

# ИСПЫТАНИЯ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ПРОДОЛЖАЮТСЯ



**Ахиллей Периклович ПЕКОВ**  
Начальник отдела камер сгорания ОАО «Авиадвигатель»



**Николай Анатольевич АНДРЮКОВ**  
Начальник расчетной бригады отдела камер сгорания ОАО «Авиадвигатель»

- ▶ Ахиллей ПЕКОВ
- ▶ Валерий ТАШКИНОВ
- ▶ Николай АНДРЮКОВ
- ▶ Андрей БЕРБЕК

В течение 2010 – 2011 годов на установке для испытаний полноразмерной камеры сгорания (ПКС-100) был проведён большой объём экспериментальных работ по доводке камеры сгорания (КС) для двигателя ПД-14. Основной целью проведённых работ являлось определение конструктивного облика КС для испытания в составе газогенератора-демонстратора 100ГГ-01.

Установка для испытаний полноразмерных камер сгорания (ПКС-100) предназначена для проверки работы и доводки кольцевой камеры сгорания, разработанной для двигателей семейства ПД, в условиях закрытого стенда испытательного цеха ОАО «Авиадвигатель». Конструктивно ПКС-100 представляет собой камеру сгорания с диффузором, с пристыкованным спереди мерным участком для измерения параметров воздуха, подаваемого стендовыми компрессорами на вход в установку, и турелью с вращающимися гребёнками измерений температуры и давления на выходе из камеры сгорания (в местах, соответствующих месту расположения соплового аппарата I ступени турбины высокого давления).

По тракту ПКС-100 в наиболее значимых местах проводятся измерения нескольких десятков параметров – температуры, давления, пульсаций давления, перепадов на горячей части камеры сгорания,



Во время доводки камеры сгорания для двигателя ПД-14 на установке ПКС-100. ОАО «Авиадвигатель»

расходов воздуха и топлива. Оборудование стенда позволяет имитировать на ПКС-100 работу камеры сгорания на режимах, соответствующих двигателям от розжига до 30 % номинального.

В ходе испытаний было проверено девять вариантов конструктивного исполнения камеры сгорания. Варианты различались между собой:

- конструкцией завихрителей;
- конструкцией форсуночных модулей;
- количеством основных отверстий на наружной стенке жаровой трубы;
- схемой топливопитания.

Для каждого варианта в условиях установки ПКС-100 определены области устойчивой работы камеры сгорания, измерены поля температуры и давления, пульсации внутрикамерного давления, проверены характеристики КС на розжиге.

В процессе испытаний на ПКС-100 проявился ряд особенностей новой камеры сгорания, с которыми не приходилось встречаться ранее. Первая особенность возникает вследствие того, что в ПД-14 используются низкоперепадные форсунки. В зависимости от режима работы газогенератора перепад на форсунках и коллекторах составляет от менее чем 0,5 кгс/см<sup>2</sup> (на запуске)

Ещё одна особенность новой камеры сгорания – относительно бедная топливная смесь в зоне интенсивного горения и стабилизации пламени. Такое техническое решение было заложено при проектировании камеры сгорания для уменьшения эмиссии оксидов азота, поскольку разрабатываемому двигателю предстоит проходить сертификацию по достаточно жёстким нормам ИКАО 2014 года на выбросы газообразных вредных веществ (ГВВ). В 2010 году на установке ПКС-100 было проведено оценочное измерение выбросов ГВВ, результаты которого предварительно показали хорошие эмиссионные характеристики камеры сгорания. Более корректную оценку эмиссии ГВВ планируется проводить на газогенераторе и двигателе, на высоких режимах работы, которые недостижимы при испытаниях ПКС-100.

В то же время, забеднение топливной смеси в зоне стабилизации пламени несколько сужает диапазон устойчивого поддержания пламени в исследуемой камере сгорания, по сравнению, например, с камерами сгорания двигателей семейства ПС-90А. Для каждой испытывавшейся на ПКС-100 конструктивной схемы в обязательном порядке определялся диапазон устойчивой, бесрывной работы, внедрялись мероприятия по расширению границ области горения по коэффициенту избытка воздуха. Результатом проведённых работ явилось то, что в процессе испытаний газогенератора 100ГГ-01 ни разу не зафиксирован бедный срыв пламени ни в одном из испытаний – камера сгорания во всём

проверенном на газогенераторе диапазоне режимов работает устойчиво.

