

Рациональное применение модульных конструкций режущих инструментов на основе уравнивания стойкости различных их типов в инструментальных магазинах станков с ЧПУ

Н. Н. Попок, Р. С. Хмельницкий, В. С. Анисимов, Д. А. Башлачев
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», г. Новополоцк, Республика Беларусь

Аннотация. Целью работы является повышение производительности обработки заготовок на станках с ЧПУ. Для достижения цели предлагается система блочно-модульных режущих инструментов и решение задачи уравнивания стойкости различных типов режущих инструментов в процессе резания и повышения их надежности на основе технологических регламентов дефектации и настройки вне станка.

Используются аналитические и экспериментальные методы исследования, позволяющие установить зависимости скорости резания от стойкости режущего инструмента с учетом показателей относительной стойкости, коэффициента обрабатываемости материалов и коэффициента уравнивания как отношение значения скорости обработки данным инструментом к скорости обработки лимитирующим инструментом.

Рассмотрена система блочно-модульных режущих инструментов, основанная на унифицированном блоке резцовом, который устанавливается в различные типы режущих инструментов. Инструменты имеют простые по конфигурации и надежные элементы установки пластин режущих в державке и блоков резцовых в корпусах режущих инструментов. Приведен алгоритм расчета коэффициента уравнивания стойкости и разработки технологического регламента.

На примере технологических процессов изготовления деталей показана эффективность предлагаемой методики уравнивания стойкости режущих инструментов. Результаты исследований могут быть использованы в многономенклатурном производстве деталей на станках с ЧПУ.

Ключевые слова: блочно-модульный режущий инструмент, инструментальный магазин станка с ЧПУ, уравнивание стойкости инструмента, технологический регламент.

Rational Application of Modular Cutting Tools Based on Equalization of Resistance of Their Various Types in Tool Banks of CNC Machines

Nikolay N. Popok, Ruslan S. Khmelnytsky, Vitaly S. Anisimov, Dmitry A. Bashlachev
Educational institution "Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk",
Novopolotsk, Republic of Belarus

Abstract. The aim of the work is to increase the productivity of workpiece processing on CNC machines. To achieve this goal, a system of block-modular cutting tools and a solution to the problem of equalizing the durability of various types of cutting tools during cutting and increasing their reliability based on technological regulations for defect detection and adjustment outside the machine are proposed.

Analytical and experimental research methods are used to determine the dependence of the cutting speed on the durability of the cutting tool, taking into account the indicators of relative durability, the coefficient of material machinability, and the equalization coefficient as the ratio of the value of the processing speed of a given tool to the processing speed of the limiting tool.

The system of block-modular cutting tools based on a unified cutting block, which is installed in various types

of cutting tools, is considered. The tools have simple in terms of configuration and reliable elements for installing cutting plates in the holder and cutting blocks in the bodies of cutting tools. An algorithm for calculating the coefficient of equalization of durability and developing process regulations is given.

The efficiency of the proposed method for equalizing the durability of cutting tools is shown using the example of technological processes for manufacturing parts. The research results can be used in multi-product manufacturing of parts on CNC machines.

Keywords: block-modular cutting tool, tool shop of a CNC machine, tool durability equalization, technological regulations.

ВВЕДЕНИЕ

При освоении машиностроительными предприятиями выпуска новой продукции требуется разработка технологических процессов изготовления деталей и соответствующее обеспечение станочным оборудованием и оснасткой. Зачастую для достижения этой цели используется имеющееся в наличии оборудование и при необходимости закупается новое оборудование. Как правило, это приводит к применению станков разных производителей, а в случае станков с ЧПУ – еще и к большому разнообразию используемых режущих инструментов. В результате, закупка разных типов режущих инструментов у различных фирм-производителей оказывается дороже стоимости самого оборудования. Поэтому ставятся задачи, во-первых, по возможности минимизировать количество и унифицировать конструкции применяемого режущего инструмента. При этом следует иметь ввиду, что в случае станков с ЧПУ количество используемых разных типов режущих инструментов ограничивается емкостью их инструментальных магазинов. Во-вторых, необходимо сократить время простоев станков в связи с заменой режущих инструментов, их дефектацией и настройкой [1, 2].

Для решения этих задач предлагается использовать систему модульных режущих инструментов разных типов, включающую унифицированные взаимозаменяемые резцовые блоки [3]. При эксплуатации разных типов режущих инструментов предусматривается уравнивание их стойкости за счет регулирования режима резания и времени обработки [4]. При изготовлении деталей партиями оптимизируется количество этих партий и режущих инструментов в инструментальном магазине станка, что, в конечном итоге, обеспечивает одновременную замену режущих инструментов и быструю их дефектацию и настройку.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Разрабатывается система блочно-модульных режущих инструментов (БМРИ) [5, 6], формирование которой включает несколько этапов (рис. 1). Исходя из конфигурации конструктивного элемента (КЭ) и поверхности (П) детали выбирается вид обработки, определяемый движениями заготовки и ин-

струмента – токарный, осевой, фрезерный и другие и тип режущего инструмента (РИ) (Блочно-модульные режущие инструменты. Альбом: учебно-методическое пособие / Н.Н. Попок, В.А. Терентьев, Г.И. Гвоздь, С.А. Портянко. – Новополюцк: Полоцк. гос. ун-т 2021. – 164 с.) [7].

