

УДК 658.58; 658.523

Н.С. Масляков, ведущий инженер, **М.С. Островский**, д.т.н. проф.,
Национальный исследовательский технологический университет
«МИСиС»

n.s.maslyakov@gmail.com, kaftmr@mail.ru

Методика комплексной оценки качества изготовления деталей в процессах их обработки на универсальных станках.

В статье описана методика комплексной оценки уровня качества изготовления деталей на универсальных станках, учитывающая точность геометрических размеров и время обработки. Приведён пример реализации данной методики для оперативного контроля качества с применением интерактивной компьютерной системы управления.

***Ключевые слова:** оценка качества, интерактивная компьютерная система управления, универсальные станки, ПроЭмулятор, активный контроль.*

N.S. Maslyakov, M.S. Ostrovskiy

Technique of a comprehensive assessment of quality of manufacture of a detail during of its machining on the versatile machine tools

In the article is described the technique of a comprehensive assessment of quality machining of details on the versatile machine tools. This technique considers the accuracy of the geometrical sizes and time of machining. Example of realization of the technique has been considered for a assessment of quality with application of an interactive computer control system.

***Key words:** assessment of quality, interactive computer control system, versatile machine tools, ProEmulator, in-process application.*

Надёжность эксплуатации горных машин зависит от множества факторов. Одним из важных таких факторов является качество применяемых при ремонте запасных частей. В процессе производства запасных частей возникают большое количество случайных факторов, влияющий на качество технологии их изготовления. После изготовления каждая запасная часть имеет свой уровень качества, который зависит от эффективности применяемой технологии производства и качества её реализации. Имея возможность комплексно оценить уровень качества изготовления можно с одной стороны точно установить степень соответствия качества каждой конкретной запасной части, теоретическим

требованиям, с другой стороны сформировать требования к технологическим условиям их изготовления.

Для оценки эффективности выполнения каждого конкретного технологического процесса изготовления детали удобно ввести комплексный показатель уровня качества, который учитывает следующие технологические параметры, полученные фактически в результате обработки детали: точность изготовления геометрических размеров детали и длительность выполнения технологических переходов.

Уровень качества выполнения технологического процесса оценивает степень соответствия совокупности полученных после обработки размеров детали требованиям чертежа и длительности выполнения технологических переходов установленным нормативам времени, определяющим их максимальную и минимальную длительность. Для оценки уровня качества в процессе изготовления деталей на универсальных станках удобно воспользоваться методом без экспертной оценки качества изготовления деталей, разработанную на кафедре «Технология машиностроения и ремонт горных машин» Московского государственного горного университета профессором Г. И. Солодом.

С учётом особенностей метода безэкспертной оценки уровня качества изготовления деталей и принципа обработки деталей на универсальных станках, модернизированной интерактивной компьютерной системой управления ИКСУ «ПроЭмулятор» разработана методика комплексной оценки уровня качества изготовления детали, имеющая следующий алгоритм:

1. *Формирование базовых нормативов технологических показателей, относительно которых будет выполняться оценка фактических технологических показателей, получаемых при обработке детали и которые включают в себя:*
 - 1.1. *Значения координат границ полей допусков поверхностей обрабатываемой детали в соответствии с её чертежом;*
 - 1.2. *Нормативы времени по выполнению технологических переходов при изготовлении детали, полученные либо расчётными методами, либо по укрупнённым нормативам.*
2. *Наладка станка на обработку детали (установка приспособлений, набора инструментов и заготовки, программная наладка ИКСУ «ПроЭмулятор», привязка заготовки и инструментов).*
3. *Включение программного счётчика времени и оперативного контроля фактического размера виртуально-обрабатываемой модели заготовки после начала выполнения технологического процесса.*
4. *По мере выполнения технологических переходов при обработке поверхностей детали фиксация в базе фактических значений и оценка единичных показателей качества по контролируемым параметрам:*
 - 4.1. *Точности геометрических размеров поверхностей деталей.*

Для того чтобы оценить уровень качества изготовления всей детали по параметру точности вводятся *единичные показатели уровня качества по точности* k_{iIT} . Показатель k_{iIT} для i -й обработанной поверхности, размер которой оценивается параметром P_i , вычисляется по формулам (1) – (3) в соответствии с расчётными схемами (см. Рисунок 1.). Если поверхность входящая в соединение образует зазор или натяг то в схемах левая часть относится к охватывающим, а правая к охватываемым.

