

## Лекция №2

### Тема №1 Общие положения теории безопасности полетов

#### 1.1. Факторы, влияющие на БзП.

Неблагополучный исход полета как случайность вызывается опасными (неблагоприятными) факторами, которые, как правило, находятся во взаимосвязях друг с другом, по своему характеру неустойчивых и случайных. Поэтому в большинстве случаев АП как неблагоприятный исход полета является следствием воздействия не одного, а совокупности факторов, т.е. такие АП имеют многофакторные причины.

Интегральное влияние всех факторов на уровень безопасности полетов определяется по результатам массовой эксплуатации ЛА. Для оценки влияния на БзП отдельных факторов или их сочетаний необходимо рассмотреть природу факторов как по источникам их возникновения, так и по характеру их отрицательных проявлений. По источникам возникновения факторов представляется целесообразным дать такую классификацию, чтобы она раскрывала их как первопричины потенциальной опасности для полетов, т.е. как главные в цепочке причинно-следственных связей, приводящих в конечном счете к АП.

Учитывая, что АС является сложной полиэргатической системой, каждая подсистема которой включает технические устройства и людей, по источникам возникновения все факторы, потенциально влияющие на БзП, можно разделить на три группы: технические, личностные и факторы внешней среды. Как видно, первые две категории факторов порождаются внутренними свойствами АС, поэтому эти факторы иногда называют еще системными в отличие от факторов внешней среды, которые являются внесистемными. Следует отметить, что границы между АС и средой в общем случае условны и должны назначаться в каждом конкретном случае в зависимости от поставленной задачи исследования.

Для каждой из подсистем АС соотношение технических и личностных факторов и их конкретизация будут различными. Интегрально для такой важнейшей подсистемы как "экипаж - ЛА" технические факторы могут быть представлены безотказностью систем ЛА, его силовой установки, оборудования и вооружения и эргономическим совершенством ЛА.

Безотказность указанных составных частей ЛА оказывает непосредственное влияние на БзП через возможные отказы в полете. Эргономическое совершенство ЛА определяется соответствием свойств ЛА свойствам специалистов, обслуживающих и эксплуатирующих авиационную технику. Несовершенство ЛА в эргономическом отношении может приводить к ошибкам инженерно-технического состава (ИТС) при обслуживании авиационной техники, выполнении регламентных работ и ремонте, а также к ошибкам летных экипажей в технике пилотирования и в эксплуатации техники в процессе выполнения полетов.

На современном ЛА эргономические недостатки, усложняющие работу инженерно-технического состава, распределяются в среднем по группам следующим образом: недостатки, приводящие к несоблюдению мер безопасности 11...17%; недостатки рабочих мест ИТС 22...32%; недостаточная эксплуатационная технологичность 13...16%; конструктивно-производственные недостатки, приводящие к ошибочным действиям, 28...31%. Более 30% эргономических недостатков существенно снижают безопасность полетов.

Вторую группу факторов - личностные факторы можно определить совокупностью показателей, относящихся к индивидуальным характеристикам людей, таким, как: моральные и профессиональные качества, физиологические особенности и физическое развитие, психологические особенности. Недостатки по категории личностных факторов

проявляются как нарушения установленных правил, ошибочные действия или бездействие лиц, связанных с организацией, обеспечением и выполнением полетов.

Цель профилактики ошибок, обусловленных личностными факторами, должна состоять в выявлении конкретных недостатков того или иного специалиста и в их устранении путем проведения работы с этим специалистом (группой специалистов).

Не все ошибки специалистов могут быть объяснены только личностными факторами. Часть ошибок, как отмечено выше, обусловлена недостаточным эргономическим совершенством авиационной техники. Для объяснения причинной сущности таких ошибок введено понятие человеческого фактор.

Под человеческим фактором понимаются психофизиологические возможности человека, присущие всем людям, обладающим подготовкой, необходимой для профессиональной деятельности, и проявляющиеся во взаимодействии специалистов с техникой, например, летчика и ЛА.

