

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ БЕСПИЛОТНЫХ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

С каждым годом беспилотные воздушные суда (БВС), совершенствуясь технически, приближаются по показателям надежности к пилотируемым воздушным судам. Это создает предпосылки к использованию БВС не только в военной, но и гражданской авиации. Однако рынок авиационных работ уже поделен, и для того чтобы конкурировать на этом рынке, преимущества БВС необходимо как-то доказать [1].

Кроме высокого уровня надежности для современных гражданских пилотируемых воздушных судов характерна и высокая эксплуатационная технологичность (ЭТ), под которой понимают свойства конструкции воздушного судна, определяющие его приспособленность к выполнению всех видов работ по эксплуатации, техническому обслуживанию (ТО) и ремонту при наименьших затратах средств и времени. Свойства конструкции, определяющие ее ЭТ, закладывают на ранних стадиях создания авиационной техники и, как правило, по техническим требованиям заказчика [2 – 5].

Следует отметить, что современному потребителю необходимы БВС, обеспечивающие годовой налет в 2000 – 3000 часов, межремонтный ресурс не менее 8000 – 10000 часов, а не изделия, для которых каждый полет – событие и повторный полет возможен лишь через две-три недели. БВС должны разрабатываться, производиться и эксплуатироваться в полном соответствии с требованиями, предъявляемыми к авиационной технике. Однако анализ современного состояния беспилотной авиации в Украине не свидетельствует о таком подходе, в частности, из-за отсутствия единой нормативной базы по их проектированию и эксплуатации [3].

В многочисленных рекламных материалах большинство украинских разработчиков БВС не указывают никакой информации о ЭТ, ресурсах, планируемых налетах, ограничиваясь общими фразами о значительных преимуществах БВС по сравнению с пилотируемыми. Например, в публикации [3], посвященной перспективам использования БВС в Украине, высказывается сожаление по поводу закупки Государственной пограничной службой Украины пилотируемых самолетов DA-42M австрийской фирмы Diamond вместо того, чтобы использовать БВС одного из украинских разработчиков. При этом не проводится сравнение показателей и характеристик этих изделий, хотя DA-42M – сертифицированное гражданское воздушное судно, при разработке которого особое внимание уделялось технологичности и экономичности эксплуатации.

Основные показатели его ЭТ известны и подтверждены многолетней эксплуатацией.

Для успешной конкуренции украинских БВС с пилотируемыми воздушными судами на рынке невоенных авиационных услуг необходимо, среди многих других работ, количественно оценивать ЭТ конструкции при разработке технических требований на опытные образцы перспективных БВС, выбирать из нескольких возможных конструктивных вариантов наилучший, оценивать совершенство конструкции экспериментальных образцов в ходе опытной эксплуатации.

Цель данной работы – на основе методик оценки ЭТ пилотируемой авиации разработать систему критериев ЭТ БВС в виде количественных показателей.

До принятия в Украине единой нормативной базы для беспилотной авиации это позволит организациям, ведущим разработку БВС, проводить оценку их ЭТ как при разработке, так и в ходе опытной эксплуатации. Кроме того, оценка показателей ЭТ даст возможность оперативно разрабатывать систему действенных мероприятий по улучшению ЭТ, позволит сравнивать уровень совершенства существующих и вновь разрабатываемых типов БВС, а также аргументировано доказывать преимущества БВС при выполнении тех или иных работ.

ЭТ БВС определяется сочетанием таких разнородных и часто неравнозначных свойств конструкции, как ремонтпригодность, доступность, легкосъемность, эксплуатационная взаимозаменяемость, преемственность наземного оборудования для ТО, приспособленность к автоматизированному контролю систем и агрегатов. Поэтому для оценки ЭТ БВС предлагается использовать систему основных и дополнительных (частных) критериев.