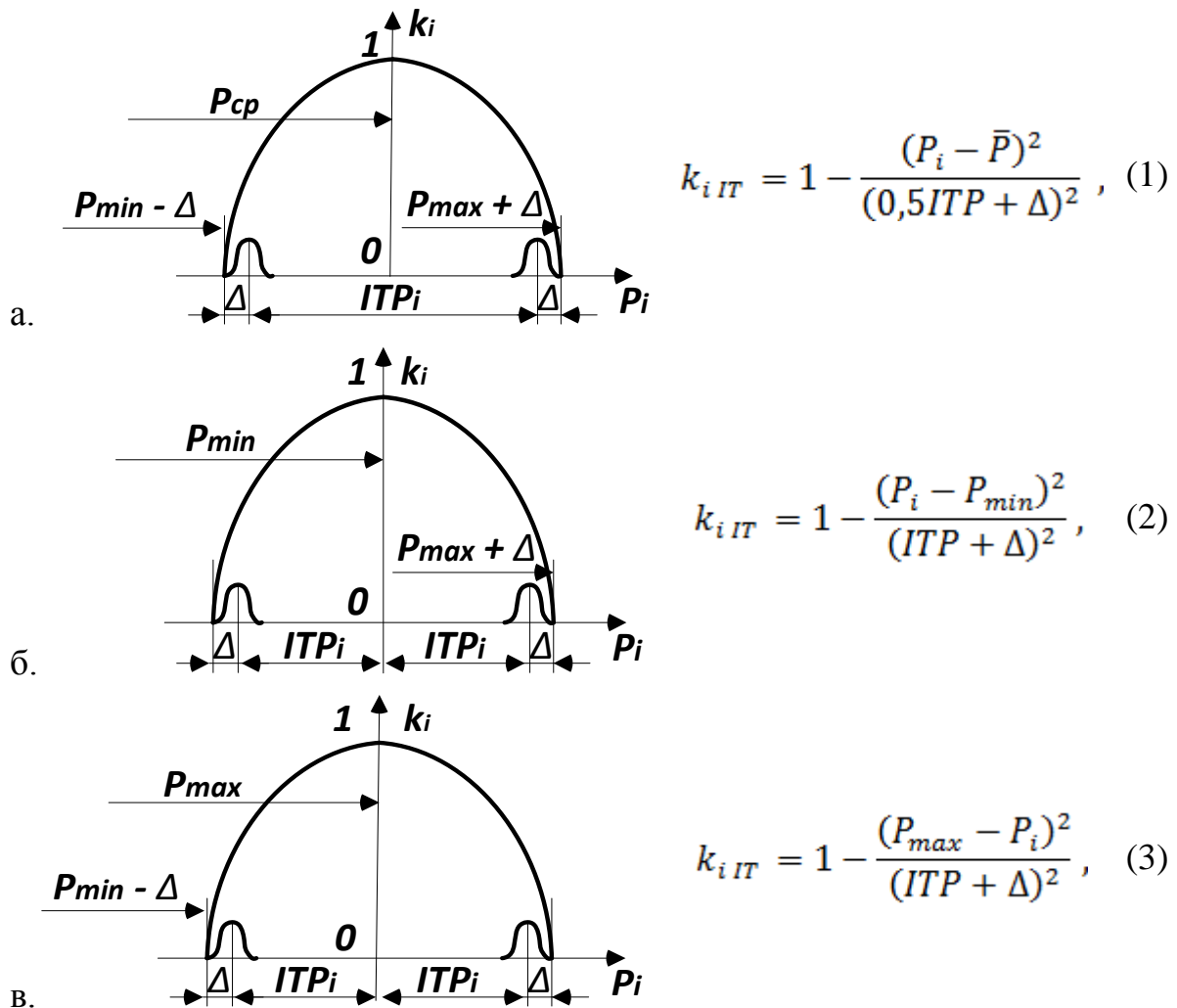
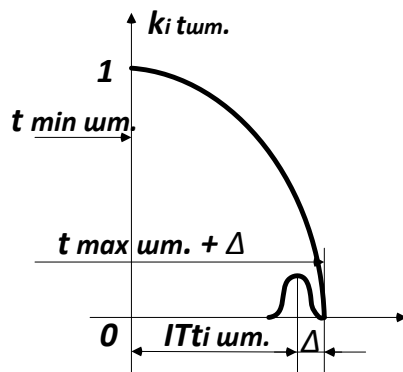