До начала огневых испытаний новой камеры сгорания существовали опасения, что низкие значения перепада на форсунках могут способствовать возникновению неустойчивости горения, а именно, пульсациям внутрикамерного давления. В процессе испытаний ПКС-100 специалистами КО-760 и испытательного цеха постоянно проводилось измерение пульсаций давления в камере сгорания, в течение всего времени работы установки. Существенных пульсаций давления на стационарных режимах работы отмечено не было, а некоторые небольшие пульсационные явления на нестационарных режимах работы ПКС-100 связаны не столько с конструкцией камеры сгорания, сколько с особенностями управления подачей топлива и воздуха к установке в условиях стенда №27. Отсутствие пульсационного горения при работе камеры сгорания подтверждено при испытаниях газогенератора 100ГГ-01(010).

И в 2010, и в 2011 годах на ПКС-100 велись работы по отработке розжига. Проверялись условия, при которых камера сгорания разжигается и устойчиво горит при использовании в конструкции различных форсунок, в компоновке с различными завихрителями и разным количеством основных отверстий на стенке жаровой трубы, с несколькими вариантами подачи топлива к форсункам. При проведении работ по розжигу на установке ПКС-100 ещё раз проявились преимущества форсуночных модулей, выбранных в



**Валерий Александрович ТАШКИНОВ**  
Начальник бригады отдела камер сгорания ОАО «Авиадвигатель», к.т.н.



**Андрей Михайлович БЕРБЕК**  
Инженер-конструктор отдела камер сгорания ОАО «Авиадвигатель»

ЭЛЕМЕНТЫ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ  
авиационного двигателя ПД-14

дальнейшем для установки на газогенератор 100ГГ-01. Камера сгорания с вышеупомянутыми форсунками разжигается более плавно, с меньшими забросами температуры, при меньших расходах топлива, по сравнению с другими вариантами конструктивного исполнения форсунок. Кроме того, с самого момента розжига выбранные форсунки обеспечивают существенно более равномерные поля температуры на выходе из КС, чем форсунки альтернативных, проверившихся на ПКС-100 конструкций.

В результате проведенных испытаний установки ПКС-100 определены наиболее критичные для устойчивого розжига значения условий на входе в камеру сгорания, результатом чего разработаны алгоритмы проведения запуска и выхода на режим малого газа для газогенератора 100ГГ-01.

Испытания по розжигу на ПКС-100, в частности, позволили установить необходимые для розжига и пламепереброса на все форсунки КС расходы топлива и скорости воздуха на входе в камеру. Можно отметить ещё одну из проявившихся при испытаниях ПКС-100 особенностей: после розжига камеры сгорания расход топлива на входе в форсунки может быть уменьшен более чем в три раза, что не приводит к срыву пламени. Этот факт мог стать своего рода резервным мероприятием для борьбы с возможными явлениями помпажа на запуске газогенератора. Однако, поскольку помпажных явлений при запусках 100ГГ-01 не наблюдалось,

### В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ВЕДЕТСЯ ПОДГОТОВКА К ПРОВЕДЕНИЮ ИСПЫТАНИЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ В СОСТАВЕ ПКС-100 НА ВЫСОТНОМ СТЕНДЕ ФГУП «ЦИАМ ИМЕНИ П. И. БАРАНОВА»

применение данной особенности розжига КС в алгоритме запуска газогенератора не потребовалось.

Итогом работ, проведенных на установке ПКС-100 явился выбор для постановки на газогенератор 100ГГ-01(010) оптимальных вариантов завихрителей, форсуночных модулей, а также оптимального распределения воздуха вдоль жаровой трубы. Выбранное конструктивное исполнение камеры сгорания обеспечивает надёжный розжиг КС, работу на режиме малого газа и выше малого газа. На первом этапе испытаний газогенератора топливопитание камеры сгорания было реализовано по схеме, позволяющей существенно упростить алгоритмы розжига КС и выхода на режим малого газа, хотя и являющейся компромиссной в плане обеспечения равномерных полей температуры на входе в турбину 100ГГ-01.

