

УДК 629.12

С.Н. Хрунков¹, Е.Л. Лысенко^{1,2}, А.В. Сеземин², И.Х. Ахмадбекова^{1,2}
**ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
НА ЭКРАНОПЛАНАХ**

¹ *Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева*

² *ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева*

В статье рассматриваются проблемы, возникающие при эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей на экранопланах в условиях морской среды. Приводятся результаты экспериментальных исследований изменения технических характеристик турбореактивного газотурбинного двигателя НК-87 в условиях подачи искусственной морской воды.

Ключевые слова: экраноплан, энергетическая установка, газотурбинный двигатель, воздухозаборное устройство, засоление газозвдушного тракта.

Экраноплан – высокоскоростное транспортное средство, движущееся со скоростью от 400 до 600 км/ч на относительно небольшой (до нескольких метров) высоте от поверхности воды, земли, снега или льда. Ввиду того, что подъемная сила складывается с силой, образующейся от экранного эффекта, экраноплан обладает более высокой экономичностью и грузоподъемностью по сравнению с самолетом. Экраноплан сочетает в себе как преимущества судов, проявляющиеся в его высокой мореходности и способности длительно находиться в плавании в водоизмещающем режиме, так и возможности летательного аппарата, благодаря реальности безопасного полета на малых высотах над уровнем водной поверхности с авиационными скоростями [1,2]. В отличие от гидросамолетов, для которых пребывание в воде является эпизодическим событием, экраноплан приспособлен для длительного пребывания в море и осуществления взлета и посадки в условиях ветроволновых возмущений. Большой вклад в создание высокоскоростного флота, в том числе экранопланов, внесли специалисты НГТУ им. Р.Е. Алексеева [3].

При проектировании экранопланов особое внимание должно быть уделено энергетической установке. Энергетическая установка должна обеспечивать разгон экраноплана до скорости отрыва его от воды, крейсерский полет в зоне влияния экрана, а для амфибийных экранопланов – выход на сушу и движение над ней. Поэтому наибольшее распространение на экранопланах получили энергетические установки на базе авиационных газотурбинных двигателей (турбовинтовых, турбореактивных, турбовентиляторных) [1,2].

Существует два принципиальных подхода к формированию энергетической установки экраноплана [1]. Характеристика этих подходов дана ниже.

1. Энергетическая установка делается раздельной: группа двигателей специально для старта и группа двигателей для основного режима движения – полета вблизи экрана. В этом случае носовые двигатели предназначены работать только на старте с помощью поддувного устройства, поэтому называются стартовыми, а для основного режима, т.е. крейсерского полета, предназначен высокоэкономичный кормовой двигатель, который называется маршевым. По такому принципу сформирована силовая установка экраноплана «Орленок» (рис. 1). Для выполнения отдельных режимов движения (полет в перегрузочном варианте, полет на больших экранных или внеэкранных режимах) к маршевому могут подключаться стартовые (при нулевых углах отклонения струй) двигатели.



Рис. 1. Транспортно-десантный экраноплан «Орленок»

2. Энергетическая установка делается единой. По такому типу сформирована силовая установка экраноплана «Лунь» (рис. 2). В этом случае все двигатели, установленные на специальном пилоне перед несущим крылом, используются и как стартовые, и как маршевые. Такая энергетическая установка обеспечивает повышение мореходности экраноплана.