Рис. 1. Расчётные схемы для определения уровней качества изготовления по параметру точности геометрических размеров: а – свободных поверхностей; б – поверхностей, образующих при сборке соединение с зазором; в – поверхностей, образующих при сборке соединение с натягом

где ITP – допуск на i -й параметр; \bar{P} , P_{min} и P_{max} – среднее, минимальное и максимальное значение i -го параметра; P_i – действительное значение параметра, полученное в технологическом процессе; Δ – абсолютная погрешность измерения.

4.2. Штучному времени выполнения технологических переходов.

Следующий показатель, который стоит включить в оценку качества изготовления детали является *штучное время*. *Единичный уровень качества по времени* $k_{i\text{шт.}}$ обработки i -й поверхности, который оценивается параметром t_i , вычисляется по формуле (4) в соответствии со схемой (см. Рис. 2.)



$$\begin{cases} k_{i\text{шт.}} = 1 - \frac{(t_{i\text{шт.}} - t_{\min\text{шт.}})^2}{(ITt_{\text{шт.}} + \Delta)^2} \\ t_{\min\text{шт.}} \leq t_{i\text{шт.}} \leq t_{\max\text{шт.}} \end{cases} \quad (4)$$

Рис. 2. Расчётная схема для определения уровней качества по параметру штучного времени выполнения перехода

где $ITt_{\text{шт.}} = t_{\max\text{шт.}} - t_{\min\text{шт.}}$ – допуск на i -е штучное время; $t_{i\text{шт.}}$ – действительное значение штучного времени, полученное в технологическом процессе; $t_{\min\text{шт.}}$ и $t_{\max\text{шт.}}$ – минимальное и максимальное значения i -го штучного времени в технологическом процессе при соблюдении регламента; Δ – абсолютная погрешность измерения. Единичный показатель качества по времени рассчитывается для каждого технологического перехода.

При расчёте уровня качества за $t_{\min\text{шт.}}$ принято $t_{\text{шт.}}$ выполнения той же операции на станке с ЧПУ, а $t_{\max\text{шт.}}$ может быть задано исходя из плана графика, статистических данных либо экспертной оценкой (время, после превышения которого пропадает целесообразность изготовления детали).

5. Расчёт комплексного показателя уровня качества выполнения технологического процесса механической обработки детали вычисляется по следующей формуле

$$K_{\text{техн}} = K_{IT} \times K_{t\text{шт.}} = \sqrt[m_{IT}]{\prod_{i=1}^{m_{IT}} k_{i\text{IT}}} \times \sqrt[m_t]{\prod_{i=1}^{m_t} k_{i\text{шт.}}} \quad (5)$$

где $k_{i\text{IT}}$ $k_{i\text{шт.}}$ – единичные показатели качества по точности и времени соответственно, определяемые по формулам (1) – (4); m_{IT} и m_t – количество параметров детали, по которым производится оценка качества изготовления по показателям точности и времени соответственно. Полученный уровень качества выполнения технологического процесса

механической обработке универсален, и может быть применён для расчёта различных показателей, например экономических – размера заработной платы оператора станка.