Основные критерии оценивают ЭТ в целом. К ним можно отнести коэффициенты готовности БВС (K_G) и трудоемкости ТО БВС (K_T). Эти количественные показатели ЭТ БВС должны задаваться в техническом задании на БВС, рассчитываться и доводиться до заданных параметров в ходе их проектирования.

Готовность БВС означает, что БВС данного типа находится в состоянии готовности к выполнению полетного задания. Готовность БВС определяется коэффициентом

$$K_G = \frac{t_G}{t_\Sigma}, \quad (1)$$

где t_G – время пребывания БВС в состоянии готовности в течение исследуемого периода эксплуатации (месяц, год, цикл межремонтного ресурса), выраженное в календарных днях; t_Σ – суммарное время исследуемого периода эксплуатации, выраженное в календарных днях.

Суммарное время эксплуатации

$$t_{\Sigma} = t_{\Gamma} + t_{\text{ТО}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{ТО}}$ – время пребывания БВС на ТО.

При этом под ТО БВС следует понимать комплекс мероприятий по уходу, осмотру, проверке и ремонту этого БВС, проводимых периодически в целях замедления нарастания естественных износов, предупреждения появления неисправностей и вызываемых ими чрезвычайных происшествий, а также сохранения БВС своей физической работоспособности в течение возможно более длительного времени.

Коэффициент готовности БВС можно представить в виде

$$K_{\Gamma} = 1 - \frac{t_{\text{ТО}}}{t_{\Sigma}} = 1 - K_{\Pi}, \quad (3)$$

где $K_{\Pi} = \frac{t_{\text{ТО}}}{t_{\Sigma}}$ – коэффициент простоя БВС.

Большая величина коэффициента K_{Π} означает низкую ЭТ БВС конкретного типа, что подразумевает и общую низкую эффективность беспилотного авиационного комплекса, в составе которого эксплуатируются БВС, так как требуется увеличение потребного количества БВС для выполнения необходимых авиационных работ.

Суммарная трудоемкость всех видов ТО, приходящаяся на час налета за период межремонтного ресурса БВС до его первого капитального ремонта определяет коэффициент трудоемкости ТО БВС

$$K_{\text{T}} = \frac{\sum P_{\text{ТО}}}{R_{\text{МБС}}}, \quad (4)$$

где $\sum P_{\text{ТО}}$ – суммарная трудоемкость ТО за период межремонтного ресурса БВС (в человеко-часах); $R_{\text{МБС}}$ – межремонтный ресурс БВС (в часах налета).

Суммарная трудоемкость

$$\sum P_{\text{ТО}} = P_{\text{ОП}} + P_{\text{ПО}} + P_{\text{Зд}} + P_{\text{НД}} + P_{\text{КР}}, \quad (5)$$

где $P_{\text{ОП}}$ – трудоемкость оперативного ТО БВС; $P_{\text{ПО}}$ – трудоемкость периодического ТО БВС; $P_{\text{Зд}}$ – трудоемкость замены двигателей; $P_{\text{НД}}$ – трудоемкость устранения неисправностей и проведения доработок; $P_{\text{КР}}$ – трудоемкость капитального ремонта.

Найдя отношения каждого из составляющих $\sum P_{ТО}$ к величине $R_{МБС}$, коэффициент K_T можно представить в виде

$$K_T = K_{ОП} + K_{ПО} + K_{ЗД} + K_{НД} + K_{КР}, \quad (6)$$

где $K_{ОП}$ – коэффициент трудоемкости оперативного ТО БВС; $K_{ПО}$ – коэффициент трудоемкости периодического ТО БВС; $K_{ЗД}$ – коэффициент трудоемкости замены двигателей; $K_{НД}$ – коэффициент трудоемкости устранения неисправностей и проведения доработок; $K_{КР}$ – коэффициент трудоемкости капитального ремонта БВС.

