

УДК 629.735.33.002: 621.88.044

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИМПУЛЬСНОЙ КЛЕПКИ

Ю.А. Воробьев

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

Изложены результаты использования комплексного показателя эффективности технического решения и метода экспертных оценок для определения экономической эффективности внедрения импульсной клепки авиационных конструкций.

* * *

Викладено результати використання комплексного показника ефективності технічного рішення і методу експертних оцінок для визначення економічної ефективності впровадження імпульсного клепаання авіаційних конструкцій.

* * *

The results of usage of a complex index of efficiency of an engineering solution for definition of economic cost-effectiveness of an manufacturing application of impulse riveting of air constructions are expounded.

Существующие методики определения экономической эффективности внедрения изделий новой техники [1] не всегда позволяют обнаружить наличие экономического эффекта от внедрения наукоемких технологий. Это обусловлено неадекватностью поэлементного расчета себестоимости при наличии затрат на научно-исследовательские (НИР) и опытно-конструкторские (ОКР) работы.

Целью работы является определение относительной эффективности использования импульсной по сравнению с традиционной многоударной клепкой в условиях стапельной сборки авиационных конструкций.

Для определения экономической эффективности разработки и внедрения технологии импульсной клепки авиационных конструкций использован комплексный показатель эффективности (КПЭ) технологического процесса [2, 3]. КПЭ широко используется и показал свою адекватность в функционально-стоимостном анализе (ФСА).

Была использована сравнительная эффективность E технологии импульсной клепки (внедряемая технология) по отношению к технологии клепки многоударными молотками (базовая технология), которая отождествляется с отношением КПЭ этих технологий:

$$E = \frac{e_{\text{имп}} - e_{\text{мн}}}{C_{\text{имп}} - C_{\text{мн}}} = \frac{Q_{\text{имп}}}{Q_{\text{мн}}}, \quad (1)$$

где $e_{\text{имп}}$ и $e_{\text{мн}}$ – экономические эффекты, обеспечиваемые внедряемой и базовой технологиями; $C_{\text{имп}}$ и $C_{\text{мн}}$ – издержки, характеризующие внедряемую и базовую технологии; $Q_{\text{имп}}$ и $Q_{\text{мн}}$ – комплексные показатели эффективности, характеризующие внедряемую и базовую технологии.

КПЭ построен на основе экспертной оценки различных частных критериев предпочтительности с помощью «методики расстановки приоритетов». КПЭ Q_i для i -го варианта технологии определяется по относительному приоритету i -го варианта по g -му критерию оценки, относительному приоритету g -го критерия оценки и количеству критериев оценки.

Для определения численных значений КПЭ составлен список критериев оценки сравниваемых технологий клепки. На основе анализа литературных данных [4, 5 и др.] проведено ранжирование критериев оценки эффективности сравниваемых технологий исходя из условия использования обеих технологий при стапельной сборке. Список критериев и результаты их ранжирования приведены в табл. 1.

Таблица 1

Критерии оценки и их ранжирование при внедрении импульсной клепки взамен многоударной клепки

Номер ранга	Обозначение	Семантика критерия
1	K ₈	Прочностные и усталостные характеристики заклепочных соединений
2	K ₃	Вредные условия труда (шум и вибрация), вызывающие профессиональные заболевания у сборщиков–клепальщиков
3	K ₄	Влияние субъективных особенностей сборщика–клепальщика на качество клепки
4	K ₇	Габаритные размеры и масса клепального молотка
5	K ₆	Расход сжатого воздуха (на одну заклепку 4–12 ОСТ 1 34008–86)
6	K ₁	Трудоемкость технологии (на одну заклепку 4–12 ОСТ 1 34008–86)
7	K ₅	Быстрая утомляемость рабочих
8	K ₂	Сложность конструкции клепального молотка

На основе табл. 1 построена матрица значимости, приведенная в табл. 2.

