

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРАЦИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Курч Л.В., Варварина И.А.

The method of technical-economical analyses of manufacturing processes according criteria's cost price, energy cost, men-hour, material capacity in this work are presented and adapted at manufacturing processes of part "Rukav" of "Belarus" tractor 1221 and 1522. In this article it was shown how to reach the large economical effect.

В условиях современной рыночной экономики, на рельсы которой уверенно перешла Республика Беларусь, остро встаёт проблема снижения себестоимости и повышения конкурентоспособности продукции, выпускаемой промышленными предприятиями. Поэтому целесообразно осуществлять поиск новых путей и методов совершенствования технологических процессов с учетом возможностей высокопроизводительного инструмента, оснастки и оборудования.

Учитывая тенденции развития машиностроения и стремление к объединению и компьютеризации всех этапов производства, повышенные требования к качеству современных изделий. В рамках теории CALS при помощи простейших аппаратных средств (Microsoft Excel) 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.

Методика доступна широкому кругу пользователей, так как выполнена при помощи широко известного и повсеместно применяемого программного продукта. Благодаря этому нет необходимости знакомиться с более тяжеловесными и сложными пакетами инженерного проектирования, а тем более устанавливать дорогостоящие модули на применяемые компьютеры.

С использованием вышеупомянутого программного обеспечения, для подтверждения эффективности предложенного алгоритма, проведен технико-экономический 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:

На первом этапе исходная информация по операциям выбранного технологического процесса заносится в электронные таблицы, осуществляющие автоматизированный расчет технико-экономических параметров по заданному алгоритму.

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.

На втором этапе в зависимости от выбранного параметра: себестоимость, трудозатраты, энергопотребление или съем материала автоматизировано строятся графики, приведенные на рис. 1. На данных графиках технологические операции выстраиваются по степени убывания заданного анализируемого параметра (себестоимость, трудозатраты, энергопотребление или съем материала). Пользователь имеет возможность задать уровень значимо-

сти в пределах 70-90% и определить количество операций, составляющих 70-90% от общего объема выбранного технико-экономического параметра.

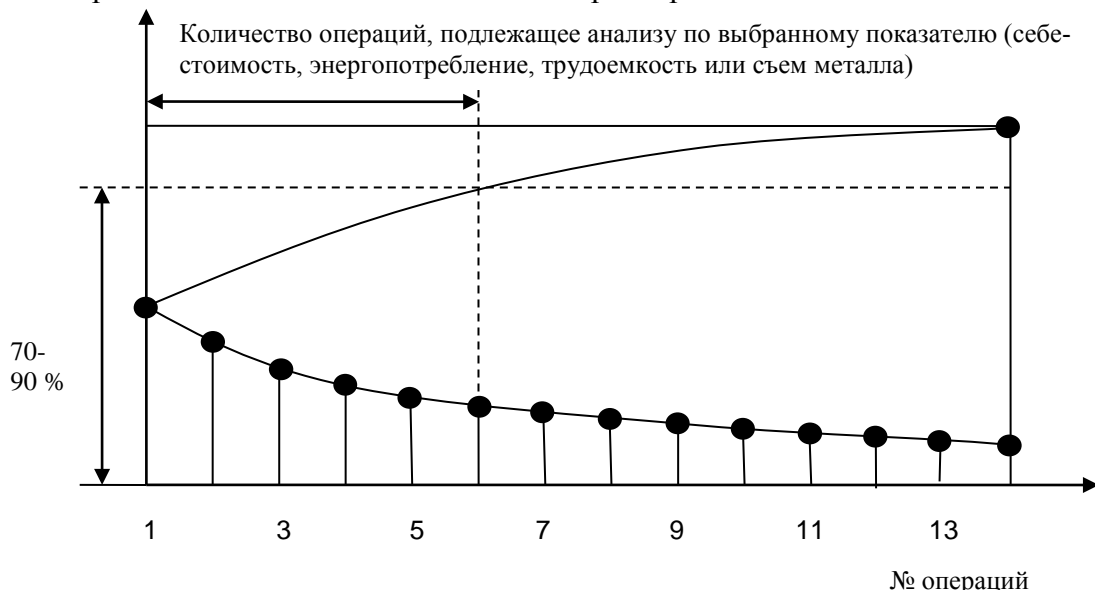


Рис. 1. Последовательность операций механической обработки, построенная в порядке убывания их по выбранному технико-экономическому параметру (себестоимость, энергопотребление, трудоемкость или съём металла)

