

МЕТОДИКА КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ К ЛЕТНОЙ ГОДНОСТИ ПО ДАННЫМ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВС

С.П. Тарасов, В.А. Осташкевич

Введение

Безопасность полетов, определяемая свойством авиационно-транспортной системы осуществлять воздушные перевозки без угрозы для жизни и здоровья людей, зависит от многих факторов и, в первую очередь, от летной годности ВС. Требования к летной годности ВС изложены в авиационных правилах (например, АП-23, АП-25, АП-27 и др.), определяемых как Нормы летной годности (НЛГ) для различных типов ВС.

С 1990 г. была начата работа по сближению отечественных НЛГ с нормами США (FAR) и Западной Европы (JAR) по структуре и содержанию требований с учетом обеспечения конкурентоспособности отечественных воздушных судов. Например, существующие «Нормы летной годности самолетов транспортной категории» являются Частью 25 авиационных правил (АП-25), учитывают требования отечественных Норм летной годности гражданских самолетов (НЛГС-3), построены по структуре, принятой FAR-25. Нумерация частей АП-25 аналогична нумерации соответствующих частей FAR-25. Подобный принцип положен в основу разработки других АП (например, АП-23, АП-27 и др.). При этом отличии требований АП от требований FAR имеют дополнительное обозначение (например, курсивом или буквами латинского алфавита: (A), (B), (C)...).

АП включают в себя ряд дополнений и приложений, содержащих требования по вопросам эксплуатации ВС (например, приложение «Н» в АП-25) аналогичным требованиям FAR-91, FAR-121 и др. Выделение этих дополнений и приложений в отдельные АП планируется по мере их разработки.

Предлагаем проект «Методики количественной оценки уровня БП и летной годности по данным эксплуатации». Разработка методики является важным шагом в развитии методов определения соответствия авиационной техники общим требованиям летной годности, изложенным в АП-23, АП-25, АП-27 и др. в виде «Инструкции по сохранению летной годности». Однако отсутствие в инструкции критериев и методов количественных оценок летной годности и уровней БП на этом важном этапе жизненного цикла ВС не позволяет объективно провести анализ этих показателей, сравнить их с нормативными значениями. Существующая методика оценки БП, основанная на анализе статистики авиационных происшествий и авиационных инцидентов и др. событий с ВС, к сожалению, не может решать вопросы оценки уровня БП и летной годности, которые определяются и нормируются вероятностными критериями (например, вероятностями появления особых ситуаций, степенью их опасности и др.). Проект методики проходит проверку в ОАО «Аэрофлот» для инспекторского анализа безопасности полетов, начиная с 1997 года. Результаты апробации ежегодно обсуждается, вносятся коррективы. Некоторые элементы методики опубликованы в научных статьях, учебных пособиях, доложены на научных конференциях и получили положительный отзыв.

Методика может быть рекомендована к внедрению в отрасли на уровне Федеральных авиационных правил или приложения к АП-25. Поэтому

структура проекта данной методики соответствует структуре этих нормативных документов федерального уровня, а основные определения и нормативные значения показателей уровня БП и летной годности полностью соответствуют требованиям действующих норм летной годности и авиационных правил, идентифицированных с соответствующими зарубежными нормами (например, FAR, JAR и др.).

Раздел А - Общие положения

1. Назначение

Настоящая Методика устанавливает требования к количественной оценке безопасности полетов и летной годности ВС по данным эксплуатации на уровне авиапредприятий и предназначена для проведения анализа безопасности полетов и летной годности ВС.

2. Определения

2.1. *Уровень безопасности полетов (УБП)*. УБП называют вероятность не возникновения в полете катастрофической ситуации при проявлении неблагоприятного фактора. Учитывая [АП-25] неблагоприятные факторы разделяют на: отказные состояния (функциональный отказ, вид отказа системы), внешние воздействия (явления), ошибки.

2.2. *Отказные состояния (функциональный отказ, вид отказа системы)*. Под отказным состоянием понимается неработоспособное состояние системы в целом, характеризуемое конкретными нарушениями ее функции независимо от причин, вызывающее это состояние. Отказное состояние (вид отказа системы) определяется на уровне каждой системы через последствия, оказываемые на функционирование этой системы.

