

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОКАЗАТЕЛЯ НАДЕЖНОСТИ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18076322>

Туганов Гафурджан Шокирович

Начальник цикла авиационного оборудования

**ИНСТИТУТ ВОЕННОЙ АВИАЦИИ УНИВЕРСИТЕТА ВОЕННОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ И ОБОРОНЫ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

В работе проанализированы отказы газотурбинных двигателей ТВ3-117ВМ (ВМА), эксплуатируемых в условиях горно-пустынной местности, и их влияние на безопасность полётов и летную готовность авиационной техники. Рассмотрены причины отказов, их опасность и распределение по этапам полёта, а также обоснована необходимость применения комплексных методов технической диагностики. Предложен подход к классификации технического состояния ГТД с целью повышения надёжности эксплуатации.

Ключевые слова

безопасность полётов, газотурбинный двигатель, ТВ3-117ВМ (ВМА), техническая диагностика, надёжность, вибрация, летная готовность.

The paper analyzes failures of TV3-117VM (VMA) gas turbine engines operating in mountainous and desert conditions and their impact on flight safety and aircraft readiness. The causes and severity of failures are examined, and the need for integrated technical diagnostic methods is substantiated. An approach to classifying the technical condition of gas turbine engines is proposed to improve operational reliability.

ANALYSIS OF FLIGHT SAFETY IN ENSURING THE REALIBILITY INDICATORS OF AIRCRAFT GAS TURBINE ENGINES

Tuganov Gafurdjan Shokirovich

Chief of avionic department

**THE MILITARY AVIATION INSTITUTE OF THE UNIVERSITY OF MILITARY
SECURITY AND DEFENCE OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN**

Keywords

flight safety, gas turbine engine, TV3-117VM (VMA), technical diagnostics, reliability, vibration, flight readiness.

Mazkur ishda tog'-cho'l sharoitida ekspluatatsiya qilinayotgan TV3-117VM (VMA) gaz-turbinali dvigatellar nosozliklari va ularning parvoz xavfsizligiga ta'siri tahlil qilingan. Nosozlik sabablari va xavflilik darajasi ko'rib chiqilib, kompleks texnik diagnostika usullarini qo'llash zarurligi asoslangan. Gaz-turbinali dvigatellarning texnik holatini tasniflash yondashuvi taklif etilgan.

Kalit so'zlar

parvoz xavfsizligi, gaz-turbinali dvigatel, TV3-117VM (VMA), texnik diagnostika, ishonchlilik, vibratsiya, uchish tayyorgarligi.

По данным доклада Авиационного надзора по событиям, определяющим причину авиационных происшествий (АП), основными факторами аварий, приведшими к инцидентам, стали отказы техники и их силовых установок из-за износа проточной части двигателя, а также столкновения с землей или препятствиями при посадке и управляемом полете. В процессе проведения анализа были рассмотрены авиационные события, произошедшие в условиях горно-пустынной местности, по степени опасности в период с 2017 по 2024 гг., которые значительно повлияли на боеготовность АТ [1; 8 с., 2; 23 с., 3; 21].