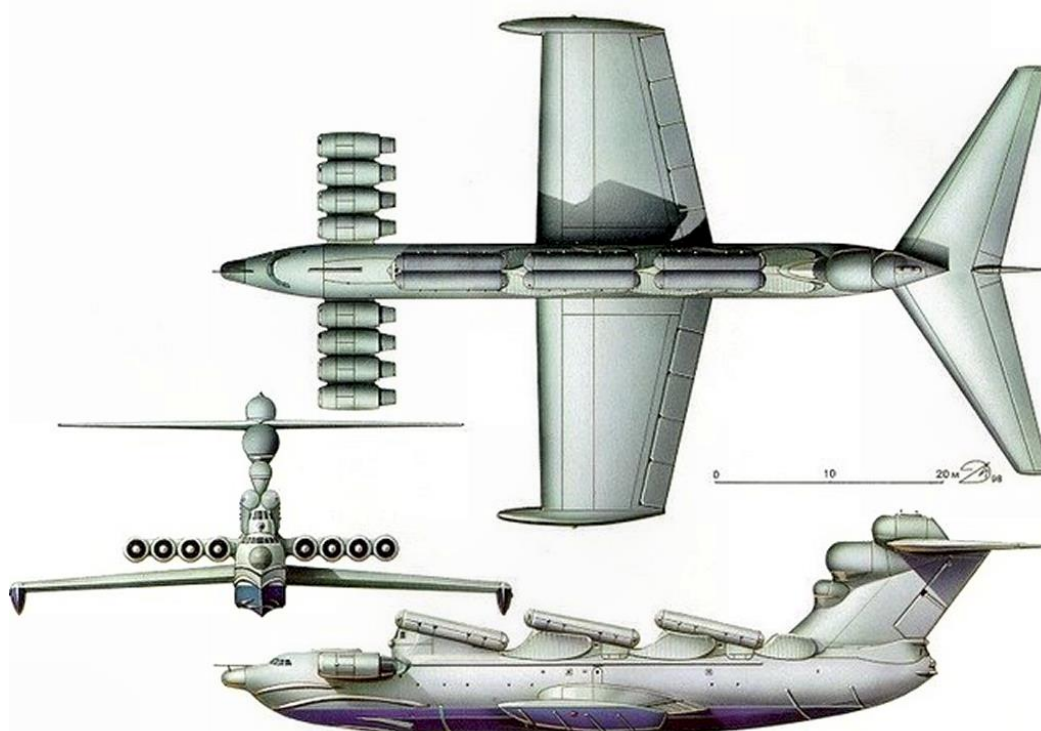


Рис. 2. Ракетный корабль-эканоплан «Лунь»

На экраноплане газотурбинные двигатели работают в специфических условиях, отличных от условий работы на самолетах. Так, на взлетно-посадочных режимах движения и при плавании на волнении воздухозаборники двигателей подвергаются интенсивному за-

брызгиванию, а при движении по грунту – воздействию твердых частиц песка и пыли [4,5]. В связи с этим, а также в целях обеспечения надежности и требуемого ресурса, авиационные двигатели должны быть доработаны (конвертированы) применительно к условиям работы на экраноплане.

Наиболее важным элементом, влияющим на нормальную работу газотурбинного двигателя, является воздухозаборное устройство. Рациональность конструкции воздухозаборного устройства заключается в правильности выбора и размещении его на экраноплане с точки зрения снижения аэродинамического сопротивления и уменьшения попадания в воздухозаборник капель морской воды, особенно на режимах взлета и посадки.

Главными проблемами при выборе рациональной конструкции воздухозаборного устройства является неспособность определить точные условия, характеризующие морскую среду, и неумение выявить влияние этой среды на его компоновку. Двигателестроителями доказано, что попадание содержащихся в воздухе загрязнений в камеру сгорания газотурбинного двигателя приводит к серьезному ухудшению его технических характеристик и снижению ресурса [1,6]. Несмотря на то, что проблемы, связанные со сжиганием загрязненного воздуха, характерны для всех газотурбинных двигателей, наиболее остро эти проблемы сказываются при эксплуатации их в морской среде [1,7,5].

В большинстве случаев крупные, естественные, порождаемые кораблем капли (т.е. капли, имеющие диаметр не менее 50 мкм) опускаются в море за какие-то несколько секунд после их образования. Однако мелкие частицы аэрозолей могут захватываться пограничным слоем корабля и переноситься к любой незащищенной части транспортного средства.

Фактические высота и профиль плотности аэрозольного пограничного слоя изменяются в функции окружающих условий. График, представленный на рис. 3, не будучи очень подробным, все же дает обобщенный диапазон зависимости между высотой и плотностью пограничного слоя, основанной на данных, которые были получены по программе «Разработка воздухозаборников морских газовых турбин». На графике указаны также среднемассовые диаметры «частиц влаги», содержащихся в пограничном слое. Следует отметить, что график учитывает влияние порождаемых кораблем брызг, имевшихся во время измерений концентрации соли на борту кораблей.