2.3. *Внешние воздействия (явления)*. События, источник происхождения которых не связанных с конструкцией ВС, такие как атмосферные условия, состояние ВПП, пожар в кабине или багажном отсеке. Сюда не входят диверсионные акты.

2.4. *Ошибки*. События, заключающиеся в неправильных действия экипажа или персонала по техническому обслуживанию.

2.5. *Летная годность*. Под летной годностью ВС понимают характеристику ВС, определяемую предусмотренными и реализованными в его конструкции и летных качествах принципами, позволяющую совершать безопасный полет в ожидаемых условиях и при установленных методах эксплуатации.

Показателями летной годности ВС служат вероятности возникновения особых ситуаций в полете из-за отказного состояния (например, «Q»), определяемого вероятностью отказа функциональной системы (например, «q»), и видом отказа (стапели его опасности), (например, «q»), при этом $Q = q \cdot r$.

2.6. *Особая ситуация (эффект) [АП-25]* - ситуация возникшая в полете в результате воздействия неблагоприятных факторов или их сочетания и приводящая к снижению безопасности полетов. Особые ситуации классифицируются следующим образом:

1. *Катастрофическая ситуация (катастрофический эффект)* – особая ситуация, для которой принимается, что при ее возникновении предотвращении гибели людей оказывается практически невозможным.

2. *Аварийная ситуация (аварийный эффект)* - особая ситуация,

характеризующаяся: значительным ухудшением характеристик и/или достижением (превышением) предельных ограничений или физическим утомлением или такой нагрузкой экипажа, что уже нельзя полагаться на то, что, он выполнит свои задачи точно или полностью.

3. *Сложная ситуация (существенный эффект - особая ситуация)*, характеризующаяся:

- заметным ухудшением характеристик и/или выходом одного или нескольких параметров за эксплуатационные ограничения, но без достижения предельных ограничений, или

- уменьшением способности экипажа справиться с неблагоприятными условиями (возникшей ситуацией) как из-за увеличения рабочей нагрузки, так и из-за условий, понижающих эффективность действий экипажа.

4. *Усложнение условий полета (незначительный эффект)* - незначительное ухудшение характеристик (без достижения выхода их за эксплуатационные или предельные ограничения) или незначительное увеличение рабочей нагрузки на экипаж.

2.7. *Предельные ограничения* - ограничения режима полета, выход за которые не допустим ни при каких обстоятельствах.

2.8. *Эксплуатационные ограничения* - условия, режимы и значения параметров, преднамеренный выход за пределы которых не допустим в процессе эксплуатации ВС.

3. **Требования (общие) к летной годности ВС**

3.1. *Эксплуатация с отказными состояниями.* ВС должно быть спроектировано и построено таким образом, чтобы в ожидаемых условиях эксплуатации при действиях экипажа в соответствии с Руководством по летной эксплуатации (РЛЭ):

1. Каждое отказное состояние (функциональный отказ, вид отказа системы), приводящее к возникновению катастрофической ситуации (катастрофическому эффекту оценивалось как практически невероятное (в соответствии с АП-25 в этом случае вероятность $q < 10^{-9}$), а суммарная вероятность возникновения катастрофической ситуации, вызванная отказными состояниями (функциональными отказами, видами отказов системы) для ВС в целом не превышала 10^{-7} на час полета.

2. Суммарная вероятность возникновения аварийной ситуации (аварийного эффекта), вызванная отказными состояниями (функциональными отказами, видами отказов систем), для ВС в целом не превышала 10^{-6} на час полета. При этом рекомендуется, чтобы любое отказное состояние (функциональный отказ, вид отказа системы), приводящее к аварийной ситуации, оценивалось как событие не более частое, чем крайне маловероятное (в диапазоне $10^{-7} \div 10^{-9}$).

3. Суммарная вероятность возникновения сложной ситуации (существенного эффекта), вызванная отказными состояниями (функциональными отказами, видами отказов системы), для ВС в целом не превышала 10^{-4} на час полета. При этом рекомендуется, чтобы любое отказное состояние, (функциональный отказ, вид отказа системы), приводящее к сложной ситуации, оценивалось как событие не более частое, чем маловероятное (в диапазоне $10^{-5} \div 10^{-7}$).