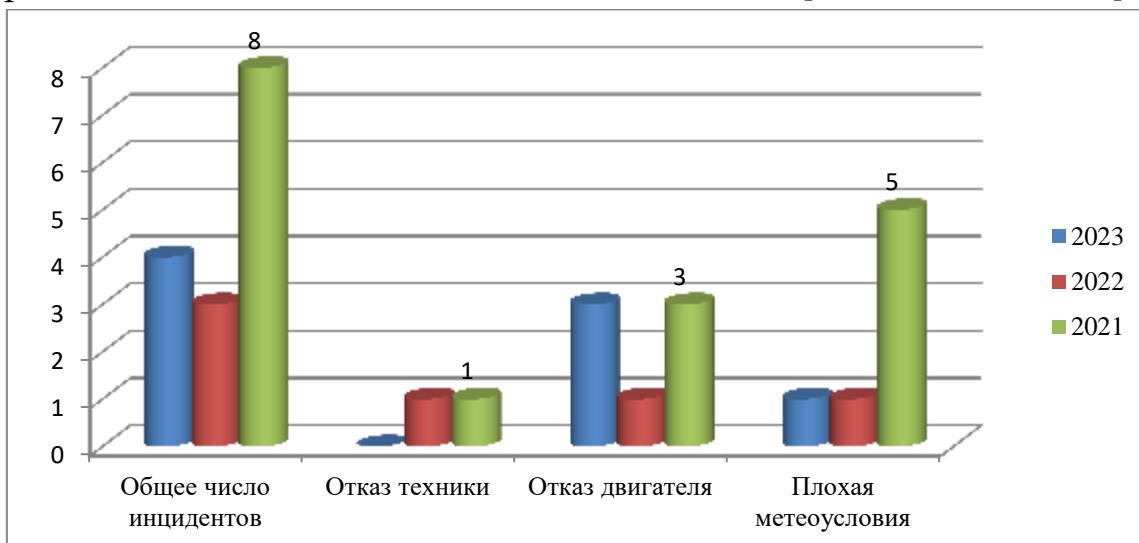


Рисунок 1.1. Статистика инцидентов, связанных с недостаточными показателями надежности двигателей в условиях горно-пустынной местности

При этом, можно без исключения отметить, что инженерно-авиационное обеспечение (ИАО) оказывает влияние на боеготовность соединения главным образом через количество боеготовой АТ, а также наличие, состояние и способность своих сил и средств выполнять задачи по предназначению [2; 53-68 с.].

Средний налёт на отказ двигателя, приведший к авиационным ситуациям (АС) в условиях горно-пустынной местности за рассматриваемый период составил 146 часов. Случаи полного выключения двигателей рассматриваемого типа распределились по этапам полета, таким образом, как указано на рисунке 1.2.

Из данной картины видно планомерное снижение числа АС и степени их опасности за указанный период, чему свидетельствует то, что на данном типе силовая установка конструкторского бюро планомерно проводятся доработки по повышению надежности и безотказности, а они в свою очередь приводят к заметным положительным результатам. Самое большое количество АП с выключением двигателей (57 %) замечается на следующих этапах полета: взлет, набор высоты и крейсерский полет [3; 28 с.,].



Рисунок 1.2. Распределение АС с отказами двигателей ТВ3-117ВМ (ВМА) по этапам эксплуатации в условиях горно-пустынной местности за 2021-2023 гг.

Анализируя статистику отказов двигателей ТВ3-117ВМА в условиях горно-пустынной местности, необходимо отметить, что наиболее опасные события были связаны с их внутренними разрушениями.

Наиболее вероятными (всего 65 % процентов расследуемых случаев) [5; 14 с.] стали следующие причины отказов ГТД: повреждения от попадания посторонних предметов (ППП), внутреннее разрушение двигателя (стружка в масле), коробление и прогар жаровой части камеры сгорания, разрушение опор и заклинивание ротора двигателя, разрушение (оплавление) и обрыв лопаток турбины, разбандажирование рабочих лопаток. Эти отказы потенциально опасны возникновением помпажа и в дальнейшем пожароопасности двигателя. Из анализа были выделены также характерные «внешние» признаки, сопровождающие перечисленные события: повышенная вибрация летального аппарата (ЛА); хлопок и нарушение продольной устойчивости самолета; глухие стуки со стороны отказавшего двигателя; шлейф густого белого дыма за двигателем.

Двигатель вместе с его системами и агрегатами должен быть спроектирован и изготовлен так, чтобы в нормальных условиях эксплуатации в цикле назначенного ресурса и срока службы возникшие отказы с опасными последствиями, приводящие к возникновению КС за час наработки двигателя являлись как события практически невероятные (10^{-9}).

Основной задачей по обеспечению надежной и безопасной эксплуатации ГТД должно стать исключение событий, связанных со следующими опасными последствиями: разрушения деталей ротора, обломки которых не остаются внутри корпусов (нелокализованные разрушения); нелокализованные пожары; отказы, вызывающие повышение состава в отбираемом воздухе вредных примесей масла сверх допустимых концентраций; функциональные отказы, приводящие к потере тяговых характеристик (часто на взлете); функциональные отказы, без возможности выключения двигателя. Все мероприятия, проводимые в целях повышения безопасности полетов (БП), должны быть направлены на исключение подобных событий и на поддержание допустимого уровня безопасности. Нормативные значения вероятности особых ситуаций, определенных отказными состояниями отдельных систем, агрегатов, в том числе и двигателей в условиях горно-пустынной местности, приведены в таблице 1.1 [1; 48 с.].