Далее выбирается тип пластины режущей (ПР), соответствующий типу режущего инструмента (РИ) и виду обработки резанием. В нашем случае номенклатура пластин режущих ограничивается предлагаемой конструкцией переходника между пластиной режущей и модулем корпусным (МК) – блоком резцовым (БР). В блоке резцовом (рис. 2) паз для установки ПР выполняется открытым и базирование пластины режущей осуществляется по поверхности основания (опорная база – три степени свободы $B1, B2, B3$) и боковым ее поверхностям (направляющая база – две степени свободы $B4, B5$).

Поверхности паза под пластину режущую могут выполняться «под углом» с учетом требований по обеспечению значений передних и задних углов, углов в плане и т. д. Исключение шестой степени свободы пластины режущей обеспечивается за счет модуля зажимного (МЗ), выполняемого в виде «тянущего» прихвата, один конец которого устанавливается на переднюю поверхность режущей пластины или посредством штифта $З$ в ее отверстие. За счет второго конца прихвата, выполненного со скосом $г$ и контактирующего со скошенной поверхностью $в$ державки блока резцового, обеспечивается зажим пластины режущей по основанию и боковой поверхности.

Базирование прихвата осуществляется по боковым его поверхностям (направляющая база – четыре степени свободы $A1, A2, A3, A4$), а также по прижимной и скошенной его частей (две степени свободы). Прихват устанавливается в пазу державки блока резцового по поверхности $б$ с зазором, имея жесткий допуск в поперечном направлении и возможность перемещения в продольном направлении по отношению к пазу державки.

Таким образом, пластина режущая надежно закрепляется в пазу корпуса блока резцового по основанию и боковой поверхности и удерживается от перемещений по ее двум другим боковым сторонам

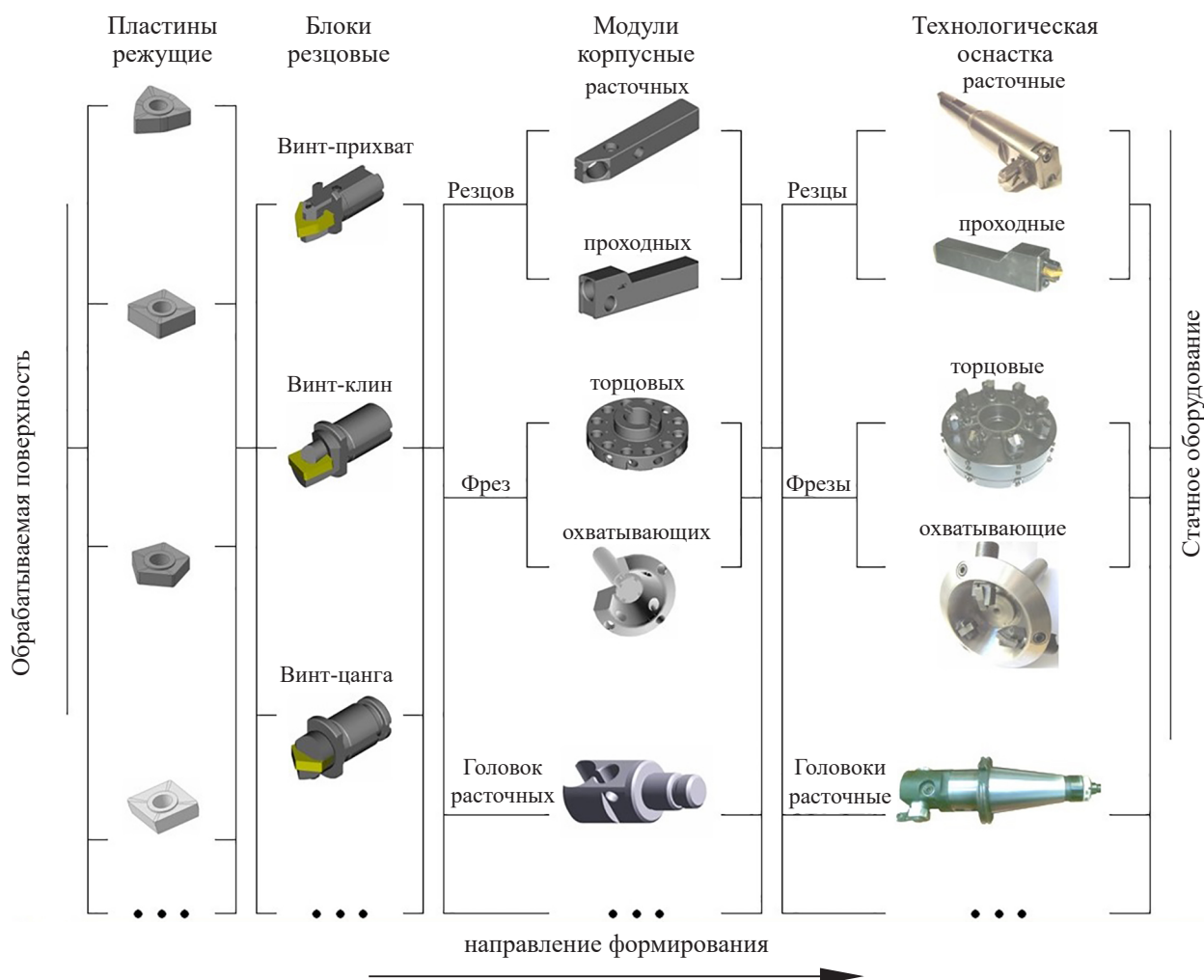


Рисунок 1 – Схема формирования блочно-модульного режущего инструмента
Figure 1 – Scheme of formation of a block-modular cutting tool

«тянущим» прихватом. Прихват «тянущий» выполняется или Т-образным с вворачиваемым в него винтом, или в виде цанги, или полуцанги.