На третьем этапе ведется дальнейший анализ и поиск путей совершенствования технологий, но только для этих операций с использованием электронных справочников и автоматизированных методик расчета оптимальных режимов резания и методик подбора прогрессивного металлорежущего инструмента, оснастки и оборудования.

Особенно эффективным на данном этапе является применение экспертных систем, автоматизированных справочников, нейронных сетей.

Для иллюстрации метода был проведен технико-экономический анализ технологического процесса по двум технико-экономическим показателям - трудоемкость и объем снимаемого металла. В соответствии с требованиями этапа 1 был проанализирован техпроцесс и составлена таблица.

На следующем шаге (этап 2) были построены графики, приведенный на рис.2 и рис.3. На рис. 2 представлен график технико-экономического анализа операций технологического процесса по объему снимаемого металла.

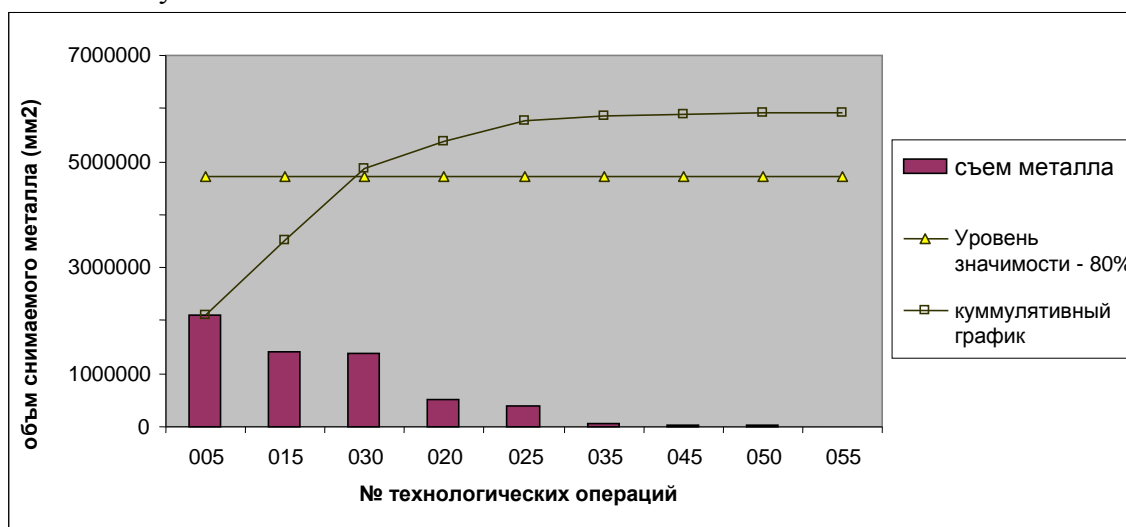


Рис. 2. Результаты технико-экономического анализа операций технологического процесса, построенных в порядке убывания объема снимаемого металла

Из рис. 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 1.

Таблица 1

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

№ п/п	№ технологической операции	Наименование	Оборудование	V (мм ³)
1	005	Токарная с ЧПУ	1А734Ф3.Н264-410	2099499
2	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 рис. 3 представлен график технико-экономического анализа операций технологического процесса по трудоемкости.