б. Введение системы тарифов и штрафов, оценивающей по выбранной зависимости и уровню качества размер оплаты труда

Для оценки размера оплаты труда вводится зависимость, учитывающая установленную систему тарифов и штрафов, величины которых определяются для каждой конкретной детали исходя из удельных затрат на изготовление единицы продукции (например, штраф может быть равен удельным издержкам на получение заготовки, а тариф за качество величине суммы статьи затрат на заработную плату рабочего при изготовлении единицы детали и штрафа, для его исключения при уровне качества больше нуля). Для упрощения оценки удобно воспользоваться линейной зависимостью, при этом формула для расчёта заработной платы оператора станка $Z_{\text{опер.}}$ примет следующий вид

$$Z_{\text{опер.}} = aK_{\text{техн}} - b \quad (6)$$

где a – тариф оплаты за качество изготовления; b – штраф за изготовление бракованной детали и $K_{\text{техн}}$ – уровень качества выполнения технологического процесса механической обработки детали, вычисляемый по формуле (5).

Пример расчёта уровня качества и размера оплаты труда при выполнении технологического процесса изготовления поршня гидроцилиндра рулевого управления погрузочно-доставочной машины Toro400E.

После выполнения токарной обработки *поршня гидроцилиндра механизма рулевого управления (ГЦМРУ)* погрузочно-доставочной машины (ПДМ) *Toro400E*, чертёж которого представлен на Рисунке 3., были получены фактические размеры поверхностей детали для универсальных станков с ручным (РУ) и интерактивным компьютерным управлением (ИКСУ) в соответственно столбцах (9) и (11) Таблицы 1. Также в процессе обработки детали выполнялся хронометраж выполнения технологических переходов (фотография рабочего времени), значения которых приведены соответственно в столбцах (7) и (9) Таблицы 2.

В качестве нормы для оценки уровня качества изготовления детали по точности геометрических размеров приняты требования чертежа детали, а по времени, полученные расчётными методами и приведенными в столбце (3) Таблицы 2. с допуском, равным 20% от штучного времени выполнения i -го перехода. Определить уровень качества выполнения технологического процесса механической обработки детали и размер оплаты труда рабочего

Таблица 1.

Теоретические и фактические значения параметров точности, полученные при обработке.

№ раз-мера	Теоретические параметры (заданные на чертеже)							Фактические параметры			
	Обозначение	Номинальное значение	Квал. точн.	ITP	$P_{ср.}, P_{min.}, P_{max.}$	eiP	esP	P_i^{PY}	k_{iIT}^{PY}	$P_i^{ИКСУ}$	$k_{iIT}^{ИКСУ}$
								PY		ИКСУ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	Ø76H8	76	8	0,046	76,023	0	0,046	76,030	0,510	76,03	0,923
2.	Ø82	82	14	0,87	82,435	0	0,87	82,100	0,572	82,1	0,51
3.	M75x2-8	75	8	0,45	74,737	-0,488	-0,038	74,800	0,868	74,7	0,978
4.	Ø130h9	130	8	0,1	129,95	-0,1	0	129,980	0,967	129,98	0,702
5.	Ø138	138	14	1	137,5	-1	0	137,400	0,547	137,6	0,967
6.	Ø153f9	153	9	0,1	152,907	-0,043	-0,143	152,920	0,556	152,95	0,389
7.	Ø157h9	157	9	0,1	156,95	-0,1	0	156,970	0,607	156,98	0,702
8.	98	98	14/2	0,87	98	-0,435	0,435	98,300	0,759	98,1	0,956
9.	4	4	14/2	0,3	4	-0,15	0,15	3,950	0,725	3,9	0,633
10.	25,5	25,5	14/2	0,52	25,5	-0,26	0,26	25,650	0,463	25,6	0,878
11.	44	44	14/2	0,62	44	-0,31	0,31	43,750	0,807	43,8	0,656
12.	19,5	19,5	14/2	0,52	19,5	-0,26	0,26	19,650	0,745	19,6	0,878
13.	2	2	14/2	0,25	2	-0,125	0,125	2,100	0,463	2,1	0,471
14.	49	49	14/2	0,62	49	-0,31	0,31	48,750	0,745	48,8	0,656

