тором. Резервирование замещением позволяет создавать высоконадежные системы без усложнения электронной части управления, что особенно ценно для машин, работающих в тяжелых условиях эксплуатации. Дальнейшее развитие методов резервирования связано с интеграцией цифровых систем управления и диагностики, позволяющих осуществлять прогнозирование отказов и динамическую реконфигурацию структуры гидросистемы в реальном времени.

Литература

1. Надежность гидравлических систем воздушных судов / Т. М. Башта, В. Д. Бабанская, Ю. С. Головко [и др.]. – М. : Транспорт. 1986. – 279 с.
2. Проектирование гидравлических систем машин : учеб. пособие / Г. М. Иванов, С. А. Ермаков, Б. Л. Коробочкин, Р. М. Пасынков. – М. : Машиностроение, 1992. – 224 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРИОДА СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ НАЛАДКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

**М. В. Матвеенцева**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель М. И. Михайлов

*Рассмотрена задача оптимизации периода стойкости инструментальной наладки при обработке корпусных деталей на станках с ЧПУ. Исследованы зависимости стойкости режущего инструмента от режимов резания и материалов. Для прогнозирования стойкости использована формула Тейлора, позволяющая определить эмпирический коэффициент $C_v$ и рассчитать расчетную стойкость инструмента. На основе экспериментальных данных установлены средние значения $C_v$, а также построены графики зависимостей. Результаты работы способствуют снижению затрат на инструментальное хозяйство и повышению производительности механической обработки.*

**Ключевые слова:** стойкость инструмента, станки с ЧПУ, формула Тейлора, режимы резания, корпусные детали.

Стойкость режущего инструмента играет ключевую роль в эффективности и экономичности механической обработки. Оптимизация режимов резания и подбор материалов инструмента и заготовки позволяют снизить затраты на инструментальное хозяйство, увеличить межремонтные периоды и повысить производительность. В качестве обрабатываемой детали используется типовая корпусная деталь из СЧ20 (рис. 1), обрабатываемая торцевой фрезой ASX400-100B07R со вставными твердосплавными (VO15TF) пластинами и метчиком М12-7Н (Р6М5).

Формула Тейлора, используемая для прогнозирования стойкости инструмента, имеет вид:

$$C_v = V^m S^y t^z T, \quad (1)$$

где $T$ – стойкость инструмента, мин; $V$ – скорость резания, м/мин; $S$ – подача, мм/об; $t$ – глубина резания, мм; $C_v$ – эмпирический коэффициент, зависящий от материала инструмента, обрабатываемого материала, геометрии инструмента и других факторов; $m, y, z$ – показатели степени, характеризующие влияние скорости резания, подачи и глубины резания на стойкость инструмента.

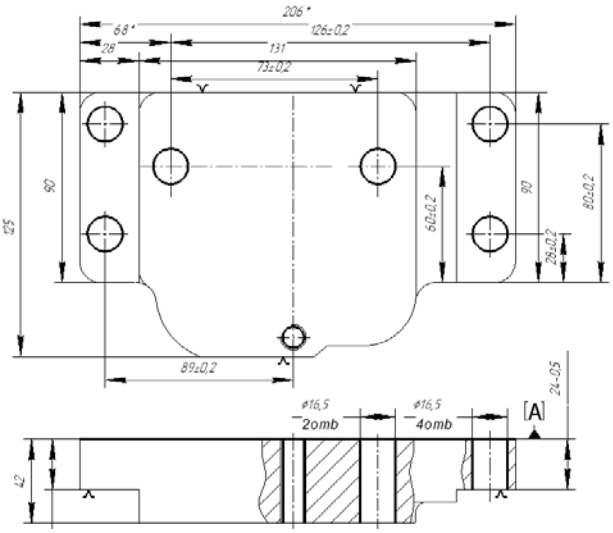



*Рис. 1*. Обрабатываемая деталь

Для корректного применения формулы необходимо определить значения коэффициентов *m, y, z* и $C_v$. В справочной литературе приводятся рекомендуемые значения этих коэффициентов. Для фрезы принимаем значения $m = 0{,}3$, $y = 0{,}3$, $z = 0{,}2$, для метчика – $m = 0{,}35$, $y = 0{,}6$, $z = 0{,}2$ [1].

