

УДК 621.9

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА МИНСКОМ ТРАКТОРНОМ ЗАВОДЕ**

*канд. техн. наук Л.В. КУРЧ, И.А. ВАРВАРИНА
(Белорусский национальный технический университет, Минск)*

Представлена методика технико-экономического анализа технологических процессов по критериям себестоимости, энергопотребления, трудозатрат или объема снимаемого металла и на примере технологического процесса механической обработки детали «Рукав» тракторов Беларусь моделей 1221 и 1522, показано, как за счет использования нового твердосплавного покрытия режущего инструмента достичь значительного экономического эффекта.

В условиях сложившейся экономической ситуации в Республике Беларусь особенно остро встает проблема снижения себестоимости и повышения конкурентоспособности продукции, выпускаемой промышленными предприятиями. Поэтому целесообразно осуществлять поиск новых путей и методов совершенствования технологических процессов с учетом возможностей, предоставляемых новым высокопроизводительным инструментом, оснасткой и оборудованием.

В рамках проводимой научно-исследовательской работы были разработаны методики технико-экономического анализа технологических процессов производства деталей сельскохозяйственной техники и составлены программы в электронном виде, автоматизирующие процесс расчета и построения диаграмм Парето и кумулятивных графиков.

Эти методики могут быть успешно применены как для анализа уже существующих технологических процессов на реальном производстве с целью их улучшения, так и при проектировании новых технологических процессов на предприятиях, в дипломном проектировании или научно-исследовательских работах.

С использованием вышеупомянутого программного обеспечения проведен технико-экономический анализ технологического процесса механической обработки деталей 1221-2407018Б/-01, 1522-2407018/-01 «Рукав» и предложены варианты технологических решений.

Разработанная методика технико-экономического анализа технологических процессов имеет следующий вид.

Этап № 1. Исходная информация по операциям выбранного технологического процесса заносится в электронные таблицы, осуществляющие автоматизированный расчет технико-экономических параметров по заданному алгоритму. Перечень параметров, подлежащих анализу, приведен в таблице 1.

Причем информация по режимам обработки и инструменту собирается отдельно по каждому технологическому переходу и затем объединяется в технологические операции. Анализ может быть произведен как внутри технологической операции по переходам, так и между технологическими операциями внутри технологического процесса.

Таблица 1

Параметры, учитываемые при анализе базовых технологических процессов

№	Объект анализа	Величина	Размерность	Операция №
1	2	3	4	5
1.	Станок			
1.1.		Модель станка и год выпуска		
1.2.		Мощность главного привода	кВт/ч	
1.3.		Дата последней проверки на тех. точность (акт проверки)		
2.	Инструмент с твердосплавными пластинами			
2.1.		Фирма производитель		
2.2.		Пластины напайные или сменные		
2.3.		Наименование державки		
2.4.		Наименование твердосплавных пластин		
2.5.		Количество пластин на инструменте	шт.	
2.6.		Количество рабочих граней на 1-й пластине	шт.	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
3.	Обрабатываемая деталь			
3.1.		Обозначение детали		
3.2.		Марка материала		
3.3.		Состояние поверхности (необработанная или обработанная)		
3.4.		Внутренне или наружное точение		
3.5.		$\varnothing D$ – диаметр обработки	мм	
3.6.		L – длина обработки	мм	
3.9.		Метод получения заготовки (поковка, литье)		
3.10.		Твердость	НВ	
3.11.		Требуемая шероховатость поверхности	Ra	
3.12.		Требуемый класс точности поверхности		
4.	Режимы обработки			
4.1.		a – глубина резания	мм	
4.2.		f – подача	мм/об	
4.3.		n – частота вращения (или)	об/мин	
4.6.		V – скорость обработки (или)	м/мин	
4.4.		T_m – машинное время	мин	
4.5.		\bar{x} – среднестатистическая стойкость 1 грани пластины	мин	

Этап № 2. В зависимости от выбранного параметра (себестоимость, трудозатраты, энергопотребление или съём материала) автоматизированно строятся графики, приведенные на рисунке 1. На графиках технологические операции выстраиваются по степени убывания заданного анализируемого параметра (себестоимость, трудозатраты, энергопотребление или съём материала). Пользователь имеет возможность задать уровень значимости в пределах 70 – 90 % и определить количество операций, составляющих 70 – 90 % от общего объема выбранного технико-экономического параметра.

