

**ОЦЕНКА И ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ
СИСТЕМЫ РЕЗАНИЯ ПО ЭНЕРГОПОТРЕБЛЯЮЩИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Докт. техн. наук, проф. МРОЧЕК Ж. А., инж. АДАМЕНКО Д. В., канд. техн. наук АДАМЕНКО В. М.

*Белорусский национальный технический университет,
Борисовский государственный политехнический колледж*

Целесообразность поиска новых путей и методов совершенствования технологических процессов с точки зрения снижения их энергопотребления, стоимость которого является в большинстве случаев основным составным элементом себестоимости производимой продукции на промышленном предприятии, очевидна. Конкурентоспособность промышленных предприятий выступает в той роли, которая стимулирует поиск путей снижения себестоимости производимой продукции, а, учитывая высокую стоимость энергоносителей, снижение величины энерготехнологической составляющей в общей стоимости продукции характеризует проблему как весьма острую.

Величина энергоресурсов в составляющей машиностроительной продукции находится в пределах 12–18 %, а тенденция снижения этого показателя с каждым годом актуализируется.

В настоящее время оценка технологического процесса по показателю энергопотребления проводится в двух направлениях: первая методика основывается на оценке маршрутно-операционного технологического процесса в целом; вторая – оценке отдельной операции [1, 2].

Оценка энергоэффективности маршрутного технологического процесса предусматривает технико-экономические показатели, содержащие перечень параметров и коэффициентов, построения диаграммы Паретто, где технологические операции выстраиваются последовательно по мере убывания параметра энергопотребления. Уровень значимости операции по параметру энергопотребления принимается

70–90 %, ниже этого показателя операции подлежат совершенствованию. Следует отметить, что методика сопровождается программным обеспечением проектирования энергосберегающих маршрутных технологических процессов, при этом за основу принимается имеющийся базовый технологический процесс.

Вторая методика основывается на оценке отдельной операции, учитывает энергопотребляющие показатели технологического оборудования, т. е. рабочие характеристики электродвигателя главного привода (N , η , $\cos\varphi$), что позволяет создавать энергосберегающие технологии, например обработки материалов на основе оптимальной скорости резания при максимальном использовании активной мощности электродвигателя главного привода. В этом случае следует проводить поиск критериев оптимальности, которые учитывали бы влияние различных факторов процесса резания и позволили бы оценить экономию энергоресурсов за счет повышения энергоэффективности. В качестве критерия оптимальности может быть использована удельная энергоемкость процесса резанием (затраты энергии, приведенные к единице объема удаляемого материала) [3]. Расчет удельной энергоемкости осуществляется следующим образом:

$$\beta = \frac{U}{vst},$$

где U – затраты энергии; v – скорость резания; s – скорость подачи; t – глубина резания.

Результаты исследований [4] позволяют определить удельную энергоемкость, измерить

активную мощность двигателя главного движения N_d и холостого хода N_x , установить функциональную зависимость минимальной величины удельной энергоёмкости от максимальной скорости резания

$$\beta = \frac{N_d - N_x}{vst}$$

Наиболее перспективными являются результаты исследований по снижению удельной составляющей потребления электроэнергии, учитывающие скорость резания, а также энергопотребляющие показатели технологического оборудования в соответствии с функциональной зависимостью

$$v = f(N, \cos\varphi, \eta),$$

где N – мощность электродвигателя главного привода; η – КПД электродвигателя главного привода; $\cos\varphi$ – коэффициент мощности.

В качестве критериев для оценки энергоэффективности процесса резанием лезвийным инструментом заготовок из конструкционных сталей принимались: оптимальная скорость резания v_o ; показатели рабочих характеристик привода главного движения; мощность электродвигателя N ; коэффициент полезного действия КПД η ; коэффициент мощности $\cos\varphi$ [5].

Следует отметить, что мощность электродвигателя N , коэффициент полезного действия КПД η учитываются в существующих расчетах как критерии оптимальности режимов резания [6].