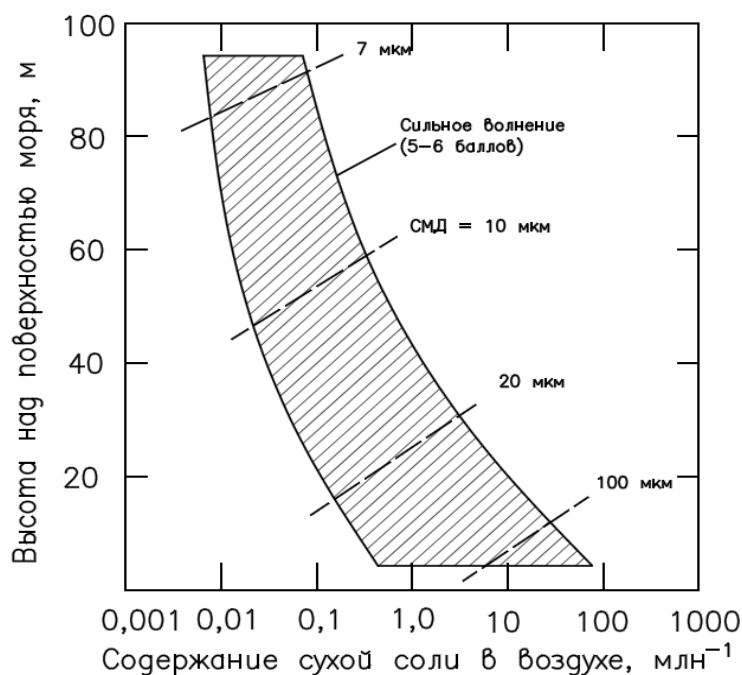


Рис. 3. Обобщенные характеристики пограничного слоя солевых аэрозолей над поверхностью раздела воды и воздуха

С целью определения проблем, возникающих при эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей на экранопланах, а также выбора рациональной конструкции воздухозаборного устройства, в ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева проведены специальные испытания турбореактивного газотурбинного двигателя НК-87 (рис. 4), в условиях подачи искусственной морской воды (МВ). Материалы испытаний содержатся в документации по двухконтурному турбореактивному двигателю НК-87 в ЦКБ по СПК им. Р.Е. Алексеева.

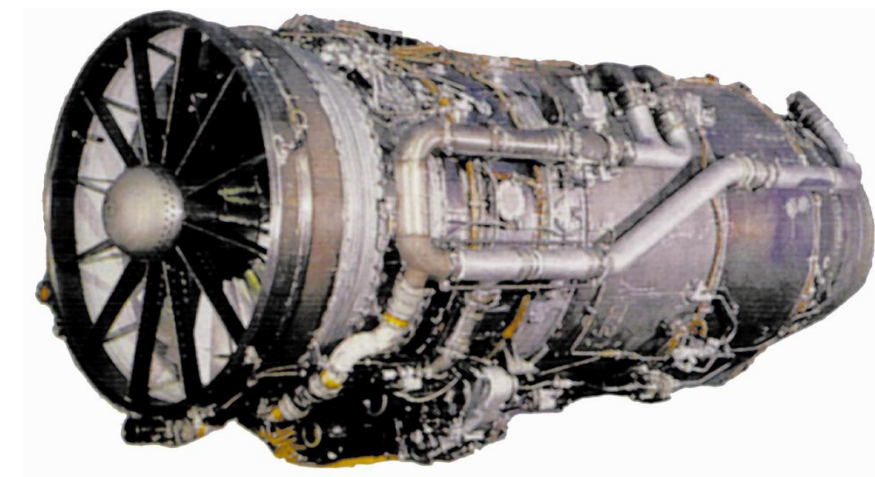


Рис. 4. Турбореактивный двигатель НК-87 для экраноплана «Луны»

Морская вода (МВ) подавалась через многофорсуночный коллектор, а наработка двигателя с подачей МВ суммарно составила 176 часов, из них:

- 0,95 часа с водностью 0,1%;
- 1,17 часа с водностью 0,15%;
- 174 часа с водностью 0,0002%.

Относительное изменение технических характеристик двигателя НК-87 в зависимости от количества израсходованной МВ, определенные на максимальном режиме $n_{нд пр} = 5500$ об/мин = *const*, представлены в табл. 1.

