

**СВЕРХЗВУКОВЫЕ РЕГУЛИРУЕМЫЕ СОПЛА ТРДДФ**

Цыбизов Ю.И.

АО «Металлист-Самара», 2422490@mail.ru

*Ключевые слова: сверхзвуковой самолет, двигатель, сверхзвуковое регулируемое сопло, выходное устройство, силовая установка.*

В настоящее время в США ведутся работы по созданию демонстратора сверхзвукового пассажирского самолета (СПС) 2-го поколения, которые должны подтвердить наличие технологий, обеспечивающих выполнение перспективных требований к сверхзвуковой гражданской авиации. Стимулом для отечественных разработок в этой области явилось предложение Президента, озвученное во время демонстрационного полета нового сверхзвукового ракетноносца Ту-160М в Казани, о том, что «надо подумать и над гражданской версией». Образованный в России консорциум - Научный центр мирового уровня (НЦМУ) «Сверхзвук» занимается вопросами фундаментальных исследований проблемы создания СПС и силовой установки (СУ) 2-го поколения. Формируется математическая модель СУ и выбор проектных параметров. Особое внимание отводится облику модуля выходного устройства (ВУ), расчету коэффициента тяги сопла и внешнего сопротивления кормовой части мотогондолы [1]. При этом широко используются результаты обобщения проблемы аэрогазодинамики реактивных сопел, выполненные в аэродинамических трубах ЦАГИ, позволившие наметить пути реализации высокого совершенства их параметров [2]. Однако практически отсутствует обобщение опыта отработки натурной конструкции регулируемых сверхзвуковых сопел ТРДДФ тяжелых самолетов по надежности и достижению проектных параметров в то время, как именно реализация достижений прикладной науки – основной критерий значимости достижения.

Очевидно, что при разработке новых конструкций необходимо максимально использовать уже имеющийся опыт по оптимизации системы «самолет - силовая установка-двигатель» и, в частности, опыт отработки сверхзвуковых регулируемых сопел ТРДДФ двигателей семейства НК по параметрам и надежности. Это сопла эжекторного типа и автотельное сопло (без разрыва контура в критическом сечении), эксплуатируемые до настоящего времени в силовых установках современных тяжелых сверхзвуковых самолетов. Результаты расчетно-экспериментальных исследований позволили получить проектные параметры эксплуатируемых ТРДДФ этих самолетов, что является основой информационной базы для разработки конструкций ВУ будущих поколений [3]. Основная особенность представленных исследований заключается в том, что кроме испытаний различных моделей большое внимание уделено доводочным работам натуральных сопел на крыле при выполнении опытной летной эксплуатации. Это связано с тем, что отсутствует полное моделирование условий работы ВУ на основных и промежуточных режимах работы двигателя в составе СУ при имитации полетных условий на стендах предприятий, ТБК ЦИАМ и летающей лаборатории. Особое место здесь занимают вопросы отработки надежности и, в частности, мероприятия по устранению низкочастотных колебаний («тряска») створок регулируемого автотельного сопла ТРДДФ большой размерности, проявившихся только во время летной опытной отработки двигателя в составе СУ ЛА. Это регулярные колебания створок сверхзвуковой части с частотой 14 Гц на бесфорсажном режиме и от 16 до 30 Гц в зависимости от степени форсирования, что вызывало виброперегрузки до 90 г. Высокоскоростные съемки ЛИИ показали, что во время этих низкочастотных колебаний (НЧК) створки совершают правильные периодические движения в сторону открытия и закрытия с сохранением в поперечном сечении правильной формы круга. Потребовался комплекс специальных исследований по определению особенностей работы ВУ в составе СУ самолета: по воспроизведению этих условий на стенде (имитация воздухозаборника, спарки сопел и т.д.), по отработке и проверке эффективности мероприятий по исключению НЧК. Внедрением

профилированных створок дозвуковой части сопла «тряска» была устранена, что позволило дать путевку в жизнь конструкции сверхзвукового регулируемого сопла с непрерывным контуром большой размерности.

В случае применения автомодельного сопла обнаружен эффект восстановления давления к срезу, превышающее давление окружающей среды на крейсерском дозвуковом режиме полета, обуславливающий снижение внешнего сопротивления СУ. Это результат взаимодействия недорасширенной струи с внешним потоком. У эжекторного сопла, работающего на отрывном режиме, этот эффект отсутствует (принципиальное отличие). Отмеченный эффект, указывающий на преимущество схемы автомодельного сопла, необходимо учитывать при проектировании и выборе концепции ВУ. Таким образом, выполненный комплекс доводочных работ при опытной эксплуатации позволил решить кардинальную проблему – создание крупногабаритных сверхзвуковых устройств ТРДДФ большой мощности, превосходящих по параметрам известные зарубежные аналоги.

### **Список литературы**

1. Ланшин А.И., Комратов Д.В., Постников А.А. НЦМУ «Сверхзвук» в тематике разработки авиационных двигателей. Авиационные двигатели. № 1(14), март, 2022. ЦИАМ. С.69-77.
2. Лаврухин Г.Н. Аэрогазодинамика реактивных сопел. Том 1. М. Физматгиз. 2003. С.375.
3. Данильченко В.П., Лукачев С.В., Ковылов Ю.Л., Федорченко Д.Г., Цыбизов Ю.И. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей. Самара. СНЦ РАН. 2008. С.619.

### **Сведения об авторе**

Цыбизов Юрий Ильич, доктор технических наук, профессор. Ведущий конструктор отдела главного конструктора АО «Металлист-Самара». Область научных интересов – гидравлика, аэродинамика, газодинамика, горение.

## **SUPERSONIC ADJUSTABLE TRDDF NOZZLES OF THE NK FAMIL**

Tsybizov Yu.I.

The experience of testing the parameters and reliability of supersonic adjustable turbofan nozzles of large dimensions is presented.