

УДК 629.7

ББК 39.56

Д. А. Шоманков

Минск, Республики Беларусь

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ АЭРОМЕТРИЧЕСКИХ
ПРИБОРОВ И ПРИЕМНИКОВ ВОЗДУШНЫХ ДАВЛЕНИЙ НА
БЕЗОПАСНОСТЬ ПОЛЕТОВ**

Определены основные виды отказов и неисправностей приемников воздушных давлений и аэрометрических приборов, выявлены причины их возникновения. Приведены результаты анализа влияния этих неисправностей на безопасность полетов.

Ключевые слова: неисправность, средний налет на отказ, авиационное событие, сложная ситуация, вероятность возникновения особой ситуации в полете, катастрофа, авария.

D. A. Shomankov

Minsk, Republic of Belarus

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF AEROMETRIC INSTRUMENTS
AND PITOT – STATIC PROBES FAULTS ON FLIGHT SAFETY**

The main types of failures and faults of pitot – static probes and aerometric instruments are determined and the causes of their occurrence are revealed. The results of the analysis of these faults influence on flight safety are presented.

Keywords: faults, mean flight time between failures, aviation event, difficult situation, probability of occurrence inflight abnormal circumstances, air crash, accident.

Измерение барометрической высоты, воздушной скорости и числа Маха (М) полета осуществляется посредством системы приемников воздушных

давлений (ПВД), которая состоит из непосредственно приемников, соединенных с пневматическими системами статического и полного давления воздуха. Пневматические системы полного и статического давления включают в себя соединенные между собой трубопроводы, шланги, дюриты, разветвители, влагоотстойники, краны, пневмопереключатели и другие элементы, наличие или отсутствие которых определяется конкретным типом ПВД и ВС, на котором ПВД устанавливается.

Система статического давления ПВД воспринимает статическое давление воздуха, в месте расположения приемника на воздушном судне (ВС), и передает его по пневматической системе к аэрметрическим приборам (АМП), измеряющим барометрическую высоту (высотомеру) и вертикальную скорость полета (вариометру). Система полного давления воспринимает давление набегающего, адиабатически заторможенного потока воздуха и передает АМП, измеряющим воздушную (приборную и истинную) скорость и число М полета.

На основе статистических данных определены основные неисправности систем ПВД, проявляющиеся в процессе эксплуатации (таблица 1) [Разработка алгоритмов автоматизированного контроля датчиков приборной скорости и барометрической высоты самолета Су-25 по информации средств объективного контроля», шифр «Гроч»].

Таблица 1 – Основные неисправности систем ПВД и доля их проявления в процессе эксплуатации

Вид неисправности	Тип системы ПВД, % отказов	
	Система статического давления	Система полного давления
Закупорка в пневматической системе	85 %	81 %
Разгерметизация в пневматической системе	11 %	12 %
Другие неисправности	4 %	7 %

Основные причины неисправностей систем ПВД приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные причины закупорки и разгерметизации систем ПВД

<i>Причины разгерметизации</i>
Ослабление затяжки гаек в местах соединения металлических трубопроводов и разъемов

Растрескивание резиновых рукавов вследствие усыхания и озонного старения
Некачественное подсоединение резиновых рукавов к трубопроводам и штуцерам приборов
Перетирание трубопроводов и резиновых рукавов о рядом расположенное оборудование при вибрации и перегрузках, возникающих в полете
Образование свищей в металлических трубопроводах вследствие их коррозии
Возникновение микротрещин на выходных штуцерах штанги ПВД
Растрескивание (разрушение) колпачков влагоотстойников, усадка их уплотнительных прокладок и недостаточная затяжка
<i>Причины закупорки</i>
Засорение приемных отверстий штанги ПВД
Пережатие резиновых рукавов и шлангов
Засорение трубопроводов и сеток фильтров в штуцерах АМП смесью полисилоксановой эмульсии с тальком
Попадание в трубопроводы частиц резины, пыли, песка и других посторонних частиц
Попадание в трубопроводы влаги (воды, снега) и замерзание ее в полете
Ошибочная установка или непреднамеренное перемещение крана переключения ПВД в промежуточное положение
Выпуск самолета в полет без снятия чехлов и заглушек с приемников воздушных давлений

