

УДК 629.7.018.74

Д.А. Бетин, канд. техн. наук,  
В.А. Тутубалин,  
В.М. Кистерев

## **ПОКАЗАТЕЛИ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ БЕСПИЛОТНОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА**

С расширением применения беспилотной авиации особую актуальность приобретает проблема обеспечения безопасности полетов (БП) при ее использовании. Ведущие профильные эксперты указывают на одно из главных направлений развития беспилотной авиации – доведение параметров БП беспилотной авиации до уровня параметров БП пилотируемой авиации. При этом под БП понимают свойство авиационной системы «экипаж – воздушное судно – обеспечение полетов – управление воздушным движением» выполнять полеты без авиационных происшествий (АП) [1, 2].

В 2005 году Аэронавигационная комиссия Международной организации гражданской авиации ИКАО провела консультации по вопросам БП. В результате этого был разработан документ «Глобальная Дорожная карта безопасности полетов», что должно привести к значительному сокращению рисков АП в гражданской авиации. Данные об АП являются надежным источником для определения уровня БП. Среди прочих важных направлений деятельности в указанном документе называется «определение и разработка единых показателей и идентификаторов АП, которые можно использовать при превентивном подходе к управлению рисками, а также разработка и использование отраслевой базы данных для обмена информацией об инцидентах и ошибках» [3].

Следует отметить, что в Воздушном кодексе Украины законодательно введен термин «воздушное судно», который в отношении беспилотного воздушного судна (БВС) можно трактовать как воздушное судно, на борту которого во время полета отсутствует экипаж. БВС действуют в составе беспилотного авиационного комплекса, состоящего из персонала (экипажей БВС, управленческого и обслуживающего состава), однотипных БВС и наземных технических средств.

Действующая в настоящее время в Украине нормативная база, регулирующая авиационную деятельность, не предусматривает использование БВС в гражданской авиации. Кроме того, существующие терминологические несоответствия не позволяют для анализа уровня БП БВС напрямую использовать методику, применяемую в пилотируемой авиации. Так, Государственный стандарт СССР (ГОСТ 18340-73), определяющий АП как событие, связанное с эксплуатацией летательного аппарата и происшествие в период нахождения на его борту экипажа или пассажиров в целях выполнения полетов, не дает формальной возможности распространять классификацию АП на БВС. В то же время, на-

пример, в США, действует иная система определений, позволяющая проводить анализ уровня БП БВС и сравнивать его с пилотируемой авиацией [1, 2].

И, наконец, используемые в гражданской авиации ряд показателей БП нецелесообразно использовать для БВС, так как они отражают специфику грузопассажирских перевозок, не характерную для БВС [4].

Цель данной работы – на основе методик анализа БП пилотируемой авиации разработать комплекс количественных показателей БП беспилотной авиации, что до принятия в Украине единой нормативной базы для беспилотной авиации позволит организациям, ведущим разработку БВС, проводить анализ их БП.

Кроме того, анализ показателей БП БВС даст возможность оперативно разрабатывать систему действенных мероприятий по предотвращению инцидентов с БВС и достичь высокого уровня БП при проведении экспериментальных полетов, а также позволит сравнивать уровень совершенства существующих и вновь разработанных типов БВС.

Применительно к БВС предлагается вместо АП ввести термин «чрезвычайное происшествие БВС» (ЧП БВС) – событие, связанное с полетом БВС или пребыванием его на земле, при котором наступило одно из следующих событий: разрушение или повреждение БВС с нарушением прочности или изменением его летно-технических характеристик, ранение или гибель людей.

Определяемые статистическим путем количественные показатели БП БВС можно разделить на абсолютные и относительные.

Абсолютный показатель  $N_{ЧП БВС}$  – число ЧП БВС с конкретным типом БВС за определенный исследуемый период времени. Его можно рассматривать как совокупность ЧП БВС  $N_{ЧП БВС}^n$ , определяемых различными факторами  $n$ , связанными с эксплуатацией БВС, т.е.

$$N_{ЧП БВС} = \sum N_{ЧП БВС}^n \quad (1)$$

Для анализа ЧП БВС введем следующие группы причин их возникновения:

- а) отказ техники (ОТ);
- б) ошибка персонала (ОП);
- в) ошибочные команды наземных служб управления воздушным движением (ОД);
- г) неблагоприятные внешние условия (НУ);
- д) неустановленные причины (НП).

