

# Многопроцессорные вычислительные технологии для моделирования турбулентного горения

А.Ю. Снегирёв, С.В. Лупуляк, Ю.К. Шиндер, А.Л. Липьяйнен, Ю.Я. Болдырев

Математическое моделирование турбулентных диффузионных пламён – одна из наиболее сложных и практически важных задач на стыке механики сплошной среды, горения и теплообмена. Детальное моделирование требует одновременного рассмотрения нескольких существенно разных и чрезвычайно сложных явлений: турбулентное течение реагентов и продуктов, процессы переноса в многокомпонентной газовой смеси, химические реакции, тепловое излучение. Задача ещё более усложняется, если в системе присутствует конденсированная фаза (частицы сажи, частицы или капли горючего, капли воды). Основной движущей силой в развитии данной области математического моделирования являются потребности промышленности, связанные с производством и эксплуатацией двигателей, топков, газовых турбин. Важным практическим приложением данного класса задач является моделирование динамики пожаров и пожаротушения.

Сложность математических моделей приводит к тому, что для численного моделирования турбулентного горения требуются большие вычислительные ресурсы. Действительно, использование многомиллионных расчётных сеток и нестационарные расчёты в течение длительного промежутка времени делают задачу, в большинстве случаев, непосильной для однопроцессорного компьютера. Технологическим решением является использование многопроцессорных кластерных систем. В условиях, когда они становятся всё более доступными, встаёт проблема разработки параллельных программных кодов, эффективно использующих ресурсы с учётом архитектуры кластера.

В данной работе используются вычислительные ресурсы Лаборатории прикладной математики и механики СПбГПУ. Два многопроцессорных кластера – кластер К (12 узлов, 48 ядер AMD Opteron 275, 161.3 GFLOPs) и кластер Л (64 узла, 256 ядер AMD Opteron 280, 1035 GFLOPs) работают под управлением Linux. Специфика третьего многопроцессорного кластера Ω (4 узла, 16 ядер Opteron 280) заключается в том, что он работает под управлением Windows CCS.

В работе даётся обзор результатов численного моделирования турбулентного диффузионного горения в топках котлов электростанций, а также при пожарах в открытом пространстве и в помещениях. В первом случае рассмотрены пламёна прямооточных вихревых горелок большой мощности. Расчёты позволили выявить сложную внутреннюю структуру факела одиночной горелки и исследовать работу топки с двенадцатью горелками. Уникальной особенностью расчётов является наличие в задаче широкого спектра пространственных масштабов: от нескольких миллиметров (размер сопел, через которые подаётся горючее) до нескольких десятков метров (размер топки). Второе направление работ связано с моделированием взаимодействия струи распылённой воды и турбулентного пламени при пожаре. Численные эксперименты позволили объяснить смену режимов подавления пламени при использовании очень тонкого распыла воды и показали, что в этом случае возможно более быстрое подавление пламени при меньших расходах воды. Для целей данного направления работ создаётся собственное программное обеспечение для многопроцессорных вычислений.

Авторы выражают благодарность ЗАО «Экотоп» (В.М. Соболев) за поддержку работ по моделированию турбулентных пламён промышленных горелок. Численное моделирование тушения пожара тонкораспылённой водой выполняется в рамках проекта MicroTEST, финансируемого Microsoft Research.