А. Р. Ингеманссон

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ
ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ**

АО «Федеральный научно-производственный центр «Титан-Баррикады»

E-mail: aleing@yandex.ru

Выполнен анализ, свидетельствующий о повышении технико-экономической эффективности технологических процессов механической обработки за счет внедрения ЦПС.

Ключевые слова: технологическая себестоимость, технико-экономический анализ, коэффициент ОЕЕ.

A. R. Ingemansson

**TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS OF EFFICIENCY CHANGES
OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MACHINING DUE
TO IMPLEMENTATION OF DIGITAL PRODUCTION SYSTEMS**

JSC «Federal Scientific and Production Centre «Titan-Barricady»

Analysis shows the increase of technical and economical efficiency of machining processes due to the implementation of digital production systems.

Keywords: technological cost price, technical and economical analysis, OEE coefficient.

Статья посвящена анализу изменения технико-экономической эффективности технологических процессов (ТП) механической обработки за счет разработанных автором мероприятий по внедрению ЦПС. Оценка выполнялась с использованием комплексных критериев – технологической себестоимости [1] и коэффициента общей эффективности оборудования *OEE* (сокр. от англ. Overall equipment effectiveness) [2].

Внедрение ЦПС, а также предложенных автором мероприятий по технологической подготовке производства (ТПП) и адаптивному управлению (АУ) [3 и др.] процессом резания, позволяет обеспечить снижение затрат на изготовление деталей по нескольким направлениям. Среди них: снижение трудовых затрат на доработку деталей из-за неудовлетворительного качества поверхностей путем обеспечения ста-

бильности получаемых шероховатости и деформированного состояния поверхностного слоя деталей; снижение затрат на режущий инструмент ввиду уменьшения его износа и поломок за счет использования АУ по нагрузке на инструмент. Необходимо провести анализ снижения затрат на производство путем уменьшения простоев оборудования с ЧПУ за счет предложенных мероприятий по обеспечению стабильной работоспособности режущих инструментов.

Согласно [1] при технико-экономическом анализе вариантов ТП следует сравнивать только те статьи затрат, которые меняются при переходе от одного варианта ТП к другому. С учетом этого при оценке снижения затрат путем уменьшения простоев оборудования с ЧПУ за счет обеспечения стабильной работоспособности режущих инструментов к расчету приня-

ты следующие составляющие технологической себестоимости: затраты на заработную плату рабочих; расходы на амортизацию и эксплуатацию оборудования; расходы, связанные с необходимостью погашения стоимости здания, в котором располагается производственный участок; расходы на амортизацию и эксплуатацию приспособлений, как имеющие место даже при простом оборудовании.

Следует привести результаты анализа для примера ТП изготовления детали 20.01 «Вал-шестерня». Предложен участок механообрабатывающего цеха, состоящий из четырех токарно-револьверных станков с ЧПУ мод. SL-40L и двух вертикальных сверлильно-фрезерно-расточных ОЦ с ЧПУ мод. VF-5/50. Принято, что станочниками (операторами) выполняется многостаночное обслуживание. Каждый оператор обслуживает два ОЦ. Таким образом, на участке работает три оператора – двое станочников для токарно-револьверных станков с ЧПУ и один для вертикальных сверлильно-фрезерно-расточных ОЦ с ЧПУ. Кроме этого, участок обслуживает двое наладчиков – один для станков с ЧПУ токарной группы, другой – для сверлильно-фрезерно-расточных ОЦ.