Таблица 2

Теоретические и фактические значения параметров времени выполнения технологических переходов, полученные при обработке

№ пере-хода	Краткое описание перехода	Теоретические показатели (нормативные)				Фактические показатели			
		$t_{шт.ср.}$	$IT_{шт.}$	$t_{миншт.}$	$t_{макшт.}$	$t_{шт.}^{PY}$	$k_{iTшт.}^{PY}$	$t_{шт.}^{ИКСУ}$	$k_{iTшт.}^{ИКСУ}$
		мин.	мин.	мин.	мин.	PY		ИКСУ	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Черновая подрезка торца на размер 102,7±IT14/2 мм; Ra12,5;	0,59	0,18	0,50	0,68	0,65	0,47	0,66	0,39
2	Черновое ступенчатое точение конуса в 6-ть проходов, Ra12,5;	0,42	0,13	0,36	0,49	0,43	0,78	0,45	0,64
3		0,35	0,10	0,29	0,40	0,35	0,79	0,37	0,62
4		0,33	0,10	0,28	0,38	0,35	0,62	0,37	0,37
5		0,25	0,08	0,21	0,29	0,25	0,82	0,28	0,40
6		0,17	0,05	0,15	0,20	0,19	0,50	0,19	0,50
7		0,10	0,03	0,08	0,11	0,09	0,94	0,11	0,51
8	Сверлить сквозное центровое отверстие на Ø35H14 мм	7,75	2,32	6,58	8,91	7,21	0,95	8,21	0,64
9	Расточить центровое отверстие (начерно) в 5-ть проходов, Ra12,5	0,50	0,15	0,43	0,58	0,52	0,71	0,56	0,41
10		0,56	0,17	0,48	0,64	0,59	0,66	0,60	0,59
11		0,66	0,20	0,56	0,75	0,61	0,95	0,65	0,83
12		0,75	0,23	0,64	0,86	0,78	0,71	0,80	0,62
13		0,83	0,25	0,70	0,95	0,91	0,49	0,92	0,44

14	Черновая подрезка торца на размер 101,4±IT14/2 мм; Ra12,5;	0,57	0,17	0,48	0,65	0,55	0,88	0,59	0,70
15	Черновое точение на Ø158,66h14 мм; длину 81,2±IT14/2 и Ra12,5	2,35	0,71	2,00	2,70	2,50	0,63	2,60	0,46
16	Черновое точение наружной канавки шириной 19,5±IT14/2 мм на Ø154,66 и h14 мм Ra12,5	0,59	0,18	0,50	0,68	0,60	0,79	0,62	0,69
17	Черновое. точение наружной канавки шириной 38±IT14/2 мм на Ø154,66h14 мм и Ra12	1,10	0,33	0,94	1,27	1,09	0,84	1,19	0,57
18	Черновое точение наружной канавки в 3-и прохода, Ra12,5	0,29	0,09	0,24	0,33	0,29	0,77	0,30	0,66
19		1,08	0,32	0,92	1,24	1,10	0,77	1,10	0,77
20		1,16	0,35	0,98	1,33	1,13	0,87	1,23	0,63
21	Расточить центровое отверстие (начерно) в 5-ть проходов, Ra12,5	0,49	0,15	0,41	0,56	0,52	0,61	0,52	0,61
22		0,57	0,17	0,49	0,66	0,63	0,50	0,64	0,43
23		0,65	0,20	0,56	0,75	0,70	0,60	0,70	0,60
24		0,74	0,22	0,63	0,85	0,79	0,59	0,78	0,64
25		0,82	0,25	0,70	0,94	0,80	0,87	0,85	0,71
26	Получистовая подрезка торца на длину 100,2-0,4; Ra6,3	0,46	0,14	0,39	0,53	0,45	0,87	0,45	0,87
27	Чистовая подрезка торца на 99,7-0,23 мм; Ra3,2	0,96	0,29	0,82	1,11	1,03	0,61	1,03	0,61
28	Получистовое точение наружного конуса на t=1,3 мм, Ra6,3	0,81	0,24	0,68	0,93	0,89	0,47	0,90	0,41
29	Чистовое точение наружного конуса на t=0,25 мм; Ra3,2	0,80	0,24	0,68	0,92	0,82	0,75	0,87	0,54
30	Расточить центровое отверстие (получисто) на Ø75,2H12 мм и длину 49 ±IT14/2 мм, Ra6,3	0,58	0,18	0,50	0,67	0,55	0,93	0,58	0,83
31	Расточить центровое отверстие (начисто) на Ø75,8H10 мм и длину 49 ±IT14/2 мм, Ra3,2	2,29	0,69	1,95	2,64	2,35	0,75	2,45	0,61
32	Расточить центровое отверстие (тонко) на Ø76H8 мм и длину 49 ±IT14/2 мм, Ra1,6	1,92	0,58	1,63	2,20	2,06	0,59	2,06	0,59
33	Точить внутреннюю канавку шириной 4 ±IT14/2 мм на Ø82H14	0,19	0,06	0,16	0,22	0,20	0,72	0,20	0,72
34	Получистовая подрезка торца на длину 98,5-0,4; Ra6,3	0,72	0,22	0,61	0,83	0,70	0,88	0,70	0,88
35	Получистовая подрезка торца на длину 98-0,23; Ra3,2	0,85	0,25	0,72	0,98	0,80	0,93	0,85	0,81