4. Усложнение условий полета и отказные состояния (функциональный

отказ, вид отказа системы), приводящие к их возникновению, подлежат анализу с целью обработки соответствующих рекомендаций по действиям экипажа в полете. При этом желательно, чтобы любое отказное состояние (функциональный отказ, вид отказа системы), приводящее к усложнению условий полета, не могло быть отнесено к частым событиям (более 10^{-3}).

3.2. Все указанные в п. 3.1. общие требования по обеспечению летной годности ВС на этапе проектирования и изготовлении ВС в полной мере относятся и к этапу эксплуатации, когда летная годность сохраняется и поддерживается на нормированном уровне.

4. Приемлемые методы (количественная оценка летной годности и уровня безопасности полетов)

4.1. *Информационное обеспечение.* Для количественной оценки летной годности и уровня БП в авиапредприятии создается база данных, учитывающая следующие параметры событий:

- дату и место возникновения особой ситуации инцидента, АП и др. событий (например, чрезвычайных происшествий (ЧП) и повреждений ВС на земле (ЛВС));
- тип, маршрут и номер рейса;
- тип и номер ВС;
- фамилия, имя и отчество командира ВС, состав экипажа;
- этап полета, во время которого началось отклонение от нормальной эксплуатации;
- действия экипажа по нормированию отклонения от нормальной эксплуатации;
- вид и частоту (вероятность) возникновения особой ситуации полета, инцидента, АП и др. событий;
- описание причины особой ситуации, инцидента, АП и др. событий;
- описание последствий особых ситуаций, инцидентов, АП и др. событий.

4.2. *Определение вида* – особой ситуации. Вид особой ситуации определяют в соответствии с требованиями АП-25, изложенными в настоящей методике (п. 2.6.).

4.3. *Вычисления частоты (вероятности) возникновения особых ситуаций.* Частота (вероятность) возникновения особых ситуаций определяется по статистическим данным (Q^*) за каждый анализируемый период и суммарно с начала эксплуатации для каждого экземпляра и типа ВС, отнесенным на час полета, т.е. $Q^* = \frac{n_{oc}}{T}$, где n_{oc} - количество особых ситуаций одного типа;

T - налет (экземпляра ВС, типа ВС за определенный период или общий для типа ВС по всему парку). Частота (вероятности) появления особых ситуации (показатели летной годности) Q^* , определенная для отдельного экземпляра ВС и отдельно по типу за анализируемый период эксплуатации сравнивается с предыдущим периодом, а суммарный показатель вероятностей возникновения особых ситуаций сравнивают с их нормативными значениями (АП-23, АП-25, АП-27) приведенными в п. 3.1. настоящей методики. При этом нормативные значения вероятностей появления особых ситуаций, определенных отказными состояниями отдельных систем (агрегатов) составляют для:

- катастрофической ситуации - менее 10^{-9} 1/час;
- аварийной ситуации - в диапазоне $10^{-9} \div 10^{-7}$ 1/час;
- сложной ситуации - в диапазоне $10^{-7} \div 10^{-5}$ 1/час;
- усложнений условий полета - в диапазоне $10^{-5} \div 10^{-3}$ 1/час.

Нормативные значения вероятностей появления особых ситуаций, определенных отказными состояниями суммарно для ВС в целом составляют для:

- катастрофической ситуации - менее 10^{-7} 1/час;
- аварийной ситуации - в диапазоне $10^{-7} \div 10^{-6}$ 1/час;
- сложной ситуации - в диапазоне $10^{-6} \div 10^{-4}$ 1/час.

4.4. *Определение вероятностей - последствий (степени опасности вероятностей последствий) отказных состояний.* Вероятности последствий (степени опасности) « r » определяют в соответствии с требованиями норм летной годности (АП-25 и др.), приведенными в п. 2.5. настоящей методики. Согласно чему:

$$r = \frac{Q}{q},$$

где q - вероятность появления отказного состояния,

r - степень опасности последствий отказного состояния (вид отказа).

Вероятность отказного состояния (отказа) определяется по известной формуле (например, при условии экспоненциального распределения событий).

$$q = 1 - e^{-\lambda t},$$

где q - интенсивность отказов, 1/час;

t - средняя продолжительность полета, час.

