

- **MRU OF 1200.** Прибор для определения загрязненности воздуха сажей и копотью. Работает непрерывно, стационарный и переносной варианты. Используется в противопожарных системах.
- **LAMBDA- Регулятор LU 2.** Прибор для определения концентрации кислорода в продуктах сгорания.
- **Комбинированный зонд KS 1.** Отборы на O_2 и CO производятся одним и тем же зондом. Преимущество: экстремально короткое время анализа, при быстром изменении CO .

Дополнительная информация по вопросам функциональной адаптации приборов к конкретным условиям эксплуатации, их обслуживания и приобретения может быть получена в инжиниринг - внедренческой фирме «Рост-плюс» г. Самара, тел./факс: 8462-321131, 8462-996845, E-mail: rost-p@saminfo.ru.

УДК 621.438.577.4

ОПЫТ ДОВОДКИ МАЛОЭМИССИОННОЙ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ (МКС) ДВИГАТЕЛЯ Д-30КУ-154

Шинкарев В.Я., Волков С.А., Охлобыстин А.В., Касьминов П.Н.

ОАО "Рыбинские моторы", г. Рыбинск

1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ

В связи с ужесточением норм на эмиссию вредных веществ на международном уровне встал вопрос о модификации серийной камеры сгорания двигателя Д-30КУ-154.

По эмиссии наиболее экологически важного компонента, оксидов азота NO_x , двигатель Д-30КУ-154 находится на лучшем современном уровне, а по эмиссии CO , HC , а также возможно и дыма, не соответствует стандарту ИКАО [1]. Поэтому были предприняты шаги как в целях выполнения имеющихся норм на эмиссию CO и HC , так и в целях обес-

печения конкурентоспособности двигателя по уровню эмиссии CO и HC в сравнении с иностранными аналогами.

2. ДОВОДКА КАМЕРЫ СГОРАНИЯ

Анализ доводки экологических характеристик камер сгорания зарубежных и отечественных двигателей показывает, что технически это возможно [1].

С этой целью ОАО "Рыбинские моторы" совместно с ЦИАМ приступило к разработке серийного варианта малоэмиссионной камеры сгорания (МКС) для двигателя Д-30КУ-154.

В соответствии с техническим заданием на разработку МКС было необходимо модернизировать серийную камеру с минимальными изменениями ее конструкции. При этом требовалось сохранить конструктивно-силовую схему камеры, диффузор, газосборник, не изменять расположения форсунок и т.д.

Таким образом, основными конструктивными мероприятиями, позволяющими улучшить экологические характеристики серийной камеры сгорания, оказались изменение конструкции фронтального устройства (ФУ) и изменение размеров и расположение основных отверстий жаровой трубы (ЖТ).

Замена щелевого ФУ на более совершенное завихрительное улучшила полноту сгорания топлива и, как следствие этого, значительно снизила выбросы CO и HC [2].

После экспериментального подтверждения возможности уменьшения выбросов вредных веществ до требуемого ИКАО уровня с помощью этой схемы ФУ необходимо было оптимизировать конструкцию ФУ с учетом конструктивных и режимных особенностей камеры сгорания двигателя Д-30КУ-154. С этой целью в ОАО "Рыбинские моторы" было сконструировано несколько вариантов завихрителей разной размерности и с различной закруткой потока в радиальном завихрителе относительно осевого завихрителя, по результатам испытаний которых был выбран базовый вариант (вариант 1) для испытаний на двигателе.

Комплект жаровых труб с этим вариантом ФУ был испытан в составе двигателя на стенде ОАО "Рыбинские моторы". Испытания проводились с целью определения выбросов вредных веществ. Измерения проводились газоанализаторами "Бекман" и дымомером

УИД-1 в соответствии с требованиями ИКАО. Результаты измерения эмиссии вредных веществ приведены в таблице 1.