Таблица 1.1

Нормативные значения вероятности особых ситуаций
на час полета в условиях горно-пустынной местности

Особые ситуации	Нормативные значения вероятности на час полета (1/час)
-----------------	--

Катастрофическая ситуация (KC)	менее 10^{-9}
Аварийная ситуация (AC)	10^{-9} - 10^{-7}
Сложная ситуация (CC)	10^{-7} - 10^{-5}
Усложнение условий полёта (УУП)	10^{-5} - 10^{-3}

Подтверждение выполнения этих требований должно проводиться на основе анализа конкретной схемы и реальной конструкции, материалов статистической оценки за длительный период эксплуатации, а также результатов испытаний данного ГТД. Также должно производится сравнение нормативных значений с фактической наработкой за 1/час полёта на отказ двигателей ТВ3-117ВМ (ВМА) в условиях горно-пустынной местности, как указано на рисунке 1.4.

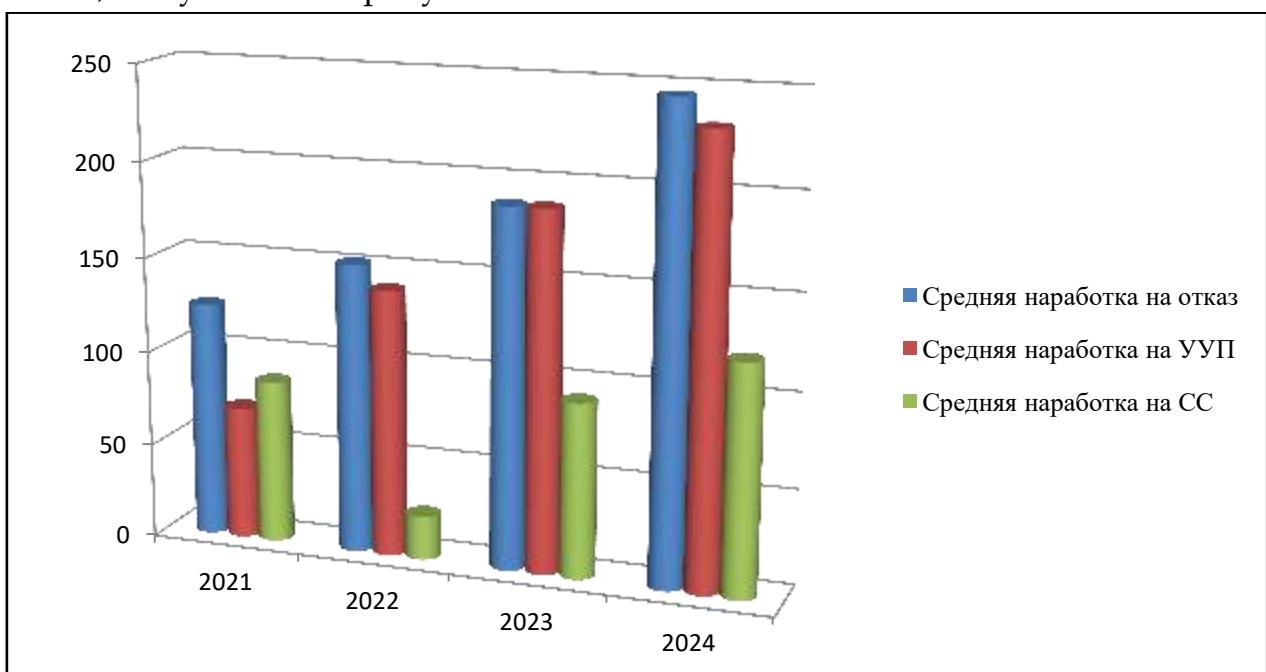


Рис. 1.4. Средняя наработка за час полета на отказ двигателя ТВ3-117ВМ (ВМА) по степени опасности в условиях горно-пустынной местности за 2021-2024 гг.

