УДК 621.003.13

Я.В. САФРОНОВ, О.В. САФРОНОВА, Я.Я. СПАСИТЕЛЕВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЧНОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ САМОЛЕТОВ

Статья посвящена разработке методики для экономического обоснования применения автоматизированных систем при проведении прочностных испытаний авиационных конструкций. Выделены основные факторы, обуславливающие экономическую эффективность автоматизированных систем прочностных испытаний при эксплуатации самолетов. Получены формулы, которые можно будет использовать в дальнейшем при расчетах экономических эффектов, получаемых при эксплуатации самолетов от повышения ресурса или снижения массы испытываемой конструкции.

Ключевые слова: *экономическая эффективность, факторы экономической эффективности, автоматизация испытаний на прочность, амортизационный ресурс и вес авиационных конструкций.*

1. Постановка задачи

Усложнение тактико-технических требований к ракетно-космической и авиационной технике влечет за собой рост конструкционной сложности наземного экспериментального оборудования, что приводит к значительному росту инвестиций в сооружение испытательных систем и на проведение экспериментальных исследований [1].

Очень важным этапом разработки конструкций самолетов являются натурные испытания на прочность как самолета в целом, так и его важнейших узлов, агрегатов и частей. При современном уровне знаний в области прочности натурные испытания самолетов являются пока наиболее

© Я.В. Сафронов, О.В. Сафронова, Я.Я. Спасителев

эффективным средством для выявления слабых участков конструкций самолетов и установления допустимого срока эксплуатации [2].

На разных стадиях создания самолета проводятся статические, динамические и усталостные испытания, как отдельных элементов, так и конструкции в целом, что приводит к большим материальным затратам, а трудоемкость подготовки к испытаниям и проведение их исчисляется многими тысячами человеко-часов [3].

Для снижения трудоемкости проведения испытаний конструкций самолетов, а также для сокращения сроков и повышения качества эксперимента начинают применять автоматизированные системы прочностных испытаний самолетов (АСПИС). Данные системы позволяют управлять с высоким качеством быстродействующими системами нагревания и нагружения конструкции, а также регистрирующей аппаратуры. При испытаниях конструкций широкофюзеляжных и сверхзвуковых самолетов выполнение сложных программ одновременного нагревания и нагружения обеспечивается лишь при условии автоматизации процесса управления экспериментом [3].

Таким образом, целесообразность применения автоматизированных систем, которые используются при испытаниях конструкций самолетов на прочность, очевидна. В этой связи большое значение приобретает вопрос определения экономической эффективности таких систем, а именно, выявление факторов и определение экономических эффектов, получаемых при эксплуатации самолетов.

2. Факторы экономической эффективности АСПИС

2.1. Факторы экономической эффективности АСПИС в сфере испытаний конструкции самолета

В условиях функционирования АСПИС могут наблюдаться следующие факторы, влияющие на повышение экономической эффективности производства в процессе испытаний конструкции самолета на прочность:

– снижение трудоемкости и времени выполнения программы испытаний;

– снижение потребного количества испытываемых образцов конструкции самолета.

Первая группа факторов проявляется в том, что автоматизация испытаний обеспечивает быстродействие воспроизведения нагрузок на конструкцию, измерения, сбора, обработки и представления информации о состоянии испытываемой конструкции и тем самым приводит к снижению трудоемкости этого вида работ.

Вторая группа факторов проявляется в том, что автоматизация испытаний позволяет повысить точность воспроизведения нагрузок и исключить разрушение дорогостоящей конструкции. Существенное снижение погрешностей задания, воспроизведения и измерения нагрузок, расширение программы испытаний дают возможность не только ускорить испытания во времени, но и уменьшить потребное количество испытываемых натурных образцов самолетов, их отдельных узлов и частей в результате повышения достоверности результатов прочностных испытаний.