Разгерметизация и закупорка в системах ПВД может быть полной или частичной. Полная закупорка или разгерметизация систем ПВД приводит к явно выраженным неадекватным показаниям АМП или их нечувствительности, что однозначно выявляется экипажем во время полета или инженерно-техническим составом (ИТС) во время предполетной подготовки ВС. При частичной закупорке или разгерметизации систем ПВД появляется значительное запаздывание в показаниях АМП. Характер проявления отказов будет идентичным отказам, соответствующим полной закупорке и разгерметизации, но протекающим более медленно. Поэтому в наземных условиях частичную закупорку или разгерметизацию пневматических систем ПВД возможно выявить только с использованием специальной КПА. Возникновение в полете частичной закупорки или разгерметизации ПВД приводит к несоответствию показаний АМП фактическим режимам полета и работы силовой установки. Летным составом в большинстве случаев частичная закупорка или разгерметизация ПВД не выявляется, что подтверждается результатами анализа безопасности полетов.

Основными конструктивными элементами АМП являются датчики и

чувствительные элементы (ЧЭ), передаточно-множительные механизмы (ПММ), преобразователи сигналов, вычислители, коррекционные механизмы, указатели и другие элементы, наличие которых зависит от типа прибора.

В соответствии со статистическими данными, основные неисправности АМП в каналах измерения барометрической высоты и воздушной скорости, проявляющиеся в процессе их эксплуатации, представлены в таблице 3 [Разработка алгоритмов автоматизированного контроля датчиков приборной скорости и барометрической высоты самолета Су-25 по информации средств объективного контроля», шифр «Грач»].

Таблица 3 – Основные неисправности АМП и доля их проявления в процессе эксплуатации

Вид неисправности	Тип АМП, % отказов	
	Измеритель барометрической высоты	Измеритель воздушной скорости
Недопустимая по величине погрешность при измерениях (показаниях) параметров полета	74 %	71 %
Неисправности электронных и электрических элементов вычислителей и преобразователей, нарушения (обрыв) систем электроснабжения	22 %	26 %
Другие неисправности	4 %	3 %

Анализ приведенных в таблице 3 неисправностей показал, что повышение инструментальных погрешностей АМП является наиболее часто проявляющейся неисправностью.

Основной причиной повышения погрешностей в процессе эксплуатации является отклонение от установленных в нормативно-технической и конструкторской документации (НТ и КД) характеристик ЧЭ приборов. Например, в приборах, измеряющих воздушную скорость, ЧЭ является манометрическая коробка, во внутреннюю полость которой подается от ПВД полное давление потока воздуха, а в корпус прибора – статическое давление. В приборах для измерения высоты полета ЧЭ является anerоидная коробка, которая воспринимает изменение статического давления. В приборах,

измеряющих число М полета, ЧЭ являются манометрическая и анероидная коробки, связанные между собой специальным механизмом. В процессе эксплуатации происходит естественное старение и износ манометрических и анероидных коробок, в результате чего появляется их гистерезис и последствие, микротрещины и течи. Кроме того, на повышение погрешностей АМП влияет увеличение трения в осях ПММ и отклонение их характеристик от расчетных, влияние перегрузок, разбалансировка механизмов.

Отказы электронных и (или) электрических элементов вычислителей и преобразователей АМП, нарушения (обрыв) систем их электроснабжения приводят к полному прекращению их работоспособности, а следовательно и записи измеряемых ими параметров полета в бортовых устройствах регистрации (БУР), что однозначно выявляется после каждого вылета ВС при проведении объективного контроля (ОК) без специального алгоритмического обеспечения.

К другим неисправностям ПВД и АМП (таблица 3) отнесены неисправности, возникшие вследствие ошибок летным и (или) ИТС при эксплуатации, а также отказы или повреждения ПВД и АМП, возникшие при обстоятельствах, не связанных с процессом их технической эксплуатации или использованием по назначению.