Как правило, оперативное ТО БВС включает в себя предварительное, предполетное и послеполетное ТО, а также ТО при кратковременной стоянке (подготовке к повторному вылету). Поэтому

$$P_{ОП} = N_{ПР}P_{ПР} + N_{ПП}P_{ПП} + N_{ПОП}P_{ПОП} + N_{КС}P_{КС}, \quad (7)$$

где $N_{ПР}$, $N_{ПП}$, $N_{ПОП}$, $N_{КС}$ – количество предварительных, предполетных, послеполетных ТО и ТО при кратковременной стоянке за период $R_{МБС}$; $P_{ПР}$, $P_{ПП}$, $P_{ПОП}$, $P_{КС}$ – трудоемкости предварительных, предполетных, послеполетных ТО и ТО при кратковременной стоянке.

Количество видов оперативного ТО зависит от интенсивности использования БВС и определяется количеством летных дней

$$N_{ЛД} = \frac{R_{МБС}}{T_{П}N_{ПД}}, \quad (8)$$

где $T_{П}$ – среднее время одного полета при выполнении БВС полетного задания или авиационной работы (в часах); $N_{ПД}$ – количество полетов, выполняемых за один летный день.

Периодическое ТО БВС включает в себя выполнение регламентных работ через определенное количество часов налета. Если принять для БВС (до появления иных руководящих документов) такие же формы периодического ТО, как и для большинства воздушных судов гражданской авиации Украины, то значение $P_{ПО}$ можно представить в виде

$$P_{ПО} = N_{Ф1}P_{Ф1} + N_{Ф2}P_{Ф2} + N_{Ф3}P_{Ф3}, \quad (9)$$

где $N_{Ф1}$ – количество ТО по форме № 1 (через 50 часов налета БВС) за период $R_{МБС}$; $N_{Ф2}$ – количество ТО по форме № 2 (через 200 часов

налета БВС) за период $R_{МБС}$; $N_{\Phi 3}$ – количество ТО по форме № 3 (через 1000 часов налета БВС) за период $R_{МБС}$; $P_{\Phi 1}$, $P_{\Phi 2}$, $P_{\Phi 3}$ – трудоемкости ТО по формам № 1, № 2, № 3.

Количество периодических видов ТО зависит от межремонтного ресурса БВС $R_{МБС}$.

Коэффициент трудоемкости замены двигателей $P_{ЗД}$ зависит от межремонтного ресурса двигателей, установленных на БВС. Этот ресурс, как правило, намного ниже, чем ресурс самого БВС, и за цикл $R_{МБС}$ происходит несколько замен двигателей. Это в большинстве случаев характерно для малоразмерных БВС с несертифицированными двигателями, имеющими низкую надежность и малый ресурс.

Значение $P_{ЗД}$ можно определить по формуле

$$P_{ЗД} = K_{ЗД} P_{ЗД1}, \quad (10)$$

где $K_{ЗД}$ – коэффициент трудоемкости замены двигателей; $P_{ЗД1}$ – трудоемкость замены одного двигателя (в человеко-часах).

Коэффициент трудоемкости замены двигателей

$$K_{ЗД} = \frac{R_{МБС}}{R_{Д}(1 - K_{ДЗД})} N_{Д}, \quad (11)$$

где $R_{Д}$ – межремонтный ресурс двигателя (в часах наработки); $K_{ДЗД}$ – коэффициент досрочной замены двигателей, определяемый как отношение досрочно (до истечения ресурса) снятых двигателей к общему количеству заменяемых двигателей; $N_{Д}$ – количество двигателей на конкретном типе БВС.

Коэффициент трудоемкости устранения неисправностей и проведения доработок

$$P_{НД} = \sum_{i=1}^n \omega_{Нi} P_{НСi} + \sum_{i=1}^n \omega_{Ди} P_{ДСi}, \quad (12)$$

где n – количество основных систем и агрегатов БВС; $\omega_{Нi}$ – параметр потока неисправностей конкретной системы или агрегата БВС; $P_{НСi}$ – трудоемкость устранения неисправности конкретной системы или агрегата БВС (в человеко-часах); $\omega_{Ди}$ – параметр потока доработок системы или агрегата БВС по техническим бюллетеням; $P_{ДСi}$ – трудоемкость

доработки системы или агрегата (в человеко-часах).