Остальные критерии (v_o , $\cos\varphi$) определяли экспериментально, строили графики функциональной зависимости $v = f(t, s, \eta)$ и $N = f(v, \cos\varphi)$, что в итоге позволило установить результаты повышения энергоэффективности технологической системы резания на 12–14 % по сравнению с существующими.

На первом этапе исследований определялась граница энергоэффективных скоростей резания, допускаемая мощностью главного привода в интервале КПД 0,6–0,8 в соответствии со скоростью резания, установленной по формуле

$$v^{(1+n)} = \frac{\eta N_{эл.дв} \cdot 60 \cdot 102}{C_p t^{x_z} S^{y_z} K_z}, \text{ м/мин,}$$

где n – показатель степени скорости резания; η – КПД электродвигателя главного привода; N – мощность электродвигателя главного привода, кВт; C_p – постоянная, учитывающая физико-механические свойства обрабатываемого материала и условия его обработки; t – глубина резания, мм; x_z, y_z – показатели степени при установленных глубине резания и подаче; K_z – поправочный коэффициент, учитывающий фактические условия резания, КПД 0,6–0,8.

При точении использовались цилиндрические образцы из стали 45Х, НВ 220, $\sigma_B = 750$ МПа твердосплавным резцом Т15К10 ($\gamma = 10^\circ$; $\alpha = 15^\circ$; $\alpha_1 = 5^\circ$; $\varphi = 60^\circ$; $\varphi_1 = 5^\circ$; $r = 1$) в диапазоне подач 1,2–0,8 мм/об глубины резания ($t = 2$ –6 мм через интервал s , равный 0,1, и глубине $t = 1$ мм при значениях КПД электродвигателя главного привода 0,6–0,8).

По результатам исследования построен график (рис. 1) зависимости $v = f(t, s)$ и установлена область энергосберегающих скоростей резания.

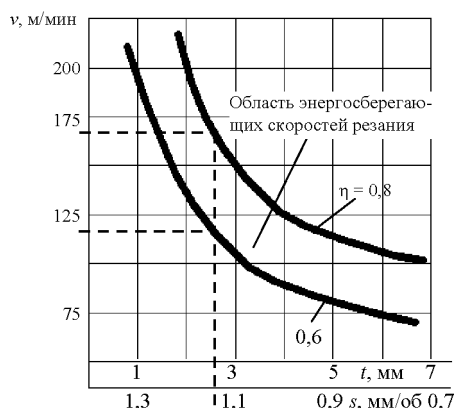


Рис. 1. Зависимость скорости резания от величины КПД электродвигателя привода главного движения

Известно, что коэффициент мощности электродвигателя главного привода технологической системы резания является функционально зависимой величиной от действующих сил резания, его максимальные значения, например для чернового и чистового точений будут величинами различными [7]. Поэтому второй этап исследований – это расчет и определение коэффициента мощности ($\cos\varphi$) на разных скоростях резания и определение оптимальной скорости, соответствующей максимальному значению $\cos\varphi$.

В области энергосберегающих скоростей резания, допускаемой мощностью главного привода, выбираем параметры процесса резания, $t = 2,5$ мм; $s = 1,14$ мм/об, а также диапазон скоростей $v = 120\text{--}175$ м/мин (рис. 1).

Результаты экспериментальных следований представлены в табл. 1 для образцов Ø36 мм, ст. 45Х, а в табл. 2 – для образцов Ø32 мм, ст. 45Х.

Таблица 1

Влияние режимов резания на изменение коэффициента мощности (материал образцов – сталь 45Х, Ø36 мм)

№ варианта	Исходные параметры					Измеряемые параметры					Расчетные параметры			
	n , мин ⁻¹	t , мм	S , мм/об	v , м/мин	$D_{\text{заг}}$, мм	I_A	U_B	$P_{\text{изм}}$, кВт	τ , с	Параметры шероховатости, мкм	v , м/мин	$P_{\text{н}}$, Н	N , кВт	$\cos\phi$
1	630	2,5	1,14	71	36	6,2	380	4,08	20	6,3	71	3729	4,41	0,646
2	800	2,5	1,14	90	36	7,3	380	4,08	20	6,3	90	3602	5,40	0,760
3	1000	2,5	1,14	113	36	7,9	380	5,20	20	6,3	113	3482	6,56	0,823
4	1250	2,5	1,14	141	36	8,6	380	5,66	20	6,3	141	3368	7,92	0,896
5	1600	2,5	1,14	180	36	8,8	380	5,79	20	3,2	180	3248	9,74	0,917
6	2000	2,5	1,14	225	36	8,6	380	5,66	20	3,2	225	3142	11,78	0,896