Для установки блока резцового в модуле корпусном из большого многообразия установочных элементов в виде плоскости, Т-образных пазов и пазов в форме «ласточкин хвост», рифлений и т. п., была выбрана цилиндрическая поверхность. На цилиндрической поверхности выполнены продольные пазы для фиксации блока резцового от проворота. Блок резцовый также может иметь на одной торцевой поверхности буртики для его зажима прихватами, а на другой – вворачиваемый винт b для регулировки вылета блока резцового в осевом направлении.

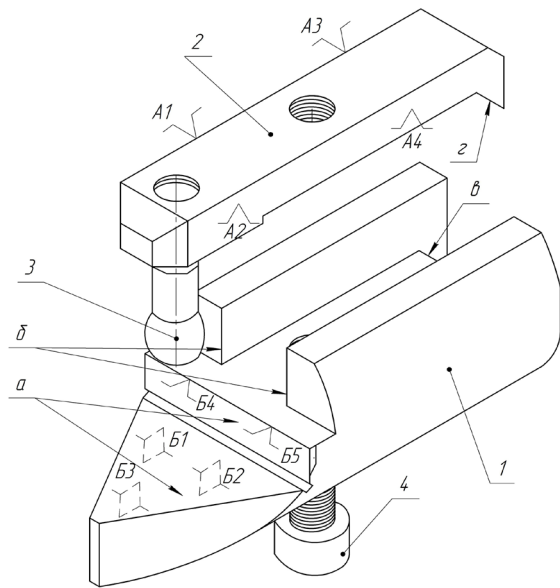
Отверстие (его расположение) в модуле корпусном для установки блока резцового выполняется с учетом вида обработки, типов режущего инструмента и режущей пластины («негатив» и «позитив») и т. п.

Из большого многообразия зажимных элементов для закрепления блока резцового выбран двухклиновой зажим, включающий два сухаря и скрепляющий их винт.

В многолезвийных режущих инструментах (осевых, фрезерных и т. п.) имеется возможность регулировки радиального и торцевого биения блоков резцовых, предусматриваются модули балансировочные в виде «грузиков» – регулируемых винтов с заглушками, спиральных колец и т. п. [8].

Как известно [9], наименее надежным звеном в РИ является его режущее лезвие, а в составном и сборном РИ – ПР, которые изнашиваются и разрушаются в процессе резания одними из первых. В сборном и составном РИ разрушение ПР приводит к поломке МК РИ. Стоимость замены ПР и МК составляет в зависимости от типа РИ от 10 до 1000 у. е.

С экономической и технологической точек зрения целесообразно использовать установку ПР



1 – державка; 2 – прихват; 3 – штифт;
4 – винт; A1, A2, A3, A4 – значки направляющих баз прихвата; B1, B2, B3 – значки опорной базы под пластину режущую в державке; B4, B5 – значки установочной базы под пластину режущую в державке
1 – holder; 2 – clamp; 3 – pin;
4 – screw; A1, A2, A3, A4 – icons of the guide bases of the clamp; B1, B2, B3 – icons of the support base for the cutting holder plate; B4, B5 – icons of the mounting base for the cutting insert in the holder

Рисунок 2 – Блок рецзовый
Figure 2 – Cutting block

в кассету, картридж, БР, замена которых дешевле в 2–10 раз по сравнению с заменой МК. Но применяемые кассеты в разных типах РИ и у разных инструментальных фирм – разные и такая замена тоже является дорогой.

Использование предлагаемой системы БМРИ с унифицированным БР наиболее экономически выгодный вариант, т. к. позволяет быстро окупить затраты как на этапах его проектирования и изготовления, так и на этапе эксплуатации. При проектировании и изготовлении такого инструмента используется меньшее количество разных модулей (режущих, зажимных, регулировочных и т. д.) за счет унификации их присоединительных поверхностей и конструктивных элементов и применяется однотипная технологическая оснастка. В процессе эксплуатации БМРИ за счет унификации модулей сокращается время и затраты на его замену в инструментальном магазине станка, разборку, дефектацию и сборку вне станка.

В качестве критериев оценки эффективности БМРИ по сравнению со стандартным РИ принимаются [10]:

- надежность РИ, включающая стойкость T , мин; ремонтпригодность τ_p , мин; взаимозаменяемость τ_o , мин;
- качество (шероховатость, Ra , мкм) и точность (квалитет IT) обработки (получаемых деталей);
- производительность обработки П (трудоемкость $\tau_o, \tau_{н.з.}$, мин);
- себестоимость обработки C , руб.;

При этой оценке возможны следующие варианты:

1. При сохранении заданной П и работе изношенным РИ ухудшается качество и точность обработки, что требует своевременной замены РИ.
2. При уменьшении П за счет уменьшения параметров режима резания (скорость v и подача S) и сохранении заданной T будет снижаться качество обработки. Необходимо сопоставить себестоимость РИ и себестоимость получения детали.
3. При достижении заданных параметров качества и точности детали необходимо увеличить скорость резания, что приведет к снижению стойкости РИ.

Выбор того или иного варианта определяется конкретными условиями изготовления реальной детали.