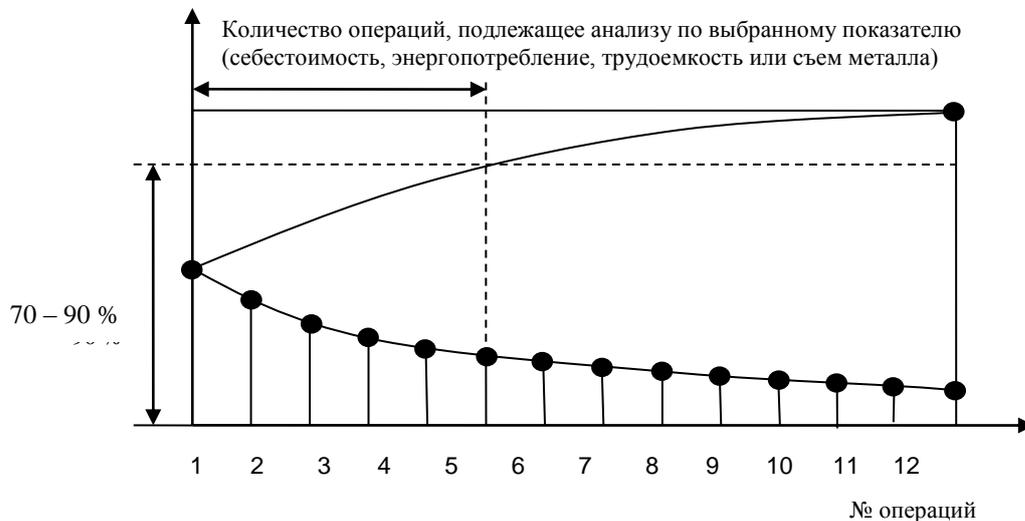


Рис. 1. Техничко-экономический анализ операций технологического процесса по выбранному параметру

Этап № 3. Дальнейший анализ и поиск путей совершенствования технологий ведется только для этих операций с использованием электронных справочников и автоматизированных методик расчета оптимальных режимов резания и методик подбора прогрессивного металлорежущего инструмента, оснастки и оборудования.

Для иллюстрации метода был проведен технико-экономический анализ технологического процесса по двум технико-экономическим показателям: трудоемкости и объему снимаемого металла. В соответствии с требованиями этапа 1 был проанализирован техпроцесс и составлена таблица, соответствующая таблице 1.

На следующем шаге (этап № 2) были построены графики, представленные на рисунках 2 и 3.

На рисунке 2 показан график технико-экономического анализа операций технологического процесса по объему снимаемого металла.

