

**ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ В КАЧЕСТВЕ КРИТЕРИЕВ ЭФФЕКТИВНОСТИ НА ОСНОВАНИИ  
КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА**

*А.А. Ласуков, к.т.н., доцент кафедры ТМС, С.Е. Лагунов, студент  
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского  
Томского политехнического университета  
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26  
E-mail: lasukow@rambler.ru*

В Юргинском технологическом институте проводится комплекс работ по созданию опытного образца геолода. При этом одной из наиболее важных проблем является постановка геолода на производство. Разработка и постановка на производство продукции является совокупностью мероприятий, конечной целью которых является выпуск конкурентоспособной промышленной продукции. В процессах постановки на производство новых видов промышленной продукции возникает проблема объективной оценки вариантов технологических решений на самых ранних стадиях технологической подготовки производства. Важность данной проблемы обусловлена тем, что 70% затрат в течение жизненного цикла продукции обуславливаются решениями, принятыми на ранних стадиях разработки изделия [1]. В случае геолода данный вопрос стоит особенно остро, поскольку геолод является принципиально новым видом горных машин и обладает выраженной технологической спецификой [2].

Исходя из технического и экономического принципа технологии машиностроения функция эффективности технологических процессов формулируется выражением:

$$E = \max \left\{ E_i \in \mathfrak{R} \mid E_i = \frac{1}{C_i(\mathbf{a})}, \text{ при } Q_i(\mathbf{a}) \geq [Q] \right\}, \quad (1)$$

где  $E_i$  – эффективность  $i$ -го варианта технологии изготовления;  $C_i$  – затраты по  $i$ -му варианту технологии изготовления;  $Q_i$  – качество продукции по  $i$ -му варианту технологии изготовления;  $[Q]$  – требуемый уровень качества продукции;  $\mathbf{a}$  – вектор параметров  $i$ -го варианта технологии изготовления. Т.е. при данной постановке эффективность выражается через величину, обратную затратам. При этом подразумевается, что все варианты технологических процессов обеспечивают выполнение технического принципа.

В случае если показатели качества являются существенным конкурентным преимуществом, то целевая функция эффективности формулируется аддитивным выражением (или аналогичным мультипликативным):

$$E = \max \left\{ E_i \in \mathfrak{R} \mid E_i = \frac{k_C}{C_i(\mathbf{a})} + k_Q Q_i(\mathbf{a}) \right\}, \quad (2)$$

где  $k_C$  – весовой коэффициент затрат в эффективности;  $k_Q$  – весовой коэффициент качества в эффективности.

Постановка задачи в виде (2) порождает проблему адекватного назначения весовых коэффициентов [3]. Чаще всего при отсутствии теоретических моделей весовые коэффициенты определяются опытным путем на основе процедур регрессионного анализа, либо других статистических методов.

На современном уровне развития технологии машиностроения наиболее адекватным способом оценки соответствия технологических процессов техническому принципу является статистический способ, основанный на теории вероятности и математической статистике и заключающийся в исследовании выборок изделий из партий деталей, изготовленных по исследуемому технологическому процессу. Чаще всего с данной целью используется анализ выборок по кривым распределения, а также точечные и точностные диаграммы. Т.е. данный анализ производится не на этапе проектирования технологических процессов, а по факту их реализации. На этапе проектирования качество устанавливается в нормативном порядке в соответствии с подходами, аналогичными приведенным в работе [4] с использованием моделей аналогичных [5].

Анализ приведенных выражений показывает, что технические показатели эффективности и экономические показатели эффективности могут оцениваться независимо. Таким образом, учитывая достаточность выполнения для технического уровня условия:

$$Q_i(\mathbf{a}) \geq [Q], \quad (3)$$

оценку эффективности можно проводить на основе оценки затрат. При этом должно подразумеваться безусловное выполнение условия (3), например, путем создания и анализа моделей точности изделий [6].

Поскольку величины экономических критериев эффективности (себестоимость и качество) на ранних стадиях проектирования технологий являются неизвестными, возникает задача прогнозирования эффективности технологических решений на основе количественных характеристик технологий. На основании этого сформулирована задача установить наличие связей между объективными показателями эффективности (себестоимость или затраты) и количественными показателями технологических процессов. Для установления связей предлагается использовать аппарат корреляционного анализа. В качестве исходных данных при использовании технологических процессов, разработанные на системы и узлы геохода ФЮРА.612322.401.0.00.00.000 с литерой «О» и соответствующие экономические расчеты.

На основании анализа разработанных на изделия геохода технологических процессов были отобраны следующие количественные показатели: трудоемкость, коэффициент использования материала, среднее значение степени механизации, средний разряд работающих, количество единиц средств технологического оснащения, среднее значение условий труда, количество работающих, количество операций в технологическом процессе. Корреляционный анализ проводился на выборке из 13 технологических процессов механической обработки изделий геохода. Использовался парный коэффициент корреляции Пирсона [7].