Таким образом,

$$N_{ЧП БВС} = N_{ЧП БВС}^{ОТ} + N_{ЧП БВС}^{ОП} + N_{ЧП БВС}^{ОД} + N_{ЧП БВС}^{НУ} + N_{ЧП БВС}^{НП}, \quad (2)$$

где  $N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{ОТ}}$ ;  $N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{ОП}}$ ;  $N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{ОД}}$ ;  $N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{НУ}}$ ;  $N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{НП}}$  – соответственно число ЧП БВС, прошедшее по указанным группам причин.

Кроме этого для оценивания тяжести последствий ЧП БВС предлагается ввести классификацию по классам тяжести последствий, аналогичную классификации, используемой в авиации США [5].

Введем три класса ЧП БВС, при которых произошло одно из таких событий:

а) причинен ущерб на сумму свыше  $Y_1$  (размер суммы должен быть дополнительно определен на основе специальных экономических исследований); полностью разрушено БВС, что исключает техническую возможность или экономическую целесообразность его ремонта; БВС произвело вынужденную посадку в районе, исключающем возможность его эвакуации; имеются жертвы или полная потеря работоспособности среди персонала БАК; гибель любого лица в результате непосредственного контакта с БАС или его элементами (класс I);

б) причинен ущерб на сумму от  $Y_2$  до  $Y_1$  (где  $Y_2$  в пять раз меньше  $Y_1$ ); частичная потеря работоспособности среди персонала БАК (на три и более дня) (класс II);

в) причинен ущерб на сумму от  $Y_3$  до  $Y_2$  (где  $Y_3$  в десять раз меньше  $Y_2$ ); нанесены травмы, приведшие к потере работоспособности среди персонала на восемь и более часов (класс III).

Исходя из этого,  $N_{\text{ЧП БВС}}$  можно определить как

$$N_{\text{ЧП БВС}} = N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{I}} + N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{II}} + N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{III}}, \quad (3)$$

где  $N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{I}}$ ,  $N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{II}}$ ,  $N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{III}}$  – соответственно число ЧП БВС, приведшее к указанным классам тяжести последствий.

При анализе ЧП, происшедших с БВС, важным является исследование влияния на ЧП различных этапов полета и эксплуатации. К ним относятся:

а) взлет и набор высоты (ВЗЛ);

б) установившийся полет и выполнение функциональной работы (УПР);

в) снижение и посадка (ПОС);

г) нахождение на земле (ЗЕМ).

Тогда  $N_{\text{ЧП БВС}}$  можно представить следующим образом:

$$N_{\text{ЧП БВС}} = N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{взл}} + N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{упр}} + N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{пос}} + N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{зем}}, \quad (4)$$

где  $N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{взл}}$ ;  $N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{упр}}$ ;  $N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{пос}}$ ;  $N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{зем}}$  – соответственно, число ЧП БВС, происшедшее на указанных этапах полета и эксплуатации.

Более универсальными являются относительные показатели, позволяющие учесть различные факторы причины ЧП БВС. К таким показателям следует отнести коэффициенты ЧП БВС в виде

$$K_{\text{ЧП БВС}}^n = \frac{N_{\text{ЧП БВС}}^n}{N_{\text{ЧП БВС}}} . \quad (5)$$

Наиболее важными для анализа БП являются такие коэффициенты ЧП БВС:

– произошедших по причине отказа техники

$$K_{\text{ЧП БВС}}^{\text{ОТ}} = \frac{N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{ОТ}}}{N_{\text{ЧП БВС}}} ; \quad (6)$$

– произошедших по причине ошибок персонала

$$K_{\text{ЧП БВС}}^{\text{ОП}} = \frac{N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{ОП}}}{N_{\text{ЧП БВС}}} ; \quad (7)$$

– произошедших из-за воздействия неблагоприятных внешних условий

$$K_{\text{ЧП БВС}}^{\text{НУ}} = \frac{N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{НУ}}}{N_{\text{ЧП БВС}}} ; \quad (8)$$

– первого класса тяжести последствий

$$K_{\text{ЧП БВС}}^{\text{I}} = \frac{N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{I}}}{N_{\text{ЧП БВС}}} ; \quad (9)$$