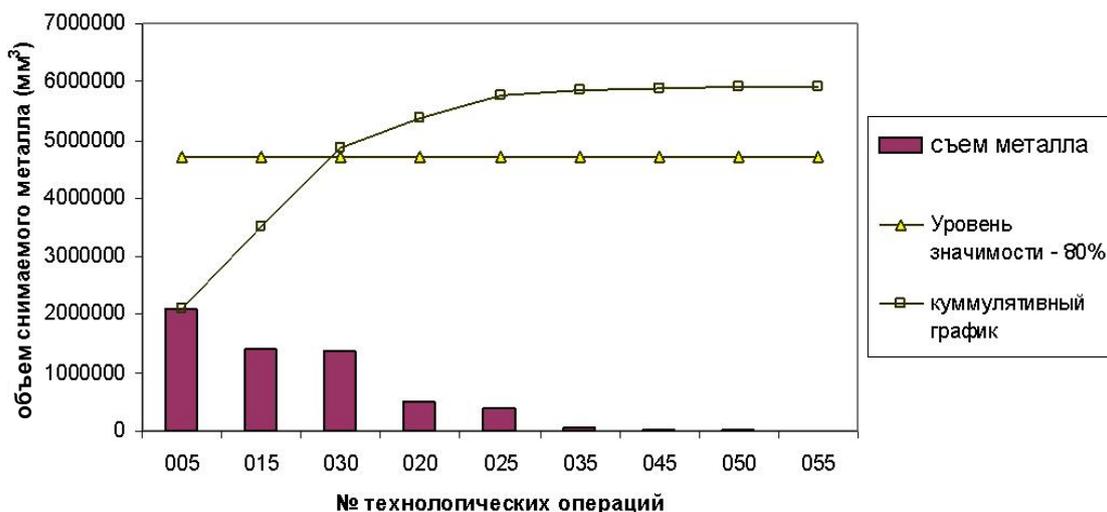


Рис. 2. Техничко-экономический анализ операций технологического процесса по объему снимаемого металла

Из рисунка 2 видно, что две технологические операции 005 и 015 составляют 80 % от общего объема снимаемого металла всего технологического процесса.

Информация по данным операциям приведена в таблице 2.

Таблица 2

Характеристики технологических операций, составляющих 80 % от общего объема снимаемого металла всего технологического процесса

№ технологической операции	Наименование	Оборудование	V, мм³
005	Токарная с ЧПУ	1А734Ф3.Н264-410	2099499
015	Комплексная на ОЦ с ЧПУ	ИР500ПМФ4	1404318

Для выявления факторов, оказывающих наибольшее влияние на объем снимаемого металла, по данному технологическому процессу был проведен более детальный анализ внутри каждой из выделенных технологических операций по технологическим переходам.

На рисунке 3 представлен график технико-экономического анализа операций технологического процесса по трудоемкости.

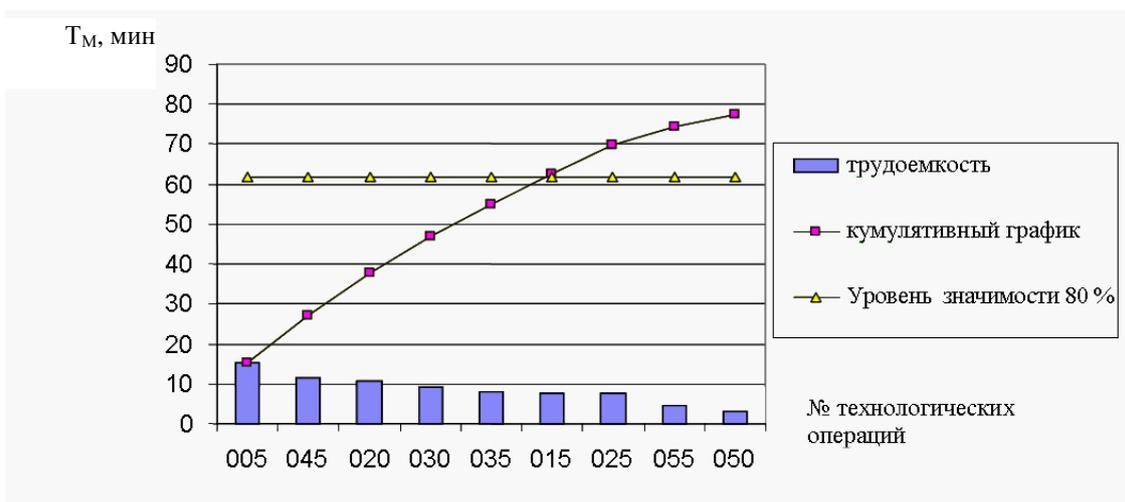


Рис. 3. Техничко-экономический анализ операций технологического процесса по трудоемкости

Из рисунка 3 видно, что 5 технологических операций составляют 80 % трудоемкости всего технологического процесса. Информация по данным операциям приведена в таблице 3.