Таблица 1. Экологические характеристики камеры сгорания двигателя Д-30КУ-154

Характеристика	Серийная КС	МКС Базовый вариант	Норма ИКАО по эмиссии	Испытания
CO , г/кН	292.8	99.5	118.0	двигатель
C_xH_y , г/кН	53.1	1.5	19.6	двигатель
NO_x , г/кН	40.4	38.0	61.4 48.4 *	двигатель
Число дымности, SN	22.9	12.5	23.5	двигатель

* - предполагаемые нормы ИКАО (с 2008 года)

Как видно из таблицы 1, характерные уровни эмиссии вредных веществ двигателя Д-30КУ-154 с МКС соответствуют действующим и предполагаемым нормам ИКАО.

Испытания подтвердили также работоспособность модернизированной камеры сгорания в составе двигателя. В то же время испытания на двигателе и однокорпусном отсеке показали, что камера сгорания требует доводки по расширению области запуска и диапазона устойчивой работы, по устранению нагарообразования на соплах завихрителей и тепловому состоянию. Обнаруженные недостатки предполагалось устранить в процессе доводки без изменения принципиальной схемы камеры сгорания.

Для устранения этих недостатков ОАО "Рыбинские моторы" доработали завихрители с целью устранения нагароотложения и ввели мероприятия по ЖТ для устранения перегревов ее стенок. Два варианта доработанных жаровых труб (варианты 2,3) были испытаны в составе двигателя [3,4] и позволили практически устранить эти недостатки.

Для проверки влияния разработанных мероприятий на основные характеристики МКС был проведен ряд экспериментов. Результаты экспериментов выявили расхождение срывных и пусковых характеристик МКС и серийной камеры сгорания.

В условиях одногорелочного отсека диапазон устойчивого горения и пусковые характеристики МКС значительно ниже этих же характеристик у серийной камеры сгорания как в земных, так и в высотных условиях (таблица 2).

Таблица 2. Срывные и пусковые характеристики вариантов МКС двигателя Д-30КУ-154

Вариант	Срывные			Пусковые	
	малый газ	Н=7 км		Н=7 км	
		α_{max}	α_{max}	$V_{max}, M^3/c$	α_{max}
0	35-40	7	0,52	6,5	0,35
1	20,5	4,8	0,42	2,4	0,2
2	16,6	3,1	0,23	2,2	0,15
3	14,5	3,4	0,26	2,3	0,17

Из теории и опыта создания авиационных камер сгорания известно, что улучшение эмиссионных характеристик обычно сопровождается ухудшением пусковых характеристик КС: диапазонов устойчивого горения и воспламенения топлива. Разработка МКС двигателя Д-30КУ-154 основана на интенсификации смешения топлива с воздухом и обеспечении высокой полноты сгорания топлива. Такая реализация рабочего процесса в МКС, естественно, должна сопровождаться уменьшением диапазонов устойчивого горения и воспламенения топлива по сравнению с серийной КС. Однако такое изменение пусковых характеристик МКС не должно, в конечном итоге, ухудшить пусковые характеристики двигателя Д-30КУ-154 с МКС, если сужение диапазонов устойчивого горения и воспламенения не превысит некоторых предельно допустимых границ.

По предварительным оценкам для обеспечения надежного запуска двигателя Д-30КУ-154 с МКС в земных условиях требуется, чтобы $\alpha_{max} \geq 25$, и, кроме того, достаточно широкий диапазон воспламенения топлива в камере сгорания.

Мероприятия против нагароотложения в доработанных жаровых трубах (варианты 2,3) позволили практически устранить отложение нагара на ФУ, однако уменьшили α_{max} примерно на 25%. Это обстоятельство могло привести к ухудшению пусковых характеристик двигателя с полным комплектом доработанных жаровых труб.