Относительный приоритет каждого критерия определен по следующей формуле:

$$\beta_r = \frac{\beta_{a(r)}}{\sum_{r=1}^m \beta_{a(r)}}, \quad (2)$$

где $\beta_{a(r)}$ – абсолютный приоритет r -го критерия, определяемый как следующее произведение матриц:

$$\beta_{a(r)} = \bar{A} \cdot \bar{B}, \quad (3)$$

причем $\bar{A} = |K_{r1}, K_{r2}, \dots, K_{rm}|$ – i -я матрица–строка коэффициентов предпочтительности в матрице значимости критериев;

$\bar{B} = \begin{vmatrix} \sum_{j=1}^m a_{1j} \\ \vdots \\ \sum_{j=1}^m a_{mj} \end{vmatrix}$ – матрица–столбец сумм коэффициентов предпочтительности по строкам матрицы значимости критериев.

Таблица 2

Матрица значимости критериев оценки

i	j								$\sum_{j=1}^7 a_{ij}$	$\beta_{a(r)}$	β_r
	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈			
K ₁	1	1	0	0	1	0	0	0	3	6	0,05
K ₂	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0,008
K ₃	1	1	1	1	1	1	1	0	7	28	0,233
K ₄	1	1	0	1	1	1	1	0	6	21	0,175
K ₅	0	1	0	0	1	0	0	0	2	3	0,025
K ₆	1	1	0	0	1	1	0	0	4	10	0,083
K ₇	1	1	0	0	1	1	1	0	5	15	0,125
K ₈	1	1	1	1	1	1	1	1	8	36	0,3

Относительные предпочтительности технологий $P_{i(r)}$, вычисляются аналогично определению значимости критериев с той разницей, что объектами сравнения становятся варианты технологий, как это

представлено в табл. 3, в которой принято $m_p=2$ (импульсная клепка и клепка многоударными молотками). Здесь $P_{ai(r)}$ – абсолютный приоритет.

Таблица 3

Сводная таблица матриц предпочтительности сравниваемых вариантов технологий – импульсной клепки (X_1) и клепки многоударными молотками (X_2)

Крите- рий	i	j		$\sum_{j=1}^2 b_{ij}$	$P_{ai(r)} = (b_{ij})_r \cdot \left \sum_{j=1}^2 b_{ij} \right $	$\sum_{i=1}^2 P_{ai(r)}$	$P_{i(r)} = \frac{P_{ai(r)}}{\sum_{i=1}^2 P_{ai(r)}}$	β_r
		X_1	X_2					
K ₁	X ₁	1	1	2,0	4,0	8,00	0,50	0,05
	X ₂	1	1	2,0	4,0		0,50	
K ₂	X ₁	1	0,9	1,9	3,79	7,98	0,475	0,008
	X ₂	1,1	1	2,1	4,19		0,525	
K ₃	X ₁	1	1,8	2,8	4,96	6,72	0,738	0,233
	X ₂	0,2	1	1,2	1,76		0,262	
K ₄	X ₁	1	1,3	2,3	4,51	7,82	0,577	0,175
	X ₂	0,7	1	1,7	3,31		0,423	
K ₅	X ₁	1	1,1	2,1	4,19	7,98	0,525	0,025
	X ₂	0,9	1	1,9	3,79		0,475	
K ₆	X ₁	1	1,3	2,3	4,51	7,82	0,577	0,083
	X ₂	0,7	1	1,7	3,31		0,50	
K ₇	X ₁	1	1	2,0	4,0	8,00	0,50	0,125
	X ₂	1	1	2,0	4,0		0,525	
K ₈	X ₁	1	1,1	2,1	4,19	7,98	0,525	0,30
	X ₂	0,9	1	1,9	3,79		0,475	

Коэффициенты b_{ij} , подставляемые в узлы пересечений строк и столбцов X_1 и X_2 , установлены из следующих соображений.

По критерию K_1 – «Трудоёмкость технологии (на одну заклепку 4–12 ОСТ 1 34008–86). Чем меньше трудоёмкость, тем лучше» альтернативы оценены как равноценные, так как трудоёмкость по нормативам составляет $T=42,5$ с [6], в то время как время деформирования заклепки отличается существенно (для импульсной клепки $t_{деф} \approx 2 \cdot 10^{-4}$ с, для многоударной $t_{деф} = 1,5 \dots 2$ с [4]).

По критерию K_2 – «Сложность конструкции клепального молотка. Чем меньше сложность, тем лучше» незначительное предпочтение отдано многоударной клепке ввиду относительной простоты конструкции многоударных клепальных молотков и наличия большого опыта их эксплуатации.

