. The mathematical model for gas flow rate calculation is done. The comparison of theoretically calculated and experimentally got values is carried out.

Key words: *cellular automata, gas separation, gas flow, rate.*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тоффоли Т., Марголус Н. Машины клеточных автоматов: пер. с англ. - М.: Мир, 1991. - 280 с.
2. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. - М.: Наука, 1978. - 240 с.
3. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука, 1987. - 840 с.

Поступила в редакцию 2 декабря 2011 г.