Таблица 2

Влияние режимов резания на изменение коэффициента мощности (материал образцов – сталь 45Х, Ø32 мм)

№ варианта	Исходные параметры					Измеряемые параметры					Расчетные параметры			
	n , мин ⁻¹	t , мм	S , мм/об	v , м/мин	$D_{\text{заг}}$, мм	I_A	U_B	$P_{\text{изм}}$, кВт	τ , с	Параметры шероховатости, мкм	v , м/мин	$P_{\text{н}}$, Н	N , кВт	$\cos\phi$
1	630	2,5	1,14	63	32	5,9	380	3,88	30	6,3	63	3799	3,99	0,614
2	800	2,5	1,14	90	32	7,0	380	4,61	30	6,3	80	3665	4,89	0,729
3	1000	2,5	1,14	100	32	7,8	380	5,13	30	6,3	100	3545	5,91	0,813
4	1250	2,5	1,14	125	32	8,6	380	5,66	30	6,3	125	3432	7,15	0,896
5	1600	2,5	1,14	160	32	8,9	380	5,86	30	3,2	160	3305	8,81	0,927
6	2000	2,5	1,14	200	32	8,7	380	5,73	30	3,2	200	3198	10,65	0,906

Результаты исследований позволили определить оптимальную скорость резания $v_0 = 151$ м/мин по максимальному значению $\cos\phi$, при которой активная мощность привода главного движения используется наиболее эффективно с максимальной величиной $\cos\phi = 0,91$. Установлено, что оптимальная скорость резания, определенная стойкостными испытаниями, составляет 125–137 м/мин, что повышает энергоэффективность предложенного способа на 12–14 %.

ВЫВОДЫ

1. Результаты экспериментальных исследований и их анализ подтверждают возможность использования энергетических показателей электродвигателя привода главного движения при определении оптимальной скорости резания.

2. Экспериментально подтверждена взаимосвязь рабочих характеристик электродвигателя привода главного движения и оптимальной скорости резания.

3. Предложенный способ и разработанную методику можно рекомендовать для практиче-

ского использования при проектировании и освоении энергосберегающих технологий в машиностроительном производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Проектирование** технологических процессов в машиностроении: учеб. пособие для вузов / И. П. Филонов [и др.]; под общ. ред. И. П. Филонова. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 910 с.

2. **Адаменко, В. М.** Теоретические предпосылки оптимизации процесса резания по энергопотребляющим показателям технологического оборудования // Машиностроение: сб. науч. тр. / под ред. И. П. Филонова. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – Вып. 17. – 398 с.

3. **Старков, В. К.** Технологические методы повышения надежности обработки на станках с ЧПУ / В. К. Старков. – М.: Машиностроение, 1984.

4. **Каштальян, И. А.** Оценка и выбор критериев оптимальности для задач управления нестационарными про-

цессами резания на станках с ЧПУ / И. А. Каштальян // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2002. – № 4. – С. 32–36.

5. **Мрочек, Ж. А.** Оптимизация параметров формообразования поверхностей резанием по энергопотребляющим показателям технологического оборудования / Ж. А. Мрочек, В. М. Адаменко, Д. В. Адаменко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2007. – С. 54–57.

6. **Ящерицын, П. И.** Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: учеб. для вузов / П. И. Ящерицын. – Минск: Вышэйш. шк., 1990. – 512 с.

7. **Данилов, И. А.** Общая электротехника с основами электроники: учеб. пособие для неэлектрических специальностей техникумов / И. А. Данилов, П. М. Иванов. – М.: Высш. шк., 1989. – 752 с.

Поступила 21.01.2010