

УДК 62-784.41

ББК 30.1

М-54

*Скорик Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент Ростовского государственного строительного университета;*

*Глазунова Елена Константиновна, кандидат технических наук, доцент Ростовского государственного строительного университета;*

*Трубников Анатолий Александрович, аспирант Ростовского государственного строительного университета;*

*Блягоз Хазрет Рамазанович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий, машин и оборудования пищевых производств, ректор ФГБОУ ВПО «Майкопский государственный технологический университет», т.: 8(8772)570011;*

*Схаляхов Анзаур Адамович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологий, машин и оборудования пищевых производств, декан технологического факультета ФГБОУ ВПО «Майкопский государственный технологический университет».*

### **МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МЕСТНЫХ ОТСОСОВ** (рецензирована)

*Статья посвящена проблеме оценки эффективности работы местных отсосов. В статье показаны подходы к ее определению и математическому описанию. Использован метод крупных частиц в задаче моделирования распространения примесей в рабочей зоне.*

*Ключевые слова: метод оценки, эффективность работы, местный отсос, метод крупных частиц.*

*Skorik Tatiana Alexandrovna, Candidate of Technical Sciences, associate professor of Rostov State University of Civil Engineering;*

*Glazunova Helen Konstantinovna, Candidate of Technical Sciences, associate professor of Rostov State University of Civil Engineering;*

*Trubnikov Anatoly Alexandrovich, post graduate student of Rostov State University of Civil Engineering;*

*Blyagoz Khazret Ramazanovich, Doctor of Technical Sciences, professor, professor of the Department of Technology, Machinery and Equipment of Food Production, rector of FSBEI HPE "Maikop State Technological University", tel.: 8 (8772) 570011;*

*Skhalyakhov Anzaur Adamovich, Doctor of Technical Sciences, professor, associate professor of the Department of Technology, Machinery and Equipment of Food Production, rector of FSBEI HPE "Maikop State Technological University".*

### **METHOD OF EVALUATING LOCAL SUCTION PERFORMANCE** (reviewed)

*The article is devoted to the evaluation of the effectiveness of local suction. The article describes approaches to its definition and mathematical description. The method of large particles has been used in the simulation of impurities diffusion in the working area problem.*

*Keywords: evaluation method, performance, local suction, method of large particles.*

В инженерной практике основным результирующим параметром любого технического устройства традиционно считается эффективность его работы, являющаяся аналогом КПД и определяющая степень соответствия реального результата максимально достижимому (требуемому). Однако проектирование и оптимизация параметров местных отсосов ведутся в основном по расходным характеристикам. Работы, посвященные исследованию параметров эффективности местных отсосов, в основном, носят эмпирический характер, немногочисленны и во многом противоречивы [1-3].

Наиболее расширенное представление об эффективности местных отсосов дано в [3]. С учетом того, что система «отсос-воздух» является открытой, оценку эффективности в зависимости от целевого назначения и типа решаемых задач предложено производить с учетом выделения ее двух различных видов:

- технологической, характеризующей достижимый в заданных условиях эксплуатации уровень выполнения местным отсосом функции улавливания вредных выделений. По сути, этот вид эффективности является коэффициентом «технологического захвата» вредностей и определяет

операции их дальнейшей обработки в вентиляционной системе;

- санитарно-гигиенической, характеризующей достижимый в заданных условиях эксплуатации местного отсоса уровень остаточного содержания вредностей в значимых точках воздуха рабочей зоны. Этот тип эффективности является коэффициентом «технологического проскока» вредностей и непосредственно определяет условия труда рабочих.

Определение санитарно-гигиенической эффективности местных отсосов предполагает решение задачи моделирования распространения вредных выделений от источника в воздушной среде.

В аэро-гидромеханике моделирование традиционно опирается на математический аппарат конечных разностей, в основе которого лежат аппроксимации непрерывных функций ограниченным количеством опорных величин, распределенных в дискретных ячейках памяти ЭВМ. При этом физическая интерпретация, так же как и численное решение задач опирается на два взаимосвязанных и существенно отличающихся по форме геометрических представления о движении – это известные дифференциальные формализации течений по Эйлеру – на фиксированной сетке и изменяющихся значениях аэро-гидродинамических полей, и по Лагранжу – с фиксацией законов сохранения внутри каждой из движущихся частиц жидкости (газа) [4].