36	Получистовое точение на Ø157,76h12 трёх поверхностей с быстрыми перемещ. между поверхн, Ra6,3	0,41	0,12	0,35	0,47	0,41	0,80	0,41	0,80
37		0,33	0,10	0,28	0,38	0,35	0,67	0,35	0,67
38		0,19	0,06	0,16	0,21	0,20	0,56	0,20	0,56
39	Чистовое точение на диаметр Ø157,26h10 трёх поверхностей с быстрыми перемещ. между поверхн., Ra3,2	0,41	0,12	0,34	0,47	0,40	0,85	0,43	0,63
40		0,33	0,10	0,28	0,38	0,35	0,65	0,35	0,65
41		0,19	0,06	0,16	0,21	0,19	0,74	0,19	0,74
42	Тонкое точение на диаметр Ø157h9 трёх поверхностей с быстрыми перемещ. между поверхн., Ra3,2	0,55	0,17	0,47	0,63	0,59	0,60	0,60	0,57
43		0,45	0,14	0,38	0,52	0,45	0,82	0,45	0,80
44		0,25	0,08	0,21	0,29	0,25	0,82	0,25	0,79
45	Точить фаску	0,10	0,03	0,08	0,11	0,10	0,70	0,10	0,70
46	Получистовое точение 2-х наружных канавок на Ø153,76h12 мм и 1-й наружной канавки на Ø130,66h12 мм, Ra6,3	0,79	0,24	0,67	0,91	0,80	0,79	0,80	0,79
47		1,55	0,46	1,31	1,78	1,70	0,49	1,70	0,49
48		0,99	0,30	0,84	1,13	0,99	0,81	1,09	0,47
49	Чистовое точение 2-х наружных канавок на Ø153,26h10 мм и 1-й наружной канавки на Ø130,2h10 мм, Ra3,2	0,79	0,24	0,67	0,91	0,86	0,54	0,87	0,48
50		1,54	0,46	1,31	1,77	1,65	0,59	1,75	0,32
51		1,02	0,31	0,87	1,18	1,06	0,72	1,09	0,62
52	Тонкое точение 2-х наружных канавок на Ø153,26h9 мм и 1-й на Ø130h9 мм, Ra1,6	1,08	0,32	0,91	1,24	1,15	0,61	1,16	0,57
53		2,09	0,63	1,78	2,41	2,21	0,66	2,33	0,43
54		1,40	0,42	1,19	1,60	1,54	0,47	1,55	0,43
55	Расточить центровое отверстие (получисто) Ø74,2H12 мм на длину 49±IT14/2, Ra6,3	0,58	0,17	0,49	0,66	0,53	0,96	0,63	0,51
56	Расточить центр.отверстие (чисто) Ø74,8H10 мм на длину 49±IT14/2, Ra3,2	2,25	0,68	1,92	2,59	2,33	0,72	2,39	0,64
57	Расточить центровое отверстие (тонко) Ø75H8 мм на длину 49±IT14/2, Ra1,6	1,89	0,57	1,61	2,18	1,97	0,70	2,24	0,10
58	Нарезать внутреннюю резьбу M75x2-8g 7 проходов	4,41	1,32	3,75	5,07	4,43	0,80	5,09	0,24

