



Моделирование в атмосфере искусственной конвекции, создаваемой высокоскоростной затопленной струей, с применением ПК FLOWVISION

Юлия Владимировна Фишер
начальник группы проектного отдела, ООО «ТЕСИС»

Доклад посвящен исследованию конвективных потоков в атмосфере, которые искусственно создаются различными способами, в частности, высокоскоростными струями. По материалам диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Инициирование восходящих потоков в атмосфере рассматривается в качестве одного из перспективных способов создания искусственных облаков с целью увеличения осадков в засушливых регионах с ограниченными облачными ресурсами. Моделирование конвективных течений в атмосфере, которые представляют интерес с точки зрения формирования искусственных облаков, требует от математической модели учета сжимаемости многокомпонентного газа, сопутствующих физических процессов (турбулентность, перемешивание газовых смесей, испарение и конденсация пара) и задания изменения параметров атмосферы от земной поверхности до уровня естественной конденсации пара – высоты нескольких километров. В докладе рассматриваются сложности создания таких математических моделей и предлагается решение в виде модели атмосферных течений локального масштаба, в которой уравнения записаны в возмущениях величин относительно природных распределений скорости ветра, температуры, плотности, влажности. Модель позволяет рассчитывать конвективные течения в атмосфере, учитывая фоновые природные распределения параметров атмосферы (например, слои инверсии). Кроме того, данный подход позволяет повысить устойчивость решения для проведения инженерных расчетов с использованием методов вычислительной газодинамики. Реализация методики выполнена в ПК FlowVision.

Приводятся примеры применения созданной модели: моделирование вертикально направленной струи турбореактивного двигателя и аэрозольного слоя, полученного при горении



пиротехнических шашек. В качестве основного источника для создания конвективных течений, пригодных для формирования искусственных облаков, рассматривается установка на основе турбореактивного двигателя Д-30 III серии с поворотным соплом. Для увеличения высоты подъема струи используется гигроскопический аэрозоль, подаваемый на выходе из двигателя при помощи форсунок. Конденсация на частицах аэрозоля может происходить при низком уровне относительной влажности воздуха, а скрытая теплота фазового перехода увеличивает плавучесть струи. В качестве аэрозоля используются вещества: поваренная соль, хлорид кальция, мочевины, NaCl/TiO_2 . В математической модели, представленной в исследовании, учитывается перенос частиц аэрозоля в струе и конденсация с выделением тепла, что позволяет проводить численные эксперименты, моделирующие работу установки. В работе обсуждаются вопросы верификации и валидации методики моделирования струйного потока, поднимающегося в атмосфере на высоту до нескольких километров. Представлены результаты расчетов с использованием исходных данных в виде теоретических профилей температуры, ветра и влажности, а также и реальных профилей, полученных в результате радиозондирования местности.

Моделирование трехмерных расчетных случаев, содержащих десятки миллионов расчетных ячеек, проводилось с использованием суперкомпьютера ЮУрГУ «Торнадо».

Результаты моделирования позволят прогнозировать образование и распространение техногенных облаков в атмосфере. Научно-исследовательская работа, материалы которой взяты за основу при написании диссертации, проведена в рамках гранта No APP-REP-2017-02120 UAE Research Program for Rain Enhancement Science.

Ключевые слова: искусственные осадки, CFD, вычислительная газодинамика, турбулентные струи