Таблица 3

Характеристики технологических операций,
составляющих 80 % от трудоемкости всего технологического процесса

№ технологической операции	Наименование	Оборудование	T _м (мин)
005	Токарная с ЧПУ	1A734Ф3.H264-410	15,44
045	Радиально-сверлильная	ОВР 50	11,56
020	Токарная с ЧПУ	1П732РФ3	10,84
030	Токарная с ЧПУ	1A734РФ3.H265	9,23
035	Алмазно-расточная	ОС 2034	7,84

Для выявления факторов, оказывающих наибольшее влияние на трудоемкость технологического процесса, был проведен более детальный анализ внутри каждой из выделенных технологических операций по технологическим переходам.

Наибольший интерес представляет операция 005, так как именно она была выявлена как наиболее нагруженная по двум показателям. Анализ технологической операции 005 показывает, переход 4 является самым нагруженным. Дальнейший анализ и поиск путей совершенствования проводился именно по этому переходу в соответствии с рекомендациями (этап 3).

В рамках данной научно-исследовательской работы был предложен следующий путь: на операции с ЧПУ № 005 (технологический переход № 4) вместо твердосплавной сменной неперетачиваемой пластины CNMA 190616 сплав МК2, производства фирмы Сандвик МКТС, было предложено применить пластину CNMA 190616 сплав СК15М, производства фирмы Сандвик МКТС. Сравнительные испытания проводились с сохранением заданных по технологическому процессу режимов резания и условий обработки. Цель проводимых испытаний – выявить пластины, обладающие наибольшей износостойкостью и произвести анализ экономической эффективности предложенных технологических изменений. В испытаниях в качестве измеряемого параметра была взята стойкость одной режущей кромки сменной неперетачиваемой пластины.

Для подтверждения данных, полученных эмпирическим путем, на следующем этапе исследования был произведен статистический анализ, который позволил подтвердить предположение о том, что такой показатель, как стойкость сравниваемых пластин, подчиняется закону нормального распределения (закону Гаусса), определить среднестатистическое значение \bar{x} стойкости одной грани пластины и с вероятностью 99,73 % определить поле рассеивания стойкости пластин ω .

Исследования проводились на одном станке за межнастроечный период. Режимы и условия обработки оставались постоянными для базовой и предлагаемой пластины. Для расчета была взята выборка из пяти базовых и пяти предлагаемых пластин, каждая из которых имела по четыре режущих кромки. Протокол измерения стойкости базовой и предложенной пластин представлен в таблице 4.

Таблица 4

Протокол измерения стойкости базовой и предложенной пластин

Базовая пластина						Предложенная пластина					
№ пластины	№ кромки	Стойкость режущей кромки	№ пластины	№ кромки	Стойкость режущей кромки	№ пластины	№ кромки	Стойкость режущей кромки	№ пластины	№ кромки	Стойкость режущей кромки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	20	6	1	19	1	1	25	6	1	22
	2	18		2	17		2	23		2	22
	3	20		3	20		3	25		3	22
	4	19		4	21		4	30		4	22
2	1	22	7	5	21	2	1	26	7	1	22
	2	19		6	20		2	27		2	22
	3	17		7	19		3	22		3	22
	4	23		8	23		4	25		4	22

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	1	21	8	9	22	3	1	28	8	1	24
	2	20		10	16		2	28		2	26
	3	20		11	22		3	29		3	26
	4	19		12	21		4	26		4	27
4	1	21	9	13	20	4	1	26	9	1	26
	2	18		14	20		2	25		2	27
	3	18		15	20		3	25		3	24
	4	17		16	18		4	26		4	26
5	1	20	10	17	18	5	1	27	10	1	25
	2	20		18	19		2	27		2	25
	3	24		19	21		3	28		3	23
	4	19		20	20		4	29		4	29

В соответствии с [1, с. 624 – 686] были проведены соответствующие статистические расчеты, представленные ниже. Подсчет частот и статистических характеристик представлен в таблицах 5 и 6.