Выдвигается гипотеза, что применение унифицированного БР в разных типах режущих инструментов (проходных, подрезных и расточных резцах, сверлах, зенкерах, концевых, дисковых и торцовых фрезах и т. д.), при их установке в инструментальном магазине станка (не менее трех типов) и обеспечении сопоставимого времени обработки конструктивных элементов и поверхностей деталей в соответствии с уравниваемой стойкостью конкретного РИ, одновременной их замене (снятии, разборке, дефектации, восстановлении, сборке и настройке вне станка) позволит сократить вспомогательное время, время простоев станка и повысить производительность обработки на одном рабочем месте. При этом уравнивание стойкости различных типов режущих инструментов производится путем задания времени работы станка до его остановки (одно-, двух-, трехменная работа) и определения скорости резания каждым инструментом через коэффициент уравнивания при заданном или стандартом, или справочником, или каталогом значений его стойкости.

Основное время обработки конструктивных элементов и поверхностей реальных деталей в сопоставлении со стойкостью РИ регулируется количеством однотипных РИ в инструментальном магазине станка и количеством изготавливаемых деталей в партии.

Алгоритм уравнивания стойкости режущих инструментов включает следующие основные этапы:

1. Выбор в магазине станка лимитирующего PI_{lim} .
2. Определение значения лимитирующей скорости резания v_{lim} .

3. Определение коэффициента уравнивания стойкости $K_{уравн.i}$ для каждого i -го типа РИ, используемого в переходе, операции с учетом марки инструментального материала:

$$K_{уравн.i} = v_i / v_{lim},$$

где v_i – значение скорости резания для i -го типа режущего инструмента или марки инструментального материала; v_{lim} – скорость резания для лимитирующего РИ_{lim} или инструментального материала.

При расчете $K_{уравн.i}$ в зависимости от обрабатываемых конструктивных элементов и поверхностей детали возможны следующие варианты:

1. $v_{lim} = v_{min} \rightarrow T_{lim} = T_{min}$ и v_i возрастает значительно, а T_i уменьшается до $T_i = T_{lim}$;
2. $v_{lim} < v_{min}$ и T_{lim} увеличивается, при этом v_i увеличивается значительно и $T_i = T_{lim} = T_{max}$;
3. v_{lim} увеличивается до $v_{lim} = v_{max}$ и T_{lim} уменьшается, при этом $v_i = v_{max}$ и $T_i = T_{lim} = T_{max}$.
4. Определение $K_{уравн.i}$ для каждого заданного значения стойкости T .

5. Расчет и построение графических зависимостей $K_{уравн.i}$ для каждого типа РИ (перехода или марки материала).

6. Расчет основного времени работы РИ на каждом переходе и сопоставление его со стойкостью РИ:

$$\tau_o = L_i / S_{mi},$$

где L_i – длина обработки i -тым инструментом; S_{mi} – минутная подача i -го инструмента.

В свою очередь:

$$S_{mi} = S_{oi} \cdot n_i = S_{oi} \cdot \frac{1000 v_i}{\pi D_i},$$

где v_i – значение скорости i -го инструмента, м/мин; D_i – диаметр i -го инструмента или i -ой детали, мм.

Определение производительности P :

$$P = T / \tau_o,$$

где τ_o – основное время, мин; T – стойкость РИ.

7. Расчет и построение графических зависимостей T_i от v_i или v_i от T_i для каждого типа РИ, перехода или марки инструментального материала.

8. Расчет уравненной скорости резания для каждого типа РИ (марки инструментального материала):

$$v_{урав.} = v_i \cdot K_{уравн.i}.$$

9. Определение коэффициента уравнивания для инструментального магазина станка $K_{уравн.и.м.}$ исходя из одновременной замены РИ и комплекта обработанных поверхностей N_n , конструктивных

элементов $N_{к.э.}$ и деталей N_d ($\tau_{шт.к.}$ – штучно-калькуляционное время). Определение загрузки инструментального магазина:

$$N_3 = \sum PI.$$

10. Определение надежности разных типов РИ (марки инструментальных материалов) $K_{уравн.н.}$ с учетом их стойкости (долговечности) и ремонтно-пригодности (времени замены в инструментальном магазине станка τ_3) и вне станка τ_o (диагностики и дефектации).

11. Разработка технологического регламента одновременной замены, дефектации и настройки режущих инструментов.

Если уравненная скорость (стойкость) отдельных РИ получается значительно меньше других, то рассчитывается дополнительное количество однотипных РИ, устанавливаемых в инструментальном магазине (ИМ) станка, или определяется количество деталей в партии, обеспечивающих «догрузку» РИ, имеющих наибольшую стойкость.

Воспользовавшись данными фирмы Mitsubishi (Токарный инструмент. Вращающийся инструмент. Инструментальные системы // Общий каталог фирмы «Mitsubishi» (Япония), 2007–2009), представленных в виде графиков на рисунке 3, рассчитываются показатель относительной стойкости m и поправочный коэффициент на скорость резания C_v , учитывающий свойства обрабатываемого материала из формулы:

$$v_i = C_{vi} / T_i^m,$$

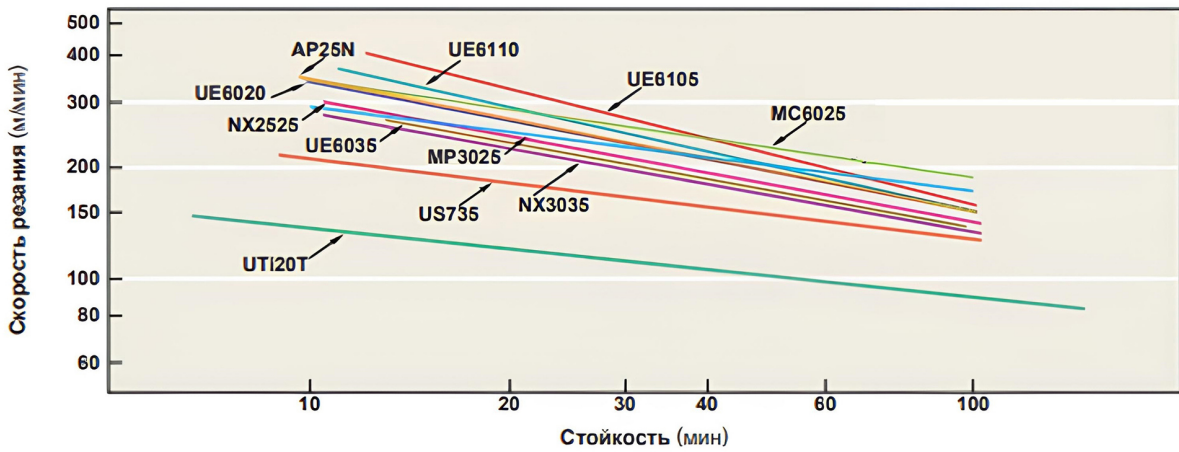
коэффициент уравнивания по формуле:

$$K_{уравн.i} = v_i / v_{lim}.$$

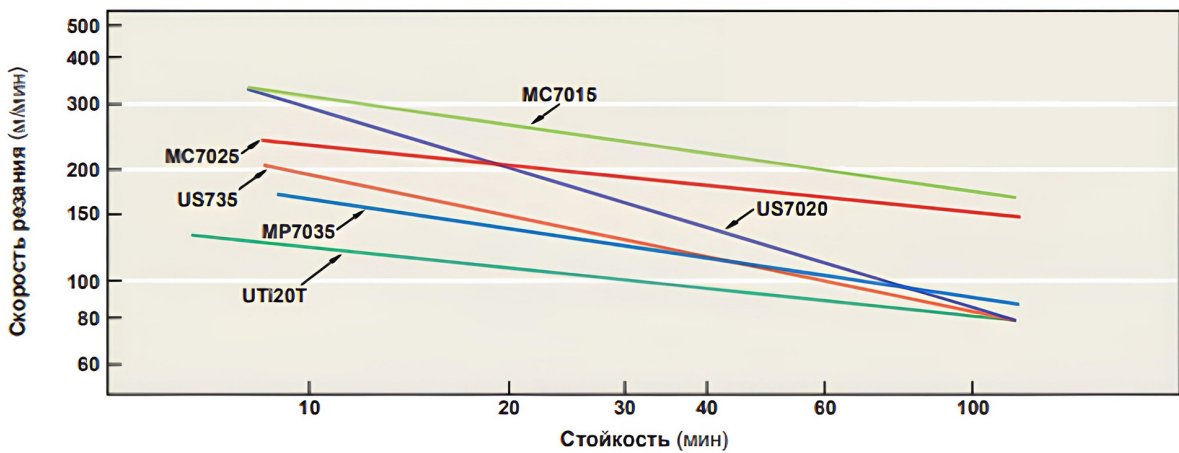
Результаты расчетов представлены в таблице 1.

В диапазоне скоростей $v = 120$ – 270 м/мин для сплава Р-класса $K_{уравн.i}$ изменяется в диапазоне от 1,00 до 2,25, показатель относительной стойкости – $m = 0,11 \div 0,25$, поправочный коэффициент $C_{vi} = 172$ – 630 . В каталогах фирмы Mitsubishi отмечается, что увеличение скорости резания на 20 % приводит к снижению стойкости инструмента на 50 %, а увеличение скорости резания на 50 % уменьшает стойкость инструмента на 80 %. Эти данные также свидетельствуют о том, что показатель относительной стойкости изменяется в пределах значений равных $m = 0,2$.

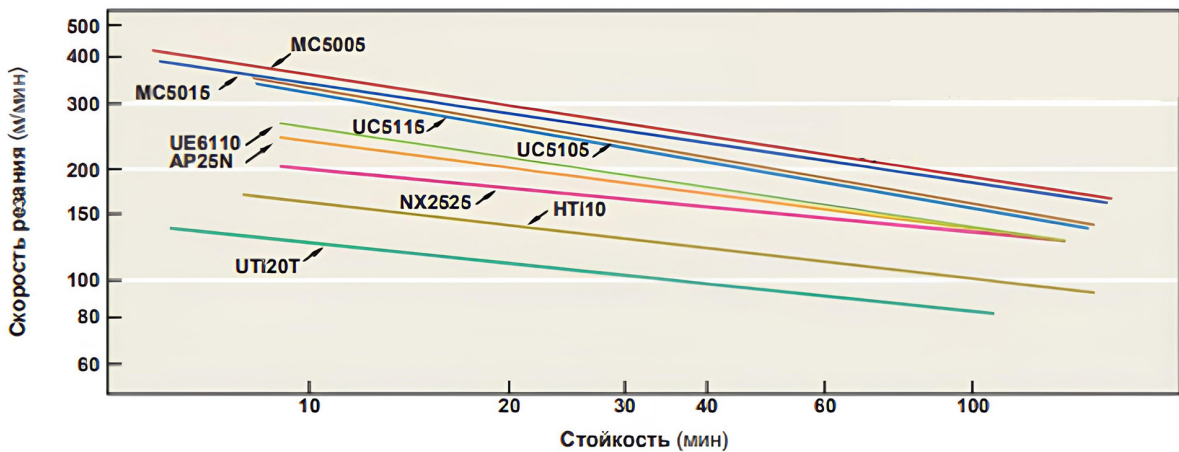
По отдельным значениям показателя относительной стойкости m и поправочного коэффициента C_v были пересчитаны $K_{уравн.i}$ для разных типов режущих инструментов и периодов стойкости, которые представлены в таблице 2 и в виде графиков на рисунке 4.