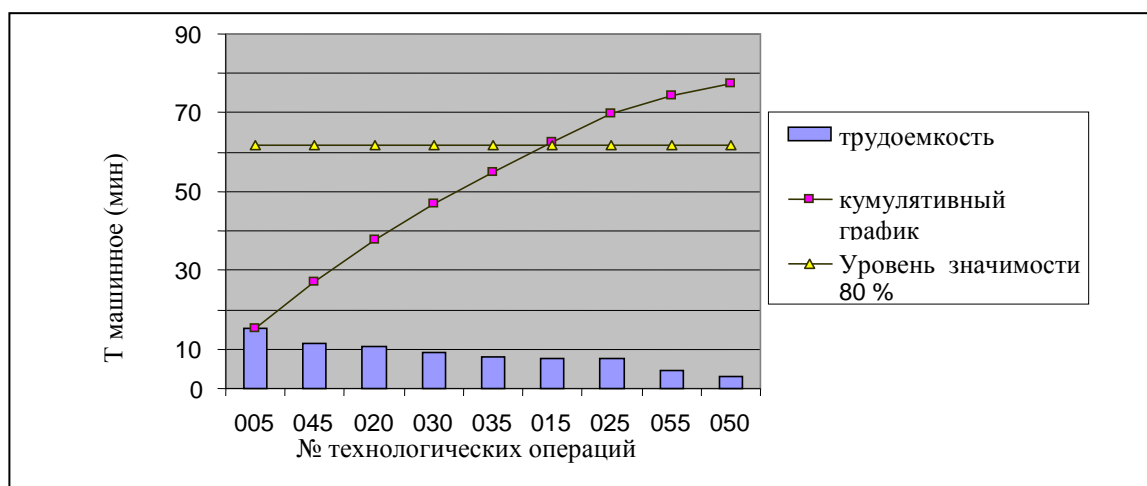


Рис. 3. Результаты технико-экономического анализа операций технологического процесса, построенных в порядке убывания их трудоемкости

Из рис. 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

п/п	№ технологической операции	Наименование	Оборудование	Т м (мин)
	005	Токарная с ЧПУ	1А734Ф3.Н264-410	15, 44
	045	Радиально-сверлильная	ОВР 50	11, 56
	020	Токарная с ЧПУ	1П732РФ3	10, 84
	030	Токарная с ЧПУ	1А734РФ3.Н265	9,2 3

	035	Алмазно-расточная	ОС 2034	7,8 4
--	-----	-------------------	---------	----------

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 поиск путей совершенствования проводился именно по этому переходу в соответствии с рекомендациями (этап 3).

В рамках данной работы был предложен следующий путь: на операции с ЧПУ №005, технологический переход № 4 вместо твердосплавной сменной неперетачиваемой пластины (СНП) SNMA 190616 сплав МК2, производства фирмы Сандвик МКТС, было предложено применить СНП SNMA 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 СНП, обладающие наибольшей износостойкостью и произвести анализ экономической эффективности предложенных технологических изменений. В испытаниях в качестве измеряемого параметра была взята стойкость одной режущей кромки СНП.

В основе используемого базового сплава МК2 – марка без износостойкого покрытия для полустового точения и черновой обработки серого и ковкого чугуна, жаропрочных и титановых сплавов в условиях высоких скоростей резания и температур при легких и умеренных нагрузках на режущую кромку, обладает средним и увеличенным сечением среза.

Предложенная СНП сплава СК15М имеет основу с высокой твердостью и износостойкостью. Покрытие СНП МТ-CVD типа TiCN-Al₂O₃. В качестве первого слоя используется карбонитрид титана TiCN, который обладает хорошей износостойкостью и твердостью, хорошо работает на задней поверхности СНП. Пластина с использованием сплава СК15М работает при точения чугуна в условиях высоких скоростей резания и температур при более высоких нагрузках на режущую кромку, чем при использовании сплава МК2. Слой оксида алюминия Al₂O₃ сохраняет твердость и химическую инертность при высоких температурах. Этот слой обеспечивает прекрасную износостойкость, особенно стойкость к абразивному износу и окислению при обработке стали или чугуна. Область применения описываемых СНП проиллюстрирован в таблице 4.