Опыт реализации вычислительных экспериментов показывает, что для сложных расчетных областей невозможно применение дифференцирующих разностей более чем первого порядка. Задачи же механики опираются на уравнения движения второго порядка, которые в случае задач аэро-гидромеханики довольно уверенно моделируются с использованием разделения решения на подэтапы, где последовательное использование интерполирующих функций первого порядка сначала опирается на неподвижные узлы сетки, затем ведется расчет в локальных координатах подвижных частиц жидкости. Такой подход к решению соответствует классическому разложению дифференциальных уравнений аэро-гидромеханики по физическим параметрам, который выполняется в Лагранже-Эйлеровых схемах и реализуется методом «крупных частиц» [5].

Предположение, лежащее в основе «метода крупных частиц», состоит в том, что частицы, занимающие в начальный момент достаточно малый конечный объем пространства, в процессе эволюции системы движутся одинаково или имеют пренебрежимо малый разброс траекторий. Таким образом, разбивая все пространство, в котором идет рассмотрение процесса, на малые объемы, можно «следить» только за одной частицей из каждого объема.

Суть разложения по физическим параметрам выражается в двойном последовательном дифференцировании первого порядка, что, в свою очередь, разделяет каждый временной цикл вычислительного эксперимента на три этапа:

1 этап – вычисляют кинематические параметры для динамических центров крупных частиц жидкости, для чего используют текущие исходные данные в неподвижных узлах конечно-разностной расчетной сетки, которая обычно обладает свойствами неподвижных Эйлеровых координат;

2 этап – Лагранжевы или крупные деформируемые частицы жидкости участвуют в свободном движении, перераспределяя внутренние свойства исходных Эйлеровых ячеек по смежному с ними пространству;

3 этап – согласуют законы сохранения массы и энергии, что достигается деформацией сдвинутых частиц жидкости, с последующей переинтерполяцией характеристик течения в исходные узлы неподвижной Эйлеровой сетки. Для этого каждая из частиц жидкости должна вести себя как своеобразный энергоемкий объект, подчиняющийся законам сохранения энергии в пределах геометрического объема этой частицы.

Адаптируя метод крупных частиц к решению задачи оценки санитарно-гигиенической эффективности работы местных отсосов, нами принято, что при своем распространении от источника выделения в воздухе рабочей зоны загрязнение “вморожены” в газоздушный поток и переносятся вместе с ним. Соответственно данному предположению при расчете движения потока с примесью нами решалась задача конвективного переноса.

При постановке граничных условий и определении размеров сеточной расчетной области (рисунок 1) дополнительным требованием выступает условие отсутствия внутри расчетной зоны заметных возмущений. С целью сохранения единого хода вычислений и упрощения расчетов вдоль всех границ нами введены слои фиктивных ячеек (заштрихованная область). Параметры потока в фиктивных ячейках определяются с учетом рода границы из смежных ячеек, количество слоев фиктивных ячеек – порядком разностной схемы. В частности для первого порядка точности достаточно одного слоя фиктивных ячеек.

В рассматриваемой модели присутствует три рода границ:

- точка выделения загрязнений, соответствующая технологическому оборудованию – S;

- открытые границы (дверные и оконные проемы, отверстия в стенах) – отрезки GH и CD;
- “твердые” границы (стены помещения) – отрезки HA, AB, BC, DE, EF, FG.

Для определения полей относительной концентрации примеси на некотором временном слое  $\Delta t^{n+1}$  нами получена усовершенствованная зависимость, в основе которой лежит уравнение, предложенное в [6].

