



ности были получены следующие результаты: для источника №91 максимальная концентрация равна $0,4 \text{ мг/м}^3$, для источника № 92 – $0,114 \text{ мг/м}^3$.

Очевидно, что загрязнения двух точечных источников более опасно, чем действие каждого источника в отдельности. Максимальная концентрация аммиака при загрязнении атмосферного воздуха постоянно действующими источниками достигается на расстоянии 600 м от источников.

В результате рассмотренного выше разрушения хранилища в газообразным аммиаком получено, что концентрация аммиака равная $0,531 \text{ мг/м}^3$ достигается на расстоянии 141 км, а на расстоянии 600 м от источника аварии концентрация составляет 41460 мг/м^3 . На расстоянии 141 км от постоянно действующих точечных источников загрязнения концентрация аммиака составит $7,172 \cdot 10^{-4} \text{ мг/м}^3$. В связи с этим очевидно, что авария только на одном хранилище аммиака значительно опаснее, чем выбросы постоянно действующих источников загрязнения атмосферы.

Библиографические ссылки

1. Горский В.Г., Моткин Г.А., Петрунин В.А., Терещенко Т.Ф., Шаталов А.А., Швецова-Шиловская Т.Н. Научно-методические аспекты анализа аварийного риска. – М.: Экономика и информатика, 2002. – 260с.
2. РД-03-26-2007. Методические указания по оценке последствий аварийных выбросов опасных веществ. Сер. 27. Декларирование промышленной безопасности и оценка риска. Вып. 6. /Кол. авт.- М.: НТЦ "Промышленная безопасность", 2008. – 94с.
3. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий: Общесоюзный нормативный документ (ОНД-86). – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 93 с.
4. Агапов А.А., Лазукина И.О., Марухленко А.Л. и другие. Использование программного комплекса ТОКСИ+^{Risk} для оценки пожарного риска / Безопасность труда в промышленности, №1, 2010.– с.44-50.

УДК 519.713.5:504.3.054

А.Н. Кудряшов, С.П. Дударов

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

КЛЕТОЧНЫЙ АВТОМАТ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИЙНОГО ВЫБРОСА

The mathematical apparatus for modeling the processes of pollutant impurity in the result of accidental emission developed basing on the theory cellular automatons is in the paper. Common calculating equations and cellular automaton rules are suggested. The example of calcu-



lation of impurity concentration in a cell is given. The example of working software, in which developed mathematical apparatus is realized, is shown.

В работе рассмотрен математический аппарат моделирования процессов распространения примеси загрязняющего вещества в результате аварийного выброса, разработанный на основе теории клеточных автоматов. Приведены основные расчетные соотношения и правила клеточного автомата. Дан пример расчета концентрации примеси в ячейке. Показан пример работы программного приложения, реализующего разработанный математический аппарат.

В настоящее время большое внимание уделяется проблеме неблагоприятной экологической обстановки в городах – промышленных центрах, что обусловлено повышением объемов вредных выбросов в атмосферу. Основные причины этого – износ производственного оборудования, несовершенство технологического регламента, человеческий фактор, приводящие зачастую к химическим авариям, происходящим регулярно, или превышению уровней предельно допустимых выбросов. В результате в атмосфере городов – промышленных центров зачастую наблюдаются концентрации вредных примесей, угрожающие здоровью населения.

Основная цель работы – исследовать возможности клеточных автоматов для решения задач прогнозирования состояния атмосферы при постоянных и переменных метеоусловиях.

Клеточный автомат – дискретная динамическая система, представляющая собой совокупность одинаковых клеток, одинаково соединенных между собой. Все клетки образуют так называемую решетку клеточного автомата. Каждая клетка – это конечный автомат, состояние которого определяется состояниями соседних клеток и, возможно, ее собственным.

Процесс распространения загрязнителя в атмосфере – это процесс рассеивания и смешивания его частиц с частицами воздуха. На ход этого процесса существенное влияние оказывают собственные движения воздушных масс, то есть ветра. В одной и той же местности они дуют в различных направлениях с определенной частотой. Частицы загрязнителя попадают от первоначального источника в соседние области. Затем из областей, непосредственно примыкающих к источнику, распространяются уже в их окрестностях, и так далее. Сам характер этого процесса указывает на то, что для моделирования рассеивания загрязнителя в атмосфере можно использовать подход, основанный на идеологии клеточных автоматов. В этом случае исследуемый участок представляется в виде клеточного поля. Каждая ячейка пространства характеризуется концентрацией загрязняющего вещества.