Таблица 4

Область применения базовой и предлагаемой СНП по классификации ИСО и АНСИ

Коды		Сплавы с покрытиями	Сплавы без покрытия
ИСО	АНСИ		
01	C4	 СК15М	 МК2
10	C3		
20	C2		
30	C1		

На следующем этапе исследования был произведен статистический анализ, который позволил подтвердить предположение о том, что такой показатель как стойкость сравниваемых СНП, подчиняется закону нормального распределения (закону Гаусса), и 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 четырех базовых и четырех предлагаемых СНП, каждая из которых имела по четыре режущих кромки.

С учетом всех справочных рекомендаций проанализируем факторы и процессы, происходящие в системе СПИЗ при резании, то есть проведем так называемый многофакторный анализ, который основывается на выражении

$$y_j = \varphi_j (x_1, x_2, \dots, x_k, x_1 * x_2, x_2 * x_3, \dots) \quad (1)$$

Функцией отклика в данном случае является стойкость СНП. В качестве факторов можно рассматривать вид пластин (треугольная, ромб, квадрат и т.п.), сплав, радиус при вершине резца. При статистическом моделировании вслед за постановкой задачи производится отсеивание наименее важных факторов из большого количества входных переменных, влияющих на ход процесса. Количество входных и выходных параметров модели по возможности уменьшают, чтобы сократить затраты на эксперимент и обработку данных. В качестве определяющих выбрали два фактора: сплав и радиус при вершине резца. В этом случае получили двухфакторный эксперимент.

