

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ПОДХОД К БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

© Т. А. Семитковская

Державна льотна академія України

Доведено необхідність контролю аеродинамічних характеристик повітряного судна в експлуатації, що складають якість процесу функціонування всього авіаційного комплексу.

Определение влияния на безопасность полетов (БП) различных факторов на этапах разработки, производства и эксплуатации летательного аппарата (ЛА), выявление необходимых мероприятий, способствующих повышению БП, позволяют решить задачу гарантированного ее обеспечения.

Неопределенность знаний условий полетов, летно-технических характеристик ЛА является первопричиной большинства авиационных происшествий (АП), так как может приводить к значительным отклонениям от заданных режимов полета и нежелательным исходам [1]. Именно наличие некоторого уровня неопределенности, свойственное процессу полета конкретного ЛА, означает по существу и некоторый риск неблагоприятного исхода этого полета. Поэтому оценка неопределенности процесса полета и исследование ее зависимости от различных факторов могут быть приняты в качестве основы постановки задач по оценке уровня риска в полете.

С целью определения необходимых исходных понятий и последующего построения модели предлагается отождествить летательный аппарат (ЛА) в целом и любую его функциональную систему (планер, двигатель, систему управления и т. д.) со сложной технической системой. Такой подход удобен, поскольку для сложных технических систем разработаны удачные алгоритмы оценки функционирования [2]. Качество K летательного аппарата как объекта производства определим совокупностью значений некоторых параметров $K \equiv \{a_{ij}^0\}$, $j = 1, \dots, m$, а качество процесса функционирования — совокупностью $\{a_{\phi l}\}$, $l = 1, \dots, r$.

Качество процесса функционирования можно назвать также эффективностью $W \equiv \{a_{\phi l}\}$, $l = 1, \dots, r$. Применительно к ЛА можно в таком случае судить о потенциальной эффективности W_{Π} , определяемой его собственным качеством и реализуемой лишь в некоторых идеальных (расчетных) условиях.

Каждый ЛА обладает совокупностью свойств, определяющих его качество. Любое (i -е) из свойств ЛА может быть описано количественно с помощью некоторой переменной a_i , значение которой и характеризует его качество относительно этого свойства. Эту переменную назовем показателем i -го свойства ЛА. Любое из свойств может определяться множеством других свойств, и следовательно, каждый показатель свойств может быть представлен в виде некоторой функции других показателей: $a_i = f(a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_{i+1}, \dots, a_n)$. В этом случае показатель a_i будет обобщенным. Значит, и K , и W относятся к обобщенным показателям.

В процессе разработки ЛА решается проблема обеспечения в необходимой совокупности свойств, а в процессе эксплуатации — проблема поддержания необходимого качества ЛА на заданном уровне. Однако в недалеком прошлом БП определялась как свойство ЛА выполнять полеты без летных происшествий (ЛП). Безопасность на каком-либо типе ЛА определялось на основании показателей аварийности, определяемых как отношение числа ЛП или предпосылок к летным происшествиям (ПЛП) к суммарному налету.

Такие показатели являются статистическими. Они характеризуют уровень аварийности в эксплуатации определенной группы ЛА за некоторый истекший период времени, и следовательно, определяют средний риск неблагоприятного завершения полетов. Недостатки статистических показателей известны. На основе методов математической статистики невозможно с высокой достоверностью определить уровень аварийности при малом объеме исходных данных. Показатели этого типа могут характеризовать последствия некоторых ошибочных решений, они не связаны прямо со свойствами ЛА, их нельзя контролировать в процессе разработки, когда закладываются все свойства ЛА, а также при подготовке и обеспечении конкретных полетов

на этапе эксплуатации.

Таким образом, для анализа и принятия решений по обеспечению БП на всех этапах жизненного цикла ЛА необходимы такие показатели, которые правильно отражают суть проблемы, способствуют реализации в ЛА уровня свойств, необходимого для благополучного завершения полета.

Благополучное завершение полета на любом ЛА требует прежде всего определенного уровня свойств самого ЛА, его систем, экипажа, внешней среды, а также системы обслуживания и управления.

Несоответствие уровней свойств потребным значениям невозможно вследствие нарушения работоспособности систем, ошибок личного состава, воздействия случайных внешних факторов.

Отклонение свойств зависит от типа ЛА, условий и длительности его эксплуатации, вида ошибки, характера неучтенного воздействия.

Дальнейший анализ, ввод понятия «свойство» [3] позволяет обнаруживать на практике у эксплуатируемых ЛА (и особенно при длительной эксплуатации) проявление новых особенностей. Специалисты используют их как качественные признаки, свойственные данному типу ЛА и процессу его функционирования, отождествляя их со свойствами. Однако на основании исследований [5] уместным было бы и введение понятия «свойств» конкретного борта анализируемого типа.

Каждый ЛА имеет множество свойств, которым соответствуют некоторые возможности, реализуемые лишь в соответствующих условиях.