Таблица 5

Подсчет эмпирических и теоретических частот нормального распределения (базовая пластина)

Интервал	m_i	Y_i	Y_i'	$m_i \times Y_i'$	$m_i \times (Y_i')^2$	t	$\Phi(t)$	F(x)	m_i'	$m_i'^*$
15,5 – 16,5	1	16	-4	-4	16	-2,13264	-0,4778	0,0222	0,888	1
16,5 – 17,5	3	17	-3	-9	27	-1,55625	-0,4357	0,0643	1,684	2
17,5 – 18,5	5	18	-2	-10	20	-0,97986	-0,334	0,166	4,068	4
18,5 – 19,5	7	19	-1	-7	7	-0,40347	-0,1628	0,3372	6,848	7
19,5 – 20,5	12	20	0	0	0	0,172917	0,1255	0,6255	11,532	12
20,5 – 21,5	6	21	1	6	6	0,749308	0,2642	0,7642	5,548	6
21,5 – 22,5	3	22	2	6	12	1,325698	0,3888	0,8888	4,984	5
22,5 – 23,5	2	23	3	6	18	1,902088	0,4608	0,9608	2,88	3
23,5 – 24,5	1	24	4	4	16	2,478479	0,4878	0,9878	1,08	1
Σ	40			8	122					41

Таблица 6

Подсчет эмпирических и теоретических частот нормального распределения (предложенная пластина)

Интервал	m_i	Y_i	Y_i'	$m_i \times Y_i'$	$m_i \times (Y_i')^2$	t	$\Phi(t)$	F(x)	m_i'	$m_i'^*$
21,5 – 22,5	1	22	-4	-4	16	-1,96994	-0,4778	0,0222	0,888	1
22,5 – 23,5	3	23	-3	-9	27	-1,41503	-0,4357	0,0643	1,684	2
23,5 – 24,5	3	24	-2	-6	12	-0,86012	-0,334	0,166	4,068	4
24,5 – 25,5	8	25	-1	-8	8	-0,3052	-0,1628	0,3372	6,848	7
25,5 – 26,5	9	26	0	0	0	0,249711	0,1255	0,6255	11,532	12
26,5 – 27,5	8	27	1	8	8	0,804625	0,291	0,791	6,62	7
27,5 – 28,5	4	28	2	8	16	1,359538	0,3869	0,8869	3,836	4
28,5 – 29,5	3	29	3	9	27	1,914452	0,4332	0,9332	1,852	2
29,5 – 30,5	1	30	4	4	16	2,469366	0,4686	0,9686	1,416	1
Σ	40			2	130					40

m_i – частоты в каждом из интервалов; Y_i – середина соответствующего интервала; $Y_i' = (Y_i - Y_0) / h$, при этом Y_0 – новое начало отсчета, за которое принимается середина интервала, имеющего наибольшую частоту; $m_i \times Y_i'$ – момент первого порядка; $m_i \times (Y_i')^2$ – момент второго порядка.

Среднее значение стойкости пластин, определялось по формуле (1):

$$\bar{x} = y_0 - h \frac{\sum m_i y_i}{\sum m_i} \quad (1)$$

и для базовой пластины составило:

$$\bar{x}_{\text{баз}} = 20,20 (\approx 2 \text{ детали на одну режущую кромку пластины}),$$

а для проектной пластины:

$$\bar{x}_{\text{проект}} = 26,05 (\approx 26 \text{ детали на одну режущую кромку пластины}).$$

Среднее квадратичное отклонение параметра стойкости определялось по формуле (2):

$$s = h \sqrt{\frac{\sum m_i y_i^2}{\sum m_i} - \left(\frac{\sum m_i y_i}{\sum m_i}\right)^2} \quad (2)$$