Проанализировав данное распределение, необходимо отметить недостаточную обеспеченность летной готовности (ЛГ) по имеющимся значениям наработки и отношению к нормативным, особенно при

возникновении сложных ситуаций (события связанные с ситуациями более высокой степени опасности отмечены не были).

На наш взгляд, разработка новых методов оценки технического состояния авиационных ГТД в условиях эксплуатации, является одной из таких частных методик. Анализ УБП и ЛГ при эксплуатации авиационных ГТД, основанный на комплексном применении различных методов оперативной диагностики и учитывающий вероятность, а также степень опасности возникновения АС, по сути, является одним из начальных этапов формирования общей картины технического состояния ВС. Данная методика, прежде всего, должна:

содержать идентификацию и анализ опасности, выявляемых в процессе эксплуатации ГТД;

иметь оценку условий технической деятельности в оценке технического состояния (ТС) диагностический объект (ДО), считающейся потенциально опасной;

иметь обобщенный критерий количественной оценки УБП и ЛГ, позволяющий с достаточной степенью достоверности и информативности оценивать состояние ГТД;

быть эффективной с точки зрения повышения УБП и затрат на этот процесс;

быть адаптированной и интегрированной с общей структурой СУБП, (терминология, структура, получаемые результаты);

проведение анализа УБП и ЛГ авиационного ГТД в процессе его эксплуатации, должно осуществляться концептуальной схеме оценки, представленной на рис. 1.6 Следует отметить, что данная схема является типовой и может дополняться и совершенствоваться в процессе функционирования.

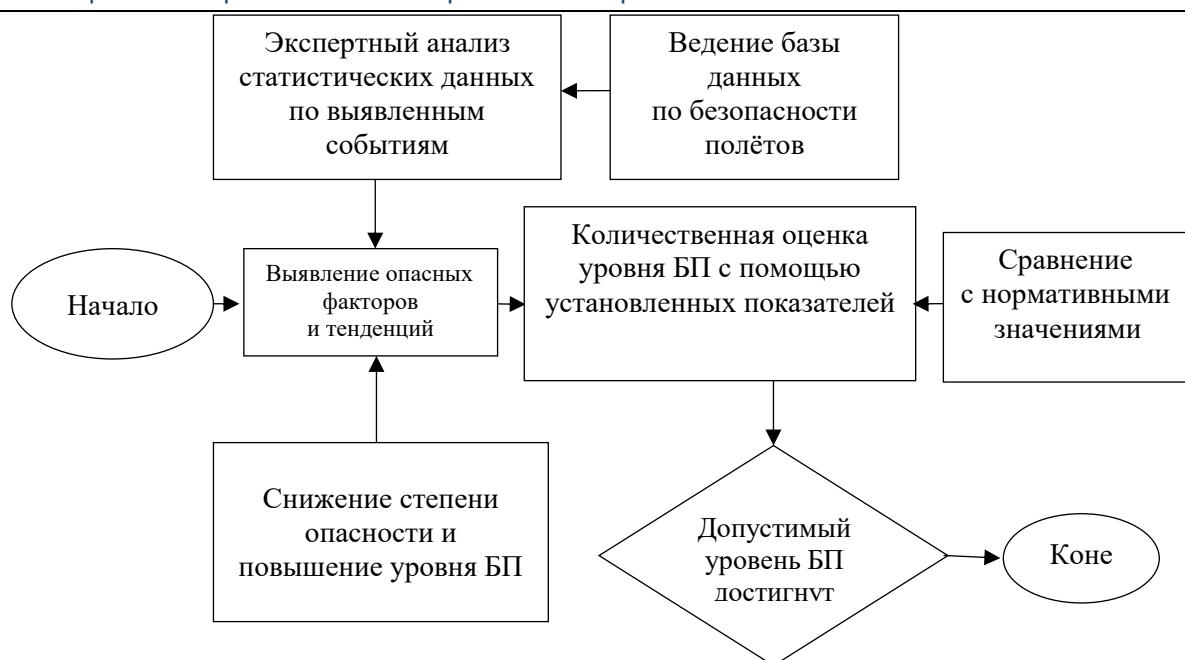


Рисунок 1.6. Концептуальная схема оценки УБП и ЛГ

Таким образом, можно отметить, что процесс анализа уровня БП указанными ранее методами, будет считаться завершенным только в том случае, если будут выработаны все меры по предотвращению выявленных опасностей в будущем (либо снижения вероятности их появления до приемлемого уровня).