При известном значении Q легко определить степень опасности r и сравнить его с нормативным значением, которое можно вычислить из условий, определенных нормами летной годности (АП-23, АП-25, АП-27 и др.). Согласно этим нормам можно утверждать, что на протяжении жизненного цикла (назначенного ресурса) каждая из четырех видов особых ситуаций не должна давать уровня риска « Q » больше, чем вероятность катастрофической ситуации, т.е.:

$$Q_1 = q_1 \cdot r_1 < 10^{-9} \text{ - при отказном состоянии систем ВС;}$$

$$Q_2 = q_2 \cdot r_2 < 10^{-7} \text{ - при отказном состоянии ВС в целом,}$$

где q_1, r_1 , - вероятности отказа и степени опасности отказа отдельной системы (агрегата) ВС;

q_2, r_2 - вероятности отказа и степени опасности отказа ВС в целом (не менее 2-х функциональных систем).

Учитывая вышеизложенное, нормативные значения вероятностей отказа « q » и опасности « r » будут составлять:

Таблица

Вероятность	Особые ситуации			
	КС	АС	СС	УУП
q_1	10^{-9}	10^{-7}	10^{-5}	10^{-3}
r_1	1	10^{-2}	10^{-4}	10^{-6}
q_2	10^{-7}	10^{-6}	10^{-4}	
r_2	1	10^{-1}	10^{-3}	

При этом нормативные диапазоны изменения степеней опасности для

случаев отказного состояния системы (агрегата) при аварийной ситуации $1 > r > 10^{-2}$; при сложной ситуации $10^{-2} > r > 10^{-4}$ при УУП $10^{-4} > r > 10^{-6}$.

Для случаев отказного состояния ВС в- целом (двух и более систем) при аварийной ситуации $1 > r > 10^{-1}$, при сложной ситуации $10^{-1} > r > 10^{-3}$ Физический смысл степени опасности « r » представляет собой вероятность перехода любой особой ситуации в катастрофическую (или вероятность непарирования пилотом последствий неблагоприятного фактора).

4.5 *Определение уровня безопасности полетов по данным эксплуатации.*

Уровнем безопасности полетов ($P_{БП}$) называют вероятность невозникновения катастрофической ситуации из-за появления неблагоприятного фактора. Если обозначить вероятность противоположного события - возникновения катастрофической ситуации через $Q_{КС}$, то имеет место равенство:

$$P_{\substack{БП \\ КС}} = 1 - Q_{КС}$$

Вероятность возникновения катастрофической ситуации в соответствии с Нормами летной годности ВС оценивается как событие практически невероятное, поэтому статистическая оценка ее в условиях эксплуатации затруднена. В связи с этим уровень БП рекомендуется оценивать по всем видам особых ситуаций, что не противоречит существующим Нормам летной годности (FAR, JAR, АП и др.), т.е.

$$P_{\substack{БП \\ АС}} = 1 - Q_{АС}$$

$$P_{\substack{БП \\ СС}} = 1 - Q_{СС}$$

$$P_{\substack{БП \\ УУП}} = 1 - Q_{УУП}$$

Для определения влияния отдельных факторов (отказов техники, ошибок авиационного персонала, внешних воздействий) необходимо использовать связь вероятностных и статистических показателей БП, которая сводится к следующему.

Учитывая, что АП (инцидент) - события редкие и независимые, можно принять гипотезу об экспоненциальном законе их распределения. В этом случае при известном значении налета на одно АП (инцидент) T_0 вероятность благополучного завершения полета продолжительностью t можно определить по формуле:

$$P_{БП}^* = e^{-\frac{t}{T_0}},$$

При условии $t < T_0$ формула примет вид:

$$P_{БП}^* = 1 - \frac{t}{T_0},$$

$$\text{тогда } Q^* = 1 - P_{БП}^* = \frac{t}{T_0}.$$

Для определения влияния отдельных факторов на уровень БП можно записать:

$$P_{om}^* = e^{-\frac{t}{T_{om}}}$$

$$P_{oui}^* = e^{-\frac{t}{T_{oui}}}$$

$$P_{ee}^* = e^{-\frac{t}{T_{ee}}}$$

где T_{om} , T_{oui} , T_{ee} - средние налеты на одно АП (инцидент), вызванное, соответственно, ошибкой авиационного персонала, отказом техники и внешним воздействием. Тогда общий уровень БП по типу ВС определится формулой:

$$P_{БП}^* = e^{-\left(\frac{1}{T_{om}} + \frac{1}{T_{oui}} + \frac{1}{T_{ee}}\right)t}.$$