Пусть в начальный момент времени отсутствует перенос загрязняющего вещества под влиянием метеорологических факторов (условие штиля). Кроме того, для каждой ячейки должно быть определено поле влияния окружающих ячеек (\vec{W}), учитывающее условия внешней среды (метеорологические параметры, тип подстилающей поверхности и другие). Тогда в условиях однородной подстилающей поверхности поле влияния должно быть одинаковым для всех ячеек окружения ($W_i = const, \forall i = \overline{0, 8}$). Таким образом, описывая базовую ячейку и ячейки ее окружения парой переменных C_i/W_i (C_i – концентрация примеси в i -ой ячейке) и принимая, что должно вы-



полняться условие нормированного поля влияния: $\sum_{i=0}^8 W_i = 1$, получим для условия штиля следующую ячеечно-графическую схему (рис. 1).

$\frac{C_1(\tau)}{1/9}$	$\frac{C_2(\tau)}{1/9}$	$\frac{C_3(\tau)}{1/9}$
$\frac{C_4(\tau)}{1/9}$	$\frac{C_0(\tau)}{1/9}$	$\frac{C_5(\tau)}{1/9}$
$\frac{C_6(\tau)}{1/9}$	$\frac{C_7(\tau)}{1/9}$	$\frac{C_8(\tau)}{1/9}$

Рис. 1. Ячеечно-графическая схема клеточного автомата в условиях штиля

Основное правило клеточного автомата для расчета концентрации загрязняющего вещества на следующий дискретный момент времени сформируем следующим образом:

$$C_0(\tau + 1) = \varphi \sum_{i=0}^8 W_i C_i(\tau), \quad (1)$$

где φ – параметр, учитывающий убывание загрязняющего вещества в приземном слое за счет вертикальной инверсии воздушных масс.

При моделировании процесса переноса примеси загрязняющего вещества с помощью клеточного автомата следует постоянно контролировать сохранение общего количества загрязнения во всех ячейках пространства:

$$\frac{1}{\varphi} \sum_{j=1}^K C_j(\tau + 1) = \sum_{j=1}^K C_j(\tau), \quad (2)$$

где K – количество рассматриваемых ячеек пространства, j – индекс ячейки пространства.

$\frac{C_1(\tau)}{0,136}$	$\frac{C_2(\tau)}{0,161}$	$\frac{C_3(\tau)}{0,136}$
$\frac{C_4(\tau)}{0,094}$	$\frac{C_0(\tau)}{0,094}$	$\frac{C_5(\tau)}{0,094}$
$\frac{C_6(\tau)}{0,094}$	$\frac{C_7(\tau)}{0,094}$	$\frac{C_8(\tau)}{0,094}$

Рис. 2. Ячеечно-графическая схема клеточного автомата при метеоусловиях, отличных от штиля

Продemonстрируем работу клеточного автомата для схемы (рис. 1) при отклонении метеорологических параметров от условий штиля. Для этого зададимся условными значениями концентраций: $C_1(\tau) = C_2(\tau) = 2$; $C_0(\tau) = C_3(\tau) = C_4(\tau) = C_5(\tau) = C_6(\tau) = 1$; $C_7(\tau) = C_8(\tau) = 0$, северным направ-



лением и отличной от нуля скоростью ветра (U). В этих условиях значения элементов поля влияния изменяются по соотношению (3):

$$W_i(\tau + 1) = W_i(\tau) + \Delta W_i(\tau + 1), \quad (3)$$

где поправки элементов вектора поля влияния определяется по соотношению (4):

$$\Delta W_i(\tau + 1) = s_i \cdot q_i \cdot Q, \quad (4)$$

где s_i – параметр, учитывающий взаимное расположение элемента поля влияния и базовой ячейки (принимает значение +1, если базовая ячейка находится с подветренной стороны к элементу, и –1, если она находится с наветренной стороны к нему); q_i – параметр, учитывающий долю переносимого вещества между влияющей и базовой ячейками за счет скорости ветра, причем чем выше скорость ветра, тем больше величина параметра q_i .