Таблица 1.
Относительное изменение технических характеристик двигателя НК-87
в зависимости от количества израсходованной МВ

Водность, %	Расход МВ, л/мин	Время, с	Кол-во израсходованной МВ, л	ΔR , %	$\Delta G_{вз}$, %
Без засоления	0	0	0	0	0
0,1	17,03	100	28,4	- 2,7	- 1,4
0,15	25,5	200	85	- 6,6	- 3,0
0,15	25,5	200 (2 раза)	170	- 9,15	- 4,2

Каждый этап испытаний включал в себя подачу МВ, т.е. засоление газоздушного тракта, и последующую его промывку пресной водой. Промывка газоздушного тракта обеспечивала полное восстановление технических характеристик двигателя, что позволило достоверно определить влияние засоления.

На рис. 5 и 6 представлены зависимости изменения тяги и суммарного расхода воздуха на входе в двигатель НК-87 от количества израсходованной МВ при $n_{нд пр} = const$.

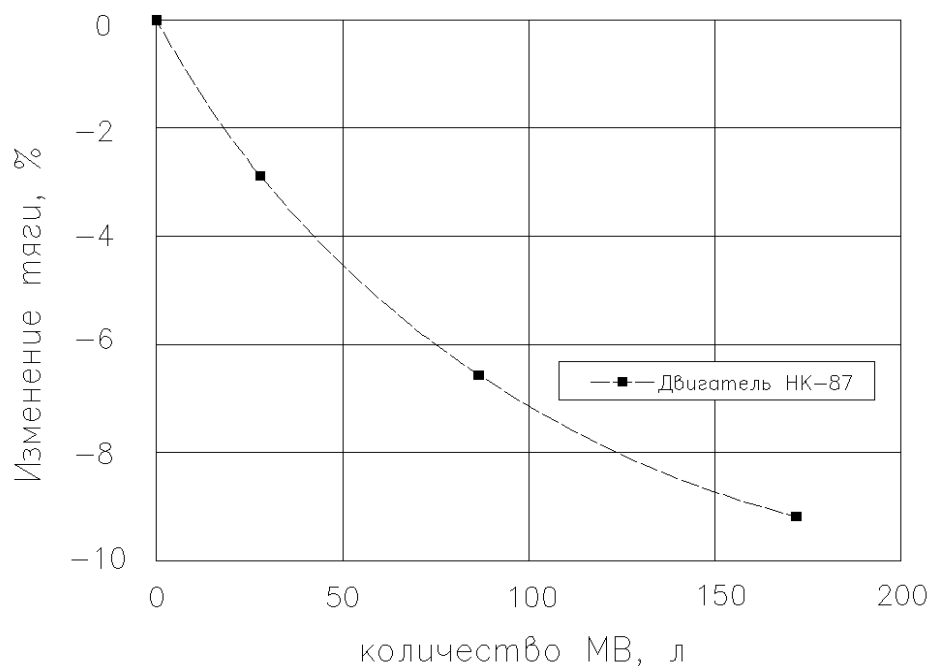


Рис. 5. Зависимость изменения тяги двигателя НК-87 от количества израсходованной МВ

