

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о работе Вэньчао Лю по кандидатской диссертации

«Влияние модели химической кинетики на результаты численного моделирования турбулентных течений с горением»,
представленной к защите на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.1.9 — «Механика жидкости, газа и плазмы»

В работе Вэньчао Лю решена задача, имеющая важное значение для для развития численного моделирования различных энергетических устройств – задача о влиянии кинетической модели на результаты расчета двух важных классов турбулентных течений в каналах. Предложены научно обоснованные разработки – установлены требования к кинетической схеме при использовании модели турбулентного горения PaSR и произведена калибровка эмпирической константы в этой модели.

Решенная задача является весьма актуальной, поскольку реальные энергетические устройства (двигатели внутреннего сгорания, воздушно-реактивные двигатели, газотурбинные установки и пр.) имеют, как правило, весьма сложную конструкцию, структура течения в области горения и характеризуется взаимодействием многих физических эффектов с сильно различающимися масштабами. Это приводит к очень большим компьютерным затратам при численном моделировании даже в случае отсутствия горения. Добавление неравновесных химических реакций крайне усугубляет эту проблему. Поэтому естественным является стремление использовать для расчетов упрощенные кинетические схемы (с малым числом компонент и реакций). Однако упрощение схемы ограничивает диапазон ее применимости и может привести к существенному изменению результатов моделирования. К сожалению, проблема влияния кинетики на результаты расчетов мало исследована в научной литературе; за небольшим исключением, имеются лишь несистематизированные сообщения о влиянии кинетики на решение той или иной конкретной задачи.

Диссертация Вэньчао Лю выгодно отличается от предыдущих работ двумя важными характеристиками. Во-первых, для расширения области применимости и повышения значимости выводов диссертации рассмотрены классические эксперименты по двум сильно различающимся классам турбулентных течений в каналах – сверхзвуковому неперемешанному горению (с существенной ролью самовоспламенения) и дозвуковому предварительно перемешанному горению, стабилизированному по волновому диффузионному механизму. Выбранные эксперименты отличаются тем, что в них воспроизведены основные физические механизмы, характерные для реальных энергетических устройств (например, второй эксперимент моделирует условия в газотурбинных установках). Во-вторых, автор не просто констатировал значительное влияние химической кинетики, а объяснил физические причины наблюдаемого влияния.

Работа была выполнена целиком на базе вычислительного кластера ИАЛТ ФАКТ МФТИ. Это означает, что компьютерные ресурсы, имевшиеся в

распоряжении диссертанта, были весьма ограниченными. Ограничены были и временные рамки работы над диссертацией. Поэтому для получения значимых результатов диссертант должен был выбрать методологически продуманный, экономный путь исследования. Эта проблема была успешно решена. Вэньчао Лю ограничился расчетами на базе уравнений Рейнольдса с использованием коммерческого пакета ANSYS Fluent. При моделировании каждого эксперимента он ориентировался на успешный опыт численного моделирования, полученный ранее в ЦАГИ, и в рамках своих средств расчета стремился максимально воспроизвести результаты ЦАГИ. Когда настройка расчета заканчивалась и он достигал неплохого согласия с экспериментом, диссертант фиксировал все параметры математической модели и сопоставлял расчеты с разными кинетическими схемами, выявляя в чистом виде роль химической кинетики. Обнаружив значительное различие результатов, он детально анализировал поля течения, стремясь обнаружить физические причины расхождения, а также вносил в математическую модель локальные вариации, которые позволяли подтвердить его предположения о причинах изменения решения.

Перед моделированием двух экспериментов, Вэньчао Лю решил весьма непростую задачу о распространении одномерного ламинарного пламени. Точность предсказания скорости ламинарного пламени – одна из двух основных характеристик моделей кинетики; ламинарное пламя также является элементом фронта турбулентного пламени в перемешанных смесях, и в задачах этого класса характеристики моделей турбулентного горения оцениваются через параметры ламинарного пламени. Вэньчао нашел способ надежного решения этой задачи, реализовал его в собственной программе, протестировал ее и затем пользовался этой программой при анализе характеристик турбулентного горения при моделировании экспериментов.

Диссертант проявил большую сосредоточенность и упорство в достижении результатов, преодолел многочисленные трудности (включая эпидемию вирусной инфекции и связанную с этим смену научного руководителя, т.к. прежний руководитель потерял возможность личного контроля над работой). Вэньчао Лю обнаружил способности к анализу и к выработке нестандартных решений и в итоге достиг поставленных перед ним целей. По всем задачам, рассмотренным диссертантом, он получил интересные, не очевидные заранее результаты, которые будут полезны вычислителям занимающимся моделированием горения в реальных энергетических установках. В особенности следует обратить внимание на объяснение причин неправильной работы скелетного механизма горения метана в сочетании с моделью турбулентного горения PaSR. Причины эти весьма нетривиальны, их непросто понять даже специалистам по кинетике и турбулентному горению, поэтому объяснение этих причин является **личным вкладом диссертанта в теорию турбулентного горения.**

Научная новизна работы состоит в том, что **впервые** проанализировано влияние кинетики на структуру течения в двух классических экспериментах ONERA, и **впервые** дано объяснение, почему при использовании метода PaSR глобальная кинетика дает более физичные результаты, чем детальная. Также диссертант **впервые** исследовал влияние молекулярной диффузии на структуру течения с высокоскоростным неперемешанным горением.