2.2. Факторы экономической эффективности АСПИС в сфере эксплуатации конструкции самолета

Важным результатом автоматизации испытаний конструкций самолетов является повышение их качества. Внедрение АСПИС не только ускоряет процесс прочностных испытаний и повышает его достоверность, но и увеличивает объем и качество получаемой информации, что позволяет:

– выбрать оптимальную массу конструкции, а также ее ресурс (амортизационный и межремонтный);

– сократить затраты на ремонт и доработку конструкции от усталостных повреждений;

– повысить эксплуатационную надежность самолета.

При этом следует рассматривать два случая: первый – когда серийное производство самолетов начинается после завершения всего комплекса прочностных испытаний конструкций и второй – когда серийное производство самолетов начинается еще до завершения всего цикла испытаний их конструкций.

В первом случае внедрение АСПИС дает возможность существенно снизить погрешность при проведении прочностных испытаний и установить оптимальную величину амортизационного ресурса конструкции, а также получить необходимые данные для разработки плана осмотра кон-

струкции при эксплуатации, и, следовательно, установить оптимальный объем работ по осмотру ее.

Во втором случае внедрение АСПИС позволяет снизить затраты на ремонт усталостных повреждений и доработку конструкции в процессе эксплуатации самолета, выбрать оптимальные межремонтные сроки в начальный период эксплуатации самолета, снизить дополнительную массу конструкции самолета, вызванную доработками ее.

Рассмотрим более подробно проявление данных факторов экономической эффективности АСПИС.

1. Увеличение амортизационного ресурса испытываемых конструкций самолетов. Начальный ресурс самолета, выраженный в количестве летных часов и числе полетов, устанавливается перед началом эксплуатации самолета на основе прочностных испытаний его основных частей.

В работе [3] показано, что амортизационный срок службы испытываемой конструкции, устанавливаемый с помощью АСПИС, можно находить из соотношения:

$$T_{ам_2} = T_{ам_1}\left(\frac{100+\Delta N_1}{100+\Delta N_2}\right), \qquad (1)$$

где $T_{ам_1}$, $T_{ам_2}$ – амортизационный срок службы испытываемой конструкции, устанавливаемый до внедрения АСПИС и после внедрения; ΔN_1, ΔN_2 – погрешность определения среднего числа циклов, которое выдерживает конструкция при испытаниях на выносливость до внедрения АСПИС и после внедрения.

2. Снижение массы испытываемой конструкции самолета, его отдельных узлов и частей. Если в процессе испытаний выявляются резервы прочности, то это дает возможность, либо увеличить амортизационный ресурс самолета, не изменяя конструкции, либо уменьшить массу самолета путем снижения массы отдельных элементов конструкции, не уменьшая при этом величины амортизационного ресурса.

В работе [3] приведена следующая формула, которую можно использовать при упрощенном расчете экономического эффекта от внедрения АСПИС:

$$\Delta G_к = 10^{-2} G_в \ln\left(1 + \Delta G_1 - \Delta G_2\right), \qquad (2)$$

где $\Delta G_к$ – снижение массы испытываемой конструкции самолета, кг; $G_в$ – расчетная взлетная масса самолета, кг; ΔG_1, ΔG_2 – погрешность определения напряжений в испытываемой конструкции с помощью базовой и автоматизированной систем прочностных испытаний, %.

3. Расчет годового экономического эффекта от использования автоматизированной системы прочностных испытаний самолетов

Согласно существующим методикам, общими показателями экономической эффективности АСПИС могут быть: годовой экономический эффект от внедрения такой системы, годовая экономия от снижения текущих расходов, коэффициент прибыльности, срок окупаемости инвестиций, затраченных на АСПИС.

Основным показателем экономической эффективности АСПИС является годовой экономический эффект от внедрения системы. Этот эффект представляет собой суммарную экономию в расчетном году всех производственных ресурсов: трудовых, материальных и финансовых, которую получают как организация, применяющая АСПИС, так и организации, эксплуатирующие самолеты, конструкции которых прошли стадию прочностных испытаний при помощи данной системы. Данная статья посвящена расчету экономического эффекта от внедрения АСПИС при эксплуатации самолета.