Во время проведения первого этапа испытаний газогенератора камера сгорания продемонстрировала свою работоспособность в широком диапазоне режимов работы, от розжига и малого газа до максимально достигнутого во время испытаний режима. Также во время испытаний подтвердилось, что КС в составе газогене-

ратора имеет на всех режимах достаточные запасы по коэффициенту избытка воздуха над границей бедного срыва.

На втором этапе испытаний газогенератора схема топливопитания камеры сгорания была изменена на более сложную, которая при испытании на установке ПКС продемонстрировала существенно более равномерные поля температуры на выходе из КС. В то же время, изменение схемы топливопитания потребовало отработки запуска газогенератора по специальному алгоритму, который был успешно разработан в процессе стендовых испытаний совместно специалистами отдела камер сгорания, отделения систем автоматического управления и контроля, ведущего отдела гражданских авиадвигателей пермского КБ.

В настоящее время отделом камер сгорания ОАО «Авиадвигатель» совместно с ведущим отделом гражданских авиадвигателей продолжают работы по доводке КС для установки на газогенераторы 100ГГ-01 и 100ГГ-02. Кроме того, ведётся совместная работа ОАО «Авиадвигатель» и ЦИАМ им. П. И. Баранова по подготовке и проведению испытаний камеры сгорания в составе ПКС-100 на высотном стенде. ■

# «ПЕРМСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД» ГОТОВ К ЛЮБЫМ ИСПЫТАНИЯМ

– Алексей Николаевич, охарактеризуйте, пожалуйста, испытательную станцию.

– Автономная загородная станция – это целый комплекс объектов, которые обслуживают около 300 человек. Четыре испытательных стенда, участок сборки и ремонта реверсивных устройств двигателей ПС-90А. Здесь своя котельная, компрессорная станция, топлиохранилище, химическая лаборатория, участок обслуживания технологических, электрических, измерительных систем стенда. Испытательные стенды 1 и 2 законсервированы и готовы к модернизации. На 3-м и 4-м проходят испытания ПС-90А. Стенды построены с применением монолитного литья, с верхним креплением двигателя и рассчитаны на испытания двигателей тягой до 30 тонн.

– Является ли стенд типовым или же он уникален?

– Наш стенд типовой, но имеет уникальную тягоизмерительную систему. Уникальность этой системы – в минимальной погрешности измерений. Кроме того, объем боксов на стенде достаточно велик, что позволяет работать с минимальной аэродинамической погрешностью. В России далеко не все испытательные станции имеют боксы такого размера.

– Какие изменения происходят сегодня на станции?

– На сегодняшний день основная задача, стоящая перед «Пермским моторным заводом» и нашими партнерами, – реконструкция стенда № 1, по окончании которой он станет универсальным и сможет ис-

пользоваться для испытаний как двигателей ПС-90А, так и проектируемого ПД-14. Реконструированный стенд планируется ввести в эксплуатацию в 2012 году. На стенде будет установлено оборудование для опытных испытаний ПД-14 и серийных испытаний ПС-90А



пользоваться для испытаний как двигателей ПС-90А, так и проектируемого ПД-14. Реконструированный стенд планируется ввести в эксплуатацию в 2012 году. На стенде будет установлено оборудование для опытных испытаний ПД-14 и серийных испытаний ПС-90А

на режимах прямой и обратной тяги. Когда мы начнем программу испытаний на первом стенде, у нас появится возможность остановить 3 и 4 стенды для их коренной реконструкции. Здесь мы сможем испытывать двигатели следующего поколения, с тягой до 30 тонн.

## ДОСЬЕ

Алексей Николаевич  
КАЗАКОВ  
Заместитель начальника  
испытательной станции  
ОАО «Пермский  
моторный завод»  
по технической части

В 1984 году закончил авиационный техникум имени Аркадия Швецова по специальности «Техник-механик по авиационным двигателям». С 1986 года работает в цехе № 52 (испытательная станция). Работал на Д-30Ф6, параллельно учился в ППИ факультет авиационных двигателей, специальность «инженер по авиационным двигателям» закончил в 1993 г. В течение последних 15 лет занимает должность заместителя начальника по технической части испытательной станции ОАО «Пермский моторный завод». Практически все двигатели семейства ПС-90А, стоящие сегодня на крыле, прошли через его руки.