

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет им.  
Евфросинии Полоцкой»

УДК 621.9.06/02

Мороз Мария Сергеевна

**ОПТИМИЗАЦИЯ ЁМКОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ  
МАГАЗИНОВ СТАНКОВ С ЧПУ НА ОСНОВЕ УРАВНИВАНИЯ  
СТОЙКОСТИ И СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ НАЛАДКИ РАЗЛИЧНЫХ  
ТИПОВ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ**

Магистерская диссертация

специальность 1-36 80 02 Инновационные технологии в  
машиностроении

---

Научный руководитель  
Попок Николай Николаевич  
доктор технических наук, профессор

Допущен к защите

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

Зав. кафедрой ТиОМП

доктор технических наук, профессор

\_\_\_\_\_ Попок Николай Николаевич

Новополоцк, 2023

## Содержание

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ .....	3
ВВЕДЕНИЕ .....	4
Глава 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И СООТВЕТСТВУЮЩИХ ИМ ПАРАМЕТРОВ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ ПРАКТИКАХ .....	6
Глава 2. ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЁЖНОСТИ БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ .....	25
2.1 Критерии надёжности сборного режущего инструмента .....	25
2.2 Ремонтопригодность .....	29
Глава 3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ПО СРАВНЕНИЮ СО СТАНДАРТНЫМИ РЕЖУЩИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ.....	37
Глава 4. ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ РАБОТЫ И ЗАМЕНЫ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАГАЗИНАХ СТАНКОВ С ЧПУ НА ОСНОВЕ УРАВНИВАНИЯ ИХ СТОЙКОСТИ.....	41
4.1 Методика и результаты исследований .....	41
4.2 Алгоритм расчёта времени одновременной замены режущих инструментов в инструментальном магазине станка с ЧПУ .....	47
Глава 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТОРЦОВО-ДИСКОВЫХ ФРЕЗ .....	53
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	56
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	57

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с научными программами (проектами), темами:** диссертационная работа выполнялась в связи с научно-исследовательской темой ГБ1622 (№ гос. регистрации 2022 1019 от 28.06.22) «Разработка научных основ создания высокоэффективных механических плазменных и аддитивных технологий» кафедры «Технология и оборудования машиностроительного производства»

**Цель исследования:** повышение надежности режущих инструментов путем уравнивания стойкости разных типов режущих инструментов и использования унифицированных блоков резцовых и конструктивных модулей в инструментальных магазинах многоцелевых станков с ЧПУ.

**Задачи исследования:**

- провести аналитический обзор режимов резания и соответствующих им параметров стойкости режущих инструментов в отечественной и зарубежной практиках;
- разработать технологический регламент замены, дефектации и настройки режущих инструментов;
- провести оценку надежности и эффективности использования блочно-модульных режущих инструментов в инструментальных магазинах станков с ЧПУ;
- провести экспериментальные исследования работоспособности блочно-модульных режущих инструментов.

**Положения выносимые на защиту:**

- научное обоснование повышения надежности блочно-модульных режущих инструментов в инструментальных магазинах станков с ЧПУ на основе ремонтно-пригодности;
- методика исследования эффективности использования блочно-модульных режущих инструментов путем уравнивания их стойкости, оценки времени замены, дефектации и настройки;
- установленные зависимости себестоимости и производительности обработки от времени и скорости резания;
- разработанный технологический регламент замены, дефектации и настройки режущих инструментов.

**Апробация магистерской диссертации и информация об использовании ее результатов:** используется в образовательном процессе кафедры «ТиОМП».

**Структура и объемы магистерской диссертации:** диссертация состоит из 5 глав и содержит 58 страниц, 11 рисунков, 36 таблиц и 25 использованных литературных источников.

## ВВЕДЕНИЕ

Определяющими факторами в промышленности являются сроки и стоимость производства определенного количества деталей требуемого качества.

Инструменты оказывают существенное влияние на структуру затрат в автоматизированном производстве. Эффективность современных технологических систем определяется не только величиной основного времени, но и затратами вспомогательного времени, времени технического обслуживания и времени на подналадку. Таким образом, переменная доля себестоимости операций, связанная с инструментом, зависит от режимов резания, потерь времени на наладку инструментов на заданные размеры обработки, стоимости инструмента за период его стойкости.

Прогнозирование периода стойкости режущего инструмента позволит планировать технологические процессы металлообработки, контролировать его расход и избегать внеплановых простоев.

Стойкость и соответствующие ей элементы режима резания должны быть такими, чтобы производительность операции была максимальна при минимальной себестоимости и обеспечивала заданное качество обработки. Оптимальная производительность обеспечивается работой на больших глубинах резания и подачах при умеренных скоростях резания.

Неравномерный износ различных типов режущих инструментов в инструментальном магазине станка приводит к необходимости частой остановки оборудования, что в свою очередь приводит к увеличению времени выхода продукции на рынок, повышению стоимости конечного изделия.

Было установлено что время, затрачиваемое на обработку деталей, значительно меньше, чем время, затрачиваемое на подготовку оборудования. В структуре времени обработки деталей на основе традиционных технологий доля основного времени составляет только около 30 %, а оставшаяся часть приходится на вспомогательное и подготовительно-заключительное время [1-5].

Для оптимизации процессов обработки, уменьшения подготовительно-заключительного времени необходимо добиться оптимального сочетания производительности и стойкости инструмента. Недостаточная стойкость инструмента увеличивает простои оборудования при замене инструмента, что приводит к снижению производительности. Щадящий режим резания позволяет увеличить стойкость инструмента, но время обработки детали увеличится, что так же снижает эффективность использования оборудования и общую производительность. Т.е. для обеспечения максимальной эффективности обработки необходимо подобрать оптимальные параметры режима резания и стойкости режущего инструмента.

Важное значение при снижении затрат времени на переналадку оборудования, имеет рационализация количества и номенклатуры режущего инструмента,

универсальности используемых инструментов, унификации и стандартизации инструмента, его оправок, державок и блоков. Общее количество инструмента рассчитывается с учетом времени, необходимого на восстановление инструмента, и поэтому может быть весьма значительным. Универсальность инструмента остается главным фактором, влияющим на стоимость технологической подготовки производства продукции.

Предлагается система блочно-модульных режущих инструментов, которая позволяет малым числом наименований типов обеспечить большее количество технологических переходов, а также за счет обеспечения сопоставимой надежности и точности различных типов режущих инструментов прогнозировать частоту его замены в инструментальном магазине станка с ЧПУ.

## Глава 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ И СООТВЕТСТВУЮЩИХ ИМ ПАРАМЕТРОВ СТОЙКОСТИ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ И ЗАРУБЕЖНОЙ ПРАКТИКАХ

Согласно ГОСТ 25751-83 «Инструменты режущие. Термины и определения общих понятий» введены следующие определения, связанные со стойкостью режущих инструментов:

– период стойкости режущего инструмента (лезвия) – время резания новым или восстановленным режущим инструментом (лезвием) с начала резания до отказа;

– средний период стойкости режущего инструмента (лезвия) – математическое ожидание значения периода стойкости режущего инструмента (лезвия);

– установленный период стойкости режущего инструмента (лезвия) – установленное значение времени резания, в течение которого ни у одного инструмента в партии заданного объема не должен наступить отказ в заданных условиях и при установленных требованиях к обработке;

– полный средний период стойкости – математическое ожидание полного периода стойкости режущего инструмента (лезвия).

Согласно ГОСТ 26596-85 «Фрезы торцовые с механическим креплением сменных многогранных твердосплавных пластин» установлены режимы резания при проведении испытаний на средний  $T$  и установленный  $T_u$  период стойкости (табл. 1.1).

Таблица 1.1 – Режимы проведения испытаний фрез торцовых, оснащенных пластинами квадратной формы на работоспособность и стойкость

Обрабатываемый материал	Группа применения	Марка твёрдого сплава	Подача на зуб, $S$ мм/зуб	Скорость резания $V$ , м/мин	Глубина фрезерования $t$ , мм
1	2	3	4	5	6
Сталь 45 ГОСТ 1050 180...200HB	P10	MC111	0,08	230	1,5
		T15K6	0,06		
	P20	MC121	0,12	200	2,0
		T14KB	0,10	180	
	P25	MC137	0,20	200	2,0
	P30	MC131	0,20	150	2,5
		T5K10	0,18	140	
	P40	MC146	0,25	135	2,5
TT7K12		0,20	110	3,0	

1	2	3	4	5	6
Чугун СЧ25 ГОСТ 1412 170...190НВ	К20–К30	МС321	0,20	140	2,5
		ВК6	0,18	90	
		ВК8	0,20	80	
	К15С, К20С	МС3215, ВП3115	0,18	250	2,5

Примечание – Средний Т и установленный Ту периоды стойкости фрез должны быть не менее: Т = 50 мин, Ту = 25 мин.

Согласно ГОСТ 28436-90 «Фрезы концевые с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин» установлены режимы резания при проведении испытаний на средний Т и установленный Ту период стойкости (табл. 1.2).

Таблица 1.2 – Режимы проведения испытаний фрез торцовых, оснащенных пластинами квадратной формы на работоспособность и стойкость

Обрабатываемый материал	Марка твёрдого сплава режущей части	Диаметр фрезы, мм	Подача на зуб, мм/зуб	Скорость резания, м/мин	Глубина фрезерования, мм	Ширина фрезерования, мм
Сталь 45 ГОСТ 150, НВ 179...229	Т5К10; Т14К8; МС137; МС146	12	0,08	90	2	3
		16				
		20	0,12	100	4	4
		25	0,15	125		5
		32		130		6
		40				
		50				
Чугун СЧ 25 ГОСТ 1412, НВ 170...217	ВК6; ВК8; МС318; МС312	12	0,08	70	2	3
		16				
		20	0,12	80	4	4
		25	0,15	90		5
		32		95		6
		40				
		50				

Примечание – значения среднего Т и установленного Ту периодов стойкости должны быть не менее указанных в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Значения среднего T и установленного T<sub>у</sub> периодов стойкости фрез концевых с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин

Марка твёрдого сплава режущей части	Период стойкости, мин	
	Средний T	95%-ный T <sub>95%</sub>
T5K10, T14K8	70	35
BK6, BK8		
MC137, MC146, MC318, MC321	105	53

Согласно ГОСТ 23249-78 «Фрезы дисковые двусторонние и трехсторонние со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом» установлены режимы резания при проведении испытаний на средний T и установленный T<sub>у</sub> период стойкости (табл. 1.4).

Таблица 1.4 – Режимы проведения испытаний фрез дисковых двусторонних и трехсторонних со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом

Диаметр фрезы, мм	Наименование фрезы	Глубина фрезерования, мм	Твёрдый сплав T5K10		Твёрдый сплав BK8	
			Подача на зуб, мм/зуб	Скорость резания, м/мин	Подача на зуб, мм/зуб	Скорость резания, м/мин
От 100 до 160 включ.	Трёхсторонние	12	0,07	140	0,08	100
От 200 до 315 включ.		20	0,10		0,15	
От 100 до 160 включ.	Двухсторонние	12	0,10	100	0,15	80
От 200 до 315 включ.		20	0,15		0,20	

Приемочные значения среднего T и установленного T<sub>у</sub> периодов стойкости должны быть не менее указанных в таблице 1.5.



Таблица 1.5 – Значения среднего T и установленного Tu периодов стойкости фрез дисковых двусторонних и трехсторонних со вставными ножами, оснащенными твердым сплавом

Диаметр фрезы, мм	Средний период стойкости, мин	Установленный период стойкости, мин
От 100 до 160 включ.	104	42
200	115	46
От 250 до 315 включ	125	50

Согласно ГОСТ 26613-2016 «Резцы токарные с механическим креплением сменных многогранных пластин» установлены режимы резания при проведении испытаний на работоспособность и стойкость стойкости (табл. 1.6).

Таблица 1.6 – Режимы проведения испытаний резцов токарных с механическим креплением сменных многогранных пластин на работоспособность и стойкость

Группа применения	Марка сплава	Износ по задней поверхности, мм	Глубина резания, мм	Скорость резания v, м/мин, ± 10 %		
				Подача s, мм/об ± 10 %		
				Для пластин форм		
				W, C, K, D, T	S	P, H, R
1	2	3	4	5	6	7
P01	T30K4	0,6	1,0	220	250	260
				0,2	0,23	0,25
P10	T15K6 MC111	0,8	2,0	180	200	220
				0,28	0,3	0,4
P20	T14K6, MC121, MC137	0,8	2,0	145	155	165
				0,32	0,35	0,45
P30	T5K10, TT10K8Б, MC131, MC221	0,8	2,5	110	120	125
				0,4	0,45	0,55
P40–P50	T5K12, TT7K12, MC146	0,8	3,0	80	90	90
				0,47	0,5	0,55
K01	BK2, BK3, BK3M, MC301	0,8	1,0	130	150	150
				0,2	0,2	0,25
K05	BK6OM, MC306	0,8	1,5	120	130	130
				0,2	0,2	0,25

1	2	3	4	5	6	7
K10	BK6M, TT8K6, MC312	0,8	2,0	110	120	120
				0,3	0,3	0,4
K20	BK6, BK4, MC318, MC321	0,8	2,0	100	100	110
				0,3	0,3	0,4
K30	BK8	0,8	2,5	75	80	80
				0,35	0,35	0,45
M30	BK10M, BK10OM	0,8	3,0	90	100	110
				0,3	0,3	0,4
P01–P10	TH20	0,6	1,0	210	220	240
				0,2	0,25	0,3
P10–P20	KH16	0,6	2,0	190	210	230
				0,2	0,25	0,3
P30	TB4	0,6	2,0	100	115	125
				0,28	0,3	0,4
P01	BOK71, BO13	0,4	1,0	350	400	420
				0,2	0,25	0,3
K01	BOK71, BO13	0,4	1,0	300	350	370
				0,2	0,25	0,3

Приемочные – значения среднего  $T$  и установленного  $T_u$  периодов стойкости должны быть не менее указанных в таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Значения среднего  $T$  и установленного  $T_u$  периодов стойкости резцов токарных с механическим креплением сменных многогранных пластин

Группа инструментальных материалов режущих пластин	Приемочные значения периода стойкости, мин	
	среднего	установленного
Вольфрамовые твёрдые сплавы без карбида тантала и ниобия (марки сплава групп ТК и BK)	17	9
Вольфрамовые твёрдые сплавы с карбидами тантала и ниобия (марки сплава групп MC и TTK)	17	11
Безвольфрамовые твёрдые сплавы (марки сплава групп TH, KHT, TB)	17	7
Керамика	23	11

Согласно ГОСТ 5756-81 «Сверла спиральные с твердосплавными пластинами» установлены режимы резания при проведении испытаний на работоспособность и стойкость стойкости (табл. 1.8).

Таблица 1.8 – Режимы проведения испытаний сверл спиральных с твердосплавными пластинами на работоспособность и стойкость

Номинальный диаметр сверла, мм	Скорость резания, м/мин	Подача, мм/об
Св. 5 до 6	38	0,1
Св. 6 до 10	50	0,14
Св. 10 до 14	55	
Св. 14 до 20	60	0,28
Св. 20		0,40

Приемочные значения среднего и установленного периодов стойкости должны быть не менее указанных в табл. 1.9.