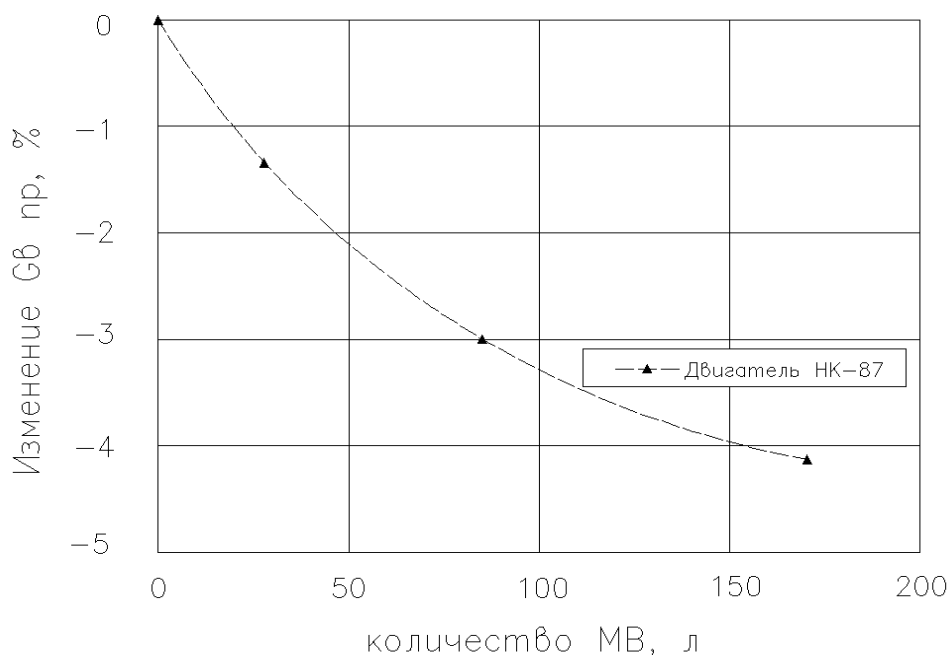


Рис. 6. Зависимость изменения суммарного расхода воздуха на входе в двигатель НК-87 от количества израсходованной МВ

Характер представленных на рис. 5 и 6 зависимостей показывает, что основным фактором, влияющим на изменение технических характеристик газотурбинного двигателя НК-87, определяется количеством соли, попавшей в его проточную часть. В свою очередь,

количество попавшей в двигатель МВ однозначно определяется уровнем водности и временем ее воздействия.

Снижение тяги газотурбинного двигателя НК-87 при воздействии морской среды проявляется, главным образом, за счет изменения характеристик компрессора низкого давления. Основанием для такого вывода является значительное изменение суммарного расхода воздуха через двигатель (при $n_{нд пр} = const$) и может быть объяснено только снижением пропускной способности компрессора низкого давления вследствие засоления его проточной части.

При осмотре состояния основных деталей проточной части газотурбинного двигателя НК-87 после завершения испытаний (с учетом промывки проточной части) обнаружен остаточный налет соли на рабочих лопатках компрессора высокого и низкого давления.

Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

- 1) при эксплуатации авиационных газотурбинных двигателей на экранопланах возможно снижение тяги на 9 % за счет воздействия морской среды вследствие засоления его газозоудушного тракта;
- 2) наиболее эффективным мероприятием для снижения потерь тяги авиационных газотурбинных двигателей в результате засоления, является выбор рациональной конструкции воздухозаборного устройства, позволяющего уменьшить попадание морской воды в газозоудушный тракт двигателя и, как следствие, снизить потерю тяги до 2 %;
- 3) необходимо производить промывку газозоудушного тракта двигателя после каждого выхода в море для полного восстановления технических характеристик двигателя.

Библиографический список

1. Химич, В.Л. Проектирование силовых установок экранопланов. Учебник для курсантов Военно-морского инженерного института и студентов высших учебных заведений [Текст] / В.Л. Химич, Ю.П. Чернигин. – СПб.: Судостроение, 2011. – 428 с.
2. Князьков, А.В. Перспективы развития судов с динамическим принципом поддержания [Текст] / А.В. Князьков, П.А. Гринимайер, Е.Л. Лысенко // Транспортные системы. 2016. № 1. С. 32-38.
3. Дмитриев, С.М. Подготовка специалистов в области кораблестроения и авиационной техники в условиях Нижегородского региона / С.М. Дмитриев, Е.Г. Ивашкин, С.Н. Хрунков [Текст] // Развитие кадрового потенциала ОПК: федеральные программы и региональная кадровая политика. Материалы X Всерос. совещания, Ижевск, 23-24 ноября 2017 г. – Ижевск: ИННОВА, 2017. С.42-48.
4. Химич, В.Л. О методе оперативной оценки изменений параметров газотурбинного двигателя, работающего в условиях загрязненной среды [Текст] / В.Л. Химич, Ю.П. Кузнецов // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 6. С. 244.
5. Химич, В.Л. О механизме солеотложения в проточной части газотурбинного двигателя, работающего в условиях морской среды [Текст] / В.Л. Химич, Ю.П. Кузнецов // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 1. С. 99.
6. Хрунков, С.Н. Малоразмерный радиальный турбинный привод ручного пневматического инструмента для судостроения и судоремонта [Текст] / С.Н. Хрунков, А.А. Крайнов // Материалы V международного Балтийского морского форум. форума 21-27 мая 2017. С.239-244.
7. Химич, В.Л. Расчет характеристик газотурбинных двигателей в условиях загрязненного воздуха методом малых отклонений. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений [Текст] / В.Л. Химич, В.И. Барышников, Ю.П. Чернигин. – Н. Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2008. – 71 с.