На основании анализа факторов экономической эффективности АСПИС, которые проявляются при эксплуатации самолета и которые мы рассмотрели выше, годовой экономический эффект от внедрения АСПИС, получаемый в сфере эксплуатации самолета можно определять из соотношения:

$$ГЭ_{экс} = (ГЭ_{мас} + ГЭ_{ам} + ГЭ_{кр} + ГЭ_{то} + \\ + ГПП_{нч} + ГПП_{сс} + ГЭИ_{пс}) N_{с.экс}, \qquad (3)$$

где $ГЭ_{мас}$ – годовая экономия эксплуатационных расходов вследствие снижения массы конструкции самолета, грн/год. шт.;

$ГЭ_{ам}$ – годовая экономия амортизационных отчислений по самолету вследствие оптимизации его амортизационного ресурса при внедрении АСПИС, грн/год. шт.;

$ГЭ_{кр}$ – годовая экономия затрат на капитальные ремонты вследствие увеличения межремонтного ресурса самолета при внедрении АСПИС, грн/год. шт.;

$ГЭ_{то}$ – годовая экономия затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт самолета вследствие повышения надежности конструкции при внедрении АСПИС (сокращение затрат на устранение неисправностей самолета при повышении надежности его конструкции), грн/год. шт.;

$ГПП_{нч}$ $ГПП_{нч}$ – годовой прирост прибыли от увеличения объема авиатранспортной работы, выполняемой на одном самолете, вследствие увеличения налета часов на один самолет при внедрении АСПИС, грн/год. шт.;

$ГПП_{сс}$ – годовой прирост прибыли от снижения себестоимости летного часа самолета за счет увеличения налета часов на нем при внедрении АСПИС, грн/год. шт.;

$ГЭИ_{пс}$ – годовая экономия инвестиций в парк самолетов в результате увеличения объема выполняемой работы за год одним самолетом при внедрении АСПИС, грн/год. шт.;

$N_{с.экс}$ – среднегодовое количество эксплуатируемых самолетов, шт.

3.1. Расчет годовой экономии эксплуатационных расходов от снижения массы конструкции

Величина годовой экономии эксплуатационных расходов от снижения массы конструкции составляет:

$$ГЭ_{мас} = НЧ_{г}\left[ЭР_{лч}\left(G_{к_2}/G_{к_1} - 1\right) + \Delta G\, Ц_{уд}/T_{ам}\right], \qquad (4)$$

где $НЧ_{г}$ – среднегодовой налет часов на один самолет, ч/год.шт.;

$ЭР_{лч}$ – эксплуатационные расходы, приходящиеся на один летный час самолета (себестоимость летного часа), грн/ч.;

$G_{к_1}$, $G_{к2}$ – предельная коммерческая нагрузка самолета, соответственно, до и после снижения массы конструкции вследствие применения АСПИС, т;

ΔG – снижение массы конструкции самолета при использовании АСПИС, кг;

$Ц_{уд}$ – удельная стоимость одного килограмма массы конструкции пустого самолета, грн/кг;

$Т_{ам}$ – амортизационный срок службы самолета, ч.

3.2. Расчет годовой экономии амортизационных отчислений

Увеличение амортизационного ресурса конструкции самолета экономически целесообразно лишь до определенной величины, после которой наступает моральный износ самолета или же требуются значительные дополнительные расходы для поддержания прежней работоспособности конструкции. Этот ресурс будет оптимальным для конструкции. Следовательно, если внедрение АСПИС позволит увеличить ресурс самолета в пределах оптимального, то годовой экономический эффект следует определять из соотношения:

$$ГЭ_{ам} = НЧ_г \left(Ц_с / Т_{ам_1} - Ц_с / Т_{ам_2} \right), \quad (5)$$

где $Ц_с$ – стоимость конструкции самолета (пустого планера), грн/шт.; $Т_{ам_1}$, $Т_{ам_2}$ – амортизационный ресурс планера самолета, соответственно, до и после внедрения АСПИС, ч.

3.3. Расчет годовой экономии затрат на капитальные ремонты

Годовая экономия затрат на капитальный ремонт при увеличении межремонтного ресурса самолета составит:

$$ГЭ_{кр} = НЧ_г \left(С_{кр_1} / Т_{мр_1} - С_{кр_2} / Т_{мр_2} \right), \quad (6)$$

где $С_{кр_1}$, $С_{кр_2}$ – затраты на один капитальный ремонт, соответственно, до и после внедрения АСПИС, грн/шт.; $Т_{мр_1}$, $Т_{мр_2}$ – межремонтный ресурс планера самолета, соответственно, до и после внедрения АСПИС, ч.

3.4. Расчет годовой экономии затрат на техническое обслуживание

Годовая экономия затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт самолета вследствие повышения надежности конструкции при внедрении АСПИС составит:

$$ГЭ_{кр} = С_{отк}\left(n_{от_1} - n_{от_2}\right), \quad (7)$$

где $С_{отк}$ – средняя величина затрат на устранение одного отказа планера самолета, грн/отказ шт.; $n_{от_1}$, $n_{от_2}$ – среднегодовое количество отказов планера самолета, соответственно, до и после повышения надежности в результате внедрения АСПИС, отказ/год.

3.5. Расчет годового прироста прибыли от увеличения объема авиатранспортной работы

Годовой прирост прибыли от увеличения объема авиатранспортной работы, выполняемой на одном самолете, вследствие увеличения налета часов на один самолет, определяется по выражению:

$$ГПП_{нч} = \Delta НЧ_{г} ЭР_{лч} k_{р}, \quad (8)$$

где $\Delta НЧ_{г}$ – среднегодовое увеличение налета часов на один самолет при внедрении АСПИС, ч/год шт.; $k_{р}$ – коэффициент рентабельности самолета.

Коэффициент рентабельности следует определять из соотношения:

$$k_{р} = \left(Д_{лч} - ЭР_{лч}\right) / ЭР_{лч}, \quad (9)$$

где $Д_{лч}$ – доходы на один летный час самолета, грн/ч.

Среднегодовое увеличение налета часов на один самолет будет складываться из сокращения простоев его в капитальных ремонтах $\Delta НЧ_{кр}$ и на техническом обслуживании $\Delta НЧ_{то,}$ вследствие сокращения количества

капитальных ремонтов и повышения надежности конструкции при внедрении АСПИС, т.е.

$$\Delta НЧ_г = \Delta НЧ_{кр} + \Delta НЧ_{то}. \quad (10)$$

Однако для увеличения налета часов используется лишь часть времени от сокращения простоев самолета на капитальном ремонте и техническом обслуживании, поэтому среднегодовое увеличение налета часов следует определять по формуле:

$$\Delta НЧ_г = \left(\Delta Т_{кр} + \Delta Т_{то}\right) k_т, \quad (11)$$

где $\Delta Т_{кр}$, $\Delta Т_{то}$ – среднегодовое сокращение простоев самолета на капитальном ремонте и техническом обслуживании при внедрении АСПИС, ч/год шт.; $k_т$ – коэффициент, показывающий, какая часть времени от среднегодовой величины сокращения простоев самолета в результате внедрения АСПИС используется для увеличения налета часов.

Величина коэффициента $k_т$ зависит от годового количества часов налета конкретного типа и класса самолета и может быть определена из выражения:

$$k_т = НЧ_г / 8760, \quad (12)$$

где 8760 – годовой календарный фонд времени, ч/год.

В работе [4] предлагается ориентировочно для магистральных транспортных самолетов принимать $k_т$ в пределах от 0,2 до 0,3.

Увеличение межремонтного ресурса планера самолета при внедрении АСПИС позволяет сократить простой самолета на капитальном ремонте и увеличить налет часов на один самолет. Увеличение налета часов можно определить из следующего соотношения:

$$\Delta НЧ_{кр} = Т_{крч}\left(НЧ_г / Т_{мр_1} - НЧ_г / ТМ_{мр_2}\right) k_т, \quad (13)$$

где $Т_{крч}$ – продолжительность проведения в часах одного капитального ремонта самолета.

Так как согласно [4] продолжительность капитального ремонта самолета устанавливается как нормативная величина в сутках, то с учетом соотношения (12) формулу (13) целесообразно записать в таком виде:

$$\Delta НЧ_{кр} = Т_{крс} НЧ_{г}^{2} \Big/ 365\left(1/Т_{мр_1} - 1/ТМ_{мр_2}\right), \qquad (14)$$

где $Т_{крс}$ – продолжительность проведения в сутках одного капитального ремонта самолета;

365 – количество суток в календарном году.

Внедрение АСПИС позволяет повысить эксплуатационную надежность самолета, а следовательно, снизить затраты на техническое обслуживание самолета и сократить простои самолета на техническом обслуживании. Однако величину сокращения простоев самолета на техническом обслуживании можно определить лишь по данным контрольной эксплуатации самолета или экспертным путем [4]. При укрупненных расчетах эффективности АСПИС можно принять, что сокращение времени нахождения самолета на техническом обслуживании прямо пропорционально повышению уровня эксплуатационной надежности самолета.

3.6. Расчет годового прироста прибыли от снижения себестоимости летного часа

Годовой прирост прибыли от снижения себестоимости летного часа самолета при увеличении налета часов на одном самолете определяется из соотношения:

$$ГПП_{сс} = \left(НЧ_{г} + \Delta НЧ_{г}\right)\Delta С_{лч}, \qquad (15)$$

где $\Delta С_{лч}$, – снижение себестоимости летного часа при увеличении налета часов на одном самолете, грн/ч шт.

Себестоимость летного часа при увеличении налета часов на одном самолете снижается в результате уменьшения независящих от размеров движения аэропортовых расходов, приходящихся на один час налета. Поэтому снижение себестоимости летного часа составит:

$$\Delta С_{лч} = С_{ап} У_{в}\left(k_{уч} - 1\right)k_{уч}, \qquad (16)$$

где $С_{ап}$ – величина аэропортовых расходов, приходящихся на один летный час самолета до увеличения налета часов на один самолет, грн/ч шт.; $У_{в}$ – удельный вес независящих от размеров движения аэропортовых расходов в общей величине аэропортовых затрат, согласно [4] величину

$У_в$ можно принимать равной 0,8; $k_{уч}$ – коэффициент увеличения налета часов на самолете вследствие использования при прочностных испытаниях АСПИС.

Коэффициент $k_{уч}$ следует определять из соотношения:

$$k_{уч} = \left(НЧ_г + \Delta НЧ_г\right) НЧ_г, \quad (17)$$

где $НЧ_г$ – годовой налет часов на один самолет до применения при прочностных испытаниях АСПИС, ч/год шт.

Величину аэропортовых расходов $С_{ап}$, приходящихся на один летный час самолета, при укрупненных расчетах можно определять по формуле:

$$С_{ап} = 10,5М^{0,68}, \quad (18)$$

где $М$ – взлетная масса самолета, т.

3.7. Расчет годовой экономии инвестиций в парк самолетов

Экономия инвестиций в парк самолетов в результате увеличения годовой производительности самолета определяется из соотношения:

$$ГЭИ_{пс} = И_с\left(\Delta НЧ_г / НЧ_г + \Delta ПН_к / ПН_к\right), \quad (19)$$

где $И_с$ – инвестиции в один самолет (стоимость самолета с двигателями и запасными частями), грн/шт.; $\Delta ПН_к$ – увеличение предельной коммерческой нагрузки самолета в результате использования АСПИС, т; $ПН_к$ – предельная коммерческая нагрузка самолета до внедрения в процесс прочностных испытаний АСПИС, т.

В работе [5] приведена следующая формула для расчета стоимости самолета с двигателями и запасными частями:

$$И_с = 1,05Ц_с + 1,03Ц_д N_д, \quad (20)$$

где $Ц_с$ – стоимость самолета без двигателей, грн/шт.; $Ц_д$ – стоимость одного двигателя для самолета, грн/шт.; $N_д$ – количество двигателей, установленных на одном самолете, шт.

В формуле (20) коэффициенты 1,05 и 1,03 учитывают стоимость оборотного фонда запасных частей на один самолет и на один двигатель соответственно [5].

Выводы

1. Разработанная методика позволит рассчитывать и в дальнейшем учесть экономический эффект, получаемый на стадии эксплуатации самолета в цене при продаже самолета, а полученные при этом дополнительные средства использовать для экономического поощрения разработчиков и изготовителей самолетов.

2. В дальнейших исследованиях экономической эффективности АСПИС необходимо разработать методику расчета экономического эффекта, получаемого на стадии эксплуатации АСПИС в проектных и конструкторских организациях при проведении прочностных испытаний конструкций самолетов.

Литература

1. Джур О.Є. Економіка високотехнологічних підприємств / О.Є. Джур. – Д.: АРТ-ПРЕС, 2010. – 320 с.

2. Нормы летной годности самолета транспортной категории: Авиационные правила, 4.25. МАК. – М.: ЛИИ им. М.М. Громова, 2004. – 322 с.

3. Сафронов Я.В. Факторы экономического обоснования автоматизации прочностных испытаний самолетов / Я.В. Сафронов, О.В. Сафронова, Я.Я. Спасителев // Економіка та управління підприємствами машинобудівної галузі: проблеми теорії та практики: сб. науч. трудов / М-во образ. и науки Украины, Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 2010. – №2.– С. 105-116.

4. Лужанский Б.Е. Оценка и управление стоимостью летательных аппаратов. «Инновационный менеджмент. Проблемы. Теория. Практика» / Б.Е. Лужанский. – М.: Экостар, 2005. – 240 с.

5. Методика определения экономической эффективности транспортных самолетов и уровня их технико-экономического совершенства. – М.: ГосНИИ ГА, 1975. – 168 с.

Поступила в редакцию 10.02.2011

Рецензент: д-р экон. наук, профессор **Е.М. Воробьев**, Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Харьков

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИПРОБУВАНЬ НА МІЦНІСТЬ ЛІТАКІВ

Я.В. Сафронов, О.В. Сафронова, Я.Я. Спасителев

Стаття присвячена розробці методики для економічного обґрунтування застосування автоматизованих систем при проведенні випробувань на міцність авіаційних конструкцій. Виділено основні фактори, що спричиняють економічну ефективність автоматизованих систем випробувань на міцність при експлуатації літаків. Отримано формули, які можна буде використовувати надалі при розрахунках економічних ефектів, одержуваних при експлуатації літаків від підвищення ресурсу або зниження маси конструкції, яка випробується.

Ключові слова: економічна ефективність, фактори економічної ефективності, автоматизація випробувань на міцність, амортизаційний ресурс і вага авіаційних конструкцій.

METHODOLOGY OF AIRPLANES AUTOMATION DURABILITY TESTS ECONOMIC EFFICIENCY ESTIMATION

J.V. Safronov, O.V. Safronova, J.J. Spasitelev

Article is devoted to working out of a technique for an economic substantiation of automated systems application at carrying out of aviation designs durability tests. The major factors causing economic efficiency of automated systems of durability tests at airplane exploitation are allocated. Formulas which can be used further at calculations of the economic benefits received at airplane exploitation from increase of a resource or decrease of weight of the tested design are received.

Keywords: economic efficiency, economic efficiency factors, automation of durability tests, an amortization resource and weight of aviation designs.

Сафронов Яков Васильевич – канд. экон. наук, проф., заведующий кафедрой экономической теории Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

Сафронова Ольга Васильевна – старший преподаватель кафедры финансов Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

Спасителев Яков Яковлевич – заведующий лабораторией кафедры экономической теории Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.