Таким образом, анализ неисправностей АМП и систем ПВД показал:

- основными неисправностями систем ПВД являются закупорка и разгерметизация в пневматических трактах, что приводит к увеличению инерционности (запаздывания) передачи полного и (или) статического давлений к ЧЭ АМП и повышению до недопустимых величин динамических погрешностей в измерениях (показаниях) высотно-скоростных параметров полета;
- основными неисправностями АМП являются повышение до недопустимых величин инструментальных погрешностей в показаниях (измерениях) высотно-скоростных параметров полета из-за несоответствия характеристик ЧЭ и ПММ установленным в НТ и КД требованиям вследствие

воздействия на надежность элементной базы неблагоприятных условий полета (перегрузки, ускорения, перепады температур и давления и др.) и естественного износа и старения;

– повышение инструментальных и динамических погрешностей до недопустимых величин в измерениях (показаниях) высотно-скоростных параметров полета приводит к несоответствию их фактических значений и значений, выдаваемых потребителям, что может существенным образом повлиять на результат выполнения полетного задания и на безопасность полета в целом.

Одной из важнейших проблем применения авиации является обеспечение безопасности полетов. Успешное решение этой проблемы, как показывает практика, во многом зависит от технического состояния АМП и ПВД. Опыт эксплуатации ПВД и АМП показал, что возникновение их неисправностей во время полета, или выпуск ВС в полет с неисправностью, нередко являлось прямой либо косвенной причиной авиационных событий (АС).

Техническое состояние (ТС) систем ПВД и АМП играет особую роль в обеспечении безопасности полетов, так как измеряемые с их помощью аэрометрические параметры, определяют аэродинамические силы и моменты, действующие на ВС во время полета [Бабич, 1981]. Например, при выполнении ВС маневра (боевого разворота), значение коэффициента подъемной силы примерно на 38 % определяется скоростью и высотой полета [Шоманков, 2012, с. 310 – 312], информация о которых поступает от систем ПВД и АМП.

Очевидно, что точность измеряемых ПВД и АМП параметров полета непосредственно зависит от их ТС. Переход ТС систем ПВД и АМП от исправного (работоспособного) к неисправному (неработоспособному) состоянию во время полета приводит к возникновению особой ситуации. В общем случае, все негативные последствия возникновения в полете особой ситуации принято классифицировать как АС.

Под «особой ситуацией» понимается любая нештатная ситуация в полете, вызванная воздействием опасного фактора (например, отказом ПВД и АМП) и

требуемая от летчика (экипажа) и органов управления полетами незапланированных, а чаще всего немедленных и неординарных действий. Опасным фактором считается любое воздействие на какой-либо элемент авиационной системы, приводящее к возникновению особой ситуации в полете и способное стать причиной авиационного происшествия (АП) [Барсуков, 2002]. По степени опасности последствий для экипажа (пассажиров) ВС и АТ особые ситуации подразделяются на усложнение условий полета, сложные, аварийные и катастрофические ситуации (таблица 4) [Сакач, 1989].

Таблица 4 – Вероятности возникновения особых ситуаций за 1 час полета из-за отказов АТ

Особые ситуации в полете			
Усложнение условий полета	Сложная ситуация	Аварийная ситуация	Катастрофическая ситуация
$< 10^{-3}$	$< 10^{-5}$	$< 10^{-7}$	$< 10^{-9}$

Таким образом, необходимо определить вид особой ситуации, которая возникнет при отказе ПВД и АМП, и охарактеризовать ее влияние на безопасность полета.

В общем случае, для оценки влияния неисправностей АТ на безопасность полетов, в соответствии с [Барсуков, 2002; Сакач, 1989; Горшков, 2008] рекомендуется использовать следующие параметры: средний налет на отказ, по причине которого произошло АС (T_c^n) и вероятность возникновения особой ситуации в полете из-за отказа (P_c^{OC}).

Определение T_c^n и P_c^{OC} рационально производить на основе статистических данных по безопасности полетов, в приведенной ниже последовательности.

1. Определение доли неисправностей (отказов) анализируемого типа авиационного оборудования в общем количестве неисправностей (отказов) всего авиационного оборудования, установленного на данном типе ВС за установленный период эксплуатации

$$K_c = \frac{n_c}{n_{BC}}, \quad (1)$$

где K_c – коэффициент, характеризующий долю отказов анализируемого типа авиационного оборудования (в нашем случае ПВД и АМП) в общем количестве неисправностей (отказов) всего авиационного оборудования установленного на данном типе ВС за установленный период эксплуатации;

n_c – количество неисправностей (отказов) анализируемого типа авиационного оборудования (в нашем случае ПВД и АМП) за установленный период эксплуатации;

n_{BC} – общее количество отказов всего авиационного оборудования установленного на данном типе ВС за установленный период эксплуатации.

