

УДК 533.6.011

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗОВОЗДУШНОГО ПОТОКА СКВОЗЬ РЕШЕТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ (ЭЛЕКТРОДОВ)

Дементьев А.А., г. Санкт-Петербург, ООО НПФ «Интэкос»,

*Сороко О.Л., г. Минск РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук
Беларуси по продовольствию»,*

Дук А.А., г. Глубокое ОАО «Глубокский мясокомбинат»

Крупномасштабное воздействие промышленного производства на среду обитания человека создает проблему защиты атмосферы от токсичных выбросов.

Традиционные способы обезвреживания и очистки газоздушных потоков от токсичных веществ (сорбционные и окислительные) не всегда решают проблему в силу различных объективных и субъективных причин, поэтому научный поиск разработки современных технологий по обезвреживанию вентвыбросов от токсичных газобразных веществ является актуальным.

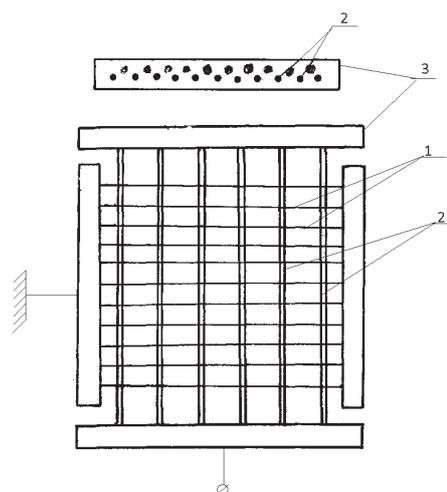
На наш взгляд одним из перспективных направлений в разработках нетрадиционных технологий в области защиты атмосферного воздуха являются исследования элементарных процессов (нанопроцессов) протекающих в низкотемпературной плазме. Для возбуждения низкотемпературной плазмы (НТП) могут применяться различные виды газового разряда. Поскольку процесс должен протекать при атмосферном давлении наиболее приемлемым оказывается барьерный разряд звуковой частоты (БРЗЧ) [1–2].

НТП БРЗЧ является неравновесной плазмой химической системой, в которой наличие «активных центров» (возбужденные атомы и молекулы, жесткое УФ-излучение и т. д.) стимулируют химические процессы невозможные при обычных условиях.

Для возбуждения НТП БРЗЧ возможно применение любых конструкций и взаимного расположения электродов. Одним из главных критериев при разработке конструкции разрядного блока должны быть минимальные аэродинамические характеристики. С этой точки зрения перспективным является конструкция разрядного блока кассетного типа. На рис. 1 представлен схематический чертеж электроразрядной кассеты.

Электроразрядная кассета состоит из двух решеток цилиндрических стержней (электродов), расположенных в шахматном порядке. При разработке электроразрядного устройства необходимо сделать оптимальный выбор как самого устройства, т. е. подобрать диаметр стержней, расстояние между стержнями в решетке, расстояние между решетками, так и подобрать количество и взаимное расположение электроразрядных кассет в устройстве. Имеющиеся полуэмпирические зависимости [3–4] не позволяют сделать такой выбор, т. к. они описывают интегральные параметры течения газа сквозь решетки определенного типа.

Данная статья посвящена определению полей скорости течения и давления газа, а также сил сопротивления течению газа со стороны стержней при обтекании газом различных электроразрядных устройств.



*Рис. 1. Схематический чертеж электроразрядной кассеты:
1 — низковольтный электрод; 2 — высоковольтный электрод; 3 — изолятор*

Эти параметры являются основой оптимизации электроразрядного устройства.

Для построения уравнений, описывающих движение вязкого газа, вводятся следующие допущения:

1) поскольку скорость течения газа в вентиляционных каналах обычно не превышает 20 м/с, то считаем, что набегающий на электроразрядную кассету газ является несжимающейся жидкостью;

2) каждая электроразрядная кассета состоит из бесконечного числа параллельных друг другу цилиндрических стержней бесконечной длины;

3) скорость набегающего потока газа на кассету направлена перпендикулярно осям стержней.