– второго класса тяжести последствий

$$K_{\text{ЧП БВС}}^{\text{II}} = \frac{N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{II}}}{N_{\text{ЧП БВС}}} ; \quad (10)$$

– произошедших при взлете и наборе высоты

$$K_{\text{ЧП БВС}}^{\text{взл}} = \frac{N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{взл}}}{N_{\text{ЧП БВС}}} ; \quad (11)$$

– произошедших при установившемся полете и выполнении функциональной работы

$$K_{\text{ЧП БВС}}^{\text{упр}} = \frac{N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{упр}}}{N_{\text{ЧП БВС}}} ; \quad (12)$$

– произошедших при снижении и посадке

$$K_{\text{ЧП БВС}}^{\text{пос}} = \frac{N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{пос}}}{N_{\text{ЧП БВС}}} . \quad (13)$$

Для анализа состояния БП можно использовать еще ряд относительных статистических показателей БП, характеризующих производительность БВС. В отличие от аналогичных показателей пилотируемой авиации предлагается использовать меньшую в сто раз расчетную базу, чем в пилотируемой авиации. Это будет отражать реально достижимые в настоящее время объемы выполнения работ украинской беспилотной авиацией.

Средний налет (в часах) на одно ЧП БВС следует определять по формуле

$$T_{\text{ЧП БВС}} = \frac{\sum t_{\text{БВС}}}{N_{\text{ЧП БВС}}} , \quad (14)$$

где  $\sum t_{\text{БВС}}$  – суммарный налет (в часах) конкретного типа БВС за исследуемый период времени.

Число ЧП БВС на 1000 часов налета

$$A_{\text{ЧП БВС}}^{\text{чс}} = \frac{1}{T_{\text{ЧП БВС}}} 10^3 = \frac{N_{\text{ЧП БВС}}}{\sum t_{\text{БВС}}} 10^3 . \quad (15)$$

Число ЧП БВС первого класса тяжести последствий на 1000 часов налета

$$A_{\text{ЧП БВС}}^{\text{I чс}} = \frac{N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{I}}}{\sum t_{\text{БВС}}} 10^3 . \quad (16)$$

Число ЧП БВС на 1000 полетов

$$A_{\text{ЧП БВС}}^{\text{пл}} = \frac{N_{\text{ЧП БВС}}}{L_{\text{пл}}} 10^3 . \quad (17)$$

где  $L_{\text{пл}}$  – число полетов конкретного типа БВС.

Число ЧП БВС первого класса тяжести последствий на 1000 полетов

$$A_{\text{ЧП БВС}}^{\text{I пл}} = \frac{N_{\text{ЧП БВС}}^{\text{I}}}{L_{\text{пл}}} 10^3 . \quad (18)$$

Число ЧП БВС на  $10^6$  км налета

$$A_{\text{ЧП БВС}}^{\text{км}} = \frac{N_{\text{ЧП БВС}}}{L_{\text{км}}} 10^6 , \quad (19)$$

где  $L_{\text{км}}$  – налет конкретного типа БВС, км.

Число ЧП БВС первого класса тяжести последствий на  $10^6$  км налета

$$A_{\text{ЧП БВС}}^I \text{ км} = \frac{N_{\text{ЧП БВС}}^I}{L_{\text{км}}} 10^6. \quad (20)$$

Число полностью разрушенных или потерянных БВС на 1000 часов налета

$$P_p^{\text{чс}} = \frac{P}{\sum t_{\text{БВС}}} 10^3, \quad (21)$$

где  $P$  – число полностью разрушенных или потерянных БВС.

При необходимости сравнения ЧП БВС с ЧП пилотируемых воздушных судов приведенные показатели можно пересчитать на необходимую расчетную базу.

В пилотируемой и беспилотной авиации США принято использовать расчетные базы в 100000 часов налета и 100000 полетов. В этом случае число ЧП БВС первого класса тяжести последствий на 100000 часов налета определяется по формуле

$$A_{\text{ЧП БВС}}^{*I \text{ чс}} = \frac{N_{\text{ЧП БВС}}^I}{\sum t_{\text{БВС}}} 10^5. \quad (22)$$

В настоящее время нет возможности провести анализ состояния БП украинских БВС, так как разработчики не предоставляют информацию о результатах полетов, ограничиваясь лишь рекламными прогнозируемыми характеристиками БВС. Поэтому использование статистических показателей БП можно рассмотреть на примере беспилотной авиации Вооруженных Сил США, основываясь на информации, приведенной в [1, 6, 7].