Приоритетным направлением в области повышения безопасности полетов АТ является совершенствование системы и логической организации диагностики, а так же самих ее процессов диагностирования. Как показывает

практика, в эксплуатации такой сложной динамической многокомпонентной системы, какой является авиационный ГТД, зачастую трудно установить «адресность» дефектов.

Известные методы инструментального контроля, математического моделирования предотказных состояний ГТД, методы полунатурных испытаний, факторного анализа и другие, зачастую не дают желаемого эффекта. Перспективными на наш взгляд, являются методы и средства диагностики, которые представлены на рисунке 1.7, основанные на различных физических принципах, позволяющие проконтролировать ответственные узлы и агрегаты двигателя.

Относительное многообразие методов объясняется тем, что ни один из них не позволяет учесть все требования, предъявляемые к формированию диагноза со 100 % достоверностью, поскольку они несут специфическую информацию разной ценности. Кроме того, ни один из методов не позволяет оценить состояние двигателя с достаточной степенью детализации. С помощью сочетания ряда методов можно осуществить более глубокий контроль (как правило, на земле), однако, это часто требует специальных условий и продолжительности по времени.

В результате возникает вопрос, - при каком сочетании методов диагностики можно в короткие сроки «адресно» и достоверно предупредить отказ? Этот вопрос до настоящего времени всестороннее не раскрыт. Поэтому, и сейчас имеют место случаи необоснованного съема двигателей с эксплуатации или, что более опасно, пропуск дефектов из-за неправильно поставленного диагноза, как правило, связанных с погрешностями обработки диагностической информации или сбоя в процессе ее анализа (человеческий фактор). К тому же полностью до конца не раскрыт информационный потенциал контролируемых параметров, несущих важную информацию об объекте диагностирования. Здесь следует акцентировать внимание на термине «информационный потенциал», под которым понимается недоиспользованная возможность учета информационной значимости, как контролируемых параметров, так и методов диагностики, позволяющих более точно определить состояние объекта, т. е. оперативнее приблизиться к цели, «адресу» дефекта. Ранее такого рода задачи рассматривались в работах известных ученых.

Правда, каких-либо количественных характеристик упомянутой функции в этой части диссертации не приводится. Эта взаимосвязь (информативность – метод) подтверждена практикой эксплуатации, где косвенным критерием информативности служит безошибочность диагноза при проявлении признака, регистрируемого данным методом. Далее, проведем анализ этих методов.

Сравнительный анализ информативности существующих и перспективных средств технической диагностики АТ с позиций информативности, количества информации $I(X)$, получаемой при проведении оценки, определяют по уменьшению энтропии объекта $I(X) = H(X) - H^(X)$.*

По результатам анализа разработана иерархическая структура и экспертная оценка по позиции информативности (таблица 1.2) основных методов диагностики ГТД.

Таблица 1.2

Экспертная оценка по позиции информативности
основных методов диагностики ГТД

№ п/п	Инструментальные методы диагностики	Балл (максимально - 10 баллов)
1	Тепловизионная (инфракрасная) термография	9,5
2	Трибомониторинг (анализ проб авиамасел)	8,5
3	Эндоскопия (фото-видео документирование)	8,0
4	Вибраакустический	7,5
5	Термогазодинамическая параметрия	6,0
6	Неразрушающий контроль (кроме теплового)	6,0
7	Аналитические и классификационные	7,0
8	Статистические решения	6,0
9	Прогностические	5,5

Диагностика, как научное направление формирует идеологию, принципы, способы диагностирования и прогнозирования технического состояния сложных технических систем (СТС) в процессе их испытаний и эксплуатации. Техническая диагностика решает следующие задачи: создание контролепригодного объекта; разработка систем и средств извлечения важной информации; разработка методов обработки и анализа извлекаемой информации; обоснование и реализация наиболее практических способов регистрации параметров; разработка рекомендаций по внедрению результатов контроля и диагностики.