С учетом этих предположений следует рассмотреть плоское течение газа.

Число Рейнольдса (Re), определенное по диаметру стержней и скорости набегающего газа на кассету, на порядок и более превышает его критическое значение. Поэтому течение газа будет турбулентным. Турбулентное течение газа описывается уравнениями Рейнольдса.

Для нашего случая турбулентного нестационарного плоского течения вязкого несжимаемого газа уравнения Рейнольдса запишутся в следующем виде:

$$\rho \left\{ \frac{\partial U}{\partial t} + U \cdot \frac{\partial U}{\partial x} + V \cdot \frac{\partial U}{\partial y} \right\} = \rho \cdot F - \frac{\partial P}{\partial x} + (\mu + Ar) \cdot \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right); \quad (1)$$

$$\rho \left\{ \frac{\partial V}{\partial t} + U \cdot \frac{\partial V}{\partial x} + V \cdot \frac{\partial V}{\partial y} \right\} = - \frac{\partial P}{\partial y} + (\mu + Ar) \cdot \left(\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right). \quad (2)$$

Уравнение неразрывности имеет вид

$$\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0. \quad (3)$$

Поскольку течение газа является изотермическим, то динамическая вязкость газа μ постоянна. С помощью параметра F в уравнении (1) учитывается влияние стержней на течение газа. При численном решении задачи для каждого стержня значение F определялось выражением

$$F = - \frac{W}{\rho \cdot \Delta x \cdot \Delta y}. \quad (4)$$

По своему физическому смыслу W — сила сопротивления течению газа со стороны каждого стержня, которая определялась формулой [5–6]

$$W = Cw \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U^2 \cdot d. \quad (5)$$

Коэффициент турбулентной вязкости Ar принимается постоянным [7].

В начальный момент времени газ покоится. Составляющие вектора скорости, $V = 0$, $U = 0$, давление $P = \text{const}$ по всему пространству.

Областью расчета течения газа сквозь решетки стержней является прямоугольная область, включающая несколько стержней каждой решетки каждой кассеты. Область интегрирования уравнений (1)–(3) имеет открытые границы типа жидкость – жидкость. На границе области расчета, перед решетками стержней, составляющая вектора скорости U набегающего газа на кассеты растет от нуля до постоянного заданного значения U_{HP} , составляющая V всегда равна нулю.

На границе области расчета за решетками стержней задаются условия:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = 0, \quad \frac{\partial V}{\partial x} = 0.$$

На границах области расчета параллельных скорости набегающего потока задаются условия:

$$\frac{\partial U}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial V}{\partial y} = 0.$$

При решении задачи используется разнесенная сетка. Составляющие вектора скорости U задаются в точках $(I, J + 0,5)$, составляющие вектора скорости V в точках $(1 + 0,5, J)$, давление P и сила F задаются в точках $(1 + 0,5, J + 0,5)$. Использование разнесенной сетки дает возможность связать значения U , V и P в соседних точках и позволяет избежать появления осцилляций в решении для P .

Дискретизация частных производных по пространству в уравнениях (1)–(3) проведена по трехточечной симметричной схеме, а частных производных по времени разностями вперед [9]. На каждом шаге по времени решается уравнение Пуассона для определения поля давления. Из разностных аналогов уравнений (1) и (2) вычисляются значения составляющих векторов скоростей U и V на $(n + 1)$ шаге по времени для всех точек расчетной области. Поскольку формулы для определения U и V являются явными, то имеется условие на максимальный шаг по времени, связанное с устойчивостью решения [10]:

$$0,25 \left(|U| + |V| \right)^2 \cdot \Delta t \cdot Re \leq 1; \quad \frac{\Delta t}{Re \cdot \Delta x^2} \leq 0,25.$$

Шаг по разностной сетке $\Delta x = \Delta y$.

Расчет проведен для двух различных электроразрядных устройств.

