

Заключение. Опыт использования и перспективы развития многожидкостной модели газочапельного потока с большой долей жидкости

Представленные результаты расчетов, а также другие численные эксперименты, выполненные автором, позволяют заключить, что выбранный способ построения математической модели вполне подходит для численного исследования и прогнозирования особенностей динамически неравновесных потоков с большой долей капель в каналах¹. При совпадении средних параметров потока на срезе сопла с результатами расчетов по одномерной модели, четко проявились преимущества двумерного моделирования, позволившие выявить и объяснить особенности как соплового потока, так и начального участка струи (в частности, слабую зависимость дисперсности потока на выходе из сопла от дисперсности на входе, наличие пристенной зоны с малым содержанием капель в расширяющейся части сопла, колебания угла раскрытия струи, появление крупных капель, устойчивость струи из-за пониженного давления у оси симметрии).

В модели используются экспериментальные зависимости для описания взаимодействия капель с газом, между собой и пленкой, для получения тепловых потоков между фазами (газом, каплями, пленкой). Это требует своего рода «настройки» модели в случае, когда меняются вещества или характерные параметры потока.

Опыт расчетов показал, что есть сильная зависимость стационарного (периодического) решения от начальных условий, другими словами, возможно получение физически нереализуемых течений². В этом случае необходим, с одной стороны, постоянный анализ промежуточных результатов, с другой стороны, начальные условия должны максимально соответствовать реальному потоку.

¹ С учетом ограничений, приведенных в п.2.

² Проблема существования и единственности решения в данной работе не рассматривается.

Вместе с тем, при известных экспериментальных данных, созданная программа расчета может служить инструментом для проверки пригодности тех или иных локальных моделей (описание столкновений капель между собой и пленкой, унос жидкости с пленки, межфазное трение, теплообмен и так далее) для рассматриваемого класса течений. При таком подходе опыт расчетов дает направления совершенствования модели.

Диссертационная работа выполнена в рамках НИР «Экспериментальное исследование и моделирование гетерогенных потоков в соплах и струях с высокой массовой долей капель или частиц», в которой автор являлся научным руководителем и ответственным исполнителем. В ходе работы пройден путь от одномерной до пространственной модели, от средних до локальных параметров потока. Ниже приводятся основные результаты работы.

1. Полученные в работе новые экспериментальные данные о пространственной структуре потока позволили уточнить физическую модель течения, полнота этих данных, в комплексе с данными /29,211,240/, позволяет использовать их для проверки других моделей концентрированных газочапельных потоков. В частности, определен характер и получены некоторые количественные данные об изменении по сечению параметров потока на входе в сопло, выявлена зона с малой концентрацией капель у стенки в расширяющейся части сопла, получены данные о колебаниях вытекающей из сопла пленки.
2. Разработана математическая модель пространственного газочапельного соплового течения с учетом пленки, полидисперсности, столкновений и дробления капель при высоком массовом содержании жидкости. Впервые по такой модели проведено численное моделирование осесимметричного соплового газочапельного потока; результаты хорошо согласуются с экспериментом, причем часть расчетных результатов нашла свое подтверждение в последующих контрольных опытах. Численный эксперимент позволил, с одной стороны, сделать выбор между моделями взаимодействия капель с пленкой, с другой стороны, сделать заключение о структуре

поверхности пленки (развитая волновая) и о взаимодействии капель с пленкой (практически нет отскока). Расчеты с различными коэффициентами трения показали, что течение пленки везде можно считать турбулентным, несмотря на невысокое число Рейнольдса, что объясняется искусственной турбулизацией за счет частых ударов капель.

3. Проведенное сопоставление с ранее проведенными расчетами и результатами других исследователей показывает, что в расчетную область необходимо включать область окружающего пространства у среза сопла, учитывать толщину пленки жидкости на стенке сопла и моделировать выхода пленки из сопла. В работе показано, что учет указанных параметров позволяет значительно приблизить граничные условия к реальным.
4. В работе предложен способ прогноза частоты колебаний пленки жидкости, выходящей из сопла. Этот прогноз необходим для оценки устойчивости струй тушащей жидкости. Показано, что заметные колебания с низкой частотой (десятки Гц) угла раскрытия струи и повышенное давление в сужающейся части сопла при повышении расхода воды неизбежно возникают в процессе взаимодействия фаз. Установлено, что частотные характеристики и степень повышения давления связаны со способом смещения газа и жидкости.
5. Выявлены границы применения рассматриваемой математической модели. Установлена их связь с образованием в потоке зон, в которых объемная доля жидкости близка к 1. Даны рекомендации для дальнейшего совершенствования модели, в частности рекомендуется учесть неравновесный теплообмен, также нужны дополнительные данные о взаимодействии капель между собой и пленкой, об уносе капель из пленки;
6. Проведенный анализ численных экспериментов и данных обработки зондовых измерений показал необходимость изменения как методики обработки экспериментальных данных, так и конструкции зонда. Предложена конструкция зонда для одновременного измерения расходов фаз и полного давления потока.

7. Для выбора оптимальных параметров газодисперсных противопожарных систем различной мощности разработана программа расчета параметров потока на ЭВМ, которая использовалась в ходе работ по созданию и совершенствованию систем пожаротушения НИИ НТ МАИ и ООО «Темперо» (РУПТ, система пожаротушения вертолетного базирования, модель системы создания водяной завесы в салоне ВС, газодисперсная система на базе мотоколяски «Кинешма» с расходом 1 л/с).
8. Предложена расчетно-экспериментальная методика анализа внутренней структуры течения и выбора направлений совершенствования сопловых устройств, предназначенных для получения высокоскоростных газочапельных потоков. Методика позволяет значительно сократить материальные и временные затраты при натурных испытаниях опытных образцов двухфазных систем пожаротушения. Показана работоспособность этой методики на примере выбора оптимальных параметров РУПТ и системы пожаротушения вертолетного базирования.

Разработанная математическая модель и рассмотренные теоретические и экспериментальные методы исследования могут также использоваться для выбора оптимальных параметров струй пожарных стволов, потоков от спринклерных и подобных им систем тушения пожаров в складских помещениях, систем нанесения противообледенительной жидкости на поверхность ВС, потоков в парогенераторах, газожидкостных эжекторах, химикотехнологических установках, устройствах резки металлов, бетона, а также в других гидродинамических устройствах, где существуют дисперсные потоки.

С помощью комплексного подхода к исследованию, при котором расчетные и экспериментальные результаты дополняют друг друга, достигнута цель работы - разработаны физическая и математическая модели газочапельного потока в перспективных системах пожаротушения при большом содержании жидкости.