Таблица 1.9 – Значения среднего  $T$  и установленного  $T_u$  периодов стойкости сверл спиральных с твердосплавными пластинами

Номинальный диаметр сверла, мм	Приемочный период стойкости, мин	
	средний	установочный
От 5 до 10	23	8
Св. 10 » 14	34	12
»14	51	18

Известны математические модели, предназначенные для расчета стойкости инструмента.

Эмпирическая модель Арчарда учитывает скорость абразивного износа поверхностей трения, основанную на шероховатости поверхностей [6]:

$$Q = \frac{KWL}{H}, \quad (1.1)$$

где  $Q$  – скорость абразивного износа,  $K$  – постоянный коэффициент износа,  $W$  – общая нормальная нагрузка,  $L$  – путь трения,  $H$  – твердость более мягкой из двух поверхностей. Данная модель утверждает, что объем материала, удаленного в результате абразивного износа, пропорционален силам трения.

Модель Тейлора [7]:

$$T = \left( \frac{C_v}{v} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (1.2)$$

где  $C_v$  – постоянная величина (представляет скорость резания, при которой стойкость инструмента составляла бы одну минуту);  $m$  – показатель относительной стойкости.

Дальнейшие эксперименты привели к созданию расширенного уравнения Тейлора для определения стойкости инструмента, которое учитывало большее количество переменных и, соответственно, было более сложным [8]:

$$T = \left( \frac{C_v D^q}{v t^x s_z^y B^u z^p K_v} \right)^{\frac{1}{m_c}}. \quad (1.3)$$

Несмотря на дополнительные факторы, данная модель обеспечивает наибольшую точность при изменении только одного условия резания за один раз.

Связь между скоростью резания и периодом стойкости (рис. 1) в зависимости от обрабатываемого и инструментального материалов может выразиться монотонно убывающей кривой 1 или более сложной кривой 2. Кривая 1 характерна для обработки чугуна и стали резцами из быстрорежущей стали и твердого сплава группы ВК.

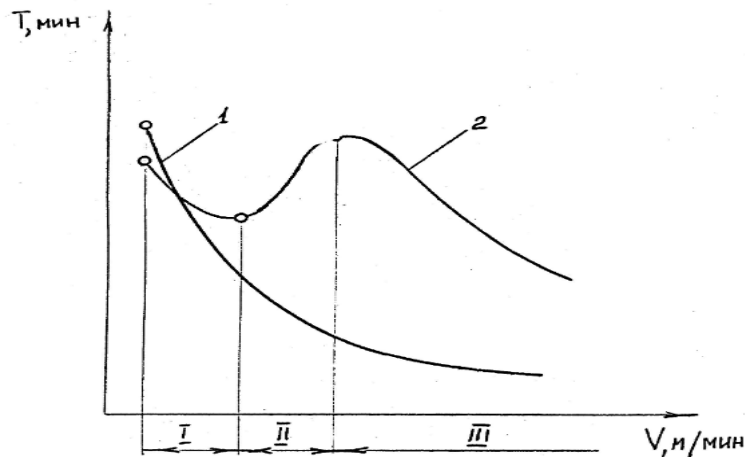


Рисунок 1.1 – Связь между скоростью резания  $v$  и периодом стойкости  $T$  инструмента в зависимости от рода обрабатываемого материала

При обработке сталей инструментами из твердых сплавов ТК и ВК зависимость  $T=f(v)$  изображается кривой 2. Зависимость между  $T$  и  $v$  выражается степенной зависимостью:

$$v = \frac{C_v}{T^m}. \quad (1.4)$$

Логарифмируя это выражение, получим:

$$\lg v = \lg C_v - m \lg T. \quad (1.5)$$

В логарифмических координатах зависимость выражается в виде прямой линии.

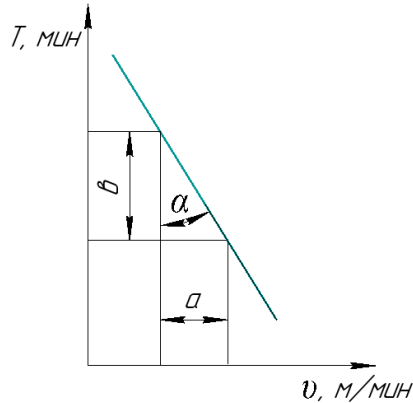


Рисунок 1.2 – Зависимость между скоростью резания и стойкостью в логарифмических координатах

Из графика  $m = \operatorname{tg} \alpha = a/b$  – показатель относительной стойкости.

Показатель относительной стойкости характеризует степень изменения скорости резания с изменением стойкости резца. Он зависит от обрабатываемого металла, материала режущей части резца, толщины среза, вида и условий обработки. Чем меньше  $m$ , тем более чувствителен резец к изменению скорости резания.

Из уравнения  $vT^m = C_v = \text{const}$  следует, что:

$$v_1 T_1^m = v_2 T_2^m, \quad (1.6)$$

$$v_2 = v_1 \left( \frac{T_1}{T_2} \right)^m. \quad (1.7)$$

Следовательно, зная стойкость  $T_1$  при скорости  $v_1$ , по зависимости можно определить стойкость  $T_2$  при скорости  $v_2$  или скорость  $v_2$  при стойкости  $T_2$ .

Для токарных резцов, оснащенных твердым сплавом, рекомендуется [3]  $T = 60 \dots 90$  мин. Если при  $T = 60$  мин допускаемую твердосплавным резцом скорость резания принять за единицу, то при другой стойкости эта скорость в количественном отношении выразится следующими поправочными коэффициентами  $K_T$ . Данная зависимость может быть выражена формулой:

$$v = v_{60} \cdot K_T \quad (1.8)$$

Подача и глубина резания влияют на силы и температуру при резании и, следовательно, на скорость резания, допускаемую резцом. Зависимость между скоростью резания  $v$ , подачей  $S$  и глубиной резания  $t$  можно выразить следующей формулой:

$$v = \frac{C_v}{t^x \cdot S^y}, \quad (1.9)$$

где  $x, y$  – показатели степеней, различные для разных обрабатываемых металлов, материала резца и условий обработки.

В отечественной литературе, в частности в [3], значения периода стойкости представлены в зависимости от типа режущего инструмента (табл. 1.10 – 1.11). Стойкость токарных резцов установлена в диапазоне 30-60 мин.

Таблица 1.10 – Средние значения периода стойкости фрез

Фрезы	Диаметр фрезы (средний), мм	Период стойкости Т (мин) при обработке фрезами				
		с пластинками из твёрдого сплава		Из стали P18		
		Обрабатываемый материал				
		Сталь	Чугун	Сталь и ковкий	Серый чугун	Медные сплавы
1	2	3	4	5	6	7
Торцовые	40	–	–	120	–	120
	60	–	–	180	–	180
	75	–	120	180	–	180
	90	180	120	180	–	180
	110	180	180	180	–	180
	150					
	200	240	180	240	–	240
	250	240	240	240	–	240
	300	300	300	–	–	–
400	420	420	–	–	–	

1		2	3	4	5	6	7
Цилиндрические	С мелким зубом	60	–	–	120	120	120
		75	–	–	180	180	180
	со вставными ножами	90–120 70–150	180 –	180 –	– 180		
Концевые		20*	120	–	–	–	–
		25	90	–	60	60	60
		40	120	–	90	90	90
		60	180	–	120	120	120
Дисковые		90	–	–	120	120	120
		110	120	–	120	150	120
		130	–	–	150	150	150
		150	180	–	150	180	150
		200	240	–	150	180	150
		225	–	–	180	240	180
Прорезные и отрезные		75	–	–	60	80	60
		110	–	–	75	120	75
		150	–	–	120	180	120
		200	–	–	150	210	150
Фасонные, полукруглые, выпуклые, вогнутые и угловые		45	–	–	120	–	–
		75	–	–	120	–	–
		90	–	–	180	–	–

Таблица 1.11 – Средние значения периода стойкости свёрл, зенкеров и развёрток

Инструмент (операция)	Обрабатываемый материал	Материал инструмента	Т, мин, при диаметре инструмента					
			До 5	6-10	11-20	21-30	31-40	41-50
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сверло (сверление и рассверливание)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь	Быстрорежущая сталь	15	25	45	50	70	90
		Твёрдый сплав	8	15	20	25	35	45
Сверло (сверление и рассверливание)	Чугун, медные и алюминиевые сплавы	Быстрорежущая сталь	20	25	60	75	105	140

		Твёрдый сплав	15	25	45	50	70	90
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Зенкер (зенкерование)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь	Быстрорежущая сталь и твёрдый сплав	-	-	30	40	50	60
Развёртка (развёртывание)	Конструкционная углеродистая и легированная сталь	Быстрорежущая сталь	-	25	40	80	80	120
		Твёрдый сплав	-	20	30	50	70	90
Развёртка (развёртывание)	Серый и ковкий чугун	Быстрорежущая сталь	-	-	60	120	120	180
		Твёрдый сплав	-	-	45	75	105	135

Анализ стойкости режущих инструментов зарубежных фирм показывает, что значения параметров их стойкости сведены к стойкости конкретных режущих пластин, используемых в инструменте. Так, например, Sandvik Coromant установлена стойкость режущих пластин 15-20 мин при соблюдении рекомендуемых режимов резания (табл. 1.1)

Таблица 1.12 – Рекомендуемые режимы резания, соответствующие стойкости 15-20 мин пластин Sandvik Coromant

SO	MC	Обрабатываемый материал	Обозначение обрабатываемого материала	Твёрдость НВ	<< износостойкость сплава прочность >>		
					Марка сплава		
					СТ15М	СТ25М	СТ35М
					Подача, $f_n$ мм/об		
					0,1-0,4-0,8	0,1-0,4-0,8	0,1-0,4-0,8
					Скорость резания, $V_c$ м/мин		
	1.1	Углеродистая сталь C = 0,1 – 0,25%	08кЛ, 10, 09Г2, а12, 15,	125	500-350-255	450-300-200	350-230-170
				150			



	<b>1.2</b>	C =0,55 – 0,80%	20, А20, 14Г2, Ст3	170	450-320- 225	400-265- 180	335-200- 150
	<b>1.3</b>		30, 35, 40, 45, 50, 55, А30, А40Г 60, У7А, У8А		420-290- 200	380-245- 155	290-175- 120
	<b>2.1</b>	<b>Легированная сталь</b> В состоянии по- ставки	20Х, 30Х, 40Х, 40ХН, 30ХГСА, 38ХС, 18ХГТ, 40 ХФА, 12ХНЗА, 56ГС,	180	480-320- 205	410-260- 170	245-140- 95
	<b>2.12</b>	Подшипниковая	20Х2Н4А, 38Х2Н2МА, 38Х2МЮА, 20ХГНР, 20Х3ВМФ, 34ХНЗМ, 60С2Н2А	180 275	320-230- 170	280-200- 150	230-130- 100
	<b>2.2</b>	После закалки и от- пуска	ШХ4, ШХ15, ШХ15ГС см. СМС 02.1 и 02.12	300 350	250-170- 125 225-155- 115 200-140- 100	195-125- 90 185-130- 95 180-120- 85	140-80-55 130-75-50 120-70-45
	<b>3.11</b>	<b>Высоколегирован- ная сталь</b> (легир. элемент.>5%) Отложенная	7ХФ, 9ХС, ХВГ, 5ХНМ, Р6М5	200 350	350-220- 155 160-110- 70	265-180- 130 115-85-65	190-120- 80 80-55-45
	<b>3.21</b>	Закалённая инстру- ментальная		180 200		220-160-	154-105-
		<b>Стальное литьё</b>	20Л, 35Л,	225	250-170-	120	75
	<b>6.1</b>	Нелегированное	55Л, У8Л	250	135	185-145-	135-85-60
	<b>6.2</b>	Низколегированное (<5%)	35ГЛ, 35ХГСЛ,		220-155- 115	110 165-115-	120-80-55 70-30-20
	<b>6.3</b>	Высоколегированное (>5%)	20Х5ТЛ 5Х14НДЛ,		180-125- 90	80 75-30-20	
		Марганцовистая и броневая ст.	10Х13Л Г13, Г13П		80-35-25		

SO	СМ С	Обрабатываемый материал	Обозначение обрабатываемого материала	Твёрдость НВ	<< износостойкость сплава прочность >>			
					Марка сплава			
					Т35Р	CU45		
					Подача, $f_n$ мм/об			
0,2-0,5-1,0			0,2-0,5-1,0					
Скорость резания, $V_c$ м/мин								
	<b>1.1</b>	<b>Углеродистая сталь</b> С = 0,1 – 0,25%	08кл, 10, 09Г2,	125	300-200-150	170-130-110	—	
			А12, 15, 20, А20, 14Г2, Ст3	150	280-180-120	160-120-100		
			С = 0,25 – 0,55%					
	<b>1.2</b>	С = 0,55 – 0,80%	30, 35, 40, 45, 50, 55, А30, А40Г	170	250-150-100	140-105-90		
			60, У7А, У8А					
	<b>1.3</b>							
		<b>2.1</b>	<b>Легированная сталь</b> В состоянии поставки	20Х, 30Х, 40Х, 40ХН, 30ХГСА, 38ХС, 18ХГТ, 40 ХФА, 12ХНЗА, 56ГС, 20Х2Н4А,	180	200-120-90		140-100-80
				38Х2Н2МА, 38Х2МЮА,	180	200-110-80		170-100-60
20ХГНР, 20Х3ВМФ, 34ХНЗМ, 60С2Н2А ШХ4, ШХ15, ШХ15ГС см. СМС 02.1 и 02.12	275 300			120-70-50 120-60-40	95-60-40 100-55-35			
<b>2.12</b> <b>2.2</b>	Подшипниковая После закалки и от- пуска							
<b>3.11</b>	<b>Высоколегирован- ная сталь</b> (легир. элементы >5%) Отложенная	7ХФ, 9ХС, ХВГ, 5ХНМ, Р6М5	200	170-110-75	120-90-70			
			180	130-95-70	90-70-60			
<b>6.1</b>	<b>Стальное литьё</b> Нелегированное	20Л, 35Л, 55Л, У8Л	200	120-70-55	80-60-50			
			225	110-70-50	70-55-40			

6.2	Низколегированное (<5%)	35ГЛ, 35ХГСЛ, 20Х5ГЛ	250	60-25-15			
	6.3	Высоколегированное (>5%)					5Х14НДЛ, 10Х13Л
	6.33	Марганцовистая и броневая ст.					110Г13Л

В справочнике-каталоге CoroKey фирмы Sandvik Coromant [9] определены коэффициенты коррекции, которые позволяют пересчитать скорость резания при необходимости изменения стойкости режущей пластины (табл. 1.12).

Таблица 1.12 – Значение стойкости инструментов и коэффициенты коррекции

Стойкость инструмента, мин	10	15	20	25	30	45	60
Коэффициент коррекции	1,11	1,0	0,93	0,88	0,84	0,75	0,70

Примечание – если рекомендуемая скорость резания  $v=225\text{м/мин}$  при стойкости 15 мин, то при стойкости 10 мин скорость резания составит  $225 \cdot 1,11 = 250\text{м/мин}$

Подобные коэффициенты есть и в каталоге фирмы Mitsubishi [10] (табл.1.13).