Суммарные годовые затраты C по принятым составляющим технологической себестоимости для технико-экономической оценки эффективности [1] предложенных автором мероприятий по внедрению ЦПС [3 и др.] определяются зависимостью:

$$C = C_P + C_{M1} + C_{M2} + C_{M3} + C_{\Pi}, \text{ руб.} \quad (1)$$

где C_P – годовые расходы на заработную плату рабочих (станочников (операторов станков с ЧПУ и ОЦ), наладчиков, вспомогательного и обслуживающего персонала); C_{M1} – годовые амортизационные расходы на оборудование, руб.; C_{M2} – годовые расходы на все виды ремонта и обслуживания оборудования, руб.; C_{M3} – годовые расходы, связанные с необходимостью погашения стоимости здания, в котором располагается производственный участок, руб.; C_{Π} – годовые расходы на амортизацию и эксплуатацию приспособлений, руб.

Рассчитанные суммарные годовые затраты C для рассмотренного производственного участка механообрабатывающего цеха представлены в табл. 1.

Таблица 1

Рассчитанные суммарные годовые затраты для рассмотренного производственного участка механообрабатывающего цеха

Станок с ЧПУ	C_P , руб.	C_{M1} , руб.	C_{M2} , руб.	C_{M3} , руб.	C_{Π} , руб.	C , руб.
Токарно-револьверный (4 шт.)	4 578 240	4 100 400	4 284 000	82 368	450 080	13 495 088
Св.-фрез.-раст. ОЦ (2 шт.)	3 032 400	3 644 800	3 808 000	31 917,6	193 720	10 710 837,6
Общие затраты по участку	–					24 205 925,6

Затраты на внедрение разработанной ЦПС для механообрабатывающего производства связаны, в основном, с оснащением необходимой оргтехникой подразделений, участвующих в производственном процессе. Согласно разработанной структуре и механизму функционирования ЦПС для механической обработки [3 и др.] необходимо оснастить ПК рабочие места сотрудника склада, инженера-технолога, сотрудника ОТК, сотрудника участка по настройке инструмента вне станка, производственного мастера или начальника участка механического цеха. Рабочее место производственного мастера или начальника участка должно быть также оснащено принтером для распечат-

ки производственно-технологической карты и последующей выдачи ее наладчику и станочнику. Рабочие места сотрудника склада, сотрудника ОТК, сотрудника участка по настройке инструмента вне станка, производственного мастера или начальника участка должны быть оснащены сканерами штрих-кодов для осуществления возможности идентификации заготовок, деталей, инструментальных сборок и обращения к производственно-технологической базе данных. В табл. 2 приведены расчетные затраты на оснащение подразделений, участвующих в производственном процессе, с целью реализации мероприятий по внедрению ЦПС в механообрабатывающем производстве.

Таблица 2

Расчетные затраты на оснащение подразделений, участвующих в производственном процессе, с целью реализации мероприятий по внедрению ЦПС в механообрабатывающем производстве

Статья затрат	Стоимость единицы, руб.	Требуемое количество, шт.	Стоимость с учетом количества, руб.
ПК в составе: системный блок, монитор, клавиатура, компьютерный манипулятор (мышь), сетевой фильтр, источник бесперебойного питания	25 900	5	129 500
Лазерный принтер	5100	1	5100
Сканер штрих-кодов (ручной, проводное подключение)	5000	4	20 000
Общие затраты, руб.	–		154 600

Следует отметить, что внедрение разработанной ЦПС связано с выполнением сотрудниками подразделений, участвующих в производственном процессе, своих штатных обязанностей. С учетом оснащенности на сегодняшний день подразделений машиностроительных предприятий компьютерной оргтехникой затраты на внедрение ЦПС могут быть ниже расчетного значения. Кроме этого, затраты на внедрение разработанной ЦПС носят единовременный характер, в то время как экономия затрат по статьям технологической себестоимости, рассчитанная ниже, носит системный характер.

Согласно статистическим данным о годовом объеме простоев металлорежущего оборудования с ЧПУ [4], в т. ч. из-за замены режущего инструмента, и о причинах потери работоспособности инструментов [5], [6] выполнена оценка экономии затрат при внедрении предложенных автором мероприятий по ТПП и АУ процессом резания в ЦПС.