2. Определение значения T_c^n анализируемого типа оборудования за установленный период эксплуатации

$$T_c^n = \frac{T_{BC}^n}{K_c}, \quad (2)$$

где T_{BC}^n – средний налет на неисправность (отказ) рассматриваемого типа ВС, приведший к АС.

3. Определение P_c^{OC} по формуле:

$$P_c^{OC} = 1 - \exp\left(-\frac{1}{T_c^n}\right), \quad (3)$$

В качестве типового ВС для оценки влияния неисправностей (отказов) систем ПВД и АМП на безопасность полетов выберем самолет Су-25.

На основе статистических данных определено среднее расчетное значение $K_c = 0,08$. Средний налет на отказ, приведший к невыполнению полетного задания, составляет $T_{BC}^n = 164$.

В соответствии с (2), средний налет на отказ ПВД и АМП, приведший к

невыполнению полетного задания составляет $T_c^n = 2050$ часов. Вероятность появления особой ситуации из-за отказов АМП за один час полета, в соответствии с (3), составила $P_c^{OC} = 4,9 \cdot 10^{-4}$.

Согласно критериям, установленным в [Сакач, 1989; Горшков, 2008], такое значение вероятности возникновения особой ситуации за 1 час полета из-за отказов АМП и систем ПВД характеризуется *сложной ситуацией* (таблица 4). Под сложной ситуацией понимается особая ситуация, при которой возможности и квалификация экипажа, расчетов органов управления полетами, а также резервы работоспособности АТ достаточны для предотвращения АП. Как показывает практика, ликвидировать (нейтрализовать) сложную ситуацию и предотвратить ее дальнейшее перерастание в аварийную ситуацию (т. е. предотвратить АП) возможно только при своевременных и правильных (соответствующих обстановке) действиях экипажа [Барсуков, 2002].

Таким образом, возникновение неисправностей систем ПВД и АМП во время полета будет характеризоваться значительным повышением психофизиологической нагрузки на экипаж или ухудшением устойчивости и управляемости ВС, его энергетических и летно-технических (летно-тактических) характеристик (ЛТХ), или выходом параметров полета за пределы эксплуатационных ограничений. Если экипаж в таких условиях не предпримет необходимых действий, или будет действовать несвоевременно или неправильно (неадекватно ситуации), то сложная ситуация, продолжая свое развитие, перерастет в *аварийную*. При аварийной ситуации возможности и квалификация экипажа, расчетов органов управления полетами, а также резервы работоспособности авиационной техники могут оказаться недостаточными для предотвращения АП, и потеря или повреждение ВС становится наиболее вероятным исходом полета.

В аварийной ситуации даже своевременные и правильные действия экипажа не исключают возможность потери или повреждения ВС. Несвоевременные, неправильные (неадекватные ситуации) действия экипажа или его бездействие приводят, как правило, к возникновению

катастрофической ситуации, при которой предотвращение гибели экипажа (пассажиров) и (или) потери ВС практически невозможно. Такие ситуации характеризуются обычно скоротечным изменением параметров полета, потерей работоспособности летчика (экипажа) или устойчивости и управляемости ВС, или созданием других условий, при которых полет становится невозможным. Обычным исходом возникновения в полете катастрофической ситуации является потеря (разрушение) ВС и (или) гибель людей, находившихся на его борту [Мельник, 1987].

Примером возникновения сложной ситуации из-за неисправности системы ПВД, с дальнейшим перерастанием в аварийную и катастрофическую ситуацию, является *крушение самолета Ан-148* при выполнении рейса Москва – Орск 11 февраля 2018 г., в результате которой погиб 71 человек. В результате расследования было установлено, что из-за отсутствия обогрева ПВД произошло обледенение и частичная закупорка пневматических систем статического и полного давлений. Вследствие закупорки показания АМП перестали соответствовать фактическим значениям высоты и скорости полета. Экипаж не смог правильно и адекватно оценить обстановку и руководствуясь неправильными показаниями АМП предпринимал действия по пилотированию, противоречащие фактическим условиям полета. В результате сложившихся обстоятельств самолет столкнулся с землей.