США в настоящее время являются лидером в мировой авиации по масштабам применения БВС. Динамика роста налета  $\sum t_{\text{БВС}}$  некоторых типов БВС приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Значение  $\sum t_{\text{БВС}}$  для БВС США в 2006 - 2009 гг.

Налет	Период эксплуатации			
	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
$\sum t_{\text{БВС}}$ БВС MQ-1	$58 \cdot 10^3$	$79 \cdot 10^3$	$148 \cdot 10^3$	$187 \cdot 10^3$
$\sum t_{\text{БВС}}$ БВС MQ-9	$3 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	$15 \cdot 10^3$	$25 \cdot 10^3$

Парк БВС в 2009 г. составлял 118 изделий MQ-1 и 27 изделий MQ-9. Налет  $\sum t_{\text{БВС}}$  БВС RQ-7 в 2007 г. составил  $100 \cdot 10^3$  часов при парке БВС в 296 изделий.

Основным показателем БП в авиации США является коэффициент аварийности класса А, который в общем случае соответствует предложенному в данной работе коэффициенту  $A_{\text{ЧП БВС}}^{* / \text{чс}}$ . Летное происшествие класса А в авиации США в общем по тяжести последствий соответствует предложенному ЧП БВС класса I. Ущерб  $Y_1$  оценивается в 1 млн. долларов США. В 2001 г. БВС RQ-1 имело  $A_{\text{ЧП БВС}}^{* / \text{чс}} = 32$ , тогда как для пилотируемых военных самолетов США  $A_{\text{ЧП БВС}}^{* / \text{чс}} = 1,29$ . В 2003 г. БВС США имели показатели  $A_{\text{ЧП БВС}}^{* / \text{чс}}$ , приведенные в табл. 2.

Таблица 2 – Значения  $A_{\text{ЧП БВС}}^{* / \text{чс}}$  для БВС США в 2003 г.

Коэффициент	Тип БВС				
	RQ-1	RQ-5	RQ-4	RQ-7	RQ-2
$A_{\text{ЧП БВС}}^{* / \text{чс}}$	20	47	88	191	281

Из табл. 2 видно, что наилучший уровень БП в 2003 г. у БВС RQ-1, у которого также произошло улучшение показателя БП по сравнению с 2001 г.

Динамика изменения  $A_{\text{ЧП БВС}}^{* / \text{чс}}$  за период 2006 - 2009 г.г. приведена в табл. 3.

Таблица 3 – Значения  $A_{\text{ЧП БВС}}^{* / \text{чс}}$  для БВС США в 2006 - 2009 гг.

Коэффициент	Период эксплуатации			
	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
$A_{\text{ЧП БВС}}^{* / \text{чс}}$ БВС MQ-1	6,92	6,30	6,76	6,94
$A_{\text{ЧП БВС}}^{* / \text{чс}}$ БВС MQ-9	33,02	14,58	13,21	11,82

Из табл. 3 видно, что уровень БП БВС MQ-1 находился примерно на равных позициях, тогда как уровень БП БВС MQ-9 неуклонно улучшался. В то же время уровень БП БВС в США все еще заметно хуже уровня, достигнутого пилотируемой авиацией. Так, в 2009 г. значение  $A_{\text{ЧП БВС}}^{* / \text{чс}}$  для самолета F-16 составляло 1,17, для самолета A-10 – 1,08.

За период эксплуатации БВС RQ-1/MQ-1 с 1997 г. по 2009 г. налет  $\sum t_{\text{БВС}}$  составил  $700 \cdot 10^3$  часов. За это время по причинам, не связан-

ным с боевыми потерями, было полностью разрушено 55 изделий БВС этого типа. Расчетное значение коэффициента  $\Pi_p^{чс} = 0,0708$ .

