

УТВЕРЖДАЮ



Заместитель начальника ОКБ по науке

ОАО «Авиадвигатель»

Д.т.н., профессор

В.Г. Августинovich

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Булысовой Людмилы Александровны
«ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ И НАЛАДКЕ
МАЛОЭМИССИОННЫХ КАМЕР СГОРАНИЯ ГТУ»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их
энергетические системы и агрегаты»

Диссертация Булысовой Л. А. посвящена важной и актуальной теме: валидации методов математического моделирования рабочего процесса в современных малоэмиссионных камерах сгорания (КС) газотурбинных установок (ГТУ) с целью разработки новых и доводки существующих малоэмиссионных КС.

Актуальность темы диссертации определяется общемировым направлением в разработке современных КС – обеспечение низких уровней эмиссий вредных веществ. Валидацию своей методики трехмерного численного моделирования автор основывает на опыте разработки и доводки КС по тематическим направлениям работы ОАО «ВТИ». В фокусе внимания автора находятся вопросы организации рабочего процесса, неизбежно возникающие на этапе разработки малоэмиссионных КС, - обеспечение требований по эмиссии оксидов азота, устойчивости процесса сжигания топлива, неравномерности поля температуры на выходе из КС. В качестве средства моделирования автор использует коммерческие программные продукты FlowVision (Россия), ANSYS CFX (США).

В автореферате весьма подробно описаны используемые математические модели физических явлений. Представлены сравнения результатов численного моделирования с результатами исследований полей концентраций на выходе из горелочного устройства КС при различных вариантах подачи топлива в основной гомогенный контур, имеющих между собой хорошее соответствие. Представлено хорошее соответствие по амплитуде и частоте при сравнении спектров пульсаций давления на основе расчетных и экспериментальных данных в изотермическом потоке внутри жаровой трубы, имеющие гидродинамическую природу. Проведенный анализ результатов расчетов нестационарного изотермического течения и результатов расчетов осредненного течения с учетом горения позволил сформулировать автору критерий, позволяющий прогнозировать устойчивость процесса сгорания топлива, основанный на близости расположения зоны

от величины критерия устойчивости, имеющая монотонный характер. Указывается на то, что такая взаимосвязь справедлива, по крайней мере, для гидродинамической формы неустойчивости горения. Представлен численный анализ возможностей по подавлению неустойчивостей горения путем перераспределения в объеме зон тепловыделения в заданном поле течения за счет перераспределения топлива между пилотной горелкой и основной, окружной неравномерности поля концентрации в горелке. Представлены зависимости распределения по длине КС расчетного тепловыделения и пульсаций светимости пламени, измеренной специальными оптическими инструментальными средствами. Сделан вывод о корреляции расчетного параметра максимального тепловыделения по длине и пульсаций светимости пламени по длине для определения местоположения фронта пламени. Рассмотрены способы управления полем неравномерности температуры газа на выходе из КС при помощи отверстий разбавления в процессе доводки КС. В заключении представлен алгоритм использования численного моделирования на этапе разработки и доводки КС.

Выполненный объем исследований в ходе работы над диссертацией очень значительный и не вызывает сомнений в оригинальности материала и компетентности автора работы.

Основной научной новизной работы является сформулированный автором критерий для прогнозирования возможного режима виброгорения на основе проведения расчетов осредненного поля течения с горением.

По автореферату диссертационной работы можно сделать следующие основные замечания:

1. Недостаточно четко сформулирован п.4 научной новизны работы.

Результаты экспериментальных и расчетных исследований связи неоднородности поля концентрации топливовоздушной смеси и эмиссии оксидов азота широко известны (см., например, А. Лефевр. Процессы в камерах сгорания ГТД. Изд-во Мир. Пер. с англ., 1986 г.). Количественной связи между среднеквадратичным отклонением (по пространству) поля концентрации топливовоздушной смеси и характеристикой неустойчивости (амплитуды пульсаций давления газа) в автореферате не представлено.

2. Достаточность обоснования введенного критерия неустойчивости горения. Во-первых, интенсивность сдвиговых течений не определяется дивергенцией скорости, как сказано на стр.18, а определяется скоростью угловой деформации потока. В автореферате, по ходу изложения, в критерий устойчивости входят разные характеристики поля скорости. Вначале, на стр.18 указывается, что в качестве таковой принимается дивергенция скорости, которая, затем (на стр.19) аппроксимируется в цилиндрических координатах производной осевой скорости в радиальном направлении. Но эта производная не является компонентой в разложении дивергенции, а является компонентой в разложении градиента вектора скорости в цилиндрических координатах. На стр.20 автор, по неизвестным причинам, оценивает максимальные значения дивергенции скорости (указанные на рисунках) с помощью градиента вектора скорости и в формульном виде вводится критерий, основанный на векторном произведении градиентов температуры и скорости. На стр.21 тот же самый

критерий записывается в виде векторного произведения градиента температуры и дивергенции скорости. Поэтому из автореферата непонятно, в каком виде автор сформулировал окончательно критерий возникновения неустойчивости горения. Во-вторых, ввиду важности этого критерия, необходимо проверить его обоснованность на широко известных модельных задачах по неустойчивости горения, в частности, - труба Rijke. В-третьих, требуется в дальнейшем вывести этот критерий аналитически, например, путем редуцирования полных уравнений термоакустики совместно с уравнениями течения газа, или хотя бы аналитически нащупать указания на существование такого критерия в принципе.

3. **Не представлены численные значения корреляций.** В работе часто упоминается слово «корреляция», но численные значения коэффициента корреляции, для объективной оценки тесноты связи расчетных и экспериментальных данных не представлены.
4. **Прямое сравнение распределений по длине КС пульсаций светимости и расчетного тепловыделения некорректно.** Если светимость пламени определялась по интенсивности излучения возбужденных молекул CH^* , OH^* (в работе не сказано) в реакциях диссоциации/окисления молекул топлива в пламени, то сравнивать можно только физически подобные величины: суммарная интенсивность излучения и расчетное тепловыделение. Следуя автору, сравнение пульсаций светимости и тепловыделения для ламинарного пламени (без пульсаций потока), привело бы к некорректному выводу.

Следует отметить, что указанные замечания не уменьшают ценность полученных автором результатов и их новизну, а являются рекомендациями по дальнейшему развитию этой темы. Судя по автореферату, работа Булысовой Л. А. выполнена на хорошем методическом и научном уровне, является законченной в рамках поставленных задач, отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям и соответствует специальности 05.14.14 – «Тепловые электрические станции, их энергетические системы и агрегаты», а соискатель заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук.

Начальник отдела камер сгорания

Доктор технических наук,

Учёный секретарь,

Кандидат технических наук



А.М. Сипатов



А.А. Саженов