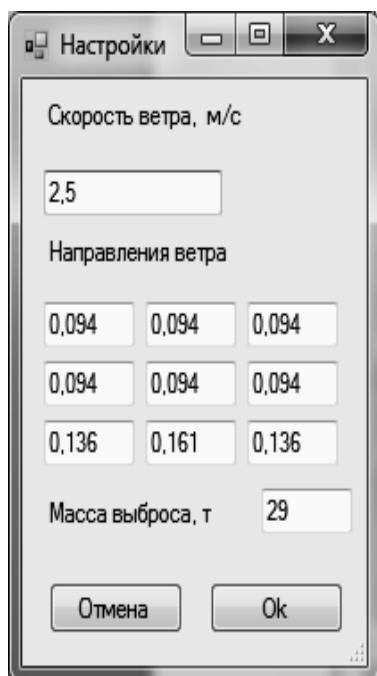


Рис. 3. Форма ввода исходных данных

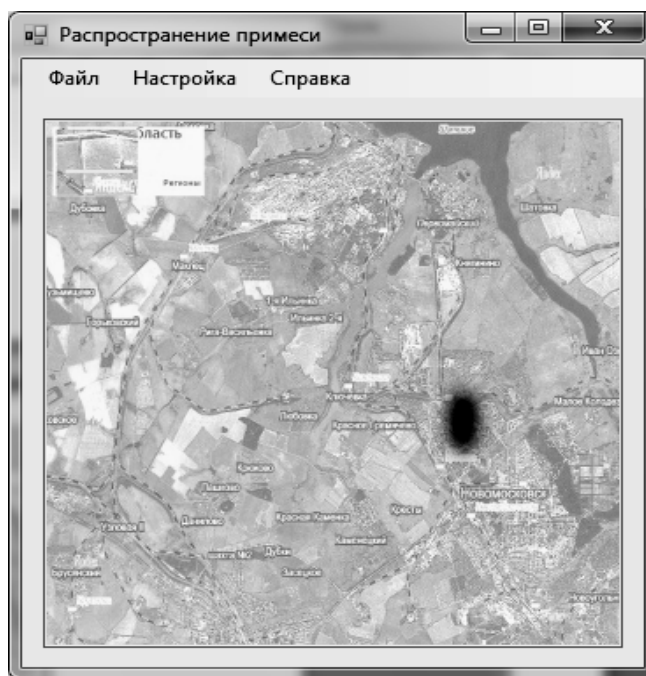


Рис. 4. Результаты моделирования процесса распространения примеси

В общем случае q_i представляет собой определенную долю суммарного количества переносимого вещества в момент времени τ ; Q – суммарное количество переносимого вещества при рассмотрении базовой ячейки. Для соблюдения условия нормированного поля влияния требуется проверять выполнение соотношения:

$$\sum_{i=0}^8 \Delta W_i(\tau + 1) = 0. \quad (5)$$

В рассматриваемом примере выбрано следующее правило клеточно-автомата для учета влияния метеоусловий: параметр q_i для элемента влияния, соответствующего активному направлению ветра, принимается рав-



ным $1/2$, для элементов, смежных с ним, – по $1/4$, для шести элементов, находящихся с подветренной стороны, – по $1/6$.

Принимая $Q = 0,1$ и учитывая вышеизложенные правила и расчетные соотношения (1), (3), (4), получим ячеечно-графическую схему клеточного автомата в условиях изменившихся метеопараметров через минимальный интервал времени $\Delta\tau$.

Новое значение концентраций в базовой ячейке составит $C_0(\tau + 1) = 1,098$.

Предложенный клеточный автомат реализован в виде программного приложения на языке C#. Пример работы программы продемонстрирован на рис. 3, 4. Показаны исходные данные (рис. 3) и результаты моделирования процесса распространения примеси загрязняющего вещества (рис. 4) в результате гипотетического аварийного выброса на территории Новомосковской акционерной компании «Азот».

Развитие предложенного математического аппарата и программного обеспечения будет связано с внесением изменений в правила клеточного автомата для учета неоднородности подстилающей поверхности, определенного сценария изменения метеопараметров, настройкой параметров клеточного автомата для различных условий внешней среды, а также с возможностью моделирования загрязнения воздуха источниками различных типов.

УДК 519.68:544.65

В.А. Василенко, А.С. Князева, Э.М. Кольцова

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ

A mathematical model of DMFC is developed. It taking into account electrochemical and convection processes in polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC). Electrodes voltage-current curves, expressions for the profiles of proton concentration across membrane thickness and time are obtained. Values of proton diffusion coefficients, convection rate and electrochemical reactions constants are derived thanks to model.

Представлена математическая модель, учитывающая электрохимические и конвективные процессы, протекающие в ионно-обменной мембране топливного элемента с прямой подачей метанола. Получены зависимости для определения концентрации протонов по толщине мембраны и во времени, вольт-амперных характеристик электродов и поляризационных кривых. Получены значения коэффициентов диффузии протонов, скорости конвективного переноса и константы электрохимических реакций, протекающих на электродах.

В настоящее время технология на основе топливных элементов является перспективным направлением малой энергетики. Экологически чистое и эффективное производство электроэнергии привлекает все больше