На основе анализа установлено, что на уровне значимости  $\alpha = 0,001$  существует связь между удельной трудоемкостью технологических процессов и удельной себестоимостью, а также связь между коэффициентом использования материала и удельной себестоимостью. Связь с себестоимостью прочих количественных показателей технологических процессов не установлена. Результаты корреляционного анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты корреляционного анализа

Наименование величины	Обозначение и/или формула	Наименование показателя						
		Удельная трудоемкость, мин/кг	КИМ	Количество операций	Количество работающих	Средний разряд работ	Средняя степень механизации	Количество СТО
Выборочное среднее значение показателя	$\bar{x}$	1,912	0,824	4,29	4,643	3,436	3,180	22,9 29
Выборочное среднее значение удельной себестоимости (руб/кг)	$\bar{y}$	12,391						
Сумма дисперсий показателя	$D_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$	28,34	0,20	82,86	65,21	5,98	10,42	1454,9
Сумма дисперсий критерия	$D_y = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$	6363,59						
Парный коэффициент корреляции Пирсона	$r_p = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{D_x D_y}$	0,992	- 0,78 5	-0,368	-0,321	0,308	-0,277	0,073
Объем выборки	$n$	13						
Уровень значимости	$\alpha$	0,001						
Критическое значение коэффициента корреляции при уровне значимости $\alpha$	$[r_p]$	0,760						

Как следует из рис. 1а прослеживается выраженная связь между трудоемкостью технологических процессов и удельной себестоимостью, имеющая характер, близкий к линейному. При этом величина достоверности линейной аппроксимации составляет  $R^2 \approx 0,9831$ , что свидетельствует о весьма высокой силе связи по шкале Чеддока. Аналогично прослеживается выраженная связь между коэффициентом использования материала и удельной себестоимостью, имеющая характер, близкий к линейному (рис. 1б). При этом величина достоверности линейной аппроксимации составляет  $R^2 \approx 0,6157$ , что свидетельствует о заметной силе связи по шкале Чеддока.

На основании выполненного анализа можно утверждать, что непосредственное влияние на экономическую эффективность оказывают такие свойства технологических процессов, как трудоемкость и коэффициент использования материала. Полученные зависимости между затратами и показателями трудоемкости и коэффициента использования материала носят выраженный линейный характер и могут быть использованы в качестве критериев эффективности тех или иных технологических решений. Практическая ценность данных критериев заключается в том, что их значения могут быть установлены на этапе проектирования технологических процессов до выполнения экономических расчетов.

Предложенные критерии эффективности имеют ряд ограничений по области своего применения. Критерии могут использоваться лишь для сравнительной оценки различных вариантов технологических процессов на одно и то же изделие при условии эквивалентности достигаемого технического эффекта и состояния заготовки или изделия до и после реализации технологического процесса.

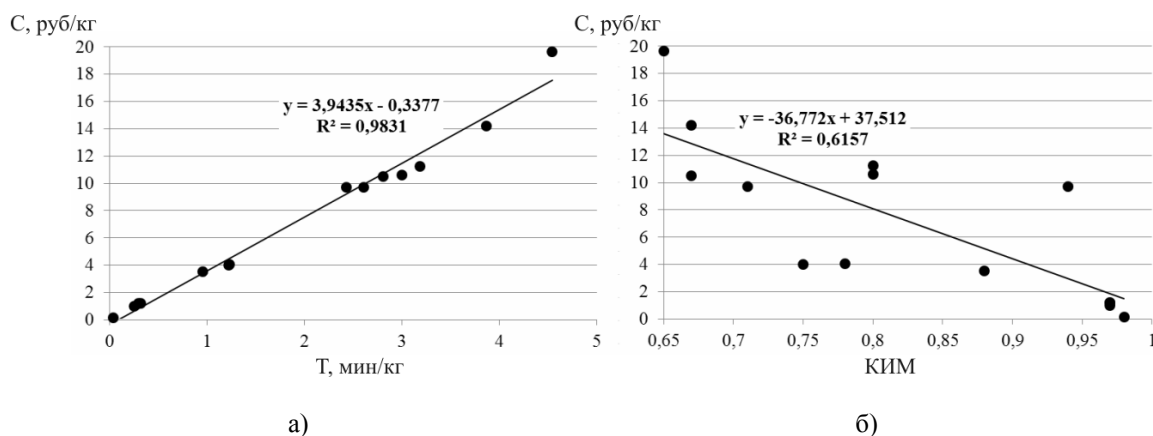


Рис. 1. Графики зависимостей удельной себестоимости от: а) удельной трудоемкости; б) от коэффициента использования материала

#### Литература.

1. Asiedu Y., Gu P. Product life cycle cost analysis: State of the art review // International Journal of Production Research. – 1998. – Vol. 36., Iss. 4. – P. 883-908.
2. Аксенов В.В., Вальтер А.В. Специфика геохода как предмета производства // Научное обозрение. – 2014. – №. 8, Ч. 3. – С. 945-950.
3. Брусков В.С., Одноволик Ю.В. Пример оценки решений в условиях нескольких критериев эффективности // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2013. – № 188. – С. 15-18.
4. Павлова А.А., Чернышенко А.В. Нормативное обеспечение технологии и качества сборки и его использование // Сборник научных трудов “Вестник НТУ ХПИ” Машиностроение і САПР №33. – Харьков, 2006. – С. 88-95.
5. Вальтер А.В., Аксенов В.В. Определение отклонений геометрической формы оболочек корпусных изделий геохода // Актуальные проблемы современного машиностроения: сборник трудов Международной научно-практической конференции/ Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – С. 165-170.
6. Аксенов В.В., Вальтер А.В., Бегляков В.Ю. Обеспечение геометрической точности оболочки при сборке секций геохода // Обработка металлов (Технология, оборудование, инструменты). – 2014. – № 4 (65). – С. 19-28.
7. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.