Поле рассеивания стойкости пластин с вероятностью в пределах 99,73 % для нормального распределения определяется по формуле $\omega = 6s$ и для базовой пластины составило:

$$\omega_{\text{баз}} = 6 \cdot 1,73 = 10,38 (\approx 10 \text{ детали на одну режущую кромку пластины}),$$

а для проектной пластины:

$$\omega_{\text{проект}} = 6 \cdot 1,8 = 10,8 (\approx 11 \text{ детали на одну режущую кромку пластины}).$$

Для построения кривой нормального распределения были рассчитаны теоретические частоты нормального распределения при помощи функции $\Phi(t)$.

$$t = \frac{x_{\text{нб}} - \bar{x}}{s},$$

где $x_{\text{нб}}$ – наибольшее значение данного интервала; \bar{x} и s – среднее значение и среднеквадратическое отклонение соответственно.

Затем определены значения функции Лапласа, по которым для каждого интервала подсчитана интегральная функция

$$F(t) = 0,5 + \Phi(t)$$

По $F(t)$ теоретические частоты:

$$m_1 = F(t)n;$$

$$m_2 = [F(t) - F(t)]n \text{ и т.д.}$$

Далее были сопоставлены эмпирическое распределение, предположительно принятое как нормальное, с теоретическим. Для этого в одних и тех же координатах были построены эмпирический полигон и кривая нормального распределения (рис. 4 и 5). Это дало возможность судить о степени совпадения эмпирического распределения с теоретическим.

Для количественного сопоставления эмпирического и теоретического распределений был использован критерий согласия χ^2 Пирсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^z \frac{(m_i - m_i')^2}{m_i'}$$

где z – число сравниваемых частостей; m_i и m_i' – эмпирическая и теоретическая частоты в i -том интервале.

Область допустимых значений критерия Пирсона или область принятия гипотезы характеризуется неравенством:

$$\chi_{\text{набл}}^2 < \chi_{\text{кр}}^2(\alpha, k),$$

где $\chi_{\text{набл}}^2$ – значение критерия, вычисленное по данным наблюдения; $\chi_{\text{кр}}^2(\alpha, k)$ – критические значения критерия при заданных α и k ; α – уровень значимости, в технике обычно 0,05.



Рис. 4. Эмпирический полигон и кривая нормального распределения для исходной пластины

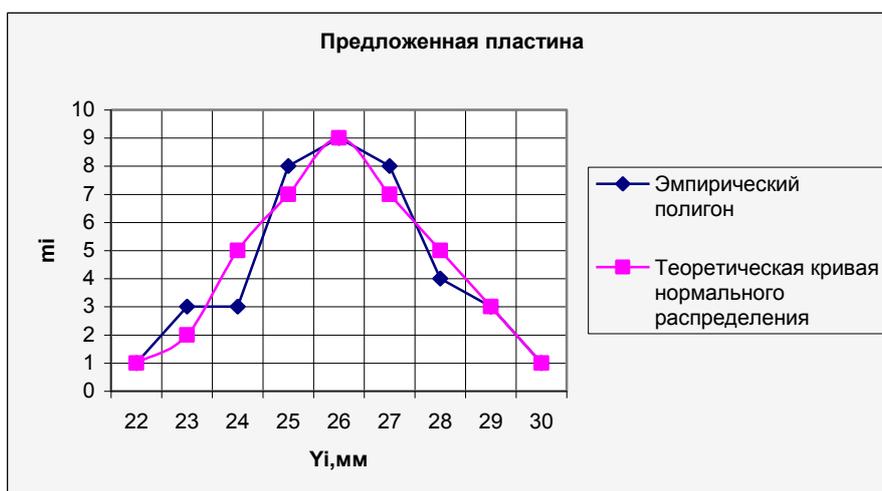


Рис. 5. Эмпирический полигон и кривая нормального распределения для предложенной пластины

Для проводимого расчета $\chi^2_{кр}(0,05; 2) = 6,0$. Так как для исходной пластины $0,857 < 6,0$ и для предложенной пластины $0,379 < 6,0$, то можно утверждать, что распределение параметров стойкости пластин, проверенное по критерию Пирсона, соответствует нормальному закону распределения.