Значения ω_{Hj} зависят от характеристик надежности элементов, изделий и узлов в системе или агрегате.

Если основные критерии оценивают ЭТ в целом, то частные критерии и показатели позволяют проводить оценку одного из свойств ЭТ. Критерии и показатели такой оценки рассмотрим ниже.

Ремонтопригодность БВС означает приспособленность конкретного типа БВС к восстановлению исправности и поддержанию ресурса путем предупреждения, обнаружения и устранения неисправностей и отказов. Ее можно характеризовать следующими коэффициентами:

блочности

$$K_{РБ} = \frac{N_{АК}}{N_{АС}}; \quad (13)$$

заменяемости деталей

$$K_{РЗ} = \frac{N_{ЗД}}{N_{Д}}; \quad (14)$$

восстанавливаемых деталей

$$K_{РЗ} = \frac{N_{ВД}}{N_{Д}}, \quad (15)$$

где $N_{АС}$ – общее количество узлов и агрегатов в конструкции БВС; $N_{АК}$ – количество узлов и агрегатов, автономно и конструктивно законченных; $N_{Д}$ – общее количество деталей (кроме крепежных и стандартных покупных) в конструкции БВС; $N_{ЗД}$ – количество новых заменяемых деталей при ремонте БВС; $N_{ВД}$ – количество восстанавливаемых при ремонте деталей.

Доступность – свойство конструкции БВС, обеспечивающее возможность подхода к узлам, агрегатам и системам для выполнения процедур ТО и удобство работы персонала инструментом в условиях эксплуатации. Это свойство определяется коэффициентом доступности

$$K_{Д} = \frac{P_{АС}}{P_{АС} + P_{ПЗ}}, \quad (16)$$

где $P_{АС}$ – трудоемкость ТО агрегата или системы (в человеко-часах);

$P_{ПЗ}$ – трудоемкость подготовительно-заключительных операций, не связанных с непосредственным выполнением работ, предусмотренных регламентом ТО (в человеко-часах).

Коэффициент доступности K_D можно рассчитать как для отдельного агрегата или системы, так и для БВС в целом.

Легкосъемность – свойство конструкции узла или агрегата конструкции БВС, обеспечивающее его монтаж и демонтаж. Критерием легкосъемности является коэффициент легкосъемности

$$K_{ЛС} = \frac{N_{ЭС}}{N_{ЭС} + N_{ЭД}}, \quad (17)$$

где $N_{ЭС}$ – количество элементарных движений (простейших движений в процессе работы) при основной работе демонтажа агрегата в условиях реального доступа; $N_{ЭД}$ – количество элементарных движений при дополнительных работах, обеспечивающих доступ к агрегату ($N_{ЭС}$ является показателем легкосъемности, а $N_{ЭД}$ – показателем доступности).

Эксплуатационная взаимозаменяемость означает, что при замене на БВС любой детали (агрегата) будут сохраняться летные характеристики, полученные на опытном образце БВС. Критерием этого свойства ЭТ является коэффициент эксплуатационной взаимозаменяемости

$$K_{ЭВ} = \frac{T_P + T_{РД} + T_{СБ}}{T_P + T_{РД} + T_{СБ} + T_{ПОД} + T_{ДО}}, \quad (18)$$

где T_P – время, затрачиваемое на разборку стыка или отсоединения снимаемого агрегата; $T_{РД}$ – время на снятие механической обработкой с элемента стыка ремонтных допусков; $T_{СБ}$ – время, затрачиваемое на установку агрегата в сборочное положение и выполнение соединительных и регулировочных операций; $T_{ПОД}$ – время, затрачиваемое на все виды операций, связанных с подгонкой стыковых поверхностей узлов агрегатов и элементов систем; $T_{ДО}$ – время на выполнение дополнительных операций по разборке и сборке стыковых узлов или элементов систем.