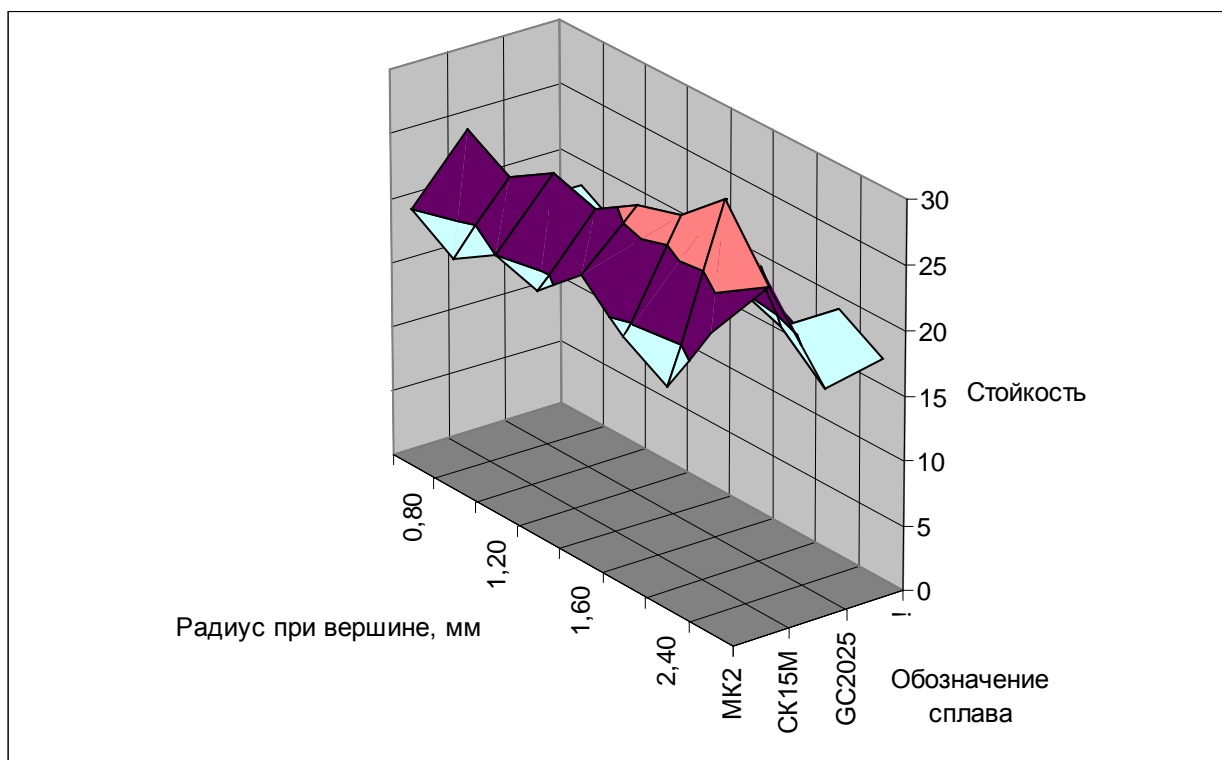


Рис. 4. Зависимость стойкости пластины от вида сплава и радиуса при вершине инструмента

Наиболее часто используется полиномиальная форма модели. Так, для квадратичной функции:

$$Y_n = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i,j=1, i \neq j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2; \quad (2)$$

Где b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} - коэффициенты регрессии.

На основе результатов проведенных экспериментов вычисляют коэффициенты регрессии и оценивают их статистическую значимость, чем завершается построение модели.

Полный факторный эксперимент в данном случае получается при реализации всех возможных комбинаций уровней факторов между собой. Ограничились двумя факторами (пластины сплава МК2, СК15М) на четырех уровнях (R при вершине резца 0,8; 1,2; 1,6; 2,4). Для реализации полного факторного эксперимента потребовалось $m=4^2=16$ опытов.

Для облегчения задачи подсчета коэффициентов регрессии воспользуемся автоматизированной программой расчета «Исследование методом ПФЭ», которая вычисляет коэффициенты регрессии, путем последовательного расчета средних значений факторов, дисперсий и коэффициента Кохрена.