а (а)



б (б)



в (с)

Рисунок 3 – Значения периода стойкости режущих пластин из каталога фирмы Mitsubishi:
 а – сплавы Р-класса, заготовка: DIN Ck45 180HB;
 б – сплавы М-класса, заготовка: DIN X5CrNi189 200HB;
 в – сплавы К-класса, заготовка: DIN GG30 180HB; стандартная стойкость: $V_B = 0,3$ мм, глубина резания: 1,5 мм, подача: 0,3 мм/об, державка: PCLNR 2525 M12, пластина: CNMG 120408, сухое резание
 Figure 3 – Values of the cutting plate durability period from the Mitsubishi catalog:
 а – P-class alloys, billet: DIN Ck45 180HB; б – M-class alloys, billet: DIN X5CrNi189 200HB;
 в – K-class alloys, billet: DIN GG30 180HB; standard resistance: $V_B = 0,3$ mm, cutting depth: 1.5 mm, feed: 0.3 mm/rpm, holder: PCLNR 2525 M12, plate: CNMG 120408, dry cutting

Таблица 1 – Значения показателя относительной стойкости и коэффициента уравнивания режущих пластин фирмы Mitsubishi

Table 1 – Values of the relative durability indicator and the equalization coefficient of Mitsubishi cutting inserts

Показатели Покрывтие	$\alpha, ^\circ$	t	$v, \text{ м/мин}$	$T, \text{ мин}$	C_v	$K_{\text{уравн.}}$
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

Таблица 2 – Значения коэффициента уравнивания для разных типов режущих инструментов и периодов стойкости

Table 2 – Values of the equalization coefficient for different types of cutting tools and service life periods

Значение периода стойкости, мин		15	30	45	60	90
Коэффициент уравнивания		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
4	Концевая фреза d20	140	116,2	103,6	96,6	86,8

Окончание таблицы 2

End of table 2

5	Торцовая фреза d100	220	182,6	162,8	151,8	136,4
6	Торцовая фреза d14	180	149,4	133,2	124,2	111,6
7	Сверло d14	70	58,1	51,8	48,3	43,4
8	Сверло d30	100	83	74	69	62

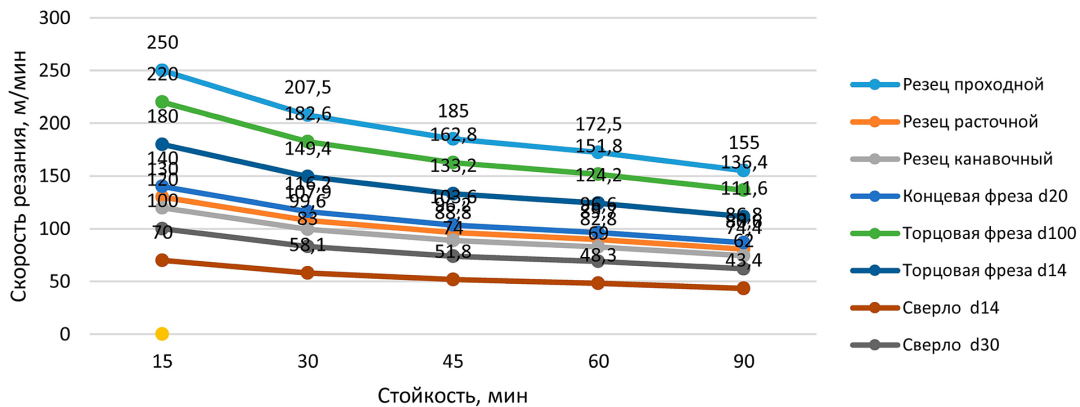


Рисунок 4 – Зависимости скорости резания от стойкости для разных типов режущих инструментов
Figure 4 – Dependence of cutting speed on durability for different types of cutting tools

Результаты расчета $K_{уравн.i}$ для разных типов режущих инструментов по данным справочника (Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 2001. – 944 с.) представлены в таблицах 3 и 4.

Значения коэффициента уравнивания в таблицах 3, 4 имеют практически одинаковые значения, т. к. соотношения между скоростями резания между разными типами режущих инструментов останутся неизменными при приведении их к одинаковой

стойкости. Эти данные позволяют выбрать лимитирующий режущий инструмент и произвести процедуру уравнивания стойкости режущего инструмента согласно предложенному алгоритму. Например, в качестве лимитирующего режущего инструмента выбирается инструмент, имеющий максимальную или минимальную стойкость, либо скорость резания.

В качестве примера в таблице 5 приведены сравнительные данные по трудоемкости (времени и стоимости) замены, дефектации и настройки стандартных и блочно-модульных режущих инструментов.