Таблица 1.13 – Коэффициенты коррекции скорости резания в зависимости от стойкости режущего инструмента фирмы Mitsubishi

Значения коэффициента для группы материалов Р (Сталь)					
Покрытие/ Износостойкость инструмента	15 мин	30 мин	45 мин	60 мин	90 мин
LE6105	1,00	0,79	0,69	0,63	0,55
LE6110	1,00	0,82	0,72	0,67	0,59
MC6025	1,00	0,83	0,75	0,69	0,62
LE6035	1,00	0,88	0,82	0,78	0,73
MP3025	1,00	0,85	0,77	0,72	0,65
NX2525	1,00	0,87	0,80	0,76	0,70
Значения коэффициента для группы материалов М (Нержавеющая сталь)					
Покрытие/ Износостойкость инструмента	15 мин	30 мин	45 мин	60 мин	90 мин
MC7015	1,00	0,83	0,75	0,70	0,63

MC7025	1,00	0,90	0,84	0,80	0,75
MP7035	1,00	0,84	0,76	0,71	0,62
LI5735	1,00	0,78	0,68	0,61	0,53
Значения коэффициента для группы материалов К (Чугун)					
Покрытие/ Износостойкость инструмента	15 мин	30 мин	45 мин	60 мин	90 мин
MC5005	1,00	0,83	0,75	0,70	0,63
MC5015	1,00	0,83	0,75	0,69	0,62

В каталоге фирмы Mitsubishi представлено значение периода стойкости режущей пластины при токарной обработке в зависимости от выбранного режима резания безотносительно типа режущего инструмента (рис. 3).

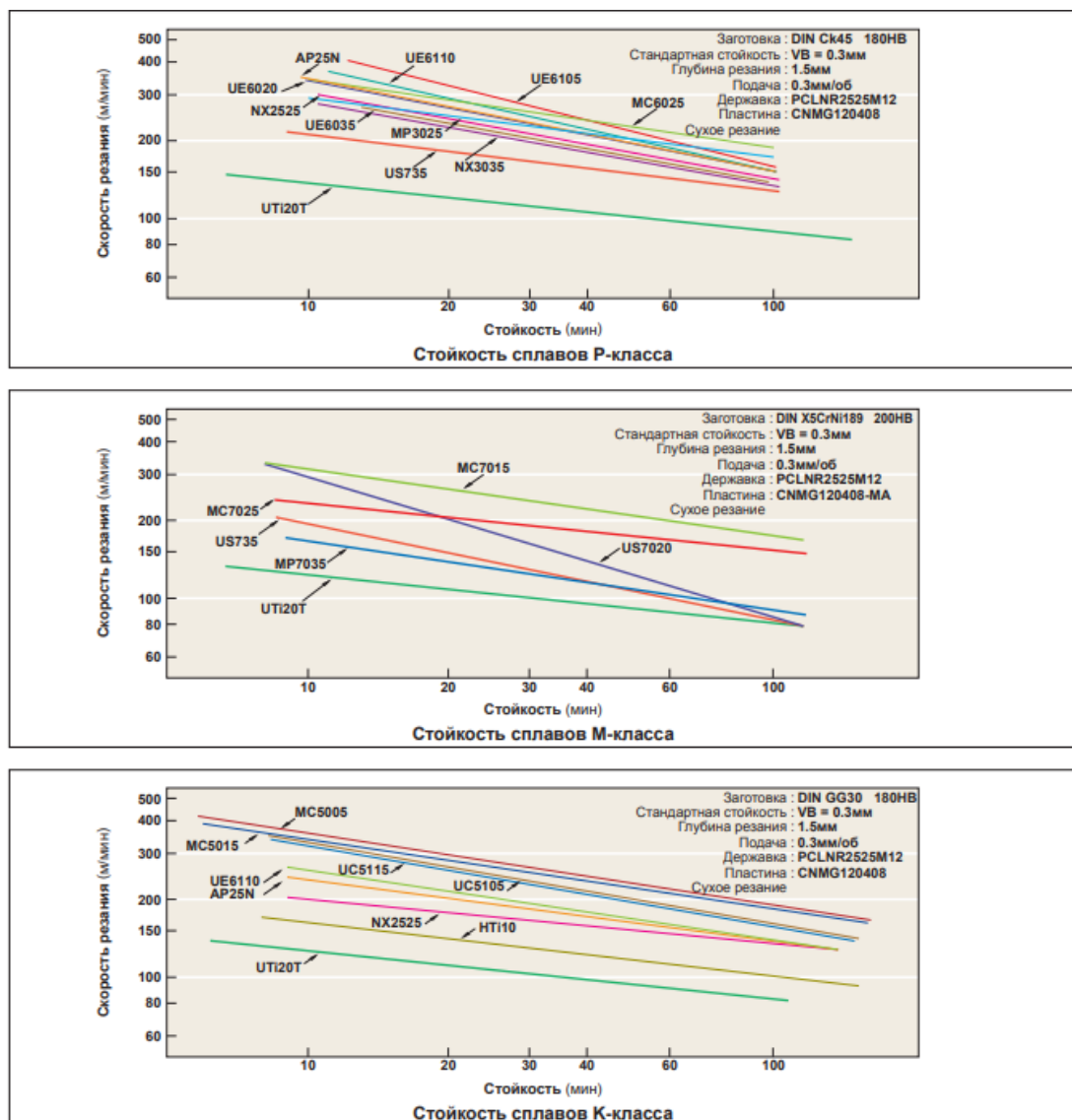


Рисунок 1.3 – Значения периода стойкости режущих пластины из каталога фирмы Mitsubishi

Из данных графиков можно сделать вывод, что в результате увеличения скорости резания на 20%, стойкость инструмента уменьшится наполовину. Увеличивая скорость резания на 50%, стойкость инструмента уменьшается на 80%.

По данным графиков были рассчитаны показатель относительной стойкости  $m = \tan \alpha$ , постоянная величина  $C_v$ . Полученные данные сведены в табл. 1.14.

Таблица 1.14 – Значения показателей относительной стойкости режущих пластин фирмы Mitsubishi

Покрытие	$\alpha, ^\circ$	$m$	$v$ (м/мин)	$T$ (мин)	$C_v$
1	2	3	4	5	6
Сплавы Р-класса					
UTi20T	6	0,11	130	10	166
US735	7	0,12	210	10	279
1	2	3	4	5	6
NX3035	7,9	0,14	-	10	-
UE6035	8	0,14	-	10	-
NX2525	9	0,16	-	10	-
UE6020	10,9	0,19	340	10	530
AP25N	11	0,19	350	10	548
UC6010	11,5	0,20	380	10	607
UE6110	12	0,21	-	10	-
UE6005	14	0,25	-	10	-
Сплавы М-класса					
UTi20T	6	0,11	125	10	159
US735	11	0,19	190	10	297
US7020	16	0,29	290	10	561
Сплавы К-класса					
UTi20T	6	0,11	125	10	159
HTi10	7	0,12	170	10	226
NX2525	5	0,09	205	10	251
AP25N	7	0,12	250	10	332
UE6110	8	0,14	270	10	373
UC5115	13	0,23	405	10	689
UC5105	15	0,27	450	10	834

Анализируя графики режимов резания Mitsubishi для различных покрытий, используемых при токарной обработке рассчитаны коэффициенты  $m$ ,  $C_v$ , где

$m = \operatorname{tg}(\alpha)$ ,  $C_v = v \cdot T^m$ . Для сплавов Р-класса разбежка значений  $m$  получилась в диапазоне от 0.11 до 0.25, значений  $C_v$  в диапазоне от 172 до 630 и значений  $K_{yp}$  в диапазоне от 1.00 до 2,25. При расчётах скорость  $v$  была в диапазоне от 120 до 270 м/мин.

В отечественной литературе, преимущественно 70-80 гг. при расчете скорости резания токарной обработки предусмотрена коррекция выбранной величины табличной скорости резания на поправочный коэффициент.

В [11] приведены коэффициенты коррекции скорости резания в зависимости от стойкости режущего инструмента и инструментального материала (табл. 1.15).

Таблица 1.15 – Поправочный коэффициент на величину скорости резания в зависимости от периода стойкости и материала резца по литературному источнику [1]

Материал		Стойкость $T_p$ , мин		
обрабатываемой детали	материала	до 30	45	60
Сталь	Быстрорежущая сталь	1,3	1,22	1,15
	T15K6	2,0	1,77	1,55
	T14K8	1,6	1,42	1,25
	T5K10	1,25	1,13	1,0
Серый чугун	BK3M, BK2	1,6	1,5	1,4
	BK4, BK6	1,35	1,25	1,15
	BK8	1,15	1,1	1,0
Чугун ковкий и прочный	BK3M, BK2	2,1	1,92	1,75
	BK4, BK6	1,75	1,6	1,45
	BK8	1,45	1,32	1,2

В [12] также учитывается поправка на скорость при различной стойкости инструмента (табл. 1.16)

Таблица 1.16 – Поправочный коэффициент на величину скорости резания в зависимости от периода стойкости и материала резца по литературному источнику [1]

Стойкость резца $T$	Обработка стали и чугуна резцом с $\varphi_1 > 0$	$T$ , мин	30	45	60	90	120	180
		$K_1$	1,15	1,06	1,00	0,92	0,87	0,80
	Обработка стали резцом с $\varphi_1 = 0$	$T$ , мин	20	30	45	60	75	90
		$K_1$	1,16	1,08	1,00	0,95	0,91	0,88

		Обработка чугуна резцом с $\varphi_1=0$		T, мин	20	30	45	60	75	90	
				K <sub>1</sub>	1,12	1,00	0,89	0,83	0,78	0,74	
Обрабатываемый материал	Материал резца	Период стойкости резца T, мин									
		до 30	60	100	150	200	300	400	600	800	1000
Сталь	P9, P18	1,2	1,1	1	0,9	0,85	0,8	0,75	0,6	0,55	0,5
	T15K6	1,7	1,5	1,25	1	0,9	-	-	-	-	-
	T14K8	1,35	1,2	1	0,8	0,7	-	-	-	-	-
	T5K10	1,1	0,95	0,8	0,65	0,55	-	-	-	-	-
Чугун серый	BK2	1,5	1,3	1,2	1,1	1	0,9	0,85	0,7	0,6	0,55
	BK4, BK6	1,3	1,15	1	0,9	0,85	0,75	0,7	0,6	0,5	0,45
	BK8	1,1	0,95	0,85	0,75	0,7	0,65	0,6	0,5	0,45	0,4
Чугун ковкий магневый	BK2	1,9	1,7	1,45	1,3	1,2	1,1	1	0,85	0,7	0,65
	BK4, BK6	1,6	1,4	1,2	1,1	1	0,9	0,85	0,75	0,6	0,55
	BK8	1,3	1,15	1	0,9	0,85	0,75	0,7	0,6	0,5	0,45
Алюминиевые сплавы	P9, P18	1,3	1,1	1	0,9	0,85	0,8	-	-	-	-
	BK4, BK6	1,5	1,2	1	0,9	0,8	0,7	-	-	-	-

*Вывод:* оценка стойкости режущих инструментов в зарубежной литературе сводится к стойкости режущей пластины, которая в свою очередь зависит от состава нанесенного износостойкого покрытия и для рекомендуемой скорости резания составляет 15-20 мин. Однако, как показывает практика, фактическая стойкость инструмента может колебаться в широких пределах (изменяться в 1,5-3 раза и более), что объясняется нестационарным характером процесса резания, обусловленным изменением входных параметров заготовки.

Отсутствует какая-либо корреляция стойкости пластины режущей от типа применяемого режущего инструмента.

Табличные данные поправочных коэффициентов на скорость резания в различной отечественной литературе и иностранных каталогах имеют приблизительно одинаковое значение – разбежка в данных не превышает 15-16%. Так же следует заметить, что поправочные коэффициенты на скорость резания, предусмотрены только для токарной обработки, для других видов обработки резанием подобные данные отсутствуют.

В импортном инструменте полностью отсутствует взаимозаменяемость режущих пластин между различными типами режущих инструментов по химическому составу наносимого покрытия и по характеру стружколомов. Т.е. каталоги предлагают отдельный ассортимент режущих пластин для токарной обработки и, например, для фрезерной.

Диапазоны режимов резания, предлагаемые зарубежными каталогами, например, Mitsubishi, Sandvik Coromant, ISCAR и т.п. имеют достаточно широкую разбежку, соответствуют расчетным значениям по справочнику [3] и являются завышенными для реальных производств. Тогда как, например, в [11, 12] и другой специализированной отечественной литературе, предназначенной для станочников, а также ГОСТах (см. табл. 1-6, п.1.1) предлагаются более рациональные режимы резания, которые уже апробированы временем и опытом их применения.



## **Глава 2. ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ**

### **2.1 Критерии надежности сборного режущего инструмента**

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать в себя безотказность, ремонтпригодность, восстанавливаемость, долговечность, сохраняемость, готовность или определенные сочетания этих свойств [13].

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять способность выполнять требуемые функции в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения.

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению состояния, в котором объект способен выполнять требуемые функции, путем технического обслуживания и ремонта.

Восстанавливаемость – свойство объекта, заключающееся в его способности восстанавливаться после отказа без ремонта.

Долговечность – свойство объекта, заключающееся в его способности выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях использования, технического обслуживания и ремонта до достижения предельного состояния.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять способность к выполнению требуемых функций после хранения и (или) транспортирования при заданных сроках и условиях хранения и (или) транспортирования

Готовность – свойство объекта, заключающееся в его способности находиться в состоянии, в котором он может выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания и ремонта в предположении, что все необходимые внешние ресурсы обеспечены.

В качестве критерия оценки надежности сборных и модульных режущих инструментов рассмотрена его ремонтпригодность.

Предлагается система (гамма) блочно-модульных режущих инструментов (БМРИ) на основе унифицированного блока резцового (рис. 2.1), который имеет унифицированные присоединительные поверхности, конструктивные элементы и размеры как для режущих пластин, так и для корпусных модулей инструментов и может быть использован в различных типах режущих инструментов (рис. 2.2): резцы токарные расточные, резьбовые, проходные и т. д., фрезы торцовые, дисковые, охватывающие и т. д., осевые инструменты и др. [14].