По критерию K_3 – «Вредные условия труда (шум и вибрация), вызывающие профессиональные заболевания у рабочих. Чем благоприятнее условия труда, тем лучше» предпочтение однозначно отдано импульсной клепке ввиду отсутствия воздействия

вибрации на организм рабочего (к рукоятке импульсного молотка прикладывается минимальной усилие $P=0 \dots 5$ Н; время клепки значительно меньше, чем для многоударной). При этом за работу во вредных условиях труда предусмотрена доплата клепальщикам–сборщикам в размере 12 % от базовой зарплаты.

По критерию K_4 – «Влияние субъективных особенностей сборщика–клепальщика на качество клепки. Чем меньше влияние, тем лучше» предпочтение также отдано импульсной клепке. Ввиду того, что при импульсной клепке параметры заклепочных соединений определяются настройкой клепального молотка и не зависят от квалификации рабочих, можно использовать для выполнения операции клепки конструкций из КМУ клепальщиков–сборщиков третьего разряда, а не пятого, как это предусмотрено нормативами [7]. Стоимость часовой тарифной ставки рассчитывают следующим образом:

$$C = \frac{3\Pi_{баз}}{T} \cdot k \cdot k_{вр.усл}, \quad (4)$$

где $ЗП_{\text{баз}}$ – базовая величина заработной платы, в 2002 году по ХГАПП составила $ЗП_{\text{баз}}=85,00$ грн.; T – среднемесячная продолжительность рабочего времени в часах за месяц, $T=166,83$ часа; k – коэффициент соотношения тарифной ставки и базовой заработной платы соответствующей сетки и разряда; $k_{\text{вр.усл}}$ – коэффициент, учитывающий работу во вредных условиях труда (для клепки многоударными молотками в стесненных условиях $k_{\text{вр.усл}}=12\%$).

Тогда стоимость часовой тарифной ставки сборщика–клепальщика пятого разряда, работающего многоударным молотком (номер сетки 53), составит

$$C_{\text{мн}} = \frac{85}{166,83} \cdot 3,985 \cdot 1,12 = 2,274 \text{ грн.}, \text{ а для}$$

сборщика–клепальщика третьего разряда, работающего импульсным молотком (номер сетки 50), $C_{\text{имп}} = \frac{85}{166,83} \cdot 3,164 \cdot 1,0 = 1,162$ грн., т.е. сравнительная эффективность импульсной клепки по критерию K_4 составит $C_{\text{мн}}/C_{\text{имп}}=1,96$.

По критерию K_5 – «Быстрая утомляемость рабочих. Чем меньше утомляемость, тем лучше» признано, что импульсная клепка вызывает меньшую утомляемость рабочих, чем многоударная. Большая утомляемость рабочих при клепке многоударными молотками объясняется наличием вредных условий труда, использованием поддержки большей массы (при клепке прямым способом пневмомолотком КМП–33 рекомендована масса поддержки $m_{\text{п}}=(2\dots3)d$, при импульсной клепке $m_{\text{п}}=d$). В этой связи для рабочих, занятых многоударной клепкой, предусмотрены в течение рабочей смены два регламентированных перерыва по 20 мин. и удлиненный на 10 мин. обеденный перерыв, т.е. время работы уменьшено на 10,5 %.

По критерию K_6 – «Расход сжатого воздуха (на одну заклепку 4–12 ОСТ 1 34008–86). Чем меньше расход, тем лучше» предпочтение следует отдать импульсной клепке, так как расход сжатого воздуха на установку одной заклепки импульсным способом составляет

менее $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ (при давлении 0,4 МПа). При клепке многоударным пневмомолотком КМП–33 на установку одной заклепки требуется 1,5...2 с при расходе $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$.

По критерию K_7 – «Габаритность и материалоемкость. Чем меньше масса и габаритные размеры, тем лучше» альтернативы оценены как равноценные. Применяемые для клепки титановых заклепок 4–12 ОСТ 1 34008–86 многоударные клепальные молотки КМП–33 имеют габаритные размеры $250 \times 148 \times 53$ мм и массу 2,6 кг, в то время как пневмоимпульсный клепальный молоток МПО–4 имеет габаритные размеры $350 \times 190 \times 70$ мм (т.е. примерно в 1,4 раза большие) при массе 1,8 кг (в 1,4 раза меньшей).

