

## Алгоритм модели прогноза загрязнения воздуха рабочих зон

А.А. Трубников, Н.А. Страхова

Ростовский государственный строительный университет (г. Ростов-на-Дону)

В настоящее время остается актуальной проблема загрязнения воздуха рабочих зон производственных помещений. Производственные процессы в различных отраслях промышленности, достаточно часто сопровождаются интенсивным выделением вредных веществ в воздух рабочей зоны помещений. Работа систем местной вытяжной вентиляции в большинстве случаев не позволяет обеспечить качество воздушной среды производственных помещений на уровне санитарно-гигиенических нормативов. Это связано с невозможностью обеспечения полного удаления загрязнений местными отсосами. В итоге происходит постепенное накопление загрязнений в помещении, которые оказывают неблагоприятное воздействие на здоровье работающих.

При оценке качества работы местных отсосов основным показателем является их эффективность, которая в соответствии с типом решаемых задач подразделяется на два вида: технологическую (коэффициент технологического захвата) и санитарно-гигиеническую (коэффициент технологического проскока). Причем, если для технологической эффективности существуют методики расчета, основанные на эмпирических данных или на весьма упрощенных теоретических моделях, то для санитарно-гигиенической эффективности аналитического метода оценки не существует.

Учитывая сложность решения задачи распространения примесей в подвижной воздушной среде, наиболее предпочтительным подходом к определению санитарно-гигиенической эффективности можно считать использование численных методов. При этом для обеспечения информативности решений, полученных в результате численного эксперимента, важно иметь возможность физической интерпретации всех вычислительных операций.

Традиционная физическая интерпретация, так же как и численное решение задач аэро-гидромеханики, опирается на два взаимосвязанных и существенно отличающихся по форме геометрических представления о течении жидкости. Это широко известные дифференциальные уравнения течений Эйлера на фиксированной сетке и изменяющихся значениях гидродинамических полей, и Лагранжа – с фиксацией законов сохранения внутри каждой из движущихся частиц жидкости [1]. В тоже время опыт реализации вычислительных экспериментов показывает, что для сложных расчетных областей невозможно применение дифференцирующих разностей более чем первого порядка [2]. Задачи аэро-гидромеханики используют уравнения движения второго порядка, которые моделируются посредством разделения решения на подэтапы, где последовательное использование интерполирующих функций первого порядка сначала опирается на неподвижные узлы сетки, а затем - на 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» (МКЧ) [3,4]. Именно данный метод положен нами в основу алгоритма прогноза санитарно-гигиенической эффективности процесса улавливания (рис. 1).

Как видно из представленного алгоритма его ключевым этапом выступает обоснование и описание физической модели распространения загрязняющих веществ (ЗВ) в воздухе рабочих зон, т.е. адаптация МКЧ к задаче прогноза санитарно-гигиенической эффективности процесса ивноности улавливания. Предположение, лежащее в основе МКЧ, состоит в том, что элементарные «частицы» среды, занимающие в начальный момент достаточно малый конечный объем пространства, в процессе эволюции системы движутся одинаково или имеют пренебрежимо малый разброс траекторий. В итоге, разбивая все пространство, в котором идет рассмотрение