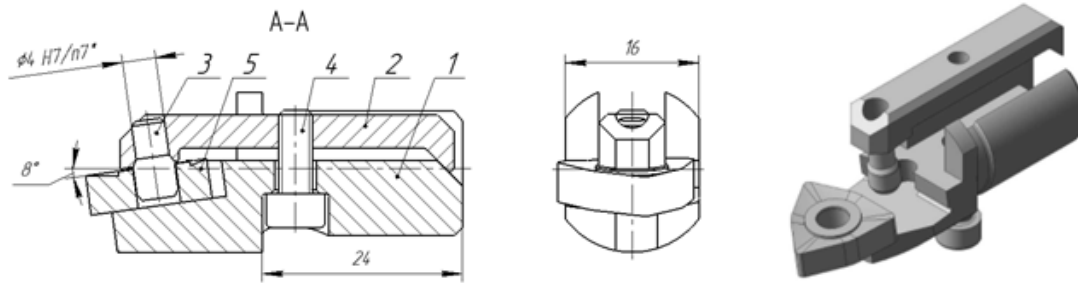


Рисунок 2.1 – Блок резцовый: 1 – державка; 2 – прихват; 3 – штифт; 4 – винт; 5 – пластина режущая

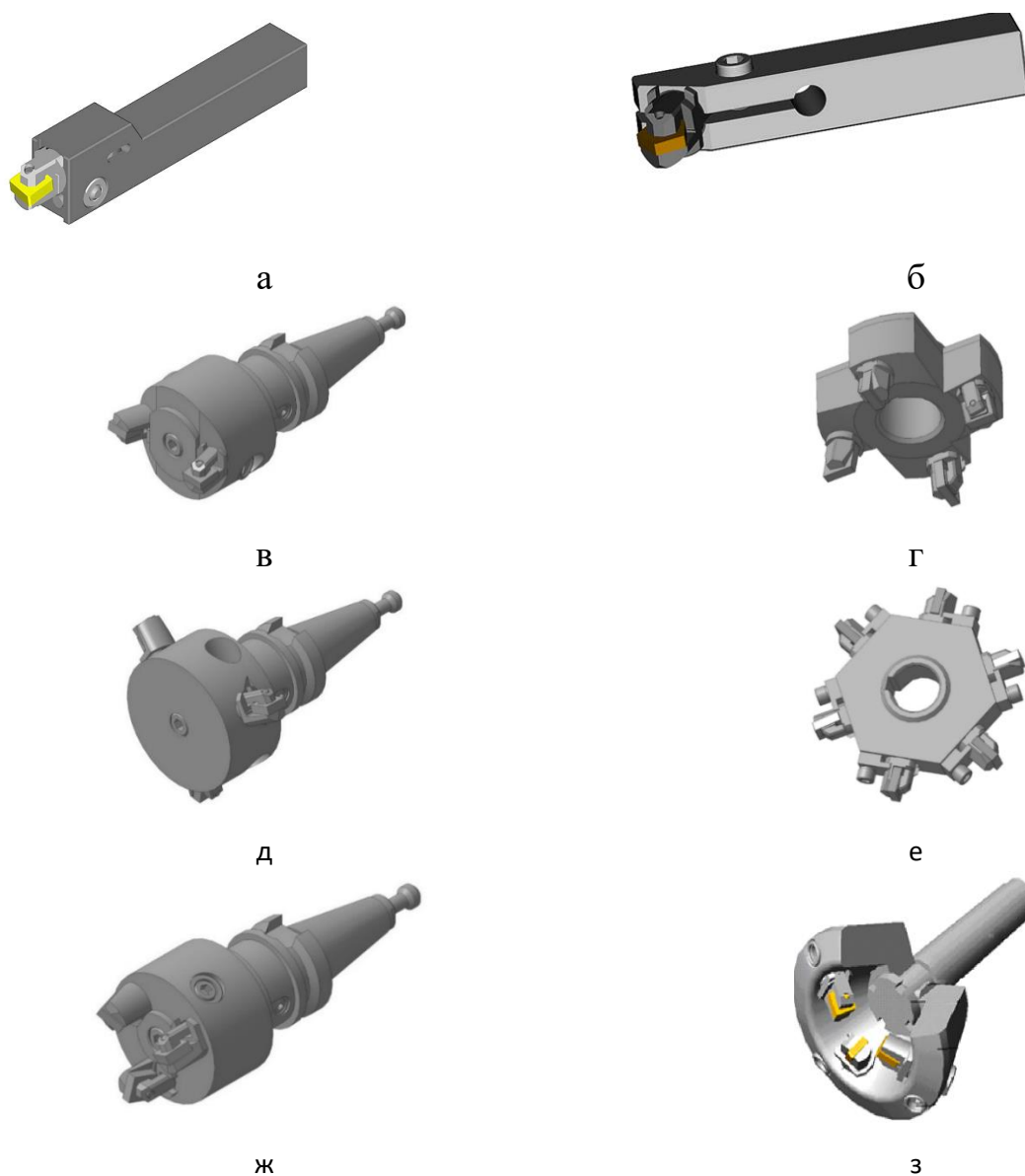


Рисунок 2.2 – Блочно-модульные режущие инструменты: а – резец проходной; б – резец расточной; в – зенкер концевой; г – зенкер насадной; д – фреза дисковая концевая; е – фреза дисковая насадная; ж – фреза торцовая концевая; з – фреза для охватывающего фрезерования сферических поверхностей деталей

Основные отличия предложенного блока резцового состоят в выполнении пазов для размещения пластины режущей и прихвата – открытыми, и базирующих поверхностей блока – цилиндрическими, что повышает технологичность конструкции. Возможны конструктивные варианты блока резцового в зависимости от используемых пластин режущих, но без изменения основных отличительных признаков конструкции. Это позволяет использовать блоки резцовые в различных типах режущих инструментов, что повышает многофункциональность последних [14].

В основе разрабатываемой системы блочно-модульных режущих инструментов находятся следующие положения:

1. Конструктивная схема инструмента строится по блочно-модульному принципу. Согласно этому принципу инструмент состоит из блоков и модулей – конструктивно и функционально законченных единиц. Ограниченная номенклатура блоков должна обеспечивать множество компоновочных схем инструмента одного типа. Присоединительные элементы блоков и модулей выполняются унифицированными.

2. Инструментальные блоки и модули должны обеспечить возможность построения конструктивных схем различных типов инструментов, т.е. обладать достаточной для этого степенью универсальности.

3. Конструкция инструмента должна обеспечить его работу в различных условиях резания, включая обработку деталей из труднообрабатываемых материалов и с покрытиями.

4. Конструктивная схема инструмента должна предоставлять возможность быстрой перенастройки с целью изменения схемы резания, т.е. обладать необходимой степенью гибкости.

5. Блоки и модули инструментов должны быть конструктивно просты и технологичны в изготовлении.

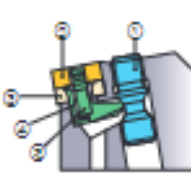
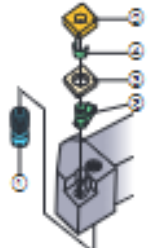

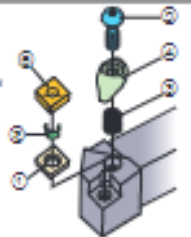
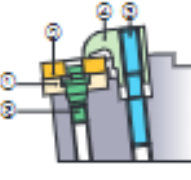
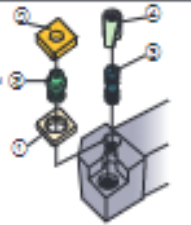

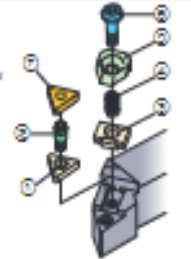
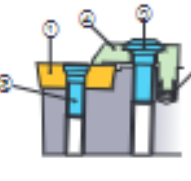
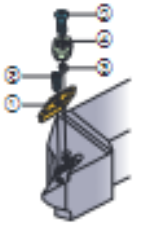
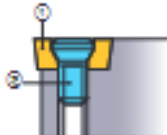
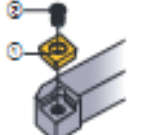
При разработке гаммы блочно-модульных режущих инструментов критерием повышения его надежности является использование при проектировании новых конструкторских решений, позволяющих сократить число составных элементов, унифицировать конструктивные элементы и использовать их взаимозаменяемость, что позволяет уменьшить вероятность отказов и повысить надежность.

Сокращение числа элементов может достигаться за счет упрощения структуры технической системы или совмещения функций нескольких элементов в одном.

В то же время, если рассматривать инструменты, например, для наружной токарной обработки (табл. 1), предлагаемые в зарубежных каталогах имеют следующие особенности:

– пластины базируются в закрытом пазу, под каждую форму пластины используется свой тип державки;

- крепление пластины имеет достаточно сложную структуру с большим количеством составных элементов;
- полностью отсутствует взаимозаменяемость крепежных элементов для разного типа креплений, что обуславливает необходимость применения в каждом конкретном случае специализированных ключей и технологической оснастки;
- с увеличением количества элементов, входящих в размерную цепь сборочной единицы, усложняет ее конструкцию, приводит к ужесточению допусков и снижению технологичности.

Тип (Державки)	Структура	
<b>Крепление рычагом (LL ДЕРЖАВКИ)</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>①Крепежный винт</li> <li>②Рычаг</li> <li>③Опорная пластина</li> <li>④Штифт опорной пластины</li> <li>⑤Пластина</li> </ul> 
<b>Двойной прижим (ДЕРЖАВКА С ДВОЙНЫМ ПРИЖИМОМ)</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>①Опорная пластина</li> <li>②Штифт опорной пластины</li> <li>③Пружина</li> <li>④Прижат</li> <li>⑤Крепежный винт</li> <li>⑥Пластина</li> </ul> 
<b>Двойной прижим (ДЕРЖАВКА С ДВОЙНЫМ ПРИЖИМОМ) (Для тяжелого режима заготовок)</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>①Опорная пластина</li> <li>②Штифт опорной пластины</li> <li>③Крепежный винт</li> <li>④Прижат</li> <li>⑤Пластина</li> </ul> 
<b>Крепление клином (WP ДЕРЖАВКИ)</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>①Опорная пластина</li> <li>②Штифт опорной пластины</li> <li>③Спора</li> <li>④Пружина</li> <li>⑤Прижат</li> <li>⑥Крепежный винт</li> <li>⑦Пластина</li> </ul> 
<b>Комбинированный зажим двойного действия (Державка для профильного точения)</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>①Пластина</li> <li>②Крепежный винт (1)</li> <li>③Пружина</li> <li>④Прижат</li> <li>⑤Крепежный винт (2)</li> </ul> 
<b>Крепление винтом (SP ДЕРЖАВКИ) (AL ДЕРЖАВКИ)</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>①Пластина</li> <li>②Крепежный винт</li> </ul> 

## 2.2 Ремонтпригодность

В качестве одного из критериев оценки надежности сборных режущих инструментов предлагается его ремонтпригодность. Ремонтпригодность БМРИ конструктивно обеспечена за счет взаимозаменяемости унифицированных конструктивных модулей (элементов) и, прежде всего, унифицированного блока резового, модуля корпусного и зажимного.

В процессе эксплуатации БМРИ сокращается время и финансовые затраты на его замену в инструментальном магазине станка. Общий подход к технологическому регламенту замены режущих инструментов в инструментальном магазине станка и дефектации, сборки и разборки вне станка представлен в табл.2.1.

Таблица 2.1 – Общий технологический регламент замены режущих инструментов в инструментальном магазине

№ п/п	Наименование дефекта	Стандартный режущий инструмент	Время, мин	Блочно-модульный режущий инструмент	Время, мин
1	2	3		4	
1	Износ грани пластины режущей (ПР)	Замена изношенной грани на новую: – вывернуть винт; – снять ПР; – повернуть ПР на новую грань; – поставить ПР в корпус; – завернуть винт.	2 мин	Замена блока резового (БР): – отвернуть винт; – снять БР; – поставить новый БР; – завернуть винт.	2 мин
2	Разрушение грани ПР	Замена ПР: – вывернуть винт; – снять ПР; – повернуть ПР на новую грань; – поставить ПР в корпус; – завернуть винт.	2 мин	Замена БР: – отвернуть винт; – снять БР; – поставить новый БР; – завернуть винт.	2 мин
3	Разрушение ПР с повреждением корпуса	Замена режущего инструмента: – снять РИ со станка; – поставить новый РИ;	12 мин	Замена БР: – отвернуть винт; – снять БР; – поставить новый БР; – завернуть винт.	2 мин

		– вывести инструмент в нулевую точку.			
4	Замена режущего инструмента (РИ)	Замена режущего инструмента: – снять РИ со станка; – поставить новый РИ; – вывести инструмент в нулевую точку.	10 мин	Замена режущего инструмента: – снять БМРИ со станка; – поставить новый БМРИ; – вывести инструмент в нулевую точку.	10 мин
	$\Sigma$		26 мин		16 мин

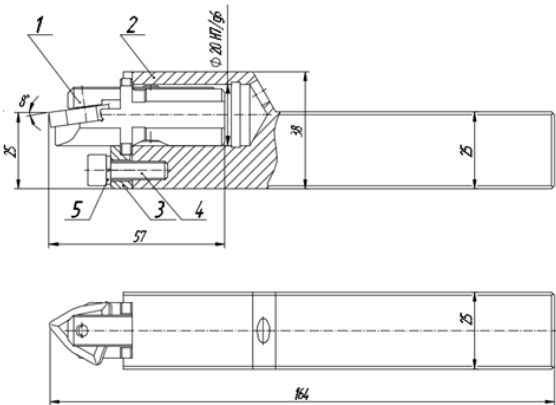
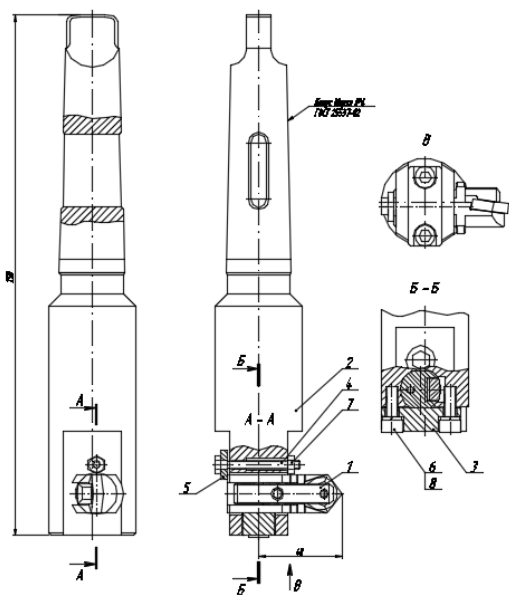
Основную опасность представляет разрушение режущей пластины, повлекшее за собой разрушение корпуса режущего инструмента. В случае использования стандартного режущего инструмента возникает необходимость его полной замены с последующей установкой в инструментальном магазине и настройки на нулевую точку детали, что может составлять до 30 минут. При работе БМРИ разрушение пластины режущей повлечет за собой разрушение блока резцового и в данном случае корпус останется целым. Технологический регламент устранения повреждения будет включать в себя только замену блока резцового непосредственно на станке без последующей настройки инструмента на нулевую точку. Данной обстоятельство позволит сэкономить порядка 20 минут в сравнении со стандартным режущим инструментом.

Таблица 2.2 – Общий технологический регламент на дефектацию, сборку и разборку вне станка

№ п/п	Регламент	Стандартный режущий инструмент	Блочно-модульный режущий инструмент
1	Провести дефектацию РИ	Снять корпус (отделить корпус от хвостовика) Снять ПР Заменить корпус Заменить ПР	Снять БР Снять ПР Заменить БР Заменить ПР
2	Настроить РИ	Вывести инструмент в нулевую точку	Вывести инструмент в нулевую точку

Было произведено нормирование работ по технологическому регламенту (табл. 1) для трех типов режущих инструментов: резец токарный, зенкер, фреза торцовая БМРИ (табл. 2.3) и Mitsubishi (табл. 2.1).