В этом случае БП как категория возможности характеризует определенную способность конкретного ЛА и связана с обстоятельствами полета, состоянием систем ЛА и их взаимосвязей, условиями взаимодействия ЛА и его систем со средой.

Факт ЛП или отсутствие его не может рассматриваться в отрыве от условий и обстоятельств, в которых происходит полет. Это означает, что более углубленная трактовка понятия БП должна основываться на рассмотрении самого ЛА, процесса полета и условий его благополучного завершения.

Поэтому даже полеты, которые заканчиваются благополучно, не могут быть оценены как одинаково безопасные, ибо в одном из них могли проявляться особые ситуации (отклонение от расчетного штатного характера), а в другом — нет.

БП — это способность выполнить конкретный полет на конкретном ЛА. Следовательно, при исследовании проблемы БП необходимо рассматривать возможные состояния ЛА и его систем, динамику полетных ситуаций, их устойчивость и неустойчивость.

Как и любое свойство, БП, как возможность,

может различаться уровнем, определяемым состоянием ЛА и условиями его полета. С другой стороны, уровень БП можно характеризовать и уровнем риска, а точнее его количественной характеристикой — вероятностью проявления неблагоприятных (нерасчетных) состояний, которая может оцениваться и в каждый момент полета, и интегрально за весь полет, и при рассмотрении любого конкретного полета, и усредненных характеристик за некоторый период полетов.

Можно сформулировать следующие положения:

— уровень риска в полете на современном ЛА определяется уровнем свойств (состоянием) ЛА, обеспечения руководства полетом, состоянием среды, в которой происходит полет, а также эффективной взаимосвязью всех свойств т. е. их комплексным соответствием назначению;

— необходимый уровень свойств авиационного комплекса (АК) и его систем основывается на достоверном знании характеристик ЛА и условий полета;

— при рассмотрении проблемы обеспечения БП необходимо учитывать вероятностный характер многих закономерностей, имеющих место в процессе функционирования АК.

С учетом вышеизложенного можно дать следующее определение БП как способности выполнить конкретный полет определяемой всеми свойствами авиационного комплекса и целесообразным их взаимодействием в процессе полета ЛА. Отсюда следует, что для обеспечения БП необходим контроль соответствия уровня свойств авиатехники и подготовки личного состава необходимому для благополучного совершения полета на каждом конкретном ЛА в заданных условиях.

Оценка уровня БП предполагает получение количественных оценок, с определенной вероятностью дающих представление о возможности благополучного завершения полета на ЛА.

Обратимся к понятию качества функционирования ЛА, определяемое совокупностью требований к характеристикам ЛА и его систем в каждый момент времени t .

Совокупность требований, определяющих расчетное (номинальное) качество функционирования, обозначим через

$$K_r^n(t) = Z_i^n(t), \quad i = 1, \dots, n.$$

В реальных условиях качество функционирования $K_r(t)$ вследствие действия различных причин будет случайным образом отличаться от номинального. Рассмотрим разность

$$\delta K_r(t) = K_r(t) - K_r^n(t), \quad (1)$$

характеризующую точность показателя качества процесса функционирования ЛА в полете.

Поскольку составляющие качества $K_r(t)$ могут иметь некоторый случайный разброс, разность $\delta K_r(t)$ является также случайной величиной. Введем в рассмотрение вероятность того, что абсолютная величина отклонения $|\delta K_r(t)|$ превзойдет некоторое заданное значение $\delta \geq 0$: $S(|\delta K_r(t)| > \delta)$. Наибольшее значение модуля разности $|\delta K_r(t)|$, которое допустимо в момент времени t , обозначим через $\delta_{\text{БП}}$, и с его помощью запишем условие:

$$|\delta K_r(t)| > \delta_{\text{БП}}, \quad (2)$$

которое будет характеризовать особую ситуацию в полете. Особые ситуации могут возникать как вследствие воздействия неблагоприятных факторов внешней среды, отказов техники, так и ошибочных действий летного состава. Очевидно, что количественный показатель точности процесса функционирования $\delta_{\text{БП}}$ представляет некоторый функционал от n частных показателей точности, составляющих качество процесса функционирования $\delta_{\text{БП}i}$, $i = 1, \dots, n$, причем значения $\delta_{\text{БП}k}$ и $\delta_{\text{БП}l}$ при $k \neq l$, вообще говоря, должны быть различны. Если положить $\delta = \delta_{\text{БП}}$, то вероятность $S(|\delta K_r(t)| > \delta_{\text{БП}})$ может рассматриваться как вероятность того, что в момент времени t условия благополучного совершения полета не будут соблюдены.