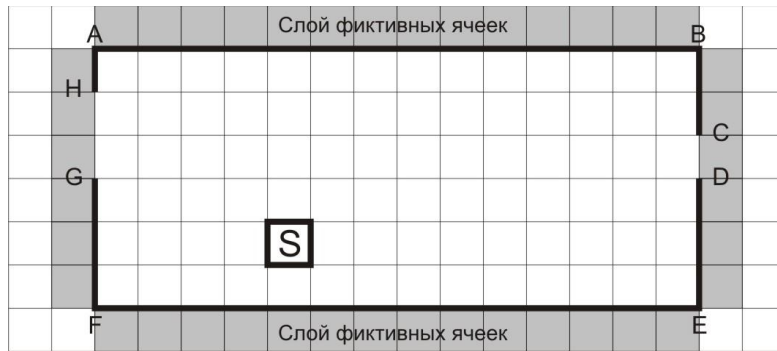


Рис. 1 – Структура расчетной сетки при моделировании обтекания воздушным потоком точки выделения загрязнений

$$C_{ij}^{n+1} = C_{ij}^n + \frac{AC_{i-k,j}^n \Delta M_{i+1/2,j}^{n+1} + AC_{i-k,j}^n \Delta M_{i-1/2,j}^n + AC_{i,j+k}^n \Delta M_{i,j+1/2}^n + AC_{i,j-k}^n \Delta M_{i,j-1/2}^n}{\rho_{i,j}^{n+1} \Delta x \Delta y} \quad (1)$$

где  $A$  – коэффициент, равный:  $A = -1$ , если поток вытекает из ячейки  $(i,j)$  или  $A = 1$ , если поток втекает в ячейку  $(i,j)$ ;  $k$  – коэффициент, учитывающий локальное направление потока при определении индексов слагаемых. Коэффициент принимает значение  $k = 0$ , если поток втекает в ячейку  $(i,j)$ ;  $k = 1$ , если поток вытекает через соответствующую сторону из расчетной ячейки  $(i,j)$ ;  $\rho_{i,j}^{n+1}$  – плотность моделируемой примеси,  $\Delta M_{i\pm k/2, j\pm k/2}^n$  – переток массы частиц через соответствующие границы расчетных ячеек.

Используя выражение (1), можно моделировать распространение примеси от источника мгновенного действия, когда на каждом временном шаге  $\Delta t^n$  в ячейке расчетной области, соответствующей точке выделения, задается значение концентрации примеси, равное единице. Математически данное положение описывается следующим образом:

$$C_{i,j} = \sum_1^i C_{i,j}^{n+1}$$

где  $C_{i,j}$  – относительная концентрация примеси в ячейке  $(i,j)$  расчетной области,  $C_{i,j}^{n+1}$  – относительная концентрация примеси на одном временном шаге;  $t$  – время установления решения.

Метод крупных частиц использован нами для решения задач моделирования распространения загрязнений, содержащих не только газовую составляющую, но и твердые (пылевые) частицы. В этом случае для расчета движения примеси достаточно знать массоперенос в любой момент времени через границы расчетной сетки. При этом решается задача о конвективном переносе примеси на втором (Лагранжевом) этапе расчета, т.е. моделируется распространение двухфазного газоздушного потока с твердыми частицами, которые представляют собой сферы одинакового радиуса. В качестве исходной системы уравнений в расчетах нами использована система уравнений [5]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho_{(1)}}{\partial t} + \text{div}(\rho_{(1)} U_{(1)}) &= 0 \\ \frac{\partial \rho_{(1)} u_{(1)}}{\partial t} + \text{div}(\rho_{(1)} u_{(1)} U_{(1)}) + \alpha \frac{\partial \rho}{\partial t} &= -f_x \\ \frac{\partial \rho_{(1)} v_{(1)}}{\partial t} + \text{div}(\rho_{(1)} v_{(1)} U_{(1)}) + \alpha \frac{\partial \rho}{\partial t} &= -f_y \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} \{ \rho_{(1)} E_{(1)} + \rho_{(2)} E_{(2)} \} + \text{div} \{ \rho_{(1)} E_{(1)} U_{(1)} + \rho_{(2)} E_{(2)} U_{(2)} \} + \alpha \text{div}(\rho_{(1)} U_{(1)}) &= 0 \\ \frac{\partial \rho_{(2)}}{\partial t} + \text{div}(\rho_{(2)} U_{(2)}) &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho_{(2)} U_{(2)}}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho_{(2)} u_{(2)} U_{(2)}) &= f_x \\ \frac{\partial \rho_{(2)} v_{(2)}}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho_{(2)} v_{(2)} U_{(2)}) &= f_y \\ \frac{\partial \rho_{(2)} J_{(2)}}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho_{(2)} J_{(2)} U_{(2)}) &= q \end{aligned} \quad (3)$$