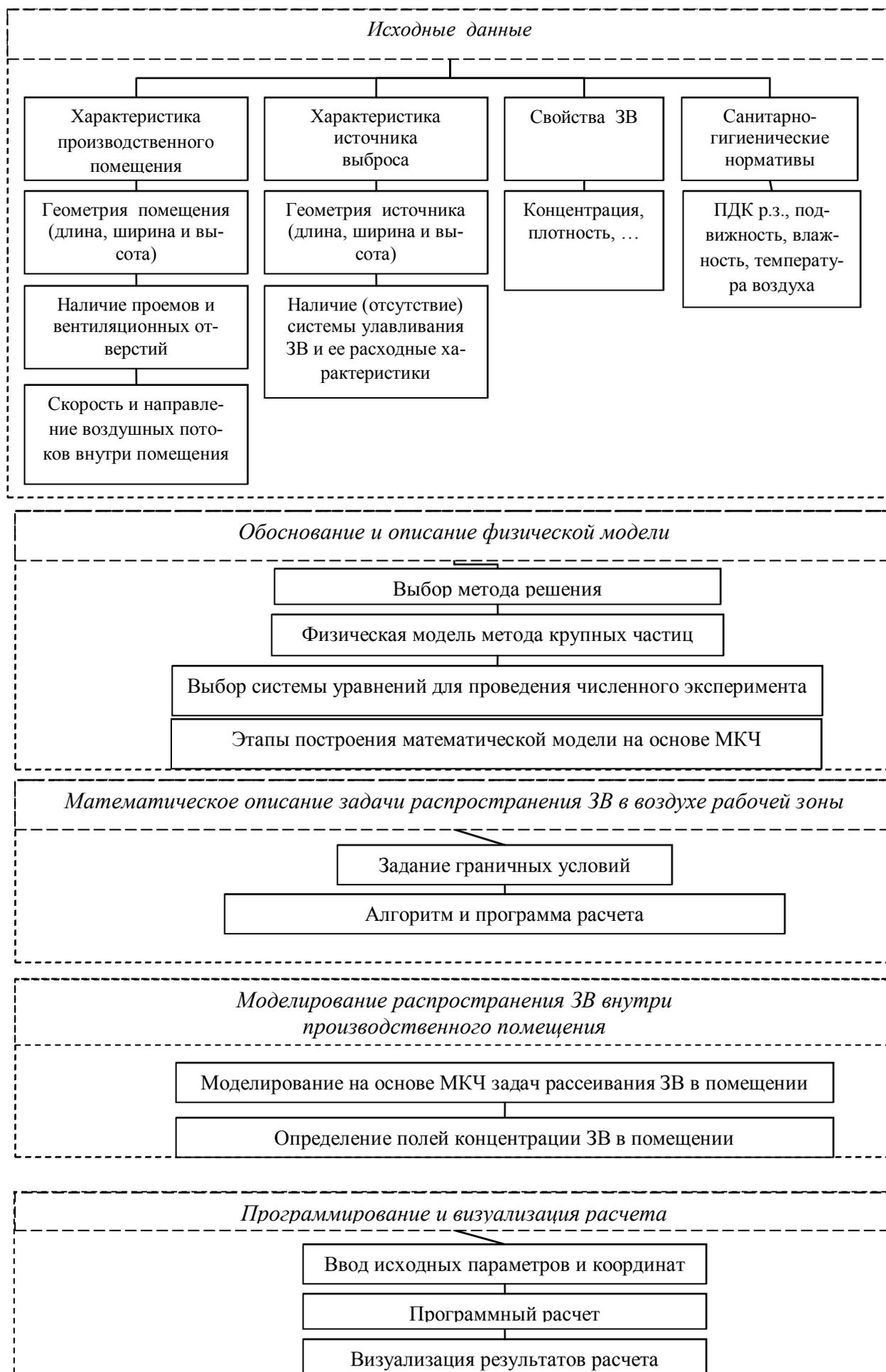


Рис.1. Алгоритм прогноза санитарно-гигиенической эффективности улавливания примесей

процесса распространения ЗВ, на малые объемы, достаточно отслеживать только одну частицу из каждого такого объема.

Суть разложения по физическим параметрам, при таком подходе, выражается в двойном последовательном дифференцировании первого порядка, что, в свою очередь, разделяет каждый временной цикл вычислительного эксперимента на три этапа [3,4]:

1 этап – вычисление кинематических параметров для динамических центров крупных частиц жидкости. Для этого используют текущие исходные данные в неподвижных узлах конечно-разностной расчетной сетки, которая обычно обладает свойствами неподвижных Эйлеровых координат. При этом на первом этапе крупная частица движется, как единое целое под действием только сил давления без перетекания массы жидкости через поверхность ячейки (поверхность считается непроницаемой).

2 этап – участие Лагранжевых (крупных деформируемых) частиц жидкости в свободном движении, в процессе которого происходит перераспределение внутренних свойств исходных Эйлеровых ячеек по смежному с ними пространству. На втором этапе поверхность крупной частицы считается проницаемой. Здесь учитываются потоки массы, импульса и энергии, проходящие через границы ячеек.