Таблица 2.3 – Технологический регламент на дефектацию, сборку и разборку вне станка БМРИ

№ п/п	Режущий инструмент	Комплектация	Регламент	Время, мин
1	Резец токарный			
		<p>1 – блок резцовый; 2 – державка; 3 – прихват; 4 – винт; 5 – шайба</p>	<p>Дефектация резца проходного: отвернуть винт 4 с прихватом 3, снять блок резцовый 1, установить блок резцовый, завернуть винт 4 с прихватом 3.</p>	1 мин
2	Головка расточная			
		<p>1 – блок резцовый; 2 – модуль корпусной; 3 – планка; 4 – винт; 5 – шайба; 6 – винт; 7 – гайка; 8 – шайба</p>	<p>Дефектация головки расточной: Отвернуть два винта п.6, ослабить планку 3, снять блок резцовый 1, установить блок резцовый, завернуть винты 6. прихватом 3.</p>	1 мин
3	Зенкер			
		<p>1 – блок резцовый;</p>	<p>Дефектация зенкера:</p>	2 мин

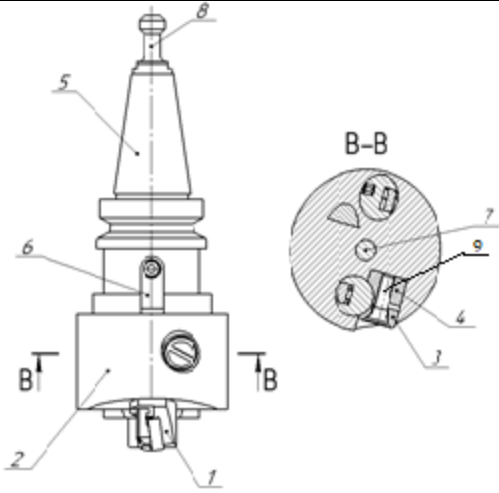
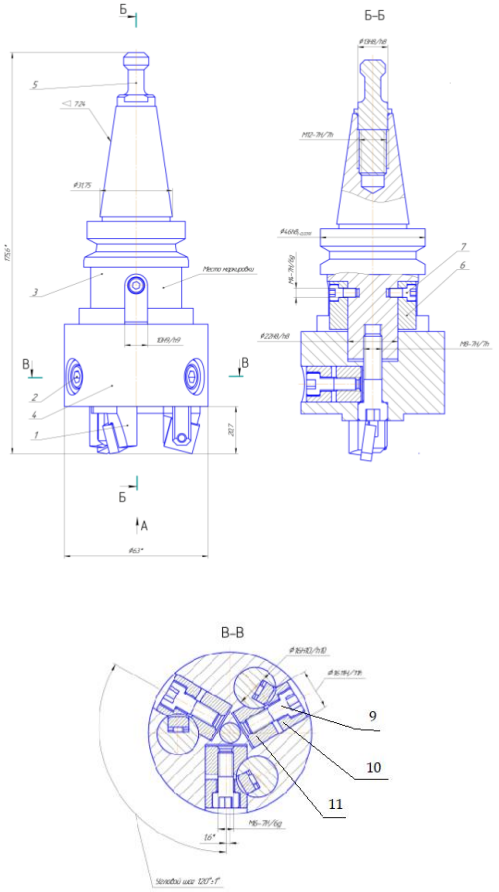
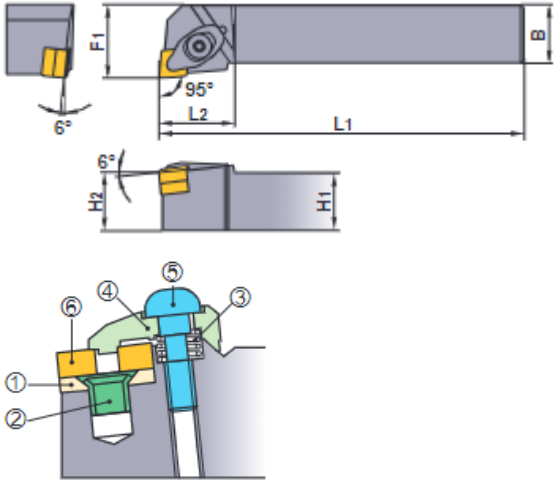


		<p>2 – модуль корпусной; 3 – сухарь упорный; 4 – сухарь резьбовой; 5 – хвостовик; 7 – винт; 8 – наконечник, 9 – винт сухаря.</p>	<p>открыть винт сухаря 9, снять сухарь резьбовой 4, снять блок резцовый 1, установить новый блок резцовый 1, установить сухари 4 и 3, завернуть винт 9.</p>	
4	<b>Фреза торцовая</b>			
		<p>1 – блок резцовый; 2 – зажим; 3 – хвостовик; 4 – модуль корпусной; 5 – тяга; 6 – шпонка торцовая; 7 – винт; 8 – винт; 9 – винт сухаря; 10 – сухарь упорный; 11 – сухарь резьбовой.</p>	<p>Дефектация фрезы торцовой: открыть винт сухаря 9, снять сухарь резьбовой 11, снять блок резцовый 1, установить новый блок резцовый 1, установить сухари 10 и 11, завернуть винт сухаря 9.</p>	4 мин

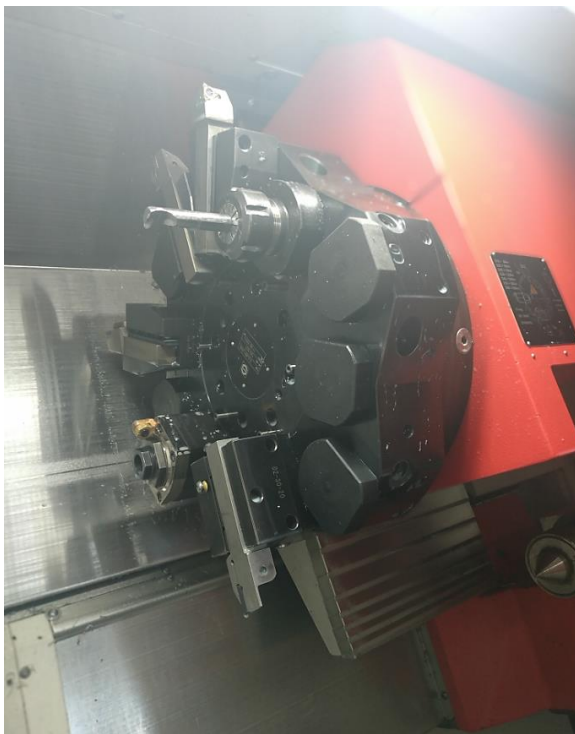


Таблица 2.4 – Технологический регламент на дефектацию, сборку и разборку БМРИ вне станка

№ п/п	Режущий инструмент	Комплектация	Регламент	Время, мин
1	<p style="text-align: center;"><b>Резец токарный</b></p>  <p>The drawing shows a turning tool with a cutting edge angle of 6° and a cutting angle of 95°. Dimensions include F1, L2, L1, H2, and H1. A separate assembly diagram shows the tool (1) mounted on a support plate (2) with a pin (2), a spring (3), a clamping screw (4), and a clamping plate (6).</p>	<p>1 – опорная пластина, 2 – штифт опорной пластины, 3 – пружина, 4 – прихват, 5 – крепежный винт, 6 – пластина</p>	<p>Дефектация резца: отвернуть винт 5, сместить прихват 4, снять пластину режущую 6, поставить новую пластину, зафиксировать пластину прихватом 4, завернуть винт 5.</p>	1 мин
	<p style="text-align: center;"><b>Головка расточная</b></p>  <p>The photograph shows a reamer head with a cutting plate (2) and a screw (3) for adjustment. The main body is labeled as 1.</p>	<p>1 – корпус, 2 – пластина режущая, 3 – винт</p>	<p>Дефектация головки расточной: отвернуть винт 3, снять пластину режущую 2, поставить новую пластину, зафиксировать пластину винтом.</p>	
2	<p style="text-align: center;"><b>Сверло</b></p>  <p>The photograph shows a drill bit with a cutting plate (2) and a screw (3) for adjustment. The main body is labeled as 1.</p>	<p>1 – корпус, 2 – пластина режущая, 3 – винт</p>	<p>Дефектация сверла: отвернуть винт 3, снять пластину режущую 2, поставить новую пластину, зафиксировать пластину винтом.</p>	3 мин
3	<p style="text-align: center;"><b>Фреза торцовая</b></p>			

		1 – локатор, 2 – Т-клин, 3 – S-клин, 4 – крепежный винт	Дефектация фрезы торцовой: отвернуть винт крепежный 4, снять S-клин 3, отвернуть винт крепежный 4, снять Т-клин, снять локатор 1, поменять пла- стину режущую, установить лока- тор 1, завернуть винтом 4 S-клин 3, установить и завернуть винтом Т-клин 2.	10мин
--	-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------

Проведен расчет эффективности использования БМРИ по сравнению со стандартным РИ при его использовании (полном или частичном) в инструментальных магазинах станка с ЧПУ – токарный модели ST45 фирмы EMCO, и фрезерного станка с ЧПУ модели ROBODRILL  $\alpha$ -D21LiB фирмы FANUC. Станки снабжены инструментальными магазинами емкостью соответственно на 12 и 21 инструмент (рис. 2.3).



а



б

Рисунок 2.3 – Инструментальные магазины станков: а – общий вид инструментального магазина токарного станка с ЧПУ модели ST45 фирмы EMCO; б – общий вид инструментального магазина фрезерного станка с ЧПУ модели ROBODRILL  $\alpha$ -D21LiB фирмы FANUC

Время на этапе замены в станке и на этапе дефектации вне станка показывает следующее:

– если в ST45 – 12 РИ, из них – 6 БМРИ: 1) резец проходной; 2) резец подрезной; 3) резец расточной; 4) резец резьбовой; 5) зенкер; 6) фреза концевая (торцовая) итого – 6 БМРИ (табл. 1);

– в Robodrill – 21 РИ, из них 5 БМРИ: 1) головка расточная – 2 шт.; 2) зенкер; 3) фреза торцовая – 3шт; 4) фреза дисковая 2 шт. – итого 8 БМРИ, то сопоставимое время работы по стойкости ПР, время замены БР и время дефектации БМРИ представлено в таблице 2.

Таблица 2.5 – Технологический регламент одновременной замене всех типов РИ по окончании рабочей смены и на этапе дефектации в инструментальном магазине токарного станка с ЧПУ модели ST45 фирмы EMCO

№ п/п	Технологический регламент		
	Наименование регламента	Стандартный режущий инструмент	Блочно-модульный режущий инструмент
1	Снятие РИ со станка	$\tau = 7$ мин	$\tau = 7$ мин
2	Дефектация	$\tau = 30$ мин	$\tau = 10$ мин
3	Установка РИ	$\tau = 7$ мин	$\tau = 7$ мин
	Настройка инструмента	$\tau = 56$ мин	$\tau = 56$ мин
	Итого:	$\tau_{\Sigma} = 1,7$ часа С/с=20 руб	$\tau_{\Sigma} = 1,3$ часа С/с=15 руб

Таблица 2.6 – Технологический регламент одновременной замене всех типов РИ по окончании рабочей смены и на этапе дефектации в инструментальном магазине фрезерного станка с ЧПУ модели ROBODRILL  $\alpha$ -D21LiB фирмы FANUC

№ п/п	Технологический регламент		
	Наименование регламента	Стандартный режущий инструмент	Блочно-модульный режущий инструмент
1	Снятие РИ со станка	$\tau = 10$ мин	$\tau = 10$ мин
2	Дефектация	$\tau = 58$ мин	$\tau = 20$ мин
3	Установка РИ	$\tau = 10$ мин	$\tau = 10$ мин
	Настройка инструмента	$\tau = 90$ мин	$\tau = 90$ мин
	Итого:	$\tau_{\Sigma} = 2,8$ часа С/с=34 руб.	$\tau_{\Sigma} = 2,1$ часа С/с=25 руб.

Вывод: нормирование работ по технологическому регламенту замены режущих инструментов как непосредственно на станке в инструментальном магазине, так и в процессе дефектации его вне станка показывает:

– трудоемкость замены режущей пластины непосредственно в инструментальном магазине как стандартного режущего инструмента, так и БМРИ является сопоставимой;

– наличие унифицированного блока-резцового снижает трудоемкость замены блочно-модульного режущего инструмента в случае повреждения корпуса, также снижается трудоемкость за счет отсутствия необходимости настройки инструмента;

– в случае полной замены инструмента в инструментальном магазине станка с последующей его дефектацией общая трудоемкость является сопоставимой;

– снижение трудоемкости дефектации БМРИ вне станка обусловлено уменьшением количества элементов размерной цепи БМРИ и необходимости использования различной комплектации вспомогательной технологической оснасти (ключей) для каждого типа инструмента.

### **Глава 3. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ПО СРАВНЕНИЮ СО СТАНДАРТНЫМИ РЕЖУЩИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ**

В качестве критерия оценки эффективности БМРИ по сравнению со стандартным РИ рассматривается его стоимость.

Сравнительная стоимость БМРИ и режущих инструментов фирмы Sandvik представлена в табл.3.1.

Таблица 3.1 – Сравнительная стоимость державок режущих инструментов

Наименование инструмента (державки)	Стоимость, у.е.	
	Стандартный режущий инструмент Sandvik	Блочно-модульный режущий инструмент
Резец проходной	120	50
Резец подрезной	125	50
Резец расточной	130	50
Резец резьбовой	130	50
Зенкер z=3	280	160
Фреза торцовая z=6	740	450
Фреза дисковая z=6	680	450
Головка расточная	280	80
Итого	2485	1340

Примечание – стоимость БМРИ представлена с учетом стоимости блоков резцовых (стоимость одного блока резцового составляет не более 25-30 у.е.)

Стоимость сопоставимого набора режущих инструментов БМРИ почти в 2 раза меньше стоимости инструментов фирмы Sandvik. При этом стоимость БМРИ рассчитана с учетом единичного типа производства, и она может быть значительно снижена при организации серийности выпуска. Так же следует отметить, что стоимость державок токарных резцов БМРИ, а также фрез, осевого инструмента будет одинаковой, вследствие использования унифицированных конструктивных элементов, что при наличии серийности способствует еще большей их конкурентоспособности в части стоимости.

Экономичность режущего инструмента, построенного на основе модульных конструкций, достигается за счет следующих основных составляющих:

– при отказе модульного инструмента в период эксплуатации производится замена только резцового блока, а не всего инструмента. Резцовый блок дешевле цельного, составного и стандартного сборного инструмента;

– модульный инструмент при отказе режцового блока, его замене и повторного введения в эксплуатацию становится дешевле вновь применяемых стандартных сборных инструментов;

– межтиповая унификация режцовых блоков при широкой номенклатуре режущих инструментов (резцов, сверл, фрез, расточных и зуборезных головок и т.д.) позволяет ограничить количество корпусных модулей и сократить затраты на них;

– повторное (после реновации) использование модульного инструмента при производстве изделий снижает себестоимость последних в пределах 5%, что также повышает экономичность инструмента.

Итоговая таблица сравнительной стоимости комплектации стандартного режущего инструмента и БМРИ по первоначальной стоимости и себестоимости его использования в течение календарно года при 40-часовой рабочей неделе представлена в табл. 3.2.