Данная система уравнений является не замкнутой, поэтому для замыкания нами использовано уравнение состояния идеального газа:

$$P = (\gamma - 1) \rho_{(1)}^0 J_{(1)}$$

где  $u(1)$ ,  $v(1)$  и  $u(2)$ ,  $v(2)$  – горизонтальная и вертикальная компоненты вектора скорости;  $U(1)$ ,  $U(2)$  – вектора скорости фаз потока;  $E(1)$ ,  $E(2)$  – полная энергия;  $J(1)$ ,  $J(2)$  – внутренняя энергия;  $\alpha$  – доля объема, занимаемая газом;  $P$  – давление;  $f_x$ ,  $f_y$  – компоненты силы межфазного взаимодействия по осям  $X$  и  $Y$ ;  $q$  – “поток” тепла между фазами;  $\rho_{(1)}^0$  – истинная плотность газа;  $\rho_{(1)}$ ,  $\rho_{(2)}$  – средняя плотность;  $\gamma = 1,4$  – показатель адиабаты. Величины с индексом 1 относятся к газовой фазе, с индексом 2 – к фазе твердых частиц.

Уравнения (2) и (3) отличаются от уравнений Эйлера тем, что в них используется средняя плотность газа  $\rho_{(1)}$ , учитывающая тот факт, что часть объема газа занимают твердые частицы. В правой части уравнений присутствуют силы межфазного взаимодействия, которые являются аналогами внешних массовых сил. Последнее уравнение в системе (2) выражает суммарный баланс энергий двух фаз.

Таким образом, адаптация метода крупных частиц к решению задачи оценки санитарно-гигиенической эффективности работы местных отсосов позволяет уточнить содержание его расчетных этапов. Так на первом (Эйлеровом) этапе идет расчет промежуточных значений, характерных только для газовой фазы. На втором (Лагранжевом) этапе определяется массоперенос каждой фазы через границы ячеек, а так же перенос импульса и энергии. Для параметров потока твердой фазы используются схемы как первого, так и второго порядка точности. На заключительном третьем этапе на основе законов сохранения находятся значения параметров обеих фаз на новом временном слое.

### Литература:

1. Посохин В.Н. Расчет местных отсосов от тепло- и газовыделяющего оборудования. М.: Машиностроение, 1984.
2. Квашнин И. М. Промышленные выбросы в атмосферу. Инженерные расчеты и инвентаризация. М.: АВОК.
3. Страхова Н.А., Овчинникова Л.Ю., Плескачев А.Б. Принятие технических решений по защите воздушной среды от загрязняющих веществ. Ростов н/Д: РГСУ, 2002.
4. Самарский А.А., Попов Ю.П. Разностные методы решения задач газовой динамики. М.: Наука, 1980.
5. Численное исследование актуальных проблем машиностроения и механики сплошных и сыпучих сред методом крупных частиц. В 2 т. Т.1. Аэродинамика / под ред. Ю.М. Давыдова. М., 1995.
6. Загрязнение атмосферы населенных пунктов / В.П. Журавлев и др. Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 1997.

### References:

1. Posokhin V.N. Calculation of local suction from heat and outgassing equipment. M.: Machinebuilding, 1984.
2. Kvashnin I.M. Industrial emissions. Engineering calculations and inventory. M.: Association AVOK.
3. Strakhova N.A., Ovchinnikova L.Y., Pleskachev A.B. Adoption of technical solutions for the protection of air from pollutants. Rostov-on-Don.: RSUCE, 2002.
4. Samarskii A.A., Popov Y.P. Different methods for solving problems of gas dynamics. M.: Science, 1980.
5. Numerical study of the actual problems of mechanical engineering and mechanics of continuous and granular media by large particles method. In 2 vol. Vol. Aerodynamics / Ed. Yu.M. Davydov. - M.: 1995.
6. Air pollution of settlements / Zhuravlev V.P. [and oth.] Rostov n / D: RSUCE, 1997.