Коэффициент $C_v$ является ключевым параметром, так как он учитывает комплексное влияние материала инструмента и заготовки, геометрию режущей части, условия обработки (например, наличие охлаждающей жидкости) и другие факторы. В справочниках он часто приводится для стандартных условий обработки, но его значение может корректироваться в зависимости от конкретных условий [1]. Для определения коэффициента $C_v$ используем формулу (1).

Далее, после нахождения $C_v$ для каждого эксперимента, рассчитываем расчетную стойкость инструмента, что позволит оценить точность прогноза. В табл. 1 представлены экспериментальные данные и результаты расчетов для фрезы, а в табл. 2 – для метчика.

*Таблица 1*

**Экспериментальные данные и результаты расчетов для фрезы**

| **Скорость резания *V*, м/мин** | **Подача *S*, мм/об** | **Глубина резания *t*, мм** | **Стойкость *T*, мин** | **$C_v$ расчетное** | **Расчетная стойкость *T*, мин** |
|---|---|---|---|---|---|
| 170 | 0,22 | 1,5 | 210,5 | 676,6 | 211,4 |
| 175 | 0,24 | 1,5 | 205,8 | 684,9 | 204,2 |
| 180 | 0,25 | 1,5 | 200 | 679,5 | 200 |
| 185 | 0,26 | 1,5 | 195,3 | 676,9 | 196 |
| 190 | 0,28 | 1,5 | 190,2 | 679,5 | 190,2 |

*Таблица 2*

**Экспериментальные данные и результаты расчетов для метчика**

| Скорость резания *V*, м/мин | Подача *S*, мм/об | Глубина резания *t*, мм | Стойкость *T*, мин | $C_v$ расчетное | Расчетная стойкость *T*, мин |
|---|---|---|---|---|---|
| 14 | 1,75 | 40 | 65,5 | 482,6 | 61,8 |
| 14,5 | 1,75 | 40 | 62,7 | 467,7 | 61 |
| 15 | 1,75 | 40 | 60 | 452,9 | 60,3 |
| 15,5 | 1,75 | 40 | 58,4 | 445,9 | 59,6 |
| 16 | 1,75 | 40 | 55,2 | 426,2 | 58,9 |

Исходя из полученных данных, среднее значение коэффициента $C_v$ фрезы – 697,5, а для метчика – 455,1.

Построим графики зависимостей $T_э = f(v)$ и $T_р = f(v)$, $T_р = f(v,s)$ для инструментов (рис. 2, 3).

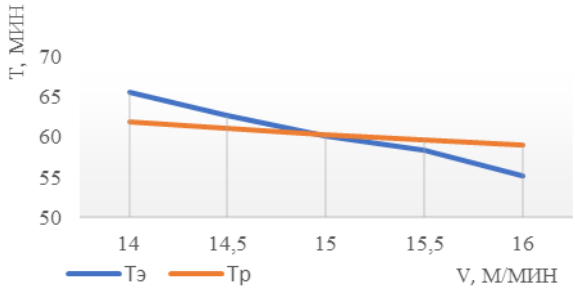
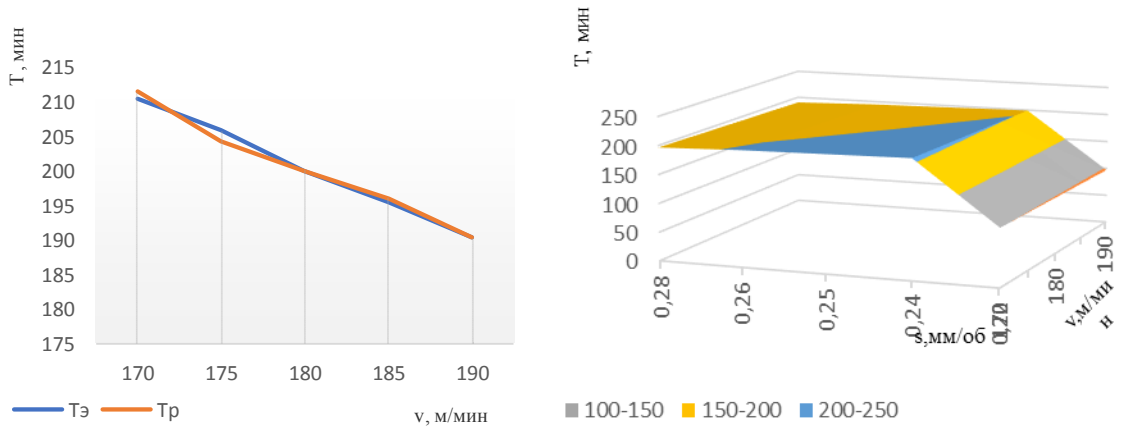