Таблица 3.2 – Сравнительный анализ стоимости комплектации и себестоимости использования стандартного режущего инструмента и БМРИ

Экономический показатель	Стандартный режущий инструмент	Блочно-модульный режущий инструмент
Загрузка инструментального магазина токарного станка с ЧПУ модели ST45 фирмы EMCO		
Первоначальная стоимость	4 408 руб.	2 349 руб.
Трудоемкость	6 060 руб.	4 545 руб.
$\Sigma$	10 468 руб.	6 894 руб.
Загрузка инструментального магазина фрезерного станка с ЧПУ модели ROBODRILL $\alpha$ -D21LiB фирмы FANUC		
Первоначальная стоимость	12 818 руб.	4 611 руб.
Трудоемкость	10 302 руб.	7 575 руб.
$\Sigma$	23 120 руб.	12 186 руб.

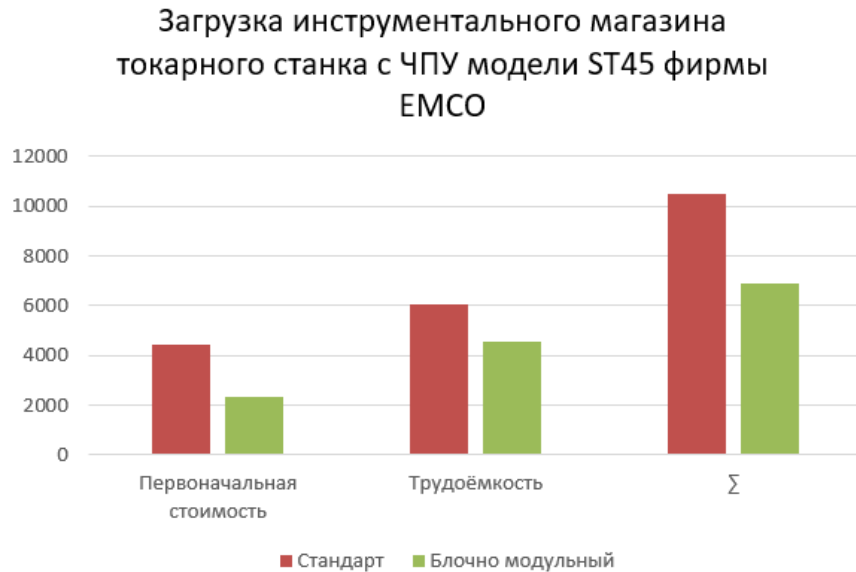


Рисунок 3.1 – Сравнительная гистограмма загрузки инструментального магазина токарного станка с ЧПУ модели ST45 фирмы EMCO

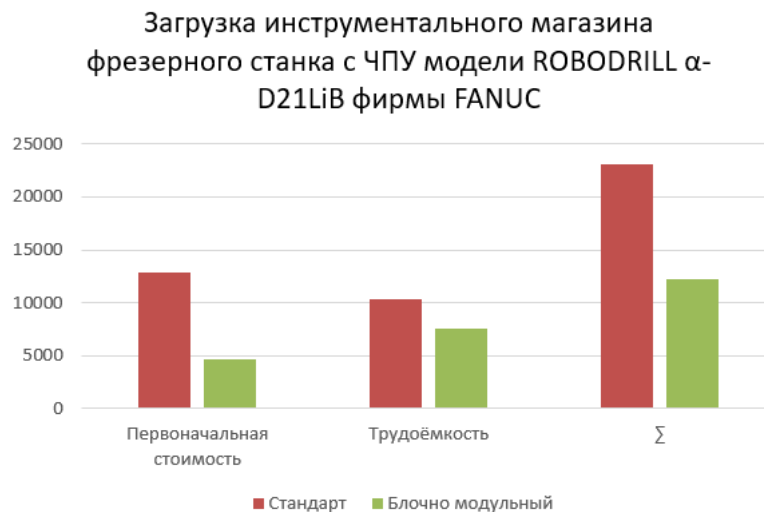


Рисунок 3.2 – Сравнительная гистограмма загрузки инструментального магазина токарного станка с ЧПУ модели ROBODRILL  $\alpha$ -D21LiB фирмы FANUC

Сравнительный анализ стоимости годового использования режущих инструментов показывает, что стоимость БМРИ при использовании в магазине токарного станка в 1,5 раза ниже, в магазине фрезерного станка – в 1,9 раз. Неравномерность стоимости загрузки токарного и фрезерного магазина, объясняется достаточно высокой стоимостью фрезерного и расточного инструмента вследствие разности их конструктивных особенностей в сравнении с БМРИ.

Типовой график, отражающий результаты анализа применения БМРИ приводится на рисунке 3.1.

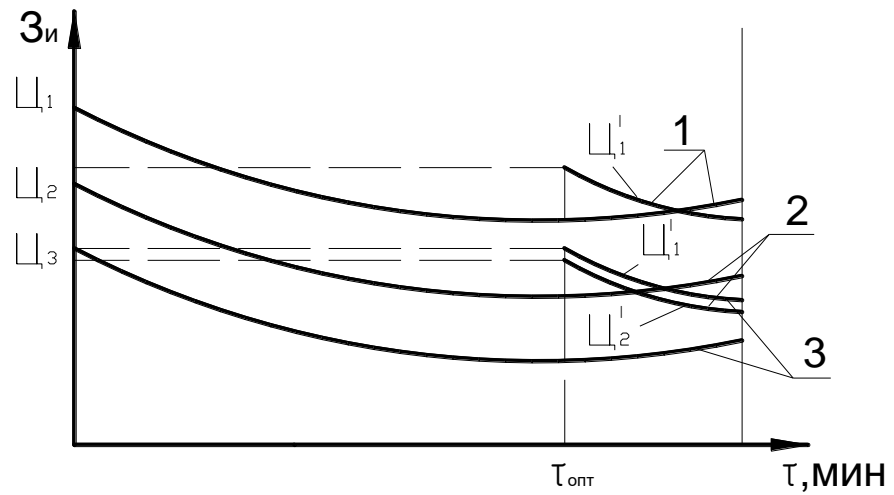


Рисунок 3.1 – Зависимость затрат на инструмент  $Z_{и}$  в стоимости механообработки от времени эксплуатации  $\tau$  режущего инструмента:

1 – модульный зарубежный; 2 – БМРИ; 3 – стандартный сборный;  
 $C_{1}$ ,  $C_{2}$ ,  $C_{3}$  - цена инструмента 1, 2, 3;  $C'_{1}$ ,  $C'_{2}$ ,  $C'_{3}$  – цена заменяемого модуля (инструмента)

Как видно из графика, при относительно высокой начальной цене блочно-модульного режущего инструмента повторное его введение в производство после отказа резцового блока и его замене приводит к снижению цены в пределах 30%.



## Глава 4. ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ РАБОТЫ И ЗАМЕНЫ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАГАЗИНАХ СТАНКОВ С ЧПУ НА ОСНОВЕ УРАВНИВАНИЯ ИХ СТОЙКОСТИ

Стойкость инструмента и соответствующая ей скорость резания должны быть такими, чтобы при заданном качестве обработанной поверхности обеспечивались высокая производительность и низкая себестоимость обработки.

При многоинструментной обработке, когда замена инструмента и его подналадка связаны с большой затратой времени и труда, стойкость инструмента должна быть сопоставимой для различных типов режущих инструментов, установленных в магазине станка с ЧПУ, с целью их одновременной замены.

Одним из основных факторов, определяющих стойкость режущего инструмента, является скорость резания. Скорость резания влияет на стойкость инструмента постольку, поскольку в зависимости от скорости изменяется температура в зоне резания.

### 4.1 Методика и результаты исследований

1. Выбор в магазине станка лимитирующего инструмента, имеющего наименьшую стойкость  $T_{lim}$ .

2. Определение значения лимитирующей стойкости резания  $v_{lim}$ , соответствующей наименьшей стойкости  $T_{lim}$ .

3. Определение коэффициента уравнивания  $K_{уравн.i}$  для каждого типа режущего инструмента в магазине станка (перехода, операции или марки инструментального материала):

$$K_{уравн.i} = \frac{v_i}{v_{lim}}, \quad (4.1)$$

где  $v_i$  – значение скорости резания для рассматриваемого типа режущего инструмента (марки материала).

При расчете  $K_{уравн.i}$  в зависимости от реальной детали, поверхности которая обрабатывается, возможны следующие варианты:

- 1)  $v_{lim} < v_{наим.} \rightarrow T_{lim} = T_{наим.}$  и  $v_i$  возрастает значительно, а  $T_i$  уменьшается до  $T_i = T_{lim}$ ;
- 2)  $v_{lim}$  уменьшается и  $T_{lim}$  увеличивается, при этом  $v_i$  увеличивается значительно и  $T_i = T_{lim}$ ;

3)  $v_{lim}$  увеличивается до  $v_{lim} = v_{наиб.}$  и  $T_{lim}$  уменьшается, при этом  $v_i$  принимает наибольшее значение (возможное) и  $T_i = T_{lim}$ .

4. Определяем  $K_{ур.i}$  для каждого заданного значения стойкости  $T$ .

5. Строим графические зависимости  $K_{ур.i}$  от типа режущего инструмента (перехода или марки материала).

6. Рассчитываем основное время работы режущего инструмента на каждом переходе:

$$T_o = \frac{L_i}{S_{mi}}, \quad (4.2)$$

где  $L_i$  – длина обработки  $i$ -тым инструментом;

$S_{mi}$  – минутная подача  $i$ -го инструмента.

В свою очередь:

$$S_{mi} = S_{oi} \cdot n_i = S_{oi} = \frac{1000v_i}{\pi D_i} \quad (4.3)$$

где  $v_i$  – значение скорости  $i$ -го инструмента, м/мин;

$D_i$  – диаметр  $i$ -го инструмента или  $i$ -ой детали, мм.

7. Строим графические зависимости  $T_i$  и  $v_i$  от типа режущего инструмента (марки материала).

8. Рассматриваем значение уравненной скорости для каждого типа режущего инструмента (марки материала):

$$v_{урав.} = v_i \cdot K_{уравн.i} \quad (4.4)$$

9. Определяем  $K_{уравн.и.м.}$  для инструментального магазина станка исходя из возможного времени одновременной смены режущих инструментов  $T_{одн.}$  и количества обрабатываемых поверхностей и конструктивных элементов деталей пд. (штучно-калькуляционное время).

10. Определяем  $K_{уравн.н.}$  надежности разных типов режущих инструментов (марки материалов) с учетом их стойкости (долговечности) и ремонтпригодности (времени замены в инструментальном магазине  $\tau_3$  и вне станка (диагностики и замены)  $\tau_0$ ).

По данным графиков (рис. 3) были рассчитаны показатель относительной стойкости  $m = \operatorname{tg} \alpha$ , постоянная величина  $C_v$  и коэффициент уравнивания скорости

резания для каждой из групп обрабатываемых материалов как отношение текущей скорости резания  $v$  к лимитирующей (наименьшей) скорости  $v_{lim}$ :

$$K_{уравн.} = \frac{v}{v_{lim}}. \quad (4.5)$$

Полученные данные сведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Значения показателей относительной стойкости режущих пластин фирмы Mitsubishi

Покры- тие	$\alpha, ^\circ$	m	$v$ (м/мин)	T (мин)	$C_v$	$K_{ур}$
Сплавы Р-класса						
UTi20T	6	0,11	130	10	166	1,00
US735	7	0,12	210	10	279	1,62
NX3035	7,9	0,14	-	10	-	-
UE6035	8	0,14	-	10	-	-
NX2525	9	0,16	-	10	-	-
UE6020	10,9	0,19	340	10	530	2,62
AP25N	11	0,19	350	10	548	2,69
UC6010	11,5	0,20	380	10	607	2,92
UE6110	12	0,21	-	10	-	-
UE6005	14	0,25	-	10	-	-
Сплавы М-класса						
UTi20T	6	0,11	125	10	159	1,00
US735	11	0,19	190	10	297	1,52
US7020	16	0,29	290	10	561	2,32
Сплавы К-класса						
UTi20T	6	0,11	125	10	159	1,00
HTi10	7	0,12	170	10	226	1,36
NX2525	5	0,09	205	10	251	1,64
AP25N	7	0,12	250	10	332	2,00
UE6110	8	0,14	270	10	373	2,16
UC5115	13	0,23	405	10	689	3,24
UC5105	15	0,27	450	10	834	3,60

Анализируя графики режимов резания Mitsubishi для различных покрытий, используемых при токарной обработке мы рассчитали коэффициенты  $m$ ,  $C_v$  и коэффициент уравнивания ( $K_{ур}$ ), где  $m = \operatorname{tg}(\alpha)$ ,  $C_v = v \cdot T^m$ ,  $K_{ур} = \frac{v}{V^3}$ . Для сплавов Р-класса разбежка значений  $m$  получилась в диапазоне от 0.11 до 0.25, значений  $C_v$  в диапазоне от 172 до 630 и значений  $K_{ур}$  в диапазоне от 1.00 до 2,25. При расчётах скорость  $v$  была в диапазоне от 120 до 270 м/мин.

В свою очередь стойкость можно рассчитать по формуле:

$$T = \sqrt[m]{\frac{C_v}{v \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v}, \quad (4.6)$$

Стойкость можно записать как функцию:

$$T = f(x), \quad (4.7)$$

где  $x$  – параметры процесса резания (скорость резания, подача, глубина резания), характеристики обрабатываемого материала, вид обработки резанием, степенные показатели в формуле стойкости резания.

По определенному значению показателя относительной стойкости  $m$  и постоянной  $C_v$  можно пересчитывать стойкость пластин режущих для выбранной скорости резания.

По данным каталога фирмы Mitsubishi (табл. 4.1) были построены графики зависимости стойкости режущего инструмента от скорости резания (рис. 4.2).