Катастрофа с таким же самолетом Ан-148 в Белгородской области в 2011 году была также связана с потерей информации о воздушной скорости из-за отказа датчиков воздушного давления. Другая похожая *катастрофа произошла с Airbus A330* над Атлантическим океаном в 2009 году. Погибли все находившиеся на его борту 228 человек. В качестве причин катастрофы указываются закупорка систем ПВД (наиболее вероятно из-за их обледенения), последующее отключение автопилота и несогласованные действия экипажа, приведшие к сваливанию, вывести самолёт из которого экипаж не смог.

Авария с самолетом Ту-154 в аэропорту Домодедово в 1986 году. В результате расследования установлено, что из-за частичной закупорки ПВД

экипаж выполнял пилотирование при неправильных показаниях воздушной скорости, в результате чего вывел самолёт на режимы полёта, которые превышали расчётные. В данном АП никто не погиб, однако сам самолёт получил повреждения, в результате чего был выведен из эксплуатации.

Катастрофа Boeing 757 под Пуэрто-Плата, произошедшая в 1996 году. В результате катастрофы погибли все находившиеся на его борту 189 человек. Согласно отчёту, причинами катастрофы стали засорившаяся система ПВД, повлиявшая на работу указателей воздушной скорости. Экипаж не смог правильно оценить возникшую сложную ситуацию и, руководствуясь неправильными показаниями указателей воздушной скорости, допустил сваливание самолёта.

Другие АП в гражданской авиации, прямыми либо косвенными причинами которых являлись неисправности систем ПВД и АМП: катастрофа Boeing 757 под Лимой 2 октября 1996 года, катастрофа самолета MD-82 под Мачикесом 16 августа 2005 года, катастрофа Ту-154 под Донецком 22 августа 2006 года, катастрофа Boeing 747 под Бомбеем 1 января 1978 года, катастрофа MD-82 в Детройте 16 августа 1987 года, катастрофа Ан-24РВ в Бугульме 26 ноября 1991 года, катастрофа ATR 72-212 4 ноября 2010 года на Кубе.

В общем случае, из-за неисправностей ПВД и АМП при летной эксплуатации ВС гражданской авиации с 1978 по 2018 год произошло не менее 11 катастроф и 1 аварии, в результате которых погибло не менее 1656 человек и утеряно 12 ВС.

Анализ статистических данных показывает, что в государственной авиации государств-участников СНГ доля АС, прямыми либо косвенными причинами которых являются неисправности ПВД и АМП, составляет от 4 до 12 % ежегодно. При этом 69% неисправностей ПВД и АМП (рис. 1), приведших к АС, являются постепенно развивающимися отказами, связанными с закупоркой и (или) разгерметизацией систем ПВД, и естественным старением и износом элементной базы АМП (таблицы 1 и 3).

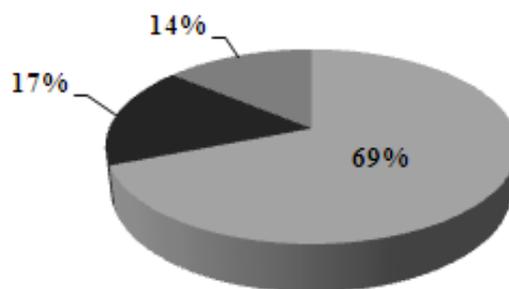


Рисунок 1 – Распределение АС из-за неисправностей АМП по группам причин: 69 % – конструктивно-производственные недостатки, 17 % – внешние факторы, 14 % – нарушения авиационного персонала

Развитие постепенного отказа происходит из-за естественного старения и износа элементной и материальной базы конкретного оборудования до момента прекращения его работоспособности. Такие отказы классифицируются как конструктивно-производственные недостатки (КПН). Как правило, развитие постепенного отказа АМП и ПВД сопровождается увеличением погрешностей в показаниях (измерениях) барометрической высоты и воздушной скорости полета.