Первое устройство состоит из одной электро-разрядной кассеты с диаметром стержней в первой решетке $d_1 = 0,01$ м и диаметром стержней во второй решетке $d_2 = 0,015$ м. Расстояние между осями стержней в решетке 0,024 м, расстояние между решетками 0,018 м. Стержни (электроды) первой решетки по отношению к стержням (электродам) второй решетки расположены в шахматном порядке. На рис. 2 показаны изменения средней объемной силы сопротивления течению газа со стороны стержней F и перепада давления газа ΔP на электроразрядной кассете при различных скоростях набегающего потока V_H . Как видно из рис. 2, при увеличении скорости набегающего потока газа, вместе с ростом сопротивления течению газа со стороны стержней, растет и перепад давления на электроразрядной кассете.

Второе устройство состоит из электроразрядной кассеты, в которой стержни (электроды) расположены в двух параллельных плоскостях. Стержни (электроды) в каждой плоскости находятся друг за другом на расстоянии $h = 0,024$ м, диаметр всех стержней $d = 0,01$ м, расстояние между осями стержней в решетках 0,036 м.

На рис. 3 показаны изменения средней объемной силы сопротивления течению газа со стороны стержней F и среднего перепада давления на устройстве ΔP в зависимости от расстояния h между плоскостями стержней (электродов) в устройстве, скорость набегающего потока для всех h равна $V_H = 7$ м/с. Как видно из рис. 3, средняя объемная сила F при малых h быстро растет, при больших h растет медленней.

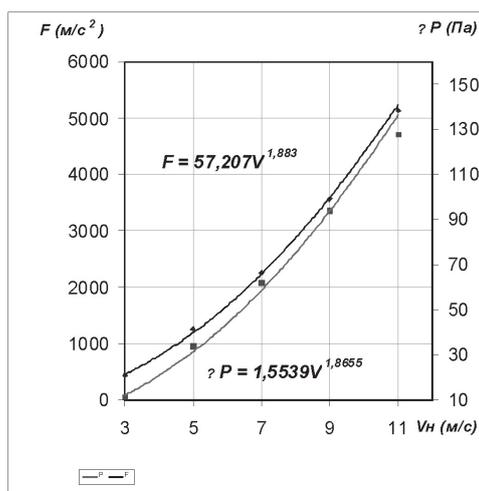


Рис. 2. Изменения средней объемной силы сопротивления течению газа со стороны стержней и перепада давления газа на электроразрядной кассете при различных скоростях набегающего потока

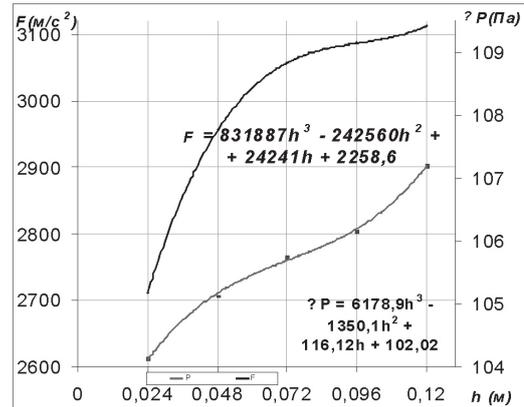


Рис. 3. Изменения средней объемной силы сопротивления течению газа со стороны стержней и среднего перепада давления на устройстве в зависимости от расстояния между плоскостями стержней (электродов) в устройстве

Это объясняется тем, что при малых h стержни второй плоскости по течению газа находятся в аэродинамической тени стержней первой плоскости. Скорость набегающего потока на них мала, а это приводит к малым сопротивлениям течению газа со стороны стержней второй плоскости. При больших h стержни второй плоскости начинают выходить из аэродинамической тени, скорость набегающего газа на них растет, увеличивается и сила сопротивления течению газа. С ростом h влияние стержней первой плоскости на течение газа через стержни второй плоскости уменьшается, что приводит к слабому увеличению F . Течение газа от стержней первой плоскости до стержней второй плоскости успевает стабилизироваться и при больших h можно не учитывать влияние стержней первой плоскости на течение газа через стержни второй плоскости. В соответствии с ростом F увеличивается и перепад давления ΔP .

Параметры течения газа, получаемые при расчете по разработанной методике, позволяют выбрать оптимальный вариант электроразрядного устройства по обезвреживанию вентиляционных выбросов.