Преимственность наземного оборудования для ТО означает возможность использования уже существующих технических средств и наземного оборудования для ТО внедряемого в эксплуатацию нового типа БВС. Критерием этого свойства является коэффициент преимущественности наземного оборудования

$$K_{\text{ПР}} = \frac{C_{\text{ИО}}}{C_{\text{ИО}} + C_{\text{НО}}}, \quad (19)$$

где $C_{\text{ИО}}$ – стоимость имеющегося оборудования; $C_{\text{НО}}$ – стоимость вновь разрабатываемых типов средств наземного оборудования для нового типа БВС.

Приспособленность к автоматизированному контролю систем и агрегатов БВС можно определить по коэффициенту автоматизации контроля

$$K_{\text{АК}} = \frac{N_{\text{АК}}}{N_{\text{АК}} + N_{\text{КП}}}, \quad (20)$$

где $N_{\text{АК}}$ – количество параметров, контролируемых средствами автоматизированного контроля; $N_{\text{КП}}$ – общее количество параметров, подлежащих контролю при ТО.

Для успешной конкуренции БВС необходимо, чтобы показатели их ЭТ были не хуже, чем у пилотируемых воздушных судов.

В связи с этим отметим, что коэффициент готовности $K_{\text{Г}}$ современных гражданских пилотируемых воздушных судов при годовом цикле эксплуатации в среднем имеет значения 0,8...0,9. Однако бывают и исключения. Так, Великобритания использовала для воздушного наблюдения в Ираке два самолета DA-42М. За восемь месяцев 2010 г. их суммарный налет составил 2000 часов, что в среднем на один самолет в месяц составило 125 часов. При этом значение коэффициента готовности $K_{\text{Г}}$ составило 0,99 [4].

При разработке перспективного типа БВС для невоенного использования важным параметром является планируемый годовой налет, значение которого должно задаваться в техническом задании. Планировать годовой налет для перспективного БВС можно, в частности, на основании достигнутых на настоящее время величин налета БВС Соединенных Штатов Америки. Так, в марте 2007 г. одно из БВС RQ-4 имело налет 360 часов. За весь 2007 г. группа из трех БВС RQ-4 имела налет 8000 часов, что в среднем на одно БВС составило около 2660 часов. В 2009 г. суммарный налет парка из 27 БВС MQ-9 составил 25000 часов, что в среднем на одно БВС составило 925 часов. В том же году суммарный налет парка из 118 БВС MQ-1 составил 187000 часов, что в среднем на одно БВС составило 1584 часа [6].

Таким образом, наиболее совершенные современные типы БВС способны обеспечить годовой налет около 2000 часов, что сопоставимо с потребным для гражданской авиации годовым налетом.

Для перспективного БВС украинской разработки, предназначенного, среди прочего, и для отработки вопросов ЭТ, можно планировать годовой налет в 1000 часов, что в среднем за месяц составит 83 часа, а в среднем за сутки – около 3 часов. Если брать в расчет только 250 рабочих дней, то требуется суточный налет в 4 часа, что является вполне достижимым значением. Межремонтный ресурс БВС должен быть не менее трех лет интенсивной эксплуатации, т.е. не менее 3000 часов.

В качестве своеобразной апробации результатов представленного исследования рассмотрим имеющиеся сведения об эксплуатации экспериментальных БВС СЛМТ-10С Научно-исследовательского института проблем физического моделирования режимов полета самолетов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ".

Предварительно отметим, что БВС СЛМТ-10С представляет собой планирующий беспилотный аппарат, и сравнивать его с беспилотными самолетами не совсем корректно. Кроме того, специфика эксплуатации экспериментальных БВС, связанных с выполнением конкретной научной программы, также не позволяет использовать статистические данные для расчета ЭТ БВС, предназначенных для гражданской эксплуатации. Однако некоторые частные критерии ЭТ можно рассчитать на основании конструктивных особенностей БВС СЛМТ-10С.