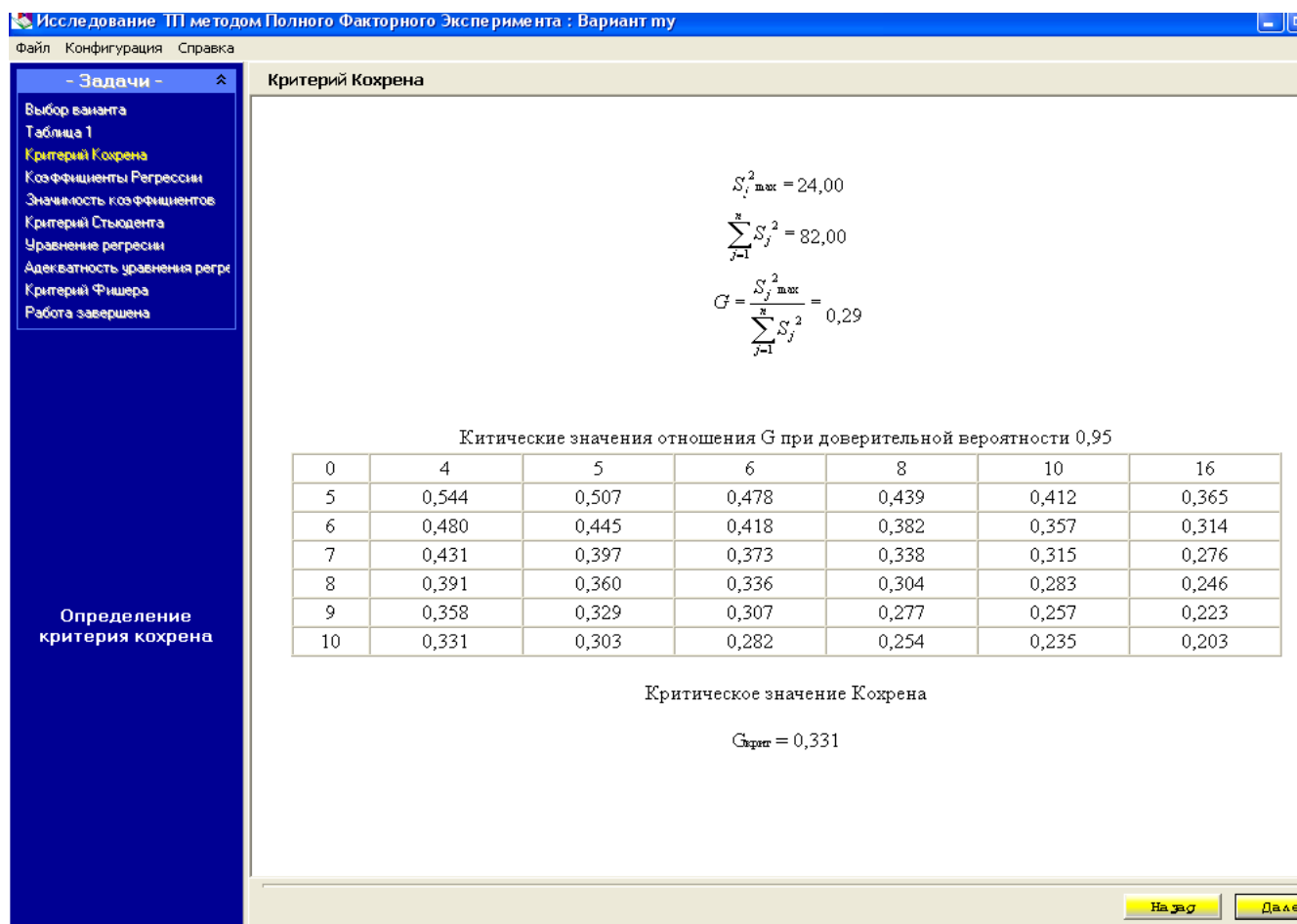


Рис.5. Определение коэффициента Кохрена при помощи автоматизированной программы расчета «Исследование методом ПФЭ»

После определения коэффициентов проверяется, с помощью критерия Стьюдента, гипотеза о значимости коэффициентов регрессии в конечном итоге получили уравнение

$$Y = 7,45 - 10,25 \cdot X_3 + 1,75 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1,75 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \quad (3)$$

На последнем этапе при помощи критерия Фишера определили адекватность уравнения регрессии.

В соответствии с [1, с.624-686] были проведены статистические расчеты, представленные ниже.

5. Протокол измерения стойкости базовой и предложенной СНП представлен в таблице

Таблица 5

Таблица результатов измерений стойкости базовой и предложенной СНП

Базовая СНП						Предложенная СНП					
№ пла- стины	№ кромки	Стойкость режущей кромки	№ пла- стины	№ кромки	Стойкость режущей кромки	№ пла- стины	№ кромки	Стойкость режущей кромки	№ пла- стины	№ кромки	Стойкость режущей кромки
1	1	20	6	1	19	1	1	25	6	1	27
	2	18		2	17		2	23		2	24
	3	20		3	20		3	25		3	26
	4	19		4	21		4	30		4	27
2	1	22	7	5	21	2	1	26	7	1	23
	2	19		6	20		2	27		2	25
	3	17		7	19		3	22		3	27
	4	23		8	23		4	25		4	28
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

Подсчет частот и статистических характеристик представлен в таблицах 6 и 7.

Таблица 6

Результаты расчета эмпирических и теоретических частот нормального распределения (базовая СНП)

Интервал	m_i	Y_i	Y_i'	$m_i * Y_i'$	$m_i * (Y_i')^2$	t	$\Phi(t)$	$F(x)$	m_i'	$m_i'^*$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
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 -	1	24	4	4	16	2,478479	0,4878	0,9878	1,08	1
Σ	40			8	122					41

Таблица 7

Результаты расчета эмпирических и теоретических частот нормального распределения
(предложенная СНП)

Интервал	m_i	Y_i	Y_i'	$m_i \cdot Y_i'$	$m_i \cdot (Y_i')^2$	t	$\Phi(t)$	$F(x)$	m_i'	m_i''
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
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

где 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; $m_i \cdot Y_i'$ – момент первого порядка; $m_i \cdot (Y_i')^2$ – момент второго порядка.