Ошибочные действия, обусловленные человеческим фактором, характеризуются следующими признаками: стабильностью их повторения в одинаковых условиях независимо от конкретной личности специалиста и уровня его подготовки, независимостью ошибок от типа ЛА. Исключение ошибочных действий, обусловленных человеческим фактором, должно решаться путем эргономического совершенствования техники до уровня соответствия психофизиологическим возможностям человека.

Как правило, каждое ошибочное действие специалиста является следствием ряда причин, относящихся как к личностному, так и к человеческому фактору. Во многих случаях выделить строго, где виновата техника, провоцирующая ошибки человека, а где сам человек как личность не представляется возможным. Поэтому АП и другие неблагоприятные события, произошедшие из-за ошибок специалистов, весьма часто квалифицируются по категории личностного фактора, т.е. по сути дела часть вины с техники человек берет на себя. Это обусловлено тем, что авиационная эргономика и человеческий фактор трудно поддаются измерению и во многом субъективны.

Третью группу факторов - факторы внешней среды можно определить как факторы природной и созданной человеком искусственной среды, в условиях которой функционируют все подсистемы и элементы АС. Отдельные природные явления или факторы искусственной среды могут непосредственно влиять на БзП, другие - вызывать отказы техники, третьи - ошибки экипажа.

Методически целесообразно по характеру отрицательных проявлений опасных факторов разделить их на три группы: отказы авиационной техники, ошибки личного состава, неблагоприятные внешние условия полета. Взаимосвязь этих групп факторов с источниками их возникновения иллюстрируется схемой, изображенной на рис. 6.

К отказам авиационной техники относятся отказы функциональных систем ЛА, его силовой установки, оборудования и вооружения. На безопасность полетов оказывают отрицательное влияние отказы наземных технических устройств обеспечения и управления полетами.

К ошибкам личного состава относятся ошибки летного и инженерно-технического состава, лиц группы руководства полетами, а также личного состава служб обеспечения полетов при организации, подготовке и выполнении полетов.

## 1.2. Показатели безопасности полетов

Для количественной оценки уровня безопасности полетов и выявления его зависимости от свойств авиационной системы используют специальные показатели (критерии). В настоящее время в авиационной практике и исследованиях (анализах) безопасности полетов применяют два типа показателей - статистические и вероятностные.

Статистические показатели обычно выражаются физическими величинами или отношением этих величин, получаемых в результате обработки статистических данных эксплуатации. Вероятностные показатели вычисляются методами теории вероятности аналитическим путем. Статистические и вероятностные показатели связаны функционально друг с другом, поэтому и тот и другой типы показателей в принципе могут быть рассчитаны и по данным статистики аварийности и аналитическим путем на основе использования вероятностных методов, но, как правило, их непосредственное вычисление производится так, как указано выше.

Статистические показатели можно разделить на общие и частные, абсолютные и относительные. Общие показатели характеризуют уровень безопасности полетов, учитывая интегрально влияние на нее всех факторов, а частные - только отдельных факторов или групп факторов.

#### Общие абсолютные статистические показатели.

К ним относят: абсолютные числа авиационных происшествий  $n_{АП}$ , катастроф  $n_K$ , инцидентов  $n_{И}$ , число погибших в АП членов экипажей и пассажиров  $m$ , материальный ущерб от АП.

Абсолютные показатели могут быть использованы при долгосрочном планировании заказов авиационной техники, для уточнения соответствующих статей расходов на развитие авиации, для выявления общих тенденций в динамике аварийности и в других случаях.

Абсолютные показатели в прямой постановке количественно не характеризуют уровень безопасности полетов, так как они зависят от количественного и качественного состава парка ЛА, суммарного налета и т.д. По абсолютным показателям нельзя сравнить уровни БзП различных типов ЛА, родов авиации. От рассмотренных недостатков в определенной мере свободны относительные статистические показатели.

#### Общие относительные статистические показатели.

В военной авиации в качестве относительных показателей используют два типа показателей:

средний налет на одно событие рассматриваемой тяжести  $T_i$ : на одно авиационное происшествие -  $T_{АП}$ , на одну катастрофу -  $T_K$ , на один инцидент  $T_{И}$ ;

среднее число событий рассматриваемой тяжести  $M_i$ , приходящиеся на  $10^5$  часов налета.