Таблица 3 – Коэффициенты уравнивания для различных типов режущих инструментов при стойкости $T = 15$ мин
Table 3 – Equalization coefficients for various types of cutting tools with durability $T = 15$ min

Режущий инструмент	T , мин	v , м/мин	C_v	m	$K_{уравн.}$
Резец проходной	15	250	350	0,2	3,57
Резец расточной	15	130	350	0,2	1,85
Резец канавочный	15	120	47	0,2	1,71
Фреза концевая d20	15	140	46,7	0,33	2
Фреза торцовая d14	15	180	332	0,2	2,57
Фреза торцовая d100	15	220	332	0,2	3,14
Сверло d14	15	70	34,2	0,2	1
Сверло d30	15	100	34,2	0,2	1,42

Таблица 4 – Коэффициенты уравнивания для различных типов режущих инструментов при стойкости $T = 60$ мин

Table 4 – Equalization coefficients for various types of cutting tools with durability $T = 60$ min

Режущий инструмент	T , мин	v , м/мин	C_v	m	$K_{уравн.}$
Резец проходной	60	155	350	0,2	3,57
Резец расточной	60	86	350	0,2	1,98
Резец канавочный	60	74	47	0,2	1,7
Фреза концевая d20	60	80	46,7	0,33	1,84
Фреза торцовая d14	60	111	332	0,2	2,55
Фреза торцовая d100	60	136	332	0,2	3,13
Сверло d14	60	43,4	34,2	0,2	1
Сверло d30	60	62	34,2	0,2	1,43

Таблица 5 – Общий технологический регламент замены режущих инструментов в инструментальном магазине станка

Table 5 – General technological regulations for replacing cutting tools in the tool bank of the machine

№ п/п	Наименование дефекта	Стандартный режущий инструмент	Время, мин	Блочно-модульный режущий инструмент	Время замены, мин
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 резцового (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; – вывести инструмент в нулевую точку	12 мин	Замена БР: – отвернуть винт; – снять БР; – поставить новый БР; – завернуть винт	2 мин
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
Σ			26 мин	16 мин	

Как следует из данных таблицы 5, при традиционной замене и дефектации режущих инструментов по мере потери ими режущих свойств применение блочно-модульных режущих инструментов сокращает трудоемкость в 2,1÷2,7 раза; при одновременной замене всех инструментов по окончании рабочей смены трудоемкость и цена в случае применения БМРИ сокращается в 1,67 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана система блочно-модульных режущих инструментов, отличающаяся универсальностью применения и простотой изготовления и позволяющая обеспечить экономию материальных и финансовых средств как при изготовлении инструмента, так и при механической обработке различных конструктивных элементов и поверхностей деталей.

2. Предложена методика уравнивания стойкости различных типов режущих инструментов с использованием коэффициента уравнивания по скоро-

сти и показателю относительной стойкости, которая позволяют анализировать технологические процессы изготовления деталей и выбирать оптимальный вариант их реализации.

3. На примерах технологических процессов изготовления деталей установлены возможности одновременной замены всех типов режущих инструментов в инструментальном магазине станка на основе выбора лимитирующего инструмента и регулирования количества режущих инструментов и изготавливаемых деталей, что позволяет сократить трудоемкость и повысить производительность обработки поверхностей деталей.

4. Разработан технологический регламент замены, дефектации и настройки режущих инструментов, который показал преимущества применения блочно-модульных конструкций по сравнению со стандартными, обеспечивающими сокращение трудоемкости и стоимости проводимых работ от 1,2 до 2,7 раз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баринаева, Д. А. Оптимизация времени смены инструмента при токарной обработке на станках с ЧПУ [Электронный ресурс] / Д. А. Баринаева // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2017. – № 4. – С. 1–5. – Режим доступа: <https://nto-journal.ru/uploads/articles/663c1cbc85d24234bd10c5086dea1412.pdf>. – Дата доступа: 18.09.2024.
2. Калмыков, В. В., Баринаева, Д. А. Оптимизация времени смены инструмента при изготовлении деталей на фрезерных станках с ЧПУ [Электронный ресурс] / В. В. Калмыков, Д. А. Баринаев // Электронный журнал: наука, техника и образование. – № 2. – 2018. – С. 1–5. – Режим доступа: <https://nto-journal.ru/uploads/articles/b80d6bd8392dff4d1bfb638637ef890b.pdf>. – Дата доступа: 18.09.2024.
3. Конструирование и оснащение технологических комплексов / А. М. Русецкий [и др.]; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск : Беларуская навука, 2014. – 316 с.
4. Попок, Н. Н. Уравнивание стойкости режущих инструментов при обработке на станках с ЧПУ / Н. Н. Попок, Г. И. Гвоздь // Тезисы докладов 38-й международной научной конференции «Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки. Технология – оборудование – инструмент – качество» / ред. В. К. Шелег [и др.]. – Минск : Бизнессофт, 2024. – С. 57–58.
5. Способ установки сменной режущей пластины в режущем инструменте : патент ВУ 19260 / Н. Н. Попок, В. А. Терентьев, Р. С. Хмельницкий, А. В. Сидикевич, И. Я. Сопиков. – Заявка на изобретение № а 20110025 от 06.01.2011. С1МПКВ23В27/16. – Оpubл. 26.03.2015.
6. Режущий инструмент : патент ВУ 19226 / Н. Н. Попок, В. А. Терентьев, Р. С. Хмельницкий, А. В. Сидикевич, И. Я. Сопиков. – Заявка на изобретение № а 20110026 от 06.01.2011. С1МПКВ23В27/16. – Оpubл. 09.03.2015.
7. Попок, Н. Н. Мобильная реорганизация машиностроительного производства / Н. Н. Попок. – Минск : Технопринт, 2001. – 396 с.
8. Многолезвийный блочно-модульный режущий инструмент : патент ВУ23736 / Попок Н. Н., Портянко С. А. // Заявка на изобретение №20200344 от 02.12.2020. С1МПКВ23С5/24, В23В27/12. – Оpubл. 26.04.2022.
9. Попок, Н. Н. Повышение экономичности режущих инструментов на основе модульных конструкций / Н. Н. Попок, А. В. Сидикевич, М. Ю. Ивановская, М. В. Сидикевич // Машиностроение : республиканский межведомственный сборник научных трудов : в 2 т. – Минск : БНТУ, 2005. – Т. 1. – Вып. 21. – С. 143–150.
10. Тивирев, Е. Г. Критерии оценки эксплуатационного ресурса инструмента / Е. Г. Тивирев, К. Б. Даниленко // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». – 2017. – № 4. – С.112 – 120. DOI: 10.18698/0236-3941-2017-4-112-120.