5. Рассчитаем значения комплексного показателя качества выполнения технологического процесса механической обработки детали по формуле (5) (Таблица 3. столбец (4),) используя полученные единичные показатели качества по параметру точности (Таблица 1. столбец (10) и (12)) и времени (Таблица 2. столбец (8) и (10)).
6. Рассчитаем размер оплаты труда оператора ИКСУ и рабочего-универсала $ZП_{опер.}$ за изготовление поршня по формуле (5) с учётом установленных тарифа за качество изготовления и штрафа за брак (Таблица 3. в столбце(7)).

**Значение параметра качества выполнения технологического процесса
механической обработки и тарифов оплаты труда оператора**

Тип станка	Параметр качества	Значение комплекс./уровня кач. параметра	Значение комплексного параметра кач. изгот. детали	Штраф за изготовление бракованной детали, руб.	Тариф оплаты за кач. изгот. детали, руб.	Стоимостная оценка выпаленной работы, руб.
1	2	3	4	5	6	7
РУ	Точность	0,650	0,389	150,00	3150,00	1074,42
	Время	0,598				
ИКСУ	Точность	0,754	0,530	150,00	3150,00	1520,36

Использование данной методики для оперативной оценки уровня качества изготовления запасных частей на универсальных металлорежущих станках с ИКСУ «ПроЭмулятор» в ремонтном производстве, позволяет:

1. Осуществлять комплексный оперативный контроль качества изготовления запасных частей по показателям точности геометрических размеров и штучному времени.
2. Количественно оценивать эффективность работы рабочих-станочников при изготовлении запасных частей и определять величину оплаты их труда в соответствии с качеством выполнения рабочего задания.
3. Стимулировать операторов к повышению качества выполнения работы и сокращению процента брака до 1% за счёт введения тарифов и штрафов, учитываемых при расчёте размера оплаты труда, выводимого на дисплей ИКСУ «ПроЭмулятор» по мере выполнения задания.
4. Оперативно выявлять и исключать брак и обеспечивать своевременность выпуска продукции с уровнем качества не ниже 0,7.
5. Повысить эффективность эксплуатации универсального металлорежущего оборудования на 15% и улучшить трудовую дисциплину рабочих-станочников на ремонтных предприятиях.

Список литературы

1. **Радкевич, Я.М.** Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. Для вузов./ Я. М. Радкевич, А. Г. Схиртладзе, Б. И. Лактионов. – М.: Высш. шк., 2004. – 767 с.
2. **Радкевич, Я.М. Тимирязев В.А.** Расчёт припусков и межпереходных размеров. Учебное пособие. / Я.М. Радкевич, В.А. Тимирязев – Пенза: гос. университет, 1999, 397 с.
3. **Garant ToolsScout** – интеллектуальный выбор инструмента и подбор режимов резания: [Электронный ресурс] // Hoffmann Group. – Режим доступа: <http://www.toolscout.de/ToolScout> (21.11.2014).
4. **Веб-сайт компании разработчика устройства ПроЭмулятор:** [Электронный ресурс] // ООО «Техтанко-21». – Режим доступа www.proemulator.ru (15.11.2014).