Среднее значение стойкости СНП, определялось по формуле (4):

$$\bar{x} = y_0 - h \frac{\sum m_i y_i'}{\sum m_i} \quad 4)$$

и для базовой СНП составило:

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

а для проектной СНП:

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

Среднее квадратичное отклонение параметра стойкости определялось по формуле (5):

$$s = h \cdot \sqrt{\frac{\sum m_i \cdot y_i^2}{\sum m_i} - \left(\frac{\sum m_i \cdot y_i}{\sum m_i}\right)^2} \quad 5)$$

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

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

а для проектной пластины:

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

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 средне-квадратическое отклонение.

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

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

По $F(t)$ теоретические частоты:

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

$$m_2' = [F(t) - F(t)] \cdot n \text{ и т.д.}$$

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.6 и 7). Это дало возможность судить о степени совпадения эмпирического распределения с теоретическим.

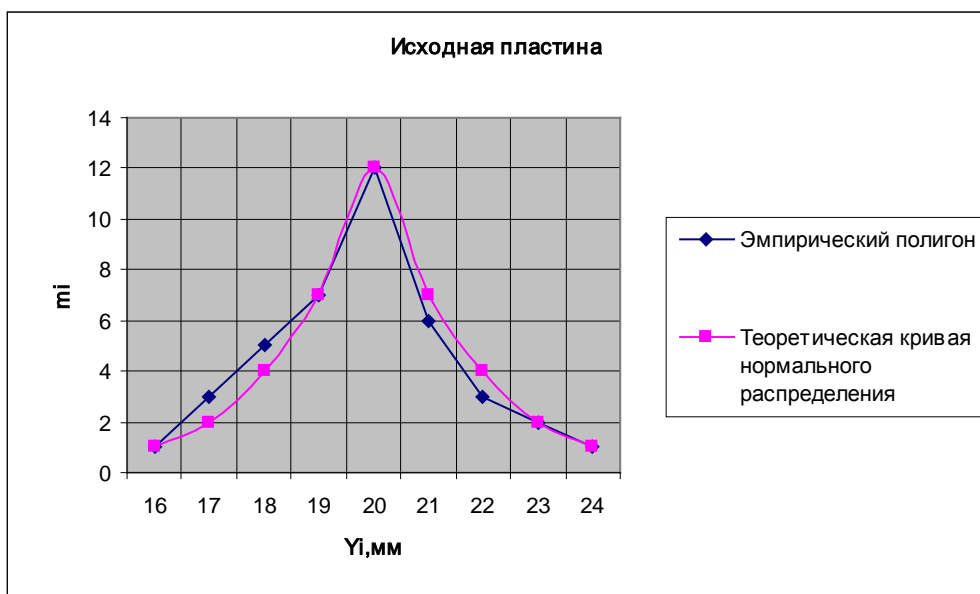


Рис.6 – Эмпирический полигон и кривая нормального распределения параметра стойкости для исходной СНП