Классификация методов технической диагностики для прогнозирования ТС ГТД (таблица 1.3), как объект диагностики может находиться в различных технических состояниях.

Таблица 1.3

Классификация методов технической диагностики
для прогнозирования ТС ГТД

1. По этапам эксплуатации		
на этапах наладки	при техническом обслуживании	при выполнении плановых ремонтов оборудования
2. По степени использования технических средств		
без технических средств	с применением простейших средств усиления информационного сигнала	с использованием технических средств
3. По глубине диагностирования технологической системы		

общие	поэлементные
4. По степени информативности - методы, обеспечивающие получение информации	
о моменте появления отказа	о причине отказа при использовании
и о месте возникновения дефекта	автоматических средств диагностики

По результатам диагностирования двигатель относят к тому или иному техническому состоянию, поэтому необходимо знать, как классифицируется техническое состояние двигателя в процессе эксплуатации [5].

По итогам проведенного анализа материалов первой главы, нами разработаны и предложены методы классификации технического состояния двигателя, с учетом его особенностей функциональности. Так, в процессе эксплуатации ГТД подвергается воздействию широкого спектра различных факторов конструктивно-производственного и эксплуатационного характера, что приводит к изменению кривых характеристик и параметров двигателя во времени и его функциональности соответственно.

Заключение. По результатам выполнения задач исследования можно сделать следующие выводы:

обоснование эмпирических данных вибрационных характеристик ротора ГТД на основе нормального распределения в условиях горно-пустынной местности показало, что эмпирические данные были исследованы результативно, и кроме того, на основе нормального распределения вибрации ГТД определены задачи, повышающие надежность авиационных двигателей;

обоснование расчёта доверительного интервала технической диагностики вибрации ротора газотурбинного двигателя в условиях горно-пустынной местности, показало его адекватность, а также то, что своевременность его проведения позволяет своевременно диагностировать какие-либо дефекты в ходе предполетной подготовки или уже в ходе полета;

обоснование согласованности теоретических данных с данными вибрационных характеристик ротора ГТД, показало их адекватную согласованность, а также представлены данные статистической обработки СУ. Значения наблюдений вероятностных распределений с.в. одного ОД по дисперсии вероятности отклонения составило $\sigma = 6.8$, а второго ОД по отклонению составило $\sigma = 9.82$. Полученная разница в значениях показывает, что в интервалах вибрации $[2.5 \div 32.5]$ мм/сек в СУ происходит процесс износа подшипников качения турбокомпрессора. Разность операции сравнения

между отклонениями вероятностных значений при высоком показатели вибрации 32.5 мм/сек составляет 0.01043.

ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Ушакова А.П., Озеров А.В., Зотов В.В. Технический отчет. Выборочная оценка технического состояния вращающихся узлов силовой установки вертолета МИ-8МТВ. – М., 2006. – С. 1-11.
2. Чернышов В.Н. Теория систем и системный анализ. – Тамбов: Университет, 2018. – 96 с.
3. Чичков Б.А. Модели и параметрическая диагностика авиационных двигателей. – М., 2004. – 157 с.
4. Юнусова С.М. Совершенствование моделей и методов диагностирования проточной части газотурбинного двигателя в системе мониторинга силовой установки летательного аппарата. Диссертационная работа на соискание ученой степени доктора технических наук. – СПб., 2017. – 433 с.
5. Spychała J., Majewski P., Żokowski M. The Use of the Vibroacoustic Method for Monitoring the Technical Condition of Aero Engines with Extended Time between Overhauls // Solid State Phenomena, 2015. – P. 283-288.
6. Руководство по сохранению летной годности при технической эксплуатации воздушных судов (АП РУ-146). Второе издание. Ревизия №4. – Т.: Агентство Гражданской Авиации при МТ РУ, 2020. – 77 с.