

Отзыв

на автореферат диссертации Царапкина Романа Александровича
«Методика оценки запаса устойчивости рабочего процесса к высокочастотным колебаниям давления в камерах сгорания и газогенераторах жидкостных ракетных двигателей»,

представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.05 «Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов»

Диссертационная работа Царапкина Р.А. посвящена разработке новой методики оценки устойчивости рабочего процесса в камерах сгорания (КС) жидкостных ракетных двигателях (ЖРД) к акустическим автоколебаниям газа по внутрикамерным шумам, регистрируемым датчиками колебаний давления. Учитывая чрезвычайную сложность явления вибрационного горения (ВГ), трудность априорного его предсказания, катастрофические последствия при его появлении актуальность и практическая значимость поставленной задачи не вызывает ни малейшего сомнения.

Оценка устойчивости предполагает определение наиболее неустойчивой моды колебаний и влияние режимных параметров на характер развития, усиление колебаний. Сложность в разработке такой методики заключается в том, что существуют два режима самовозбуждения колебаний - мягкий и жесткий. Возможность жесткого режима колебаний обусловлена нелинейной зависимостью скорости тепло- и массообразования при горении от параметров колебаний газа в звуковой волне. Это воздействие реализуется не только непосредственно, воздействуя на скорость химической реакции, а, главным образом, через многочисленные физические процессы, включенные в процесс турбулентного горения, распыливание и испарение топлива, смешение его с окислителем, гидродинамическую неустойчивость струйных течений и т.п.

Основным методом проверки ЖТД к жесткому возбуждению колебаний являются ударные возмущения, создаваемые в полости КС. Для этой цели ранее были разработаны специальные импульсные устройства, использующие различные взрывчатые вещества.

Для диагностики мягкого возбуждения колебаний часто ограничиваются анализом внутрикамерных шумов, которые в области устойчивого горения вблизи границы ВГ принимают форму случайных узкополосных колебаний. Эти колебания выделяются КС как акустическим резонатором из широкополосного шума турбулентного горения. Из-за малости отклонений давления газа в шумах от среднего давления в КС предсказать, существующий запас устойчивости к жесткому самовозбуждению колебаний оказывается невозможным.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«14» 12 2020

Автору диссертации предстояло разработать метод диагностики, позволяющий решить вопрос о склонности к мягкому и жесткому режимам колебаний любой конкретной КС ЖРД. Для этого требуется выявить общие черты таких потенциально автоколебательных систем. С полным основанием автор диссертации выбрал в качестве диагностической модели «диссипативную» (по форме уравнения) динамическую систему второго порядка, возбуждаемую широкополосным шумом. В качестве параметра устойчивости в такой постановке выступает коэффициент δ при первой произойдной по времени соответствующего уравнения. Коэффициент δ зависит одновременно от диссипации и генерации акустической энергии в КС. Для простоты, автор называет его коэффициентом «затухания» колебаний. Новизна работы заключается в том, что характер изменения коэффициента δ от амплитуды колебаний, следующий из решения данного уравнения в предположении о системе как потенциально автоколебательной, был выбран диссертантом в качестве основного признака склонности КС ЖРД к мягкому или жесткому возбуждению колебаний.

Разработанная методика использует измеренные во время огневого испытания ЖРД пульсации давления газа и после их статистической обработки дает численную зависимость коэффициента δ от амплитуды колебаний.

Новизна работы заключается также в том, что разработанная методика позволяет оценивать изменение конструктивных факторов по параметру δ , работая в области устойчивости, а не по изменению положения границы ВГ в области режимных параметров как принято делать. Это позволяет существенно сократить объем исследований и затраты.

Алгоритм и методика прогнозирования прошли проверку на специально созданной модельной установке – аэродинамическом генераторе шума, на модельных камерах сгорания и на натуральных ЖРД на базе «НИЦ РКП».

Отметим, что в автореферате отсутствует упоминание о необходимой точности определения коэффициента «затухания», о влиянии шумов на точность его определения, о пределах применимости самого метода прогнозирования. На практике (например, в форсажных камерах сгорания ГТД) логарифмические декременты колебаний ниже 0.05 измерить не получается. Происходит это из-за того, что параметры узкополосных колебаний (эффективная амплитуда, частота и фаза) оказываются достаточными (по величине и по времени, в течении которого они остаются примерно постоянными) для подключения нового механизма обратной связи (например, через образование крупных вихрей), приводящего к самовозбуждению колебаний газа. Как быть когда