Вычисление этих показателей производится по очевидным соотношениям, например:

$$T_{АП} = \frac{t_{\Sigma}}{n_{АП}}; \quad M_{АП} = \frac{n_{АП}}{t_{\Sigma}} \cdot 10^5 = \frac{10^5}{T_{АП}} \quad (1.1)$$

Показатели могут вычисляться как годовые (анализируемый период - один календарный год) или как кумулятивные (суммарные). В последнем случае анализируемый период составляет несколько календарных лет. Кумулятивные показатели являются более достоверными в статистическом смысле и менее подвержены случайным колебаниям по сравнению с годовыми показателями.

В гражданской авиации для оценки достигнутого уровня безопасности полетов используют показатели, регламентированные ИКАО (международной организацией

гражданской авиации при ООН). Важнейшими из них являются следующие:  $M_{K_1}$ ,  $M_{K_2}$ ,  $M_{K_3}$  - количество катастроф, приходящееся соответственно на 100 млн. километров налета, на 100 тысяч часов налета, на 100 тысяч полетов (посадок);  $\bar{m}$  - число погибших в катастрофах пассажиров, приходящееся на 100 млн. пассажиро-километров.

#### Частные статистические показатели.

Общие статистические показатели имеют интегральный характер и в силу этого не позволяют выявить влияние на уровень БзП отдельных факторов. Эта задача в определенной мере решается при использовании частных показателей. Как и общие показатели, они могут быть абсолютными и относительными.

К абсолютным частным показателям относят:  $n_i$ ,  $n_j$ ,  $n_v$  - количества событий (аварий, катастроф, АП вообще), соответственно вызванных  $i$ -ой причиной (фактором),  $j$ -ой группой причин (факторов), происшедших на  $v$ -ом этапе полета.

К относительным частным показателям относят относительные количества событий, происшедших по указанным выше причинам

$$\bar{n}_i = \frac{n_i}{n}; \bar{n}_j = \frac{n_j}{n}; \bar{n}_v = \frac{n_v}{n},$$

где  $n$  - общее количество событий по всем причинам (этапам полета);  $T_j$  - средний налет на одно событие, происшедшее по  $j$ -ой группе причин (факторов),

$$T_j = \frac{t_{\Sigma}}{n_j}$$

#### Вероятностные показатели безопасности полетов.

Вероятностные показатели безопасности полетов объективно отражают ту закономерность, что авиационное происшествие как потенциально возможный исход конкретного полета является по своей природе случайным событием в силу случайности возникновения во времени и пространстве полета опасных факторов, вызывающих его.

Примем за уровень безопасности выполнения отдельного полета вероятность  $P$  благополучного его завершения. Вероятность неблагоприятного завершения полета, т.е. заканчивающимся АП, обозначим  $Q$ . Эта вероятность характеризует уровень риска в отдельном полете. Из физических соображений ясно, что

$$P + Q = 1 \quad (1.2)$$

Вероятности  $P$  и  $Q$  - показатели безопасности полета.

Исходя из (1.2), для оценки безопасности полета достаточно знать одну из указанных вероятностей, например  $Q$ .

Вполне очевидно, что безопасность выполнения множества полетов определяется безопасностью выполнения отдельных полетов. Формализуем связь понятий безопасность полетов и безопасность полета. Если  $Q$  - уровень риска в отдельном полете, то для множества, в частности  $N$  полетов, в качестве такого же смыслового критерия может быть принята вероятность  $Q_n$ , т.е. вероятность того, что  $N$  в полетах произойдет ровно  $n$  АП, где  $n = \overline{0, N}$ .

Будем полагать, что все полеты идентичны по безопасности их выполнения, т.е.  $Q_1 = Q_2 = \dots = Q_N = Q$ . При этом предположении для вычисления вероятностей  $n$  АП в  $N$  полетах можно воспользоваться частной теоремой теории вероятностей о повторении опытов, в соответствии с которой связь  $Q_N$  и  $Q$  будет определяться биномиальным распределением:

$$Q_N = C_N^n Q^n (1-Q)^{N-n} \quad (1.3)$$

где

$$C_N^n = \frac{N!}{n!(N-n)!}$$

В действительности, в общем случае полеты могут производиться в неодинаковых условиях и вероятности благополучного завершения каждого полета меняются от полета к полету. Для вычисления вероятностей появления определенного числа АП, в этих случаях нужно пользоваться методикой, основанной на общей теореме теории вероятностей о повторении опытов.