По критерию K_8 – «Прочностные и усталостные характеристики заклепочных соединений. Чем выше характеристики, тем лучше» предпочтение отдано импульсной клепке. На основе результатов проведенных исследований статической прочности и циклической долговечности (коэффициент эффективности соединения при статическом растяжении для многоударной клепки $\bar{K}_{\text{эф}}^{\text{мн}} = 0,61$, для импульсной – $\bar{K}_{\text{эф}}^{\text{имп}} = 0,7$; напряжения усталостного разрушения на базовом числе циклов соответственно составили 608 Н/мм^2 для многоударной клепки и 697 Н/мм^2 для импульсной) сравнительная эффективность импульсной клепки по критерию K_8 составит 1,15.

На основе данных табл. 3 можно определить комплексные показатели эффективности для внедряемой $Q_{\text{имп}}$ и базовой $Q_{\text{мн}}$ технологий по формуле

$$Q_i = \sum_r P_{i(r)} \beta_r. \quad (5)$$

Для импульсной клепки:

$$Q_{\text{имп}} = 0,5 \cdot 0,05 + 0,475 \cdot 0,008 + 0,738 \cdot 0,233 + 0,577 \cdot 0,175 + 0,525 \cdot 0,025 + 0,577 \cdot 0,083 + 0,5 \cdot 0,125 + 0,525 \cdot 0,3 = 0,58.$$

Для клепки многоударным клепальным молотком:

$$Q_{\text{мн}} = 0,5 \cdot 0,05 + 0,525 \cdot 0,008 + 0,262 \cdot 0,233 + 0,423 \cdot 0,175 +$$

$+0,475 \cdot 0,025 + 0,423 \cdot 0,083 + + 0,5 \cdot 0,125 + 0,475 \cdot 0,3 = 0,42$.

Таким образом, по наибольшему значению Q_i заключаем, что вариант импульсной клепки предпочтительнее варианта клепки многоударным молотком, потому что он более эффективен. При этом величина относительной эффективности импульсной клепки по отношению к многоударной составит

$$E = \frac{Q_{\text{имп}}}{Q_{\text{мн}}} = \frac{0,58}{0,42} = 1,38.$$

Для вычисления экономического эффекта необходимо поэлементным расчетом получить величину затрат, связанных с внедрением технологии импульсной клепки, как более эффективной. В связи с тем, что затраты на внедрение существенно зависят от условий деятельности и уровня развития конкретного производства, экономический эффект в абсолютных величинах не считался, и для оценки экономической эффективности разработки использована относительная, или сравнительная эффективность E .

Заключение

Использование комплексного показателя эффективности технического решения позволяет на уровне экспертных оценок определить экономический эффект от внедрения наукоемких технологий. Приведенные расчеты показывают, что относительная эффективность импульсной клепки по сравнению с традиционной для авиационного производства многоударной клепкой составляет 1,38.

Литература

1. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. - М.: Экономика, 1977. - 54 с.

2. Точилин П.В., Сагателян Г.Р., Назаров

Ю.Ф. Методика расчета экономической эффективности внедрения наукоемких технологий // МГОУ-XXI-Новые технологии. № 1. 2001. – С. 29 – 34.

3. Точилин П.В. Применение методики определения экономической эффективности внедрения наукоемких технологий // Экономика и производство. Журнал депонированных рукописей. № 1. 2001. – С. 1 – 10.

4. Современные технологии авиастроения / Коллектив авторов; Под ред. А.Г. Братухина, Ю.Л. Иванова. - М.: Машиностроение, 1999.- 832 с.

5. Воробьев Ю.А. Разработка схем и конструкций пневмоимпульсных клепальных молотков // Перспективні технології та обладнання обробки тиском в машинобудуванні та металургії: Темат. зб. наук. пр. – Краматорськ: Донбаська державна машинобудівна академія, 2001. – С.453-458.

6. Нормативы времени на узловую и агрегатную сборку летательных аппаратов. – М.: НИАТ, 1973. – 395 с.

7. Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих. Вып. 22. Раздел «Производство и ремонт ЛА, двигателей и их оборудования». - М.: НИИ труда, 1970. – 205 с.

Поступила в редакцию 18.03.03

Рецензенты: д-р техн. наук, профессор Божко В.П., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", г. Харьков; канд. техн. наук, доцент Чистяк В.Г., Харьковский государственный экономический университет, г. Харьков.