Таблица 4.2 – Значения скорости резания различных типов режущих и инструментов от периода стойкости

	Значение периода стойкости, мин	15	30	45	60	90
	Поправочный коэффициент на стойкость	1	0,83	0,74	0,69	0,62
	Тип режущего инструмента	Скорость резания, м/мин				
1	Резец проходной отогнутый	250	207,5	185	172,5	155
2	Резец расточной	130	107,9	96,2	89,7	80,6
3	Резец канавочный	120	99,6	88,8	82,8	74,4
5	Концевая фреза d20	140	116,2	103,6	96,6	86,8
6	Торцовая фреза d100	220	182,6	162,8	151,8	136,4
7	Торцовая фреза d14	180	149,4	133,2	124,2	111,6
8	Сверло d14	70	58,1	51,8	48,3	43,4
9	Сверло d30	100	83	74	69	62

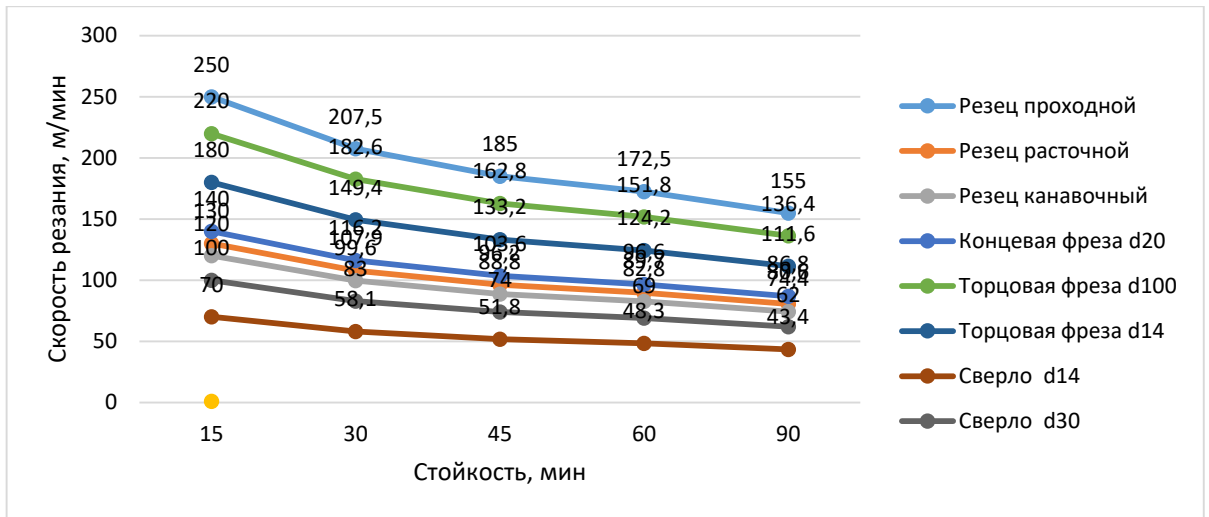


Рисунок 4.1 – Зависимость стойкости режущих инструментов от скорости резания

Наибольшие значения скорости резания при одинаковой стойкости обеспечиваются токарными резцами и торцовыми фрезами. Наименьшая скорость – при обработке концевыми фрезами.

По справочнику [3] были рассчитаны режимы резания для различных типов режущих инструментов (материал режущей части – Т15К6) по формулам при уравненной стойкости  $T=15$  мин:

при токарной обработке:

$$v_T = \frac{C_v \cdot T^m}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (4.8)$$

при сверлении

$$v_{св.} = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (4.9)$$

при фрезеровании:

$$v_{ф.} = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v. \quad (4.10)$$

Данные расчетов приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Режимы резания для различных типов режущих инструментов при уравненной стойкости  $T=15$  мин по справочнику [3]

Вид обработки	D, мм	T, мин	$v$ , м/мин	$n$ , мин <sup>-1</sup>	S, мм/об	t, мм	Cv	m	Кур.
Точение	50	15	280	1783	0,4	3	350	0,2	6,08
Растачивание	20	15	132	2114	0,15	2	420	0,2	2,86
Сверление	16	15	46	926	0,2	8	7	0,2	1
Фрезерование концевой фрезой	16/3	15	190	3811	0,54	2	145	0,37	4,1

Данные расчетов при уравненной стойкости  $T=60$  мин приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Режимы резания для различных типов режущих инструментов при уравненной стойкости  $T=60$  мин по справочнику [3]

Вид обработки	D, мм	T, мин	$v$ , м/мин	$n$ , мин <sup>-1</sup>	S, мм/об	t, мм	Cv	m	Кур.
Точение	50	60	202	1292	0,4	3	350	0,2	5,7
Растачивание	20	60	100	1602	0,15	2	420	0,2	2,85
Сверление	16	60	35	702	0,2	8	7	0,2	1
Фрезерование концевой фрезой	16/3	60	114	114	0,54	2	145	0,37	3,25

Так же был определен коэффициент уравнивания скоростей резания  $K_{уравн.}$ , как отношение текущей скорости резания  $v$  к лимитирующей (наименьшей) скорости  $v_{lim}$ :

$$K_{уравн.} = \frac{v}{v_{lim}}. \quad (4.11)$$

В данном случае в качестве лимитирующей скорости резания принята скорость резания при сверлении. Т.о. определив скорость лимитирующего инструмента по коэффициенту уравнивания можно определить скорость резания других режущих инструментов в инструментальном магазине станка с ЧПУ при  $T=const$ .

Расчет коэффициента уравнивания должен производиться для каждого конкретного случая обработки и сочетания режущих инструментов или покрытий режущих пластин.

#### 4.2 Алгоритм расчета времени одновременной замены режущих инструментов в инструментальном магазине станка с ЧПУ

Стойкость инструмента и соответствующая ей скорость резания должны быть такими, чтобы при заданном качестве обработанной поверхности обеспечивались высокая производительность и низкая себестоимость обработки.

Одним из основных факторов, определяющих стойкость режущего инструмента, является скорость резания. Скорость резания влияет на стойкость инструмента постольку, поскольку в зависимости от скорости изменяется температура в зоне резания.

При многоинструментной обработке, когда замена инструмента и его подналадка связаны с большой затратой времени и труда (ориентировочно 70 %), стойкость инструмента должна быть сопоставимой для различных типов режущих инструментов, установленных в магазине станка с ЧПУ, с целью их одновременной замены.

В зависимости от сочетания конструктивных элементов и их размеров стойкость всех режущих инструментов можно либо приравнять к единому значению, варьируя скоростью резания, либо назначить скорость резания с учетом среднего периода стойкости соответствующего определенному типу режущего инструмента.

В качестве примера произведен расчет режимов резания обработки детали «Втулка» на токарном станке с ЧПУ модели ST45 фирмы EMCO (рис. 1). Значения скоростей резания приведены с учетом уравненной стойкости режущих инструментов  $T=60$  мин (табл. 1), а также с учетом среднего периода стойкости по справочнику [3] (табл. 2). В качестве режущей части инструментов использован твердый сплав T15K6.

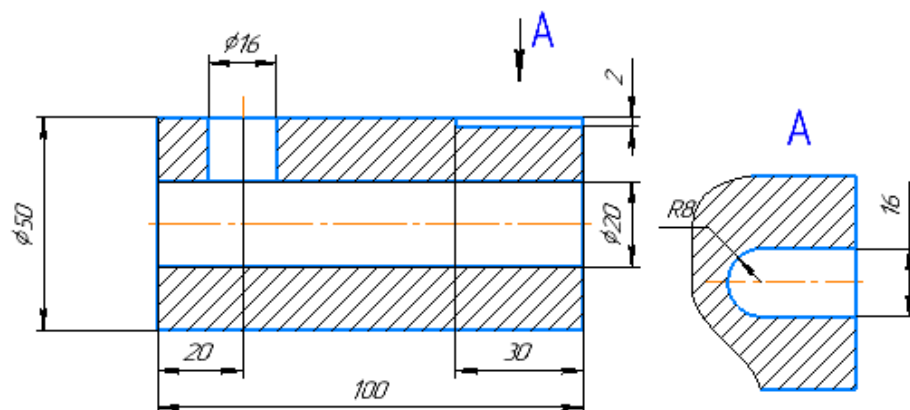


Рисунок 4.2 – Втулка

Таблица 4.5 – Данные расчетов режимов резания и основного времени обработки детали «Втулка» при уравненной стойкости при  $T=60$  мин

Вид обработки	D, мм	L р.х., мм	T, мин	V, м/мин	n, мин	S, мм/об	t, мм	To, мин	Производит., ед.
Точение	50	105	60	202	1286,6	0,4	3	0,20	294
Растачивание	20	105	60	100	1592,4	0,15	2	0,44	136
Сверление	16	21	60	35	696,7	0,2	8	0,15	398
Фрезерование концевой фрезой	16	37	60	203	4040,6	0,06	2	0,15	393

Таблица 4.6 – Данные расчетов режимов резания и основного времени обработки детали «Втулка» с учетом среднего периода стойкости

Вид обработки	D, мм	L р.х., мм	T, мин	V, м/мин	n, мин	S, мм/об	t, мм	To, мин	Производит., ед.
Точение	50	105	60	202	1286,6	0,4	3	0,20	294,0
Растачивание	20	105	60	100	1592,4	0,15	2	0,44	136,0
Сверление	16	21	20	44	875,8	0,2	8	0,12	167,0
Фрезерование концевой фрезой	16	37	70	191	3801,8	0,06	2	0,16	432,0

Для двух вариантов было рассчитано основное время. При уравненной стойкости  $T=60$  мин общее основное время операции составило  $T_o=0,95$  мин, при учете среднего периода стойкости и соответствующих ему режимам резания основное время операции составило  $T_o=0,93$  мин.

При обработке данной детали наиболее рациональным будет и расчет скоростей резания исходя из среднего периода стойкости, поэтому дальнейший расчет будет производиться по данным таблица 2.

Рассчитана производительность каждого типа режущего инструмента исходя из периода его стойкости, как отношение основного времени его работы к его стойкости:

$$Pr = \frac{T_o}{T}. \quad (4.12)$$

Лимитирующим инструментом по скорости резания является сверло. После расчета основного времени выявлено, что в данном варианте является лимитирующим инструментом является резец расточной, основное время его работы является наибольшим, а производительность – наименьшей.



При производстве деталей на станках с ЧПУ устанавливают норму штучно-калькуляционного времени на одну деталь, в соответствии с ГОСТ 3.1109 [2] она состоит из следующих частей:

- нормы штучного времени ( $T_{шт}$ );
- нормы подготовительно-заключительного времени ( $T_{п.п.з}$ ).

Норму подготовительно-заключительного времени составляют время на подготовку средств производства и рабочего к выполнению технологической операции и время на приведение их в первоначальное состояние после окончания технологической операции.

Норма подготовительно-заключительного времени включает:

$$T_{п.п.з} = T_{п.п.орг.} + T_{п.п.н.} + T_{п.п.обр.}, \quad (4.13)$$

где  $T_{п.п.орг.}$  – время на организационную подготовку, которое предусматривает: получение наряда, получение и сдачу (после обработки партии деталей) чертежа, технологической документации, программноносителя, режущего, вспомогательного и контрольно-измерительного инструмента, приспособления, доставку заготовок к станку, ознакомление с выполняемой работой, чертежом, технологической документацией, инструктаж мастера и др.

$T_{п.п.н.}$  – время на наладку станка, которое предусматривает: установку и снятие крепежного приспособления и режущих инструментов; установку программноносителя; программирование непосредственно на рабочем месте; настройку нулевого положения, режимов обработки и др.

$T_{п.п.обр.}$  – время на пробную обработку деталей по программе, которое предусматривает: время обработки детали по программе, время на выполнение приемов, связанных с измерением детали, вычислением коррекции, введением величин коррекции в систему ЧПУ, и вспомогательные приемы управления станком и системой ЧПУ и др.

Рассмотренные составляющие времени  $T_{п.п.}$  могут выполняться оператором или наладчиком или могут быть автоматизированными при соответствующем уровне автоматизации работ.

Подготовительно-заключительное время  $T_{п.п.}$  может иметь довольно большой удельный вес в составе штучно-калькуляционного  $T_{шт.к.}$  и оказывать достаточно большое влияние на итоговую себестоимость изделия. Чем меньше объем партии – тем выше ее себестоимость именно за счет  $T_{п.п.}$ . Частая остановка станочного оборудования с целью замены изношенного инструмента ведет к росту  $T_{п.п.}$ , что связано с заменой изношенного инструмента и его последующей настройкой на нулевую точку.

В среднем время на установку одного режущего инструмента в резцедержателе составляет 1,5 мин, снятие его - 0,5 мин; на установку одного резцедержателя в револьверную головку 4 мин, снятие его - 1,5 мин; на установку в начале работы в нулевое – 2,5÷ 9 мин [7]. Итого: замена одного инструмента будет составлять от 4,5 до 15 мин.

Если рассматривать частный случай, то для обработки партии деталей (рис. 1) в 432 шт. по режимам табл. 1, возникает необходимость в замене 3 инструментов, что ориентировочно составит 36 мин (табл.2).

Таблица 4.7 – Данные расчетов времени замены и настройки инструмента

Вид обработки	$T_o$ , мин	Производит, ед.	Количество остановок	Время замены и настройки, мин
Точение	0,20	294,0	1	6
Растачивание	0,44	136,0	3	18
Сверление	0,12	167,0	2	12
Фрезерование концевой фрезой	0,16	432,0	-	-

Для исключения простоев станка в период замены инструмента в инструментальном магазине, необходимо определить количество деталей в партии для одновременного запуска (объем партии) либо по максимальной, либо по средней производительности режущего инструмента, после обработки которой будет производиться полная замена всех режущих инструментов.

Для обеспечения одновременной замены всех режущих инструментов при обеспечении максимальной производительности необходимо, чтобы отношение основного времени к стойкости инструмента стремилось к максимуму:

$$\frac{T_o}{T} = const \rightarrow \max, \quad (4.14)$$

где  $T_o = \frac{L_{p.x.}}{S_o \cdot n}$  – основное время, мин,

где  $n = \frac{1000v}{\pi D}$  – частота вращения, мин<sup>-1</sup>,

где  $v = \frac{C_v}{T^m \cdot S^y \cdot t^x} K_v$  – скорость резания, м/мин,

где  $K_v$  – общий поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий фактические условия резания:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{iv} \cdot K_{nv}, \quad (4.15)$$

где  $K_{mv} = K_r \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v}$  – коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала;

$K_{iv}$  – коэффициент отражающий состояние поверхностного слоя заготовки;

$K_{nv}$  – коэффициент, учитывающий качество материала инструмента;

$n_v = 1,25$  – показатель степени при обработке.

Варьируя скоростью резания и стойкостью режущего инструмента можно определить максимально возможную производительность:

$$Pr = \frac{L_{p.x.}}{S_o \cdot 1000 \cdot v} / T \quad (4.16)$$

$$\pi D$$

Для уравнивания времени работы всех типов режущих инструментов в инструментальном магазине и, впоследствии, их одновременной замены необходимо догрузить магазин станка таким количеством резервного инструмента, которое позволит уравнять основное время их работы. Результаты представлены в табл.1.

Таблица 4.8 – Данные расчетов дозагрузки инструментального магазина

Вид обработки	То, мин	Производит., ед.	Количество инструмента	Производит., ед
Точение	0,20	294,0	2,00	588
Растачивание	0,44	136,0	4,00	544
Сверление	0,12	167,0	3,00	501
Фрезерование концевой фрезой	0,16	432,0	1,00	432
$\Sigma$	0,93	-	10	-

Т.о. в инструментальном магазине будет занято 10 позиций. Вспомогательное время операции  $T_v=1,8$  мин, оперативное время  $T_{оп}=2,73$  мин, дополнительное время  $T_{доп}=0,2$  мин, штучное время составит  $T_{шт}=2,95$  мин. Остановка станка для замены всего инструментального магазина будет произведена после обработки партии деталей, составляющей 432 ед. через 21 час 14 мин ( $423 \cdot T_{шт}$ ) – это 2 полные 8-ми часовые смены +5 часов.

В каждом конкретном случае необходимо рационально подбирать размер партии деталей либо исходя из максимальной производительности, либо из среднего значения, либо исходя из максимальной загрузки инструментального магазина, т.к. в зависимости от сочетания конструктивных элементов и их размеров соотношение между основным временем работы разных типов режущих инструментов может быть достаточно большим, а мест в инструментальном магазине ограничено.