Кроме того, была произведена проверка соответствия статистических данных нормальному закону распределения и по критерию Романовского:

$$A = \frac{|\chi^2 - k|}{\sqrt{2 \cdot k}}$$

Если $A < 3$, то гипотеза принимается. Если $A \geq 3$, гипотеза отвергается. В данном случае $A = 0,571$ для исходной пластины и $A = 0,811$ для предложенной пластины, следовательно, эмпирическое распределение соответствует нормальному закону.

Суммарные значения технико-экономического анализа эффективности предложенных технологических изменений представлены в таблице 7.

Таблица 7

Сравнительные показатели экономической эффективности предложенных изменений технологии

№	Наименование показателей	Значение	Размерность
1.	Ранее используемые пластины CNMA 190616 сплав MT2, производства фирмы Сандвик		
1.1.	Среднестатистическое значение стойкости одной режущей кромки, $\bar{x}_{баз}$	20	Деталей на 1 режущую кромку пластины
1.2.	Поле рассеивания среднестатистического значения стойкости одной режущей кромки $\omega_{баз} = 6 \cdot 1,73 = 10,38 \approx 10$	± 5	Деталей на 1 режущую кромку пластины
1.3.	Количество режущих кромок	4	шт.
1.4.	Стойкость пластины	$20 \times 4 = 80$	Деталей на 1 пластину
1.5.	Норма расхода пластин на обработку 1000 деталей	97,54	шт.
2.	Предложенные пластины CNMA 190616 сплав СК15М, производства фирмы Сандвик		
2.1.	Среднестатистическое значение стойкости одной режущей кромки, $\bar{x}_{проект}$	26	Деталей на 1 режущую кромку пластины
2.2.	Поле рассеивания среднестатистического значения стойкости одной режущей кромки $\omega_{баз} = 6 \cdot 1,8 = 10,8$	$\pm 5,4$	Деталей на 1 режущую кромку пластины
2.3.	Количество режущих кромок	4	шт.
2.4.	Стойкость пластины	$26 \times 4 = 104$	Деталей на 1 пластину
3.	План выпуска деталей на 2005 год (рукав полуоси правый 1221 – 2407018Б/-01, 1522-2407018/-01)	12250,0	шт./год

Проведенные сравнительные стойкостные испытания были подтверждены соответствующими актами внедрения и показали, что не смотря на некоторое увеличение стоимости предложенной пластины по отношению к ранее используемой, за счет правильного подбора нового износостойкого покрытия предлагаемой твердосплавной пластины были достигнуты следующие суммарные экономические показатели предложенных изменений в технологического процесса изготовления деталей: рукав полуоси правый 1221 – 2407018Б/-01, 1522-2407018/-01:

- 1) стойкость предложенных пластин увеличилась на 30 % по сравнению с ранее используемыми пластинами (соответственно произошло снижение нормы расхода пластин на обработку 1000 деталей на 30 %);
- 2) количество сэкономленных пластин за 2005 год при переходе на новый сплав составило 367 шт.;
- 3) снижение затрат на пластины в 2005 год при переходе на новый сплав составило 19,5 %;
- 4) годовой экономический эффект от предложенных изменений составил 4557157 (четыре миллиона пятьсот пятьдесят семь тысяч сто пятьдесят семь) рублей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование технологических процессов в машиностроении: Учеб. пособие для вузов / И.П. Филонов, Г.Я. Беляев, Л.М. Кожуро и др.; Под общ. ред. И.П. Филонова. – Мн.: Технопринт, 2003. – 910 с.