Введем теперь показатель риска R . Допустим, что различным значениям $\delta_{\text{БП}}$ в момент времени t соответствуют различные исходы полета. Исходы полета могут быть упорядочены от наилучшего до наихудшего. Примем значение риска для наилучшего исхода равным 0, а для наихудшего — 1 ($R_n = 0$, $R_x = 1$). Тогда риск любого промежуточного исхода будет заключен между 0 и 1 ($0 \leq R \leq 1$). Если значение вероятности события (2) равно 1, то уровень БП в момент времени полета t можно оценить как

$$P_{\text{БП}}(t) = 1 - R(t). \quad (3)$$

Если вероятность события (2) не равна 1, то соотношение (3) следует записать в виде

$$P_{\text{БП}}(t) = 1 - R(t)S(t).$$

С учетом составляющих качества процесса функционирования ЛА свойств в первом приближении можно записать, что

$$P_{\text{БП}}(t) = 1 - \sum_{i=1}^n R_i(t)S_i(t).$$

Уровни риска R_i могут рассматриваться и как показатели опасности соответствующих особых си-

туаций. Совокупность мгновенных показателей БП за интервал времени $[0, T^*]$ будет характеризовать интервальный показатель $P_{\text{БП}}$. Он может быть определен, например, как характеристика «интегрального риска»:

$$\tilde{P}_{\text{БП}} = 1 - \frac{1}{T^*} \int_0^{T^*} (1 - P_{\text{БП}}(t)) dt.$$

В соответствии с определением показателей $P_{\text{БП}}(t)$ или $\tilde{P}_{\text{БП}}$ уровень БП зависит от вероятности возникновения в полете особых ситуаций и степени их опасности. Эти показатели могут определяться для ЛА, отдельных его систем, различных комбинаций свойств или отдельного свойства, для всего полета или его этапов.

Исходными данными для вычисления вероятностей возникновения особых ситуаций служат номинальные уровни свойств систем и ЛА в целом, целесообразность значений которых подтверждена на практике (для гражданских воздушных судов этой цели может служить «Руководство по летной эксплуатации»). Возможные разбросы реализуемых значений свойств вокруг номинального и предельно допустимого значения принимаются как отклонения этих свойств.

Разность $\delta K_r(t)$ — случайная величина и ее значения распределены с некоторой плотностью $\rho \propto (\delta K_r)$. Но при этом показатель

$$P_{\text{БП}}(t) \equiv P(|\delta K_r(t)| \leq \delta_{\text{БП}}) = \int_{-\delta_{\text{БП}}}^{\delta_{\text{БП}}} \rho(\delta K_r) d\delta K_r. \quad (4)$$

Введем опять в рассмотрение величину $S(|\delta K_r(t)| > \delta_{\text{БП}})$, характеризующую вероятность того, что условия благополучного выполнения полета в момент времени t будут нарушены. Тогда, используя неравенство Чебышева, можно записать:

$$S(|\delta K_r(t)| > \delta_{\text{БП}}) \leq D(\delta K_r) / \delta_{\text{БП}}^2, \quad (5)$$

где $D(\delta K_r)$ — дисперсия случайной величины δK_r .

С учетом (5) соотношение (4) можно переписать в виде

$$P(|\delta K_r(t)| \leq \delta_{\text{БП}}) \geq 1 - D(\delta K_r) / \delta_{\text{БП}}^2, \quad (6)$$

а переходя к составляющим качества, $D(\delta K_r)$ в первом приближении представить как

$$D(\delta K_r) = \sum_{i=1}^n a_i D(\delta Z_i), \quad (7)$$

где a_i — некоторые весовые коэффициенты; $\delta Z_i = Z_i - Z_i^n$ — возможное отклонение i -й составляю-

щей качества процесса функционирования авиационного комплекса от номинального значения.

Таким образом, на основании (6) и (7) можно определить с заданной точностью значения качества процесса функционирования ЛА либо его составляющих. Такой подход позволяет не только определить требования по обеспечению БП, но и контролировать их выполнение на всех этапах жизненного цикла ЛА.

Решение задач обеспечения БП предполагается по схеме: моделирование условий полета, летно-технических характеристик ЛА, психофизиологических возможностей экипажа, процесса полета, определение по этим моделям возможных состояний ЛА и их изменений в полете, оценка соответствующей неопределенности и возможных последствий ее наличия и анализ влияния на уровень неопределенности различных факторов с целью сведения его к минимуму или целесообразному (допустимому) значению.

Подобная схема была бы удобной в применении

на всех этапах жизненного цикла ЛА.

1. Старков А. И., Зачеса В. Я., Зинковский Н. Н. и др. Безопасность полетов летательных аппаратов. — М.: Транспорт, 1988.—159 с.
2. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. — М.: Наука, 1985.—288 с.
3. Лукьянов И. Ф. Сущность категории «свойство». — М.: Мысль, 1982.—143 с.
4. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. — М.: Наука, 1962.—576 с.
5. Ищенко С. А. Оценка влияния индивидуальных особенностей воздушных судов на характеристики расхода топлива // Прикладная аэродинамика. — К.: КМУГА, 1997.—С. 118—131.

DIFFERENTIAL APPROACH TO FLIGHTS SAFETY OF AIRCRAFTS

T. A. Semytkivs'ka

A control necessity of aircraft aerodynamic characteristics at the operation putting together a quality process of functioning all aircraft complex is proved.