REFERENCES

1. Barinova DA. Optimization of tool change time during turning on CNC machines. *Elektronnyy zhurnal: nauka, tekhnika i obrazovanie*. 2017;4:1–5. Available from: <https://nto-journal.ru/uploads/articles/663c1cbc85d24234bd10c5086dea1412.pdf> [Accessed 18 September 2024]. (In Russ.)
2. Kalmykov VV., Barinova DA. Optimization of tool change time when manufacturing parts on CNC milling machines. *Elektronnyy zhurnal: nauka, tekhnika i obrazovanie*. 2018;2:1–5. Available from: <https://nto-journal.ru/uploads/articles/b80d6bd8392dff4d1bf638637ef890b.pdf> [Accessed 18 September 2024]. (In Russ.)
3. Rusetsky AM et al. Konstruirovaniye i osnashcheniye tekhnologicheskikh kompleksov = Design and equipment of technological complexes / ed. Rusetsky AM. Minsk : Belaruskaya navuka; 2014:316. (In Russ.)
4. Popok NN, Gvozd GI. Equalizing the durability of cutting tools when processed on CNC machines. In: Sheleg VK (ed.) et al Tezisy dokladov 38-y mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Perspektivnye napravleniya razvitiya tekhnologii mashinostroeniya i metalloobrabotki. Tekhnologiya – oborudovaniye – instrument – kachestvo». Minsk: Biznessoft; 2024:57–58. (In Russ.)
5. Popok NN, Terentyev VA, Khmel'nitskiy RS, Sidikevich AV, Sopikov IY. Sposob ustanovki smennoy rezhushchey plastiny v rezhushchem instrumente = Method for installing a replaceable cutting plate in a cutting tool. Patent BY19260. Application for invention No. a 20110025, 01.06.2011. S1MPKV23V27/16. (In Russ.)
6. Popok NN, Terentyev VA, Khmel'nitskiy RS, Sidikevich AV, Sopikov IY. Rezhushchiy instrument = Cutting tools. Patent BY19226. Application for invention No. a 20110026, 01.06.2011. S1MPKV23V27/16.
7. Popok NN. Mobil'naya reorganizatsiya mashinostroyitel'nogo proizvodstva = Mobile reorganization of mechanical engineering production. Minsk: Tekhnoprint, 2001:396. (In Russ.)
8. Popok NN, Portyanko SA. Mnogolezviynnyy blochno-modul'nyy rezhushchiy instrument = Multi-blade block-modular cutting tool. Patent BY23736. Application for invention No. 20200344, 12.02.2020. S1MPKV23S5/24, V23V27/12. (In Russ.)
9. Popok NN, Sidikevich AV, Ivanovskaya MY, Sidikevich MV. Increasing the efficiency of cutting tools based on modular designs. In: Mashinostroeniye : respublikanskiy mezhdvedomstvennyy sbornik nauchnykh trudov : v 2 t. Minsk: BNTU; 2005;1(21):143-150.
10. Tivirev EG, Danilenko KB. Criteria for assessing the operational life of a tool. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Seriya «Mashinostroeniye»*. 2017;4:112–120. (In Russ.)

Сведения об авторах

Information about the authors

Попок Николай Николаевич

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования машиностроительного производства учреждения образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», г. Новополоцк, Республика Беларусь

E-mail: n.popok@psu.by

Хмельницкий Руслан Сергеевич

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и оборудования машиностроительного производства учреждения образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», г. Новополоцк, Республика Беларусь

E-mail: r.khmialnitski@psu.by

Nikolay N. Popok

Dr. Sc. (in Eng.), Prof., head of the Department of Technology and Equipment of Machine-Building Production, Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus

E-mail: n.popok@psu.by

Ruslan S. Khmel'nitskiy

Cand. Sc. (in Eng.), Assoc. Prof., Associate Professor of the Department of Technology and Equipment of Machine-Building Production, Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus

E-mail: r.khmialnitski@psu.by

Анисимов Виталий Сергеевич

Магистр технических наук, заведующий лабораториями кафедры технологии и оборудования машиностроительного производства учреждения образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», г. Новополоцк, Республика Беларусь

E-mail: v.anisimov@psu.by

Башлачёв Дмитрий Анатольевич

Магистр технических наук, соискатель кафедры технологии и оборудования машиностроительного производства учреждения образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», г. Новополоцк, Республика Беларусь

Vitaly S. Anisimov

Master of Sciences (in Eng.), head of Laboratories of the Department of Technology and Equipment of Machine-Building Production, Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus

E-mail: v.anisimov@psu.by

Dmitry A. Bashlachev

Master of Sciences (in Eng.), candidate of the Department of Technology and Equipment of Machine-Building Production, Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus

Статья поступила в редакцию 05.12.2024.