Систематический анализ состояния БП БВС в США позволяет разрабатывать действенные мероприятия по повышению уровня надежности и безопасности использования БВС. При этом для беспилотной авиации ставится задача достичь уровня БП пилотируемой авиации. Для БВС MQ-1 в 2005 г.  $A_{чп БВС}^{* / чс} = 14,63$ , а в следующем 2006 г., как видно из табл. 3, произошло значительное улучшение ситуации с БП.

За период эксплуатации БВС RQ-1/MQ-1 с 2004 г. по 2006 г. показатель  $N_{чп БВС}^I = 15$ . В 12 случаях причиной ЧП БВС были ошибки персонала.

Коэффициент ЧП БВС I класса тяжести последствий, произошедших по причине ошибок персонала, можно рассчитать по формуле

$$K_{чп БВС}^{оп I} = \frac{N_{чп БВС}^{оп I}}{N_{чп БВС}^I}, \quad (23)$$

где  $N_{чп БВС}^{оп I}$  – число ЧП БВС I класса тяжести последствий, произошедших по причине ошибок персонала.

Для RQ-1/MQ-1 с 2004 г. по 2006 г. коэффициент  $K_{чп БВС}^{оп I} = 0,8$ .

Значения коэффициента  $K_{чп БВС}^{оп I}$  для БВС США в 2003 г. приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Значения  $K_{чп БВС}^{оп I}$  для БВС США в 2003 г.

Коэффициент	Тип БВС			
	RQ-5	RQ-1	RQ-2	RQ-7
$K_{чп БВС}^{оп I}$	0,07	0,16	0,18	0,38

Из табл. 4 видно, что в наибольшей степени ошибки персонала повлияли на БП при эксплуатации БВС RQ-7.

Анализ БП показал, что такое неприемлемо большое значение  $K_{чп БВС}^{оп I}$  было связано с резким увеличением интенсивности применения БВС. Уровень надежности самих БВС повышался, а уровень подготовки нового персонала снижался. Для улучшения ситуации были изменены программы подготовки пилотов-операторов БВС, создан учебный центр с полигоном, внесены изменения в систему управления БВС.

## Выводы

1. При проведении испытаний, опытно-конструкторских и научно-исследовательских работ с использованием экспериментальных БВС необходимо обеспечивать высокий уровень БП, для чего следует проводить анализ состояния БП, направленный на выявление опасных факторов, оценивание их влияния и разработку мероприятий по их устранению.

2. Начальным этапом анализа состояния БП является статистическая обработка данных, характеризующих результаты деятельности БВС и условия, в которых она осуществлялась.

3. Для анализа состояния БП возможно использовать количественные показатели БП, предложенные в данной работе.

4. На основе анализа состояния БП на уровне организации, ведущей работы с экспериментальными БВС, должны выявляться тенденции изменения показателей уровня БП и их причин, что является основанием для разработки рекомендаций по устранению отрицательных явлений в практике летной эксплуатации БВС.

## Список использованных источников

1. Попов В.А. Беспилотники: Конверсия по-американски / В.А. Попов, Д.В. Федутин // Вестник авиации и космонавтики. – М.: Вестник авиации и космонавтики, 2007. – Вып. 1. – С. 39–41.

2. Анцелиович Л.Л. Надежность, безопасность и живучесть самолета / Л.Л. Анцелиович. – М.: Машиностроение, 1985. – 296 с.

3. Тарасевич Д. Глобальный подход к глобальной проблеме / Д. Тарасевич // Авиапанорама. – М.: Высокие технологии и инновации, 2008. – Вып. 6. – С. 34–37.

4. Зубков Б.В. Основы безопасности полетов / Б.В. Зубков, Е.Р. Минаев. – М.: Транспорт, 1987. – 143 с.

5. Антошин В. F-16. Харизматичный, но аварийный / В. Антошин, Е. Кондратюк // Авиапанорама. – М.: Высокие технологии и инновации, 2009. – Вып. 1. – С. 51–53.

6. Беляев В. БПЛА: первое знакомство / В. Беляев // Авиация и время. – К.: Авиация и время, 2008. – Вып. 2. – С. 28–32.

7. Моисеев С. Состояние и перспективы развития боевых беспилотных авиационных систем США / С. Моисеев // Аэрокосмическое обозрение. – М.: Бедретдинов, 2010. – Вып. 3. – С. 34–39.

*Поступила в редакцию 20.04.2011*

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.И. Рыженко,  
Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков*