

УДК 629.7.002

А.И. КОСТЕНКО

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

КРИТЕРИЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОГО РАСКРОЯ ЛИСТОВЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПАНЕЛЕЙ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ТРАНСПОРТНОЙ КАТЕГОРИИ

Статья посвящена оценке эффективности технологии лазерного раскроя листовых конструкционных материалов для производства панелей крыла и фюзеляжа воздушных судов транспортной категории в случае, когда данная технология приводит к снижению ресурса самолета вследствие снижения долговечности панелей по сравнению с технологией раскроя в базовом варианте. Методика оценки эффективности лазерного раскроя панелей основана на критерии стоимости изменения выносливости Д.Л. Томашевича и учете снижения производственных затрат при реализации лазерной технологии. Предложенная методика оценки эффективности технологии лазерного раскроя может быть реализована на этапах планирования переоснащения современного серийного авиационного производства в условиях рыночной экономики.

Ключевые слова: лазерный раскрой листовых материалов, эффективность, панели воздушных судов, критерий стоимости изменения выносливости, производственные затраты.

Эффективность той или иной технологии может выражаться одним из следующих трех критериев.

1. Данная технология обеспечивает повышение одного или нескольких эксплуатационных качеств (ресурса, несущей способности и т.п.).

2. Данная технология обеспечивает повышение как минимум одной эксплуатационной (критериальной) характеристики совместно с дополнительной технологией при одинаковой или более низкой себестоимости по сравнению с альтернативной.

3. Данная технология сама или совместно с дополнительной технологией обеспечивает равное или более низкое значение эксплуатационной характеристики (критериальной) до допустимого уровня при более низкой себестоимости по сравнению с альтернативной, перекрывающей затраты, связанные со снижением этой эксплуатационной характеристики.

Первые два критерия можно рассматривать как абсолютные, а третий – как относительный, выполняющийся только в случае доказанной допустимости уровня снижения критериальной эксплуатационной характеристики.

Определение количественных значений каждого из обсуждаемых выше критериев имеет разную степень точности: наиболее точным является первый, так как при этом анализируются затраты, связанные с определением себестоимости только одного вида технологии.

Наиболее сложным представляется прогноз эффективности третьего варианта, так как при этом

нужно задействовать вред от снижения ресурса эксплуатации исследуемого объекта.

Ниже обсуждается именно этот вариант применительно к технологии лазерного раскроя несущих панелей крыла и фюзеляжа самолета транспортной категории, при реализации которого ресурс воздушного судна (ВС) уменьшается вследствие более низких усталостных характеристик материала панелей по сравнению с технологией раскроя в базовом варианте (например, фрезерованием).

Эффективность реализации технологии лазерного раскроя заготовок несущих панелей будем анализировать на основе критерия стоимости изменения их выносливости (ресурса), предложенного в [1] на базе критерия, впервые предложенного Д.Л. Томашевичем [2].

Экспериментально установлено, что число циклов до разрушения при одинаковой программе многоциклового растяжения у образцов из ряда листовых конструкционных материалов из алюминиевых сплавов, полученных лазерным раскромом при определенных режимах, ниже чем у идентичных после раскроя фрезерованием. Эти результаты являются предварительными и требуют продолжения комплексных исследований и отмечены только как возможный негативный эффект, при котором анализируется позитивная реализация третьего варианта выдвинутого выше критерия эффективности той или иной технологии.

Силовые панели крыла и фюзеляжа относятся к таким частям планера воздушного судна, которые, как правило, не подлежат замене при его капиталь-

ном ремонте. Поэтому их технический ресурс, представляющий собой суммарную наработку или общий срок службы с учетом всех видов ремонтных работ по восстановлению технического состояния конструкции, проводимых в процессе эксплуатации, может быть принят равным техническому ресурсу самолета.

Фактический срок службы планера $T_{пл}$ является величиной случайной, зависящей от ряда факторов: возникновения и развития усталостных повреждений вследствие повторно-статических нагрузок; ползучести материала; наличия конструктивно-технологических дефектов в материале; качества и технологии обрабатываемых поверхностей.

Однако в рассматриваемом нами случае все эти факторы считаются проявляющимися с равной вероятностью, кроме долговечности, непосредственно связанной с технологией раскроя панелей.

При такой трактовке вероятность того, что планер самолета не выйдет из строя вследствие усталости $P(T_{пл})$, может быть определена как вероятность неоявления отказов второго вида, приводящих к гибели воздушного судна (ВС) в наиболее «слабом» элементе конструкции планера – панели.

При этом все другие факторы можно считать постоянными для любой технологии раскроя. Тогда

$$P(T_{пл}) = K_1 P_{уст}, \quad (1)$$

где K_1 – коэффициент пропорциональности;

$P_{уст}$ – вероятность того, что ВС не выйдет из строя вследствие усталости панели.

Как отмечено, в [1], рядом отечественных и зарубежных исследователей установлено, что $P_{уст}$ является функцией числа циклов до разрушения наиболее «слабого» звена N_p , $T_{пл}$, а также плотности распределения вероятности эксплуатационных перегрузок $f(n_y)$:

$$P_{уст} = \Phi[T_{пл}, N_p, f(n_y)], \quad (2)$$

где $f(n_y) = \frac{dF(n_y)}{dn_y}$, $F(n_y)$ – функция распределения вероятности.

Для одних и тех же условий эксплуатации $P_{уст}$ изображается графиком рис. 1.

Если вероятность неоявления отказов второго типа вследствие усталости панели остается неизменной, то для одних и тех же спектров нагружения воздушного судна срок службы планера $T_{пл}$ пропорционален выносливости панели

$$T_{пл} = K_2 N_p, \quad (3)$$

где K_2 – коэффициент пропорциональности.

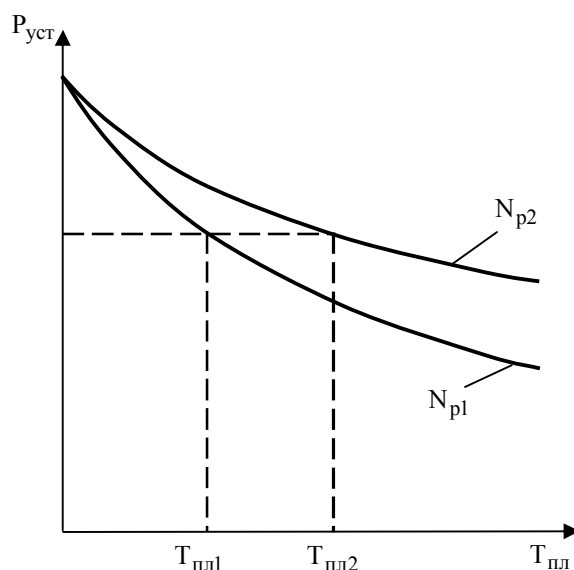


Рис. 1. Характер зависимости вероятности $P_{уст}$ от выносливости конструкции, выполненной по разным технологиям (N_{p1} и N_{p2}) и срока службы самолета

Считая, что различные технологии изготовления панелей отличаются только числом циклов до разрушения N_p и затратами на изготовление панелей $B_{пан}$, а все другие параметры остаются одинаковыми, стоимость изменения этого параметра на единицу показателя выносливости (1 %) A_N представим в виде [1]:

$$A_N = \frac{B}{R} \frac{N_p}{100} \frac{dR}{dN_p} - \frac{dB_{э}}{dN_p} \frac{N_p}{100} - \frac{dB_{пр}}{dN_p} \frac{N_p}{100} - \frac{dB_B}{dN_p} \frac{N_p}{100}. \quad (4)$$

Здесь обозначено: B – полные затраты на изготовление ВС и поддержание его работоспособности в эксплуатации, грн.; R – потребительская стоимость ВС, грн.; $B_{э}$ – затраты на эксплуатацию ВС, грн.; $B_{пр}$ – затраты на производство ВС в целом, грн.; B_B – затраты на изготовление вспомогательных элементов конструкции, не входящих в $B_{пан}$.

Принимаем, что при изменении выносливости панелей изменяются затраты, связанные только с изменением технологии изготовления этих конструктивных элементов. Поэтому затраты на изготовление вспомогательных элементов конструкции не будут зависеть от технологии изготовления панелей, то есть $B_B = \text{const}$. Тогда в формуле (4) $\frac{dB_B}{dN_p} = 0$.

На практике чаще всего возникает вопрос о повышении выносливости. Однако в соответствии с поставленной нами задачей исследуется возможность (критерий) снижения выносливости планера

ВС на $\frac{\Delta N_p}{N_p} 100\%$ за счет применения лазерной тех-

нологии вырезки панелей, которая приводит к снижению производственных затрат на $\Delta B_{пан}$. В соответствии с принятым определением стоимости изменения выносливости условие целесообразности снижения выносливости при реализации технологии лазерной резки будет состоять в выполнении неравенства

$$\Delta B_{пан} < A_N \frac{\Delta N_p}{N_p} 100. \quad (5)$$

Выражение, стоящее в правой части неравенства, представляет собой максимально допустимые затраты, при которых целесообразно снижение выносливости на величину ΔN_p .

При необходимости учета дополнительных капиталовложений, связанных с применением лазерной технологии обрезки панелей на приобретение соответствующего оборудования, неравенство (5) запишется в виде

$$\Delta B_{пан} < A_N \frac{\Delta N_p}{N_p} 100 - \frac{B_{кап доп}}{\tau_n N_g} \left(1 + \frac{\Delta R}{R} \right), \quad (6)$$

где $B_{кап доп}$ – дополнительные капитальные вложения для реализации лазерной технологии;

τ_n – нормативный срок окупаемости капитальных вложений в годах;

N_g – годовая программа выпуска воздушных судов;

ΔR – приращение потребительской стоимости (цены) ВС за счет дополнительных капитальных вложений.

Экономию при реализации лазерной обрезки панелей с учетом (4) – (6) можно записать в виде

$$\Theta = \frac{B}{R} \Delta R - \Delta B_3 - \frac{B_{кап доп}}{\tau_n N_g} \left(1 + \frac{\Delta R}{R} \right) - \Delta B_{пан}. \quad (7)$$

В [1] показано, что стоимость изменения выносливости для пассажирских ВС приближенно можно представить в виде

$$A_N = \frac{B_{пр} + 2B_{кр}}{100}, \quad (8)$$

где $B_{кр}$ – общая сумма затрат на капитальные ремонты за весь срок службы планера $T_{пл}$.

С учетом (8) формула (7) приобретает вид

$$\Theta = (B_{пр} + 2B_{кр}) \frac{\Delta N_p}{N_p} - \frac{B_{кап доп}}{\tau_n N_g} \left(1 + \frac{\Delta R}{R} \right) - \Delta B_{пан}. \quad (9)$$

Из формулы (4) следует, что для определения стоимости изменения выносливости необходимо знать зависимость потребительской стоимости (це-

ны) ВС и эксплуатационных затрат от выносливости $R = R(N_p)$ и $B_3 = B_3(N_p)$ для определенного промежутка изменения выносливости $N_p - \Delta N_p \leq N_p \leq N_p + \Delta N_p$, которые должны быть непрерывны на этом интервале и иметь производные (рис. 2).

Зависимость (9) не содержит в явном виде потребительской стоимости (цены) ВС. Однако в [3] отмечается, что расчеты $B_{кр}$ могут быть приближенно приняты равными 35 % от величины амортизационных отчислений в расчете на 1 час налета $B_{ам}$:

$$B_{кр} = 0,35 B_{ам}. \quad (10)$$

В свою очередь $B_{ам}$ в [3] определяется формулой

$$B_{ам} = \frac{H_{ам} R}{100 N_{гн}}. \quad (11)$$

Здесь $H_{ам}$ – норма амортизации по ВС, принимаемая в расчетах равной 15 %; $N_{гн}$ – годовой производственный налет часов на одно ВС.

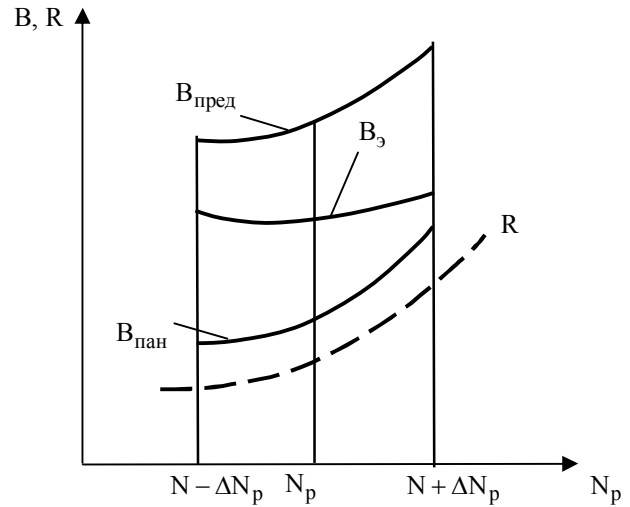


Рис. 2. Зависимость полных и составляющих затрат на ВС и его потребительской стоимости от изменения долговечности панелей, изготавливаемых по различным технологиям

В [3] приводится таблица технико-экономических показателей отечественных и зарубежных ВС, в которой содержатся данные по R и $N_{гн}$ (табл. 1).

Затраты на производство ВС на серийном заводе определяются формулой [4]:

$$B_{пр} = \sum_{i=1}^m 3_{0i} + \sum_{i=r_0}^m T_{1сер} N^{-\alpha} \bar{C}_{1сер} e^{-\beta \frac{\tau}{\tau_{сер}}}, \quad (12)$$

Таблица 1

Технико-экономические показатели воздушных судов

Тип самолета	Начало эксплуатации, год	Взлетная масса $G_{взл}$, т	Вес снаряжения $G_{вн}$, т	Максимальная коммерческая нагрузка G_k , т	Количество пассажирских кресел $N_{кр}$, шт	Крейсерская скорость $V_{кр}$, км/ч	Дальность полета с максимальной коммерческой загрузкой L_{maxG} , км	Дальность полета максимальной симальной L_{max} , км	Время взлета, посадки, маневрирования Δt , ч/рейс	Среднечасовой расход топлива $q_{тс}$, т/ч	Стоимость ВС R_s , млн. \$	Среднегодовой налет часов $N_{пл}$
Ил-90-200	1997—1998	125	64	24	198	870	9500	13250	0,39	2,88	44	3500
Ил-90-300	1990	216	117	40	300	860	7400	11000	0,389	5,9	61,53	2500
Ил-62М	1974	167	73,4	23	168	830	7780	10280	0,389	7,49	43,75	2400
Ил-62	1968	161,6	68,6	23	168	830	6700	9100	0,389	7,49	41,88	2400
А-340-200	1993	246	115,2	50,8	375	870	10730	16130	0,268	5,76	85,35	4000
MD-II	1990	273,29	125,28	55,66	405	880	10200	14360	0,268	7,08	110,8	4000
В-747-400	1988	394,53	177,67	65,0	660	907	11790	14480	0,33	10,77	141,93	4000
В-747-200	1984	377,85	170,4	68,83	550	896	10100	12790	0,288	10,7	129,06	3500
В-747-300ER	1987	184,61	91,49	39,14	258	855	8240	12480	0,39	3,9	62,01	3700
А-330	1993	206	113,3	46,7	375	870	6530	12400	0,288	4,85	73,26	4000
В-757-200	1982	99,79	58,26	25,2	239	850	5300	7810	0,268	2,98	42,13	3500
Ил-86	1980	210	117,4	42	350	870	3300	7080	0,39	11,3	64,11	2500
Ту-204	1990	93,5	55,5	21	214	850	2500	4700	0,39	3,80	41,5	2500
Ту-154М	1986	100	55,0	18	180	850	3600	6000	0,39	5,41	35,5	2400
В-737-300	1984	56,47	31,69	16,03	149	785	2050	5050	0,268	2,4	25,03	2800
В-737-400	1989	62,82	34,47	17,74	168	780	2830	4460	0,268	3,3	19,1	3000
MD-92	1993	69,174	40,543	20,24	164	840	2220	6475	0,265	1,856	20,48	
Ту-334-II	1998	47,4	29,0	13,5	126	800	2000	5400	0,288	1,59	17,6	2000
Як-42	1980	54	33,46	12,8	120	800	1850	3850	0,288	3,141	18,39	1500
Як-46	1998	61,3	37,3	17,5	150	820	1800	5980	0,288		21,2	2500
Ту-134А	1970	47,6	29,3	8,3	76	820	1750	2790	0,288	2,46	14,04	1500
Ту-134Б	1980	47,6	32,7	8,2	80	850	1680	2790	0,288	2,48	14,58	1600
Як-42М	1991	56,5	34,58	14,8	126-156	800	1850	4500	0,288	3,18	19,24	2000
Як-42Д	1985	56,5	33,7	13	130-150	800	1850	4640	0,288	3,15	19,53	1800
В-737-500	1990	59,39	30,96	15,53	132	776	1800	5700	0,288	2,02	24,19	2800
ВАС-146-200	1983	42,184	23,37	10,645	112	706	1800	2800	0,288	2,625	19,6	2200
ВАС-146-300	1988	44,226	24,454	11,153	117	706	1500	2650	0,288	2,340	21,0	2200

где Z_{0i} – затраты i -го года серийного производства, не связанные с трудоемкостью изготовления ВС (начальные затраты на организацию серийного производства, покупку материалов, оборудования и проч.);

$T_{1сер}$ – трудоемкость изготовления первого серийного самолета, н-час.;

N – порядковый номер серийного самолета;

α – статистический коэффициент;

$\bar{C}_{iсер}$ – средняя норма оплаты труда, грн/н-час;

β – показатель функции производственного риска, связанного с опережающим сроком запуска в серию ВС до получения им сертификата типа.

Показатель $\beta = -3,5$ при степени риска, опреде-

ляемого как $e^{-\beta \frac{\tau}{\tau_{сер}}} = 1$ (τ – время начала освоения изделия серийным заводом; $\tau_{сер}$ – время получения сертификата типа ВС).

Как видно из (12), затраты на серийное производство ВС существенно зависят от программы выпуска m .

Трудоемкость производства первого серийного самолета $T_{1сер}$ определяется по экономико-математической модели НИАТ и Минпромполитики Украины [5 – 6] эмпирической зависимостью

$$T_{1сер} = 1114,8G_0^{0,69} (0,6 + 0,06k_{\phi} + 0,19k_M + 0,15k_T) k_k k_{\Pi}, \quad (13)$$

где G_0 – масса пустого самолета;

$k_k = 1,065$ – коэффициент, учитывающий трудоемкость операций контроля;

$k_{\phi} = 1,13$ – коэффициент, учитывающий отличие объема применения композиционных материалов в конструкции планера самолета от базового ВС;

$k_T = 1,09$ – коэффициент, учитывающий изменение в соотношении видов соединений, применяемых в обтекаемой поверхности планера, от аналогичных соединений в базовом ВС;

$k_{\Pi} = 0,8$ – коэффициент, учитывающий повышение производительности труда и снижение трудоемкости работ, связанных с применением компьютерных информационных технологий, при проектировании и производстве нового ВС.

Расчет трудоемкости методом сравнения с самолетами-аналогами выполняется по формуле [6]:

$$T_{1сер} = T_{1серан} k_G k_c k_{\Pi}, \quad (14)$$

где $T_{1серан}$ – трудоемкость первого серийного ВС-аналога;

$k_G = 1,41$ – коэффициент изменения объема работ, связанный с изменением массы нового ВС по сравнению с самолетом-аналогом;

$k_c = 1,41$ – коэффициент изменения объема работ, связанный с конструктивно-технологическими отличиями нового ВС от самолета-аналога.

Таким образом, для реализации формулы (9), определяющей экономию при применении лазерной обрезки панелей, остаются не определенными только изменение потребительской цены (стоимости) ВС ΔR от изменения выносливости планера и изменение затрат на лазерную обрезку панелей $\Delta V_{пан}$.

Первый из этих параметров количественно определить довольно затруднительно даже при абсолютно одинаковой системе эксплуатации ВС с фрезерованными панелями и вырезанными лазерной резкой. Здесь немаловажную роль играет и понятие реальной стоимости продукции.

В [3] указано, что цена, отражающая реальную стоимость, – методологическая концепция, используемая в народнохозяйственном анализе. Исходя из предположения, что рыночные цены точно отражают стоимость, или реальную ценность товаров только в условиях совершенной конкуренции, когда на рынке действует большое количество продавцов и покупателей, имеющих одинаковую и полную информацию. В условиях несовершенной конкуренции и особенно при наличии искажений, вызванных экономической политикой государства, рыночные цены не отражают реальной ценности продуктов, в связи с чем необходимо использовать расчетные цены, являющиеся лучшим приближением к реальной стоимости продуктов, чем рыночные.

В работе [7] подробно обсуждаются вопросы ценообразования в условиях рынка, анализируются виды цен и их структурные элементы. В этой работе приведена табл. 2, характеризующая схему образования цен по элементам затрат. Одновременно отмечается, что в связи с многообразием форм и способов купли-продажи в настоящее время насчитывается более 125 различных наименований цен.

Из всего этого многообразия цен можно считать приемлемой для определения ΔR лимитную цену – предельно допустимую цену на новую технику с заданными технико-экономическими показателями.

Отмечается, что эта цена устанавливается на стадии проектирования новой техники с таким расчетом, чтобы эта продукция (в данном случае ВС) была экономически выгодна не только потребителю, но и изготовителю.

Таблица 2

Схема образования цен по элементам (стадиям) затрат

Розничная цена									
Закупочная цена									
Оптовая цена предприятия (отпускная)				Затраты (издержки) посредника	Прибыль посредника	НДС посредника	Затраты (издержки) торговли	Прибыль торговли	НДС торговли
Оптовая цена предприятия		НДС производителя	Акциз на особые виды продукции						
Себестоимость продукта	Прибыль предприятия-производителя								

Лимитная цена рассчитывается по формуле

$$Ц_{л} = Ц_{б} + Э_{п} K_{з}, \quad (15)$$

где $Ц_{б}$ – цена базовой продукции;

$Э_{п}$ – полезный эффект от применения новой продукции;

$K_{з}$ – коэффициент, равный 0,7 [8].

Принимая $Ц_{б} = R$, получим

$$\Delta R = R - Ц_{л} = R - Э_{п} K_{з}. \quad (16)$$

По-видимому, параметр $Э_{п}$ должен определяться экспертной оценкой. Этот параметр представляется наиболее уязвимым в аспекте точности его количественного определения, особенно в данном конкретном случае, так как имеет место неопределенность в его определении. Можно исходить из предположения, что полезным эффектом от применения панелей, полученных лазерной обрезкой, по сравнению с базовым вариантом является снижение затрат на лазерную обрезку по сравнению с фрезерованием $\Delta B_{пан}$, а коэффициент $K_{з}$ отражает снижение эффекта $\Delta B_{пан}$ вследствие некоторых интегральных потерь (затрат) в эксплуатации ВС с уменьшенным сроком его эксплуатации за счет снижения долговечности панелей.

С учетом сказанного выше формула (9), отражающая экономию средств при использовании лазерной обрезки панелей после простых преобразований, принимает вид

$$\begin{aligned} Э = & (B_{пр} + 2B_{кр}) \frac{\Delta N_p}{N_p} - 2 \frac{B_{кап доп}}{\tau_n N_r} - \\ & - \Delta B_{пан} \left(\frac{B_{кап доп} K_z}{\tau_n N_r R} + 1 \right). \end{aligned} \quad (17)$$

Определение $\Delta B_{пан}$ связано с трудоемкими, но рутинными калькуляционными расчетами с учетом всех статей, содержащихся в [4 – 7]. Причем определение этого параметра существенно упрощается при задействовании на предприятии соответствующих компьютерных программ и справочных баз

данных по всем необходимым технико-экономическим показателям, аналогичным предложенным в [8], с учетом дополнений, связанных с рыночными отношениями на производстве и сфере услуг.

Предложенная методика оценки эффективности технологии лазерного раскроя может быть реализована на начальных этапах планирования переоснащения современного серийного авиационного производства в условиях рыночной экономики.

Литература

1. Беляков И.Т. Технологические проблемы проектирования летательных аппаратов / И.Т. Беляков, Ю.Д. Борисов. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
2. Томашевич Д.Л. Конструкция и экономика самолета / Д.Л. Томашевич. – М.: Оборонгиз, 1960. – 202 с.
3. Кулаев Ю.Ф. Экономика гражданской авиации Украины / Ю.Ф. Кулаев. – К.: Фенікс, 2004. – 667 с.
4. Бабушкин А.И. Экономика предприятия авиационно-космической отрасли: преддипломный курс. – Учеб. пособие / А.И. Бабушкин. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2005. – 258 с.
5. Інформаційні матеріали щодо концепції відновлення серійного впровадження літаків українськими підприємствами авіабудівної галузі. – К.: ВАТ УкрНДІАТ, 2006. – 19 с.
6. Методические рекомендации по оценке изменений экономических факторов на себестоимость производства продукции (работ, услуг) в промышленности и на эффективность работы предприятий. – К.: Минпромполитики Украины, гос. Ин-т комплексных технико-экономич. исслед., 2004. – 319 с.
7. Бабушкин А.И. Экономика предприятия: Учебное пособие / А.И. Бабушкин. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2003. – 419 с.
8. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник / под ред. д.э.н. проф. К.М. Великанова. – Л.: Машиностроение, 1975. – 432 с.

Поступила в редакцию 24.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. проєктування ракетно-космічних апаратів В.Е. Гайдачук, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «ХАІ», Харків, Україна.

КРИТЕРІЙ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ЛАЗЕРНОГО РОЗКРОЮ ЛИСТОВИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПАНЕЛЕЙ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ТРАНСПОРТНОЇ КАТЕГОРІЇ

О.І. Костенко

Стаття присвячена оцінці ефективності технології лазерного розкрою листових конструкційних матеріалів для виробництва панелей крила і фюзеляжу повітряних судів транспортної категорії у разі, коли дана технологія приводить до зниження ресурсу літака унаслідок зниження довговічності панелей в порівнянні з технологією розкрою в базовому варіанті. Методика оцінки ефективності лазерного розкрою панелей базується на критерії вартості зміни витривалості Д.Л. Томашевича і обліку зниження виробничих витрат при реалізації лазерної технології. Запропонована методика оцінки ефективності технології лазерного розкрою може бути реалізована на етапах планування переоснащення сучасного серійного авіаційного виробництва в умовах ринкової економіки.

Ключові слова: лазерний розкрій листових матеріалів, ефективність, панелі повітряних судів, критерій вартості зміни витривалості, виробничі витрати.

PERFORMANCE MEASUREMENT TECHNOLOGY OF LASER CUTTING OF SHEET STRUCTURAL MATERIALS FOR THE PRODUCTION OF PANELS OF AIRCRAFT TRANSPORT CATEGORY

A.I. Kostenko

The authors assess the effectiveness of technology of laser cutting of sheet structural materials for the production of panels of the wing and fuselage of transport category aircraft in the case where the technology leads to a decrease in the resource plane due to the reduction of long-etermity panels compared with the technology of cutting the base version. Methodology for Assessing the effectiveness of the laser cutting of panels based on the criteria of cost changes in endurance D.L. Tomashevich and given a reduction in production costs in the implementation of laser technology. The proposed method of estimating the efficiency of the technology of laser cutting may be easier said than done in the planning stages retrofitting modern serial aircraft production in market economy

Key words: laser cutting of sheet materials, efficiency, panels of aircraft, the criterion value changes in endurance, the production costs.

Костенко Александр Иванович – аспирант кафедри проєктування ракетно-космічних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. Н.Е. Жуковського «Харьковский авиационный институт», Харків, Україна.