



# ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МОМЕНТА ПОДНАЛАДКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ВОЗМОЖНЫХ ОТКЛОНЕНИЯХ ОТ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ РАЗМЕРОВ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ДЕТАЛЕЙ

В. М. НАГОРНЫЙ, К. А. ДЯДЮРА

*Рассматриваются вопросы прогнозирования подналадки (настройки или замены отработавших свой ресурс режущих инструментов) технологических систем СПИД при возможных отклонениях от допустимых значений размеров обрабатываемых деталей.*

*The article deals with problems of job-adjusting (adjusting or replacing of cutting tools that worked out their service life) of technological systems «System-Fitting-Tool-Piece» under possible deviations from the allowed values of dimensions of pieces being processed.*

Основными факторами, определяющими качество изготовления деталей, является строгое выполнение разработанных технологических процессов и оперативный контроль и подналадка технологических систем при возможных отклонениях размеров детали от допустимых значений [1], которые проставляются в рабочих чертежах в виде допусков на размер детали.

Каждому методу обработки, осуществляемому на определенном оборудовании, присуща величина рассеивания размеров, характеризующая поля рассеивания. Величина поля рассеивания определяется методом обработки, конструкцией, размером и состоянием станка (зависит от его точности и жесткости). Рассеивание размеров, связанное с методом обработки, не остается постоянным при обработке партии деталей, а изменяется в зависимости от состояния режущего лезвия инструмента и технологической системы СПИД.

В функции системы контроля, диагностирующей текущее состояние технологической системы, входит прогнозирование момента ее подналадки. Прогнозирование позволяет избежать незапланированных простоев оборудования, связанных с внезапным