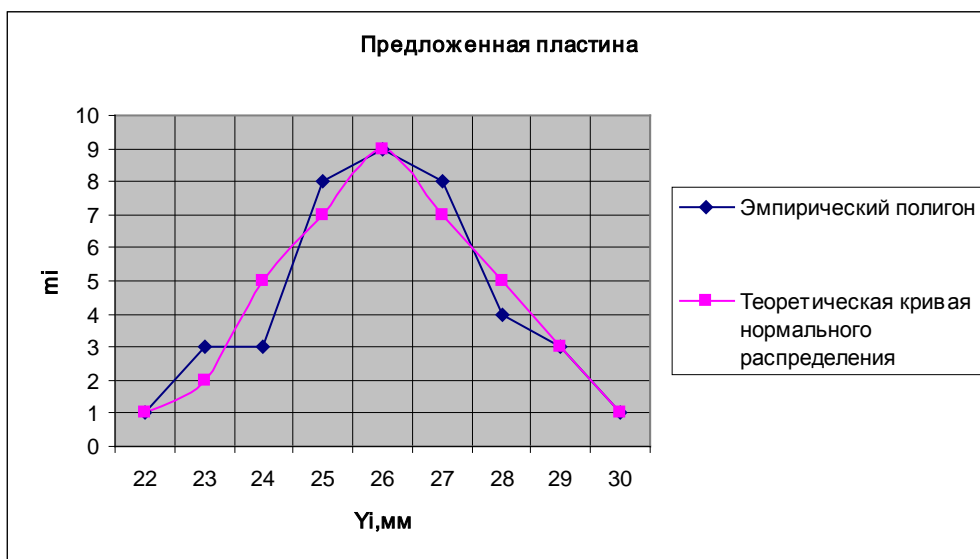


Рис.7 – Эмпирический полигон и кривая нормального распределения параметра стойкости для предложенной СНП

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 частости в i -м 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.

Для проводимого расчета $\chi_{\text{кр}}^2(0,05, 2) = 6,0$. 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 СНП и $A = 0,811$ для предложенной СНП, следовательно эмпирическое распределение соответствует нормальному закону.

Суммарные значения технико-экономического анализа эффективности предложенных технологических изменений представлены в таблице 9

Таблица 9

Сравнительные показатели экономической эффективности предложенных изменений технологии

№	Наименование показателей	Значение	Размерность
Ранее используемые СНП CNMA 190616 сплав MT2, производства фирмы Сандвик			
1.1	Среднестатистическое значение стойкости одной режущей кромки, $\bar{x}_{\text{баз}}$	20	деталей на 1 реж.кромку пластины
1.2	Поле рассеивания среднестатистического значения стойкости одной режущей кромки $\omega_{\text{баз}} = 6 * 1,73 = 10,38 \approx 10$	± 5	деталей на 1 реж.кромку пластины
1.3	Количество режущих кромок	4	шт.
1.4	Стойкость СНП	$20 * 4 = 80$	деталей на 1 пластину
1.5	Норма расхода пластин на обработку 1000 деталей	97,54	шт.
Предложенные СНП CNMA 190616 сплав SK15M, производства фирмы Сандвик			

Продолжение таблицы 9

2.1	Среднестатистическое значение стойкости одной режущей кромки, $\bar{x}_{\text{проект}}$	26	деталей на 1 реж.кромку пластины
2.2	Поле рассеивания среднестатистического значения стойкости одной режущей кромки $\omega_{\text{баз}} = 6 * 1,8 = 10,8$	$\pm 5,4$	деталей на 1 реж.кромку пластины
2.3	Количество режущих кромок	4	шт.
2.4	Стойкость СНП	$26 * 4 = 104$	деталей на 1 пластину
3	План выпуска деталей на 2005 г. (рукав полуоси правый 1221 – 2407018Б/-01, 1522-2407018/-01)	12250,0	шт./год

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

- Стойкость предложенных СНП увеличилась на 30 % по сравнению с ранее используемыми пластинами, (соответственно произошло снижение нормы расхода СНП на обработку 1000 деталей на 30%).

- Количество сэкономленных СНП за 2005 г. при переходе на новый сплав составило 367 шт.

- Снижение затрат на СНП в 2005 г. при переходе на новый сплав составило 19,5%.

- Годовой экономический эффект от предложенных изменений составил:

4 557 157 (четыре миллиона пятьсот пятьдесят семь тысяч сто пятьдесят семь) рублей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование технологических процессов в машиностроении: Учебное пособие для вузов/И.П.Филонов, Г.Я.Беляев, Л.М.Кожуро и др.; Под общ. ред.И.П.Филонова; +CD.- Мн.: УП "Технопринт", 2003. - 910 с.
2. Технологичность конструкции изделия: Справочник/ Ю.Д.Амиров, Т.К.Алферова, П.Н.Волков и др. – 2-е изд., перераб. и доп.-М.: Машиностроение, 1990.- с.12-21.