Трудности вычисления по формуле (1.3.) возрастают с увеличением числа полетов  $N$ . При оценке безопасности полетов реально выполняются условия:  $Q \ll 1$ ; число полетов  $N$  достаточно велико. В соответствии с этим с достаточной степенью точности для упрощения вычислительных процедур биномиальное распределение (1.3) может быть заменено пуассоновским распределением вероятностей:

$$Q_N = \frac{(NQ)^n}{n!} e^{-NQ} \quad (1.4)$$

Для вероятности благополучного завершения всех  $N$  полетов, полагая в формуле (1.4)  $n = 0$  получаем:

$$P_{БП} = Q_{n=0} = e^{-NQ} = e^{-N(1-P)} \quad (1.5)$$

Вероятность  $P_{БП}$  по смыслу является показателем безопасности полетов и, следовательно, формула (1.5) является математическим выражением показателя безопасности полетов  $P_{БП}$  через показатель безопасности одного полета  $P$ , т.е. является формализованной связью понятий безопасности полетов и безопасность полета.

Рассматриваемое в распределении (1.4) число полетов  $N$  реализуется за суммарный налет  $t_\Sigma$ , так что  $N = \frac{t_\Sigma}{t_n}$ , где  $t_n$  - продолжительность одного полета.

Учитывая, что в одном полете более одного АП произойти не может, математическое ожидание числа АП на отрезке времени  $t_n$  формально можно записать в виде  $\Lambda t_n = Q$ , где  $\Lambda$  - интенсивность потока АП, т.е. среднее число АП в единицу

времени налета. Для всех  $N$  полетов математическое ожидание числа АП будет определяться  $m_n = NQ = \Lambda t_n$  и соответственно распределение (1.4) можно записать в виде

$$Q_N = \frac{(m_n)^n}{n!} e^{-m_n} = \frac{(\Lambda t_\Sigma)^n}{n!} e^{-\Lambda t_\Sigma} \quad (1.6)$$

Поток АП, описываемый распределением (1.6), является простейшим, т.е. обладает свойствами стационарности, ординаторности и отсутствия последействия. Для такого потока время  $t$  между соседними событиями (АП), как известно из теории вероятностей, распределено по показательному закону с плотностью вероятностей

$$f(t) = \Lambda e^{-\Lambda t} \quad (1.7)$$

Применяя к выражению (1.7) операцию определения математического ожидания, вычислим средний налет на одно АП

$$T_{АП} = m_t = \Lambda \int_0^{\infty} t e^{-\Lambda t} dt = \frac{1}{\Lambda} \quad (1.8)$$

Используя результат (1.8), запишем распределение (1.6) в виде

$$Q_n = \frac{\left(\frac{t_{\Sigma}}{T_{АП}}\right)^n}{n!} \cdot e^{-\frac{t_{\Sigma}}{T_{АП}}} \quad (1.9)$$

При  $n = 0$  получим выражение для показателя безопасности полетов

$$P_{БП} = e^{-\frac{t_{\Sigma}}{T_{АП}}} \quad (1.10)$$

Формула (1.10) определяет связь вероятностного показателя безопасности полетов со статистическим показателем - средним налетом на одно АП.

Из сопоставления формул (1.5) и (1.10) определим, что

$$Q = \frac{t_{\Sigma}}{N T_{АП}} = \frac{t_n}{T_{АП}} \quad (1.11)$$

При продолжительности полета  $t_n$  один час уровень риска

$$Q = \frac{1}{T_{АП}} = \Lambda$$

т.е. численно равен интенсивности потока АП.

Формулы (1.4), (1.9), (1.11) свидетельствуют о том, что при расчетах показателей безопасности полетов для определенных значений  $t_{\Sigma}(N)$  достаточно знать один из трех показателей  $Q$ ,  $Q_n$ ,  $T_{АП}$ , а два других определяют по приведенным соотношениям.