Доля времени, связанного с заменой инструментов, в годовом фонде рабочего времени оборудования с ЧПУ на производственном участке согласно статистических данных принята равной 14 %. При этом объем замены инструментов, связанный с преждевременной потерей работоспособности составляет 47 %. Таким образом, годовые простои оборудования с ЧПУ из-за нестабильной работоспособности режущих инструментов составляют: $14\% \times 0,47 = 6,6\%$.

Ранее приведен расчет составляющих C технологической себестоимости, имеющих место независимо как при работе, так и при простое оборудования. Таким образом, годовая экономия затрат $\mathcal{E}$ за счет предложенных мероприятий по обеспечению стабильности задан-

ной работоспособности режущих инструментов и исключению соответствующего объема простоев оборудования для рассмотренного ТП изготовления детали 20.01 «Вал-шестерня» на принятом участке механообрабатывающего цеха составляет:

$$\mathcal{E} = C \times 0,066 = 24\,205\,925,6 \times 0,066 = 1\,597\,591,1, \text{ руб.} \quad (2)$$

На сегодняшний день использование коэффициента общей эффективности оборудования OEE активно внедряется в практике отечественных и зарубежных промышленных предприятий и аудиторских компаний для оценки эффективности производственной деятельности [2 и др.]. По своему содержанию коэффициент OEE представляет оценку коэффициента использования оборудования и внецикловых потерь. Коэффициент отражает три основных составляющих эффективности использования технологического оборудования: доступность A , производительность P и качество Q . Методика расчета составляющих коэффициента приведена в [2 и др.].

Коэффициент общей эффективности оборудования OEE определяется зависимостью:

$$OEE = A \times P \times Q \times 100 \%. \quad (3)$$

Согласно статистических данных о годовом объеме простоев металлорежущего оборудования с ЧПУ [4], [5], а также с учетом возврата деталей на доработку в связи с отклонением величины фактической шероховатости обработанной поверхности относительно заданной ТУ определены расчетные значения коэффициентов общей эффективности оборудования $OEE_{\text{БАЗ}}$ и $OEE_{\text{ЦПС}}$ для базового и модернизированного технологических процессов, соответственно, которые представлены в табл. 3.

Таблица 3

Расчетные значения коэффициентов общей эффективности оборудования
 $OEE_{БАЗ}$ и $OEE_{ЦПС}$ и их составляющих

Технологический процесс	A	P	Q	$OEE, \%$
Базовый	0,85	0,85	0,93	67
Модернизированный, с учетом мероприятий по внедрению ЦПС	0,9	0,85	0,965	74

Таким образом, выполнен анализ, свидетельствующий о повышении технико-экономической эффективности технологических процессов механической обработки за счет внедрения ЦПС путем экономии затрат в части технологической себестоимости изготовления деталей, а также установлено увеличение значения коэффициента общей эффективности оборудования OEE .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безъязычный, В. Ф. Основы технологии машиностроения : учеб. для вузов / В. Ф. Безъязычный. – М. : Машиностроение, 2013. – 568 с.
2. ОЕЕ: сила общей эффективности оборудования [Электронный ресурс] : Альманах Управление производ-

ством. – 2010. – Режим доступа : http://www.up-pro.ru/library/production_management/operations_management/OEE.html (дата обращения: 06.04.2020).

3. Ингеманссон, А. Р. Разработка механизма функционирования цифровых производственных систем для механической обработки / А. Р. Ингеманссон // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 9 (232) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2019. – (Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении»). – С. 27–29.

4. Хартли, Дж. ГПС в действии : пер. с англ. / Дж. Хартли. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.

5. Старков, В. К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве / В. К. Старков. – М. : Машиностроение, 1989. – 296 с.

6. Григорьев, С. Н. Обработка резанием в автоматизированном производстве : учеб. / С. Н. Григорьев, А. Р. Маслов. – М. : Машиностроение, 2008. – 372 с.