Так, кили вертикального оперения БВС СЛМТ-10С изготовлены с учетом требований эксплуатационной взаимозаменяемости, а их замена была достаточно частой процедурой при ТО. Конкретное время выполнения процедур зависело от квалификации исполнителя, но если брать время в условных единицах, то в формуле (18) $T_P = 1$, $T_{РД} = 0$, $T_{СБ} = 1,5$, $T_{ПОД} = 0,5$ и $T_{ДО} = 3$. Расчетное значение $K_{ЭВ} = 0,41$. Анализ показывает большое значение $T_{ДО}$, что объясняется необходимостью снятия и установки вновь люка с большим количеством крепежных элементов.

Если для этого агрегата рассчитать коэффициент легкосъемности, то исходными данными будут $N_{ЭС} = 11$, $N_{ЭД} = 28$, а расчетное значение $K_{ЛС} = 0,28$.

Для снятия рулевой машинки привода руля направления требовалось $N_{ЭС} = 5$, $N_{ЭД} = 28$ (для снятия того же лючка, что и при замене кия). Расчетное значение $K_{ЛС} = 0,15$.

Готовность БВС СЛМТ-10С можно оценить за месячный период эксплуатации, когда проводятся только оперативные виды ТО и текущий ремонт по устранению неисправностей. В среднем для подготовки одного летного дня требовалось два рабочих дня ТО. При условии, что $t_{\Sigma} = 30$, $t_{ТО} = 18$ и $t_{Г} = 12$, расчетные значения коэффициентов го-

товности $K_r = 0,4$ и простоя $K_{\Gamma} = 0,6$.

Полученные результаты для БВС СЛМТ-10С не в лучшую сторону отличаются от существующих данных для современных гражданских пилотируемых воздушных судов, однако отражают современное состояние ЭТ для экспериментальных БВС и могут быть использованы как базовые при создании и эксплуатации аналогичных БВС.

Выводы

1. Показатели ЭТ являются объективными критериями оценки уровня ЭТ и совершенства конструкции БВС.
2. Для оценки ЭТ БВС можно использовать количественные показатели ЭТ, предложенные в данной работе.
3. При разработке перспективных БВС невоенного назначения требуется обеспечивать высокий уровень ЭТ, для чего следует проводить оценку ЭТ, направленную на выявление причин, снижающих ЭТ, и разработку мероприятий по их устранению.

Список использованных источников

1. Попов, В.А. Беспилотники: Конверсия по-американски [Текст] / В.А. Попов, Д.В. Федутин // Вестник авиации и космонавтики. Аэрокосмический журнал. – Вып. 1. – М., 2007. – С. 39 - 41.
2. Малов, Ю.И. Беспилотная авиация: от экспериментов к бизнесу [Текст] / Ю.И. Малов // Военный парад. – Вып. 4. – М.: Военный парад, 2009. – С. 10 - 11.
3. Литвинов, А. Безпілотники та єдина система повітряного спостереження для України [Текст] / А. Литвинов // Камуфляж. – Вип. 3. – К.: Прес-КІТ, 2011. – С. 7 - 9.
4. Анцелиович, Л.Л. Надежность, безопасность и живучесть самолета [Текст] / Л.Л. Анцелиович. – М.: Машиностроение, 1985. – 296 с.
5. Пугачев, А.И. Техническая эксплуатация летательных аппаратов [Текст] / А.И. Пугачев. – М.: Транспорт, 1969. – 480 с.
6. Чекунов, Е. Применение БЛА ВС США в военных конфликтах [Текст] / Е. Чекунов // Зарубежное военное обозрение. – Вып. 7. – М.: Красная Звезда, 2010. – С. 41 - 50.

Поступила в редакцию 20.01.2012.

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