3 этап – согласование законов сохранения массы и энергии. Это достигается деформацией движущихся частиц жидкости, с последующей переинтерполяцией характеристик течения в исходные узлы неподвижной Эйлеровой расчетной сетки.

Необходимо отметить, что МКЧ использует дивергентные формы исходных и разностных уравнений, рассматривая энергетическое равенство для полной энергии. Для этого на всех этапах расчета используют различного вида аппроксимации, а на заключительном этапе - пересчет плотности, что способствует устранению флуктуаций и позволяет получать достоверные результаты при сравнительно небольшом поле расчета. Это обеспечивает получение консервативных схем решения, когда законы сохранения для всей сеточной области являются алгебраическим следствием разностных уравнений. А именно дивергентно-консервативные и диссипативно-устойчивые схемы сквозного счета МКЧ позволяют проводить расчеты без введения членов искусственной вязкости для обширного класса газодинамических задач.

Для построения вычислительного эксперимента по указанной схеме каждая из частиц жидкости должна вести себя как своеобразный энергоемкий объект, подчиняющийся законам сохранения энергии в пределах геометрического объема этой частицы, часть которой тратится на простую передачу движения смежным частицам, а часть на консервацию энергии движения внутри элементарной частицы жидкости [5]. Это может проявляться как безвозвратная потеря энергии движения на трение при деформации жидкой частицы, а также как аккумулируемая энергия, в том числе обусловленная изменением интенсивности замкнутых течений внутри такой элементарной частицы жидкости. Таким образом МКЧ позволяет детально исследовать динамику образования вихревых структур в воздушных потоках, исключив необходимость физического моделирования процесса воздухообмена, а также получать данные о распределении ЗВ для практически любого состояния воздушной среды, формы ограждающих конструкций и внутренних препятствий (технологического оборудования).

Таким образом, сущность МКЧ применительно к задаче распространения ЗВ в помещении можно сформулировать как расщепление исходной системы дифференциальных уравнений по физическим процессам. При этом моделируемая среда заменяется системой элементарных газовых объемов, совпадающих в данный момент времени с ячейками фиксированной по пространству эйлеровой сетки (системой «крупных частиц»). А физическая трактовка метода предусматривает следующую последовательность операций:

- численное интегрирование системы уравнений газовой динамики в локально-лагранжевых координатах.
- расчет движения лагранжевой сетки и вычисление новых координат расчетных точек;

- определение путем интерполяции новых газодинамических параметров в прежних узлах расчетной сетки.

В итоге адаптация МКЧ для решения задачи прогноза распространения ЗВ в воздухе рабочих зон позволяет обеспечить следующие преимущества [3-5]:

- соединить в себе Эйлера (теоретическое исследование поля в пространстве при переходе от одной точки расчетной сетки к другой) и Лагранжева (исследование изменений параметров среды при переходе от одной макрочастицы к другой) подходы;
- использовать сравнительно простой численный алгоритм;
- проводить устойчивый расчет без предварительного учета особенностей решения;
- использовать обычные (с точки зрения быстродействия и памяти) ПК;
- обеспечить достаточную точность получаемых результатов в задачах, связанных со срывом потока и образованием обширных турбулентных зон вблизи плохообтекаемых препятствий;
- представить непрерывную среду в виде дискретных элементов (крупных частиц) и разбить процесс вычисления на интервалы, что позволяет избежать трудностей, характерных для решения уравнений Навье-Стокса при больших числах Рейнольдса.

### **Литература:**

1. Броунштейн Б.И., Фишбейн Г.А. Гидродинамика, массо- и теплообмен в дисперсных системах.- Л.: Химия, 1977.- 280с.
2. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики.- М.: Наука, 1997.- 456с.
3. Белоцерковский О.М., Давыдов Ю.М. Метод крупных частиц в газовой динамике. – М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. литературы, 1983.
4. Давыдов Ю.М., Белоцерковский О.М. Метод крупных частиц в газовой динамике.- М.: Наука, 1987.- 392с.
5. Давыдов Ю.М. Численное моделирование в механике сплошных сред методом крупных частиц. – М.: Изд-во МФТИ, 1985. – С.68-74.