Таким образом, анализ влияния ТС систем ПВД и АМП на безопасность полетов показал:

- возникновение неисправности систем ПВД и АМП в полете (выпуск в полет ВС с неисправными ПВД и АМП) является опасным фактором, по причине которого на борту складывается «особая ситуация»;

- по степени опасности последствий, особая ситуация, возникшая из-за неисправности ПВД и АМП во время полета, классифицируется как «сложная ситуация», требующая от экипажа (летчика) и органов управления полетами незапланированных, а чаще всего немедленных и правильных действий по недопущению ее перехода в аварийную и катастрофическую ситуацию;

- доля АС, прямыми или косвенными причинами которых являются неисправности ПВД и АМП, составляет от 4 до 12% ежегодно, среди которых 69% неисправностей являются постепенно развивающимися отказами, сопровождающимися повышением погрешностей в показаниях (измерениях) аэрметрических параметров полета.

Рациональным путем снижения вероятности возникновения особых

ситуаций в полете (из-за неисправностей АМП и ПВД) является совершенствование возможностей имеющегося диагностического обеспечения по выявлению их отказов и неисправностей, сопровождающихся повышением погрешностей в показаниях (измерениях) высотно-скоростных параметров полета.

Библиографический список

1. Авиационные приборы и навигационные системы / О. А. Бабич [и др.], под общ. ред. О. А. Бабича. М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1981. 646 с.
2. Горшков В. А. Идентификация временных рядов авиационных событий методами и алгоритмами нелинейной динамики (теория и анализ) / В. А. Горшков, С. А. Касаткин. М.: Бланк Дизайн, 2008. 208 с.
3. Основы боевой подготовки и теории безопасности полетов / С. С. Шамшин [и др.], под общ. ред. А. Н. Барсукова. Монино: ВВА им. Ю. А. Гагарина, 2002. 271 с.
4. Применение информации бортовых регистраторов для анализа режимов и динамики полета самолетов при расследовании летных происшествий и предпосылок к ним / И.И. Мельник [и др.]. М.: Военное издательство, 1987. 476 с.
5. Разработка алгоритмов автоматизированного контроля датчиков приборной скорости и барометрической высоты самолета Су-25 по информации средств объективного контроля», шифр «Грач»: отчет о НИР (заключ.) / УО «ВАРБ»; Минск, 2013. 72 с. № 1819/13.
6. Сакач Р. В. Безопасность полетов / Р. В.Сакач, Б. В.Зубков. М.: Транспорт, 1989. 239 с.
7. Шоманков Д. А. Статистический подход к анализу состояния авиационной техники и соблюдения условий безопасности полетов по данным средств объективного контроля // Инновации в машиностроении: Сб. науч. тр. Междунар. научно-техн. конф. ОИМ НАН Беларуси, Минск, 17 – 19 октября 2012 г. / ОИМ НАН Беларуси. Минск, 2012. С. 310 – 312.

References

1. Aircraft instruments and navigation systems / O. A. Babich [and others], ed. by O. A. Babich. M.: prof. E. Zhukovsky AFEA by, 1981. p 646 (In Russian).
2. Application of information from on-board recorders to analyze the flight modes and dynamics of aircraft during the investigation of flight incidents and the background to them / I. I. Melnik [and others]. M.: Military publishing house, 1987. p. 476 (In Russian).

3. Development of algorithms for automated control of instrument speed and barometric height sensors of the Su-25 aircraft according to the information of objective control", code "Grach": report on research (conclusion.) / MA of Belarus; Minsk, 2013. p.72 No. 1819/13. (In Russian).

4. Gorshkov V. A. Identification of time series of aviation events by methods and algorithms of nonlinear dynamics (theory and analysis) / V. A. Gorshkov, S. A. Kasatkin. M.: Blank Design, 2008. p. 208 (In Russian).

5. Sakach R. V. Safety of flights / Sakach R. V., B. V. Zubkov. M.: Transport, 1989. p. 239 (In Russian).

8. Shamenkov D. A. a Statistical approach to analyze the state of aviation equipment and compliance with safety according to the means of objective control // Innovation in mechanical engineering: Sat. scientific. Tr. International. science and technology. Conf. The aim of JIME of NAS of Belarus, Minsk, October 17 – 19, 2012 / JIME of NAS of Belarus. Minsk, 2012. p. 310 – 312. (In Russian).

1. The basics of combat training and theory of flight safety / Shamshin S. S. [and others], ed. by A. N. Barsukov. Monino: Gagarin AFA, 2002. p. 271 (In Russian).