*Рис. 2*. Графики для метчика:
$T_э = f(v)$; $T_р = f(v)$




*а*) *б*)

*Рис. 3*. Графики для фрезы:
*а* – $T_э = f(v)$ и $T_р = f(v)$; *б* – $T_р = f(v, s)$

Из графиков рис. 2, 3 наглядно видим, что с увеличением скорости резания стойкость фрезы снижается, и с увеличением скорости резания стойкость метчика также снижается, но с меньшей интенсивностью.

Для оптимизации требуется выбор оптимальных параметров режимов резания, которые обеспечивают минимальную себестоимость единицы продукции или максимальную производительность. Подход минимизации себестоимости учитывает не только время обработки, но и стоимость инструмента, его стойкость, затраты на наладку и переточку. При максимизации производительности основной целью является сокращение времени обработки, что достигается за счет увеличения скорости резания и подачи, но с учетом ограничений по стойкости инструмента и качеству поверхности. Часто применяют критерии, сочетающие в себе оба подхода, например, достижение минимальной себестоимости при соблюдении заданного уровня производительности.

Для определения оптимальных параметров режимов резания потребуются исходные данные по операциям (параметры инструмента, параметры самой обработки). Выбираются параметры для оптимизации и определяются ограничения. Они могут быть приняты, например, такие как ограничение на режущие возможности инструмента, по мощности электродвигателя привода оборудования, по заданной производительности оборудования, по допустимым скоростным диапазонам, по обеспечению прочности крепления инструмента и т. п. Далее требуется выполнить линеаризацию всех условий (неравенств) путем их логарифмирования. По результатам расчетов следует построить геометрическую модель оптимизации и по ней определить подходящие параметры [3].

В рамках данной работы было продемонстрировано, как формула Тейлора может быть эффективно использована для прогнозирования стойкости режущего инструмента при обработке корпусных деталей на станках с ЧПУ. Были эмпирически определены ключевые коэффициенты для инструментов, что позволило предсказывать их ресурс. Этот подход открывает дорогу к более обоснованному выбору режимов резания, что, в свою очередь, ведет к ощутимому сокращению затрат на инструментальное хозяйство и росту производительности.

Литература

1. Смирнов, В. О. Теория резания металлов : учеб. для вузов / В. О. Смирнов, А. П. Грановский. – М. : Высш. шк., 2018. – 384 с.
2. Марков, А. И. Теория и практика оптимизации режимов резания / А. И. Марков. – М. : Машиностроение, 2010. – 288 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВМЯТИЮ ЛЕЗВИЯ НОЖА ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО АППАРАТА БАРАБАННОГО ТИПА

**К. В. Ридкина**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель П. Е. Родзевич

*Рассмотрено теоретическое определение силы сопротивления вмятию лезвия ножа измельчающего аппарата барабанного типа в растительную массу в зависимости от величины сжатого перед резанием слоя массы.*

**Ключевые слова:** сила сопротивления вмятию, лезвие ножа, измельчающий аппарат, критическая сила резания, растительная масса, слой растительной массы.