## Глава 5. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННЫХ ТОРЦОВО-ДИСКОВЫХ ФРЕЗ

Были проведены сравнительные испытания торцовых и дисковых фрез, при конструировании которых использовался модульный принцип. Т.е. фрезы имели одинаковые корпусные модули, модули зажимные и блоки резцовые (рис. 5.1).

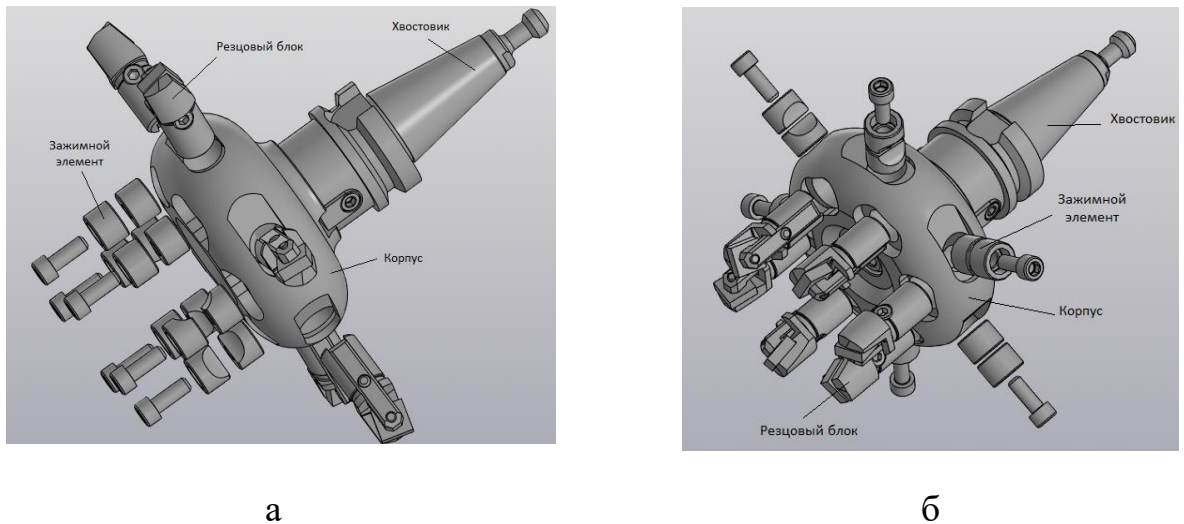


Рисунок 5.1 – Внешний вид комбинированной фрезы: а – дисковой; б – торцовой

Испытания проводились на сопоставимых режимах резания:  $v=230\div 305$  м/мин,  $Sz=0,06\div 0,1$  мм/зуб,  $t=0,5\div 1,5$  мм.

Реализованы схемы торцового встречного и плунжерного фрезерования на станке с ЧПУ Robodrill (рис. 5.2, 5.3).

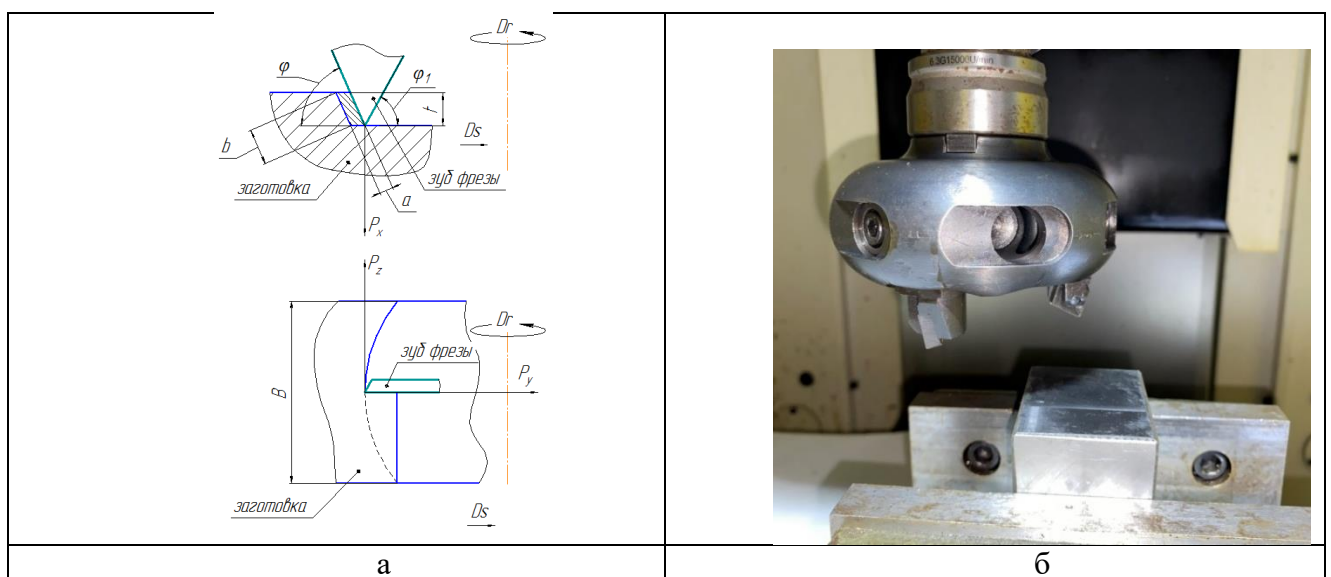


Рисунок 5.2 – Схема (а) и вид (б) торцового фрезерования:  $a$  и  $b$  – толщина и ширина сечения срезаемого слоя;  $t$  – глубина резания;  $\varphi$  и  $\varphi_1$  – главный и вспомогательный углы в плане;

$P_x, P_y, P_z$  – осевая, радиальная и тангенциальная составляющая силы резания;  $D_r$  и  $D_s$  – главное движение и движение подачи;  $B$  – ширина фрезерования

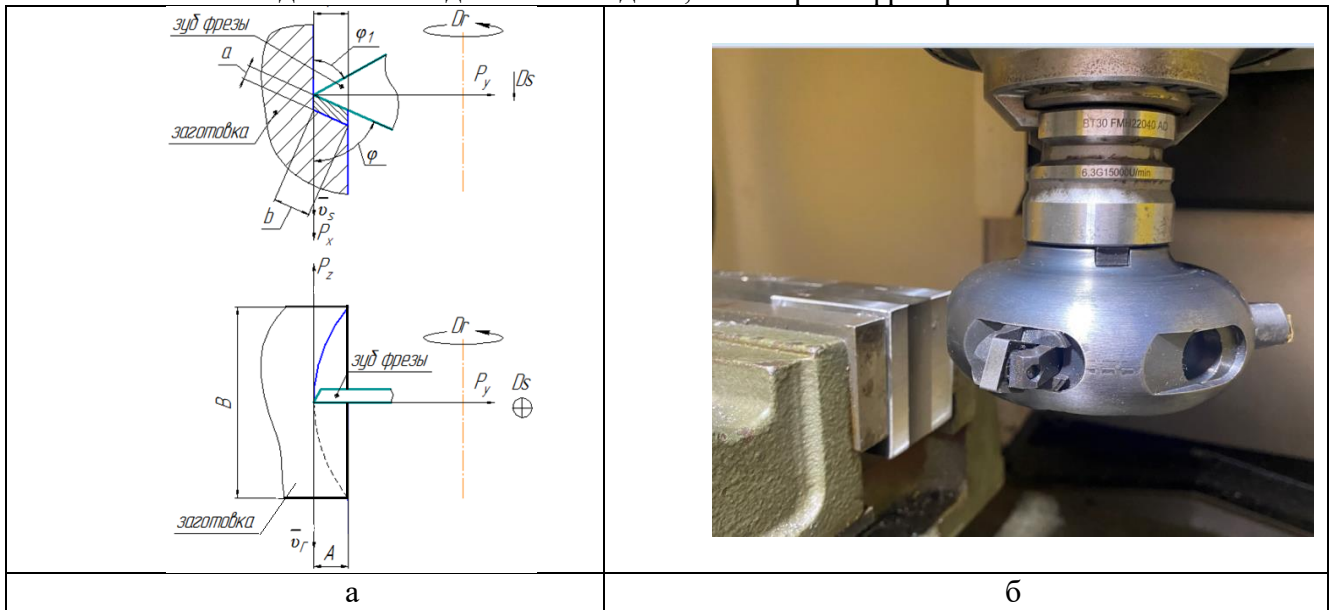


Рисунок 5.3 – Схема (а) и вид (б) осевой обработки дисковой фрезой (плунжерного фрезерования):  $a$  и  $b$  – толщина и ширина сечения срезаемого слоя;  $t$  – глубина резания;  $\varphi$  и  $\varphi_1$  – главный и вспомогательный углы в плане;  $P_x, P_y, P_z$  – осевая, радиальная и тангенциальная составляющая силы резания;  $D_r$  и  $D_s$  – главное движение и движение подачи;  $B$  – ширина фрезерования;  $A$  – глубина врезания фрезы;  $\bar{v}_r$  и  $\bar{v}_s$  – векторы линейных скоростей главного движения и движения подачи

Испытания показали, что измерения мощности резания, усадки стружки и шероховатости обработанной поверхности в установленном диапазоне режимов резания примерно одинаковы для двух типов фрез (табл. 1).

Таблица 5.1 – Результаты экспериментальных исследований торцевой и дисковой фрезы

	Мощность резания, $N$ , кВт	Усадка стружки $ka$	Шероховатость $Ra$ , мкм
Торцовая фреза	1,11	2,5	2,1
Дисковая фреза	0,3	2,4	2,7

Была рассчитана стойкость фрез по формуле:

$$T = \sqrt[m]{\frac{C_v \cdot D^q}{v \cdot t^x \cdot S^y \cdot B^u \cdot z^p}} \cdot K_v \quad (5.1)$$

Значения стойкости для торцевой и дисковой фрез также сопоставимы. Это значит, что использование в инструментальном магазине станка с ЧПУ блочно-модульных режущих инструментов, имеющих унифицированные конструктивные элементы, позволяет уравнивать стойкость разных типов режущих инструментов и

тем самым обеспечивать одинаковое время их замены в инструментальном магазине станка.

Таким образом, результаты экспериментальных исследований подтверждают работоспособность предлагаемых комбинированных торцово-дисковых фрез, которые рекомендуются для дальнейших производственных испытаний.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно обосновано повышение надежности, и прежде всего долговечности и ремонтпригодности блочно-модульных режущих инструментов на основе уравнивания стойкости разных типов режущих инструментов в инструментальных магазинах во время обработки и сокращения времени на их замену, дефектацию и настройку вне станка за счет применения унифицированных конструктивных модулей и блоков.

Разработанная методика исследований надежности режущих инструментов, включающая сравнительную оценку прогнозных характеристик производительности и себестоимости обработки, стойкости режущих инструментов и качества обработанных поверхностей деталей, позволяет установить их зависимости изменения и определить оптимальные значения стойкости и времени работы конкретным типом режущего инструмента.

Установлен технологический регламент замены, дефектации и настройки режущих инструментов, включающий значения времени работы на станке и вне станка и позволяющий сократить время и стоимость проводимых работ от 1,2 до 2,7 раз, что обеспечивает реализацию принципа одновременной замены всех типов режущих инструментов по окончании рабочей смены.



**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС / И. Л. Фадюшин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.
2. Сборный твердосплавный инструмент / Г. Л. Хаеа [и др.]; под общ. ред. Г. Л. Хаеа. – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.
3. Ящерицын, П. И. Основы проектирования технологических комплексов в машиностроении: монография / П. И. Ящерицын, Л. М. Акулович, М. Л. Хейфиц. – Минск: Технопринт, 2006. – 248 с.
4. Маслов, А. Ф. Конструкции и эксплуатация прогрессивного инструмента / А. Ф. Маслов. – М.: ИТО, 2006. – 169 с.
5. Автоматизация выбора режущего инструмента для станков с ЧПУ / В. И. Аверченков [и др.]. – Брянск: БГТУ, 2010. – 148 с.
6. Крагельский, И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – Москва: Машиностроение, 1977. – 526 с.
7. Кожевников, Д. В. Резание материалов: учебник / Д. В. Кожевников, С. В. Кирсанов; под общ. ред. С. В. Кирсанова. – Москва: Машиностроение, 2007. – 304 с.
8. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. / Под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 1985. – Т. 2. – 496 с.
9. Каталог компании Mitsubishi
10. Каталог компании SECO
11. Панов Ф.С., Травин А.И. Работа на станках с числовым программным управлением. – Л.: Лениздат, 1984. – 278 с.
12. Захаров В.И. Взаимозаменяемость, качество продукции и контроль в машиностроении. – Л.: Лениздат, 1990. – 302 с.
13. ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике. Термины и определения».
14. Блочно-модульные режущие инструменты. Альбом: учебно-методическое пособие / Н.Н. Попок, В.А. Терентьев, Г.И. Гвоздь, С.А. Портянко. – Новополюцк: Полоц. гос. ун-т, 2021. – 164 с.
15. Волчкевич И.Л. Рациональное использование станков с ЧПУ в условиях многономенклатурного производства // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 2. С. 1-16.
16. Станки с ЧПУ: устройство, программирование, инструментальное обеспечение и оснастка [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.А. Жолобов, Ж.А. Мрочек, А.В. Аверченков, М.В. Терехов, В.А. Шкаберин. – 2-е изд., стер. – М.: ФЛИНТА, 2014. – 355 с.

17. Маталин, А.А. Многооперационные станки / А.А. Маталин, Т.Б. Дашевский, И.И. Княжицкий; науч. ред. Ю.Е. Михеев. – Москва: Машиностроение, 1974. – 320 с.
18. Кузнецов, Ю. И. Оснастка для станков с ЧПУ: справочник / Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. И. Байков. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1990. - 512 с.
19. Высокоточные обрабатывающие станки с ЧПУ [Электронный ресурс] / Copyright ЗАО «М. Т. Е. - ФИНАНС». - М., 2005. - Режим доступа: <http://www.mtef.ru/catalog/CPU>.
20. Токарно-фрезерное оборудование [Электронный ресурс] / Группа компаний «ROBUR International». - М., 2005. - Режим доступа: <http://www.robur.ru/cdugardrus.htmlarticles/articlesid=140>.
21. Токарное оборудование [Электронный ресурс] / Группа компаний «ROBUR International». - М., 2008. - Режим доступа: <http://www.robur.ru/cdugardrus.htmlindex.php>.
22. Вертикальные фрезерно-сверлильно-расточные обрабатывающие центры SODICK [Электронный ресурс] / SODICK Co., Ltd. - М., 2005. -Режим доступа: <http://www.sodick-euro.ru/Russian/mcnanol00.htm>.
23. Блочно-модульные режущие инструменты. Альбом: учебно-методическое пособие / Н.Н. Попок, В.А. Терентьев, Г.И. Гвоздь, С.А. Портянко. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т, 2021. – 164 с.
24. Попок Н.Н., Сидикевич А.В., Ивановская М.Ю., Сидикевич М.В. Повышение экономичности режущих инструментов на основе модульных конструкций (Всб.: Машиностроение, Минск : УП «Технопринт», вып. 21, в 2-ух томах, Т.1, 2005 – С. 143-150.
25. Н.Н. Попок. Анализ тенденций проектирования инструментальных систем. Часть 3. Инструментальные системы для многоцелевой обработки. // Вестник ПГУ. № 3, 2012.– С. 19-37.