Список обозначений

- ρ — плотность газа, кг/м³;
- V — составляющая вектора осредненной скорости течения газа направленная вдоль оси x , м/с;
- U — составляющая вектора осредненной скорости течения газа направленная вдоль оси y , м/с;
- P — давление газа, Па;
- μ — коэффициент динамической вязкости газа, Па·с;
- Ar — коэффициент турбулентной вязкости газа, Па·с;
- t — время, с;
- C_w — коэффициент сопротивления цилиндра;
- d — диаметр цилиндра, м;
- Δx — шаг по разностной сетке вдоль оси x , м;
- Δy — шаг по разностной сетке вдоль оси y , м;
- Δt — шаг по времени, с.

Литература

1. Мак-Таггарт, Ф. Плазмохимические реакции в электрических разрядах / Ф. Мак-Тггфрт. — М., 1972.
2. Полак, Л.С. Низкотемпературная плазма. Химия плазмы / Л.С. Полак, Д.И. Соловецкий. — Новосибирск, 1991.
3. Кутателадзе, С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: справ. пособие / С.С. Кутателадзе. — М.: Энергоиздат, 1990.
4. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. — М.: Машиностроение, 1975. — 510 с.
5. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. — М.: Наука, 1973.
6. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтинг. — М.: Наука, 1974.
7. Рейнольдс, А.Дж. Турбулентные течения в инженерных приложениях / А.Дж. Рейнольдс. — М.: Энергия, 1979. — С. 23.
8. Harlow, F.H., Welch J.E. (1965). — Phis. Fluids, 8. — p. 2182–2189.
9. Флетчер, К. Вычислительные методы в динамике жидкостей / К. Флетчер. — Т.2. — М.: Мир, 1991. — С. 394.
10. Peyret, R. Computational Methods for Fluids Flow. — Springer Ser. Comput. Phys. / R. Peyret, T.D. Taylor. — Berlin, Heidelberg: Springer.
11. Chorin, Math of Comput. / A.T. Chorin. — Vol. 22, n. 104. — Washington. — P. 24–27.
12. Harlow, E.M. Joor. Comp. Phys. / E.M. Harlow, A.A. Amsden — Vol. 3. — P. 80.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТОИМОСТНОЙ ОЦЕНКИ ЗАПАТЕНТОВАННЫХ ИЗОБРЕТЕНИЙ

Павлович А.Э.

*к.т.н., патентный поверенный,
оценщик объектов интеллектуальной собственности*

Для определения доходов, которые могут приносить нематериальные активы в виде запатентованных объектов, служит их стоимостная оценка. Цели ее многообразны, например, она необходима при заключении патентных лицензий, при внесении имущественных прав на патент в уставный фонд субъекта хозяйствования, при определении убытков в случае несанкционированного использования запатентованного объекта.

Методы оценки стандартизованы [2] и имеют расчетные формулы, которые едины для определенного вида объектов, например, для изобретений.

Однако, как говорят «изобретение изобретению рознь» и поэтому вводят различные поправочные коэффициенты (значимости, сложности и т. д.) [3]. Но не учитывают при этом потенциальную возможность обхода патента конкурентами.

Дело в том, что выходя на рынок товаров и услуг с запатентованным изобретением, субъект

хозяйствования может столкнуться с ситуацией, когда возникает спор с конкурентами в отношении несанкционированного применения его изобретения. Камнем преткновения в данном споре будет всегда, так называемая, «формула изобретения». Это самая важная правовая часть патента. Согласно статье 36 Закона [1], в отношении выявления факта использования изобретения, в том числе несанкционированного, следует, что использованием изобретения в проверяемом продукте конкурента признается наличие в этом продукте каждого существенного признака независимого пункта формулы запатентованного изобретения.

Естественно, если хотя бы один из этих признаков отсутствует, то продукт не будет считаться «пиратским» и конкурент не будет нарушителем.

Поэтому значимость формулы велика. И нужно это учитывать, т. е. перед применением расчета нужно изучить наличие конкурентов, их продукцию и проанализировать формулу изобретения на