С целью улучшения пусковых характеристик МКС ОАО "Рыбинские моторы" разработали два варианта жаровых труб (варианты 4,5), отличающихся от базового варианта существенными изменениями фронтальных устройств (при сохранении принципиальной схемы завихрителей) и распределением воздуха по длине труб. Результаты испытаний этих вариантов подтвердили, что доработанные жаровые трубы обеспечили значительное улучшение пусковых и срывных характеристик МКС по сравнению с вариантами ЖТ с противонагарными мероприятиями. При этом у варианта высотные характеристики были лучше, чем у серийной КС двигателя Д-30КУ-154 (таблица 3).

Таблица 3. Срывные и пусковые характеристики вариантов МКС двигателя Д-30КУ-154

Вариант	Срывные			Пусковые	
	малый газ	Н=7км		Н=7км	
	α_{max}	α_{max}	$V_{max}, M^3/c$	α_{max}	$V_{max}, M^3/c$
0	35-40	7	0,52	6,5	0,35
1	20,5	4,8	0,42	2,4	0,2
2	16,6	3,1	0,23	2,2	0,15
3	14,5	3,4	0,26	2,3	0,17
4	25	12,5	0,65	7,2	0,35
5	40	10,5	0,4	5,8	0,23

Однако мероприятия по улучшению срывных и пусковых характеристик привели к ухудшению эмиссионных характеристик: выбросы оксида углерода увеличились приблизительно в 1,5 раза по сравнению с базовым вариантом ЖТ МКС.

Следующий шаг был направлен на мероприятия по улучшению эмиссионных характеристик, сохраняя при этом пусковые и срывные

характеристики на уровне серийной КС. Путем дополнительного подвода воздуха в первичную зону и оптимизации конструкции осерадиально-го завихрителя удалось снизить выбросы CO практически до уровня базового варианта ЖТ МКС, сохранив пусковые и срывные характеристики на ранее достигнутом уровне (вариант б). Результаты замеров срывных и эмиссионных характеристик последнего варианта приведены в таблице 4.

Таблица 4. Срывные и эмиссионные характеристики вариантов МКС двигателя Д-30КУ-154

Вариант	Эмиссионные						Срывные		
	Малый газ (МГ)						МГ	Н=7 км	
							α_{\max}	α_{\max}	$V_{\max}, \text{ м}^3/\text{с}$
0 серийная КС	α	4,25	5,2	6,23	7,2		35-40	7	0,52
	η	98,65	96,65	95,8	95,4				
	E_{HC}	8,0	13,0	18,5	20,3				
	E_{CO}	57,0	71,0	83,0	95,0				
1 базовый МКС	α	6,07	7,06	5,2			20,5	4,8	0,42
	η	98,9	98,7	98,8					
	E_{HC}	2,6	3,3	2,7					
	E_{CO}	34,7	38,7	39,6					
б	α	5,05	5,6	5,95	6,54	7,03	50	9	0,5
	η	99,0	99,0	98,9	98,7	98,4			
	E_{HC}	1,5	2,0	2,5	3,6	5,0			
	E_{CO}	34,0	33,5	36,7	39,6	41,7			

Таким образом, получен вариант жаровой трубы, соответствующий всем предъявленным требованиям к КС двигателя Д-30КУ-154.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Определение возможности модифицирования камеры сгорания двигателей Д-30КУ/КУ-154 с целью выполнения норм ИСАО на эмиссию экологически вредных веществ /Техническая справка № 005 – 13 / 125, -М.: ЦИАМ, 1994.
2. Волков С.А., Горланова Е.Е., Матвейчик Л.И. Разработка и сравнительные испытания базового варианта жаровой трубы для малоэмиссионной ка-

меры сгорания двигателей Д-30КУ/КУ-154 /Технический отчет № 005 / 501,-М.: ЦИАМ, 1995.

3. Малоэмиссионная камера сгорания двигателя Д-30КУ-154. Результаты испытаний доработанных жаровых труб на земном стенде /Технический отчет № 005 – 007А, -М.: ЦИАМ, 1999.
4. Результаты исследования малоэмиссионной камеры сгорания двигателя Д-30КУ-154 на высотном стенде /Техническая справка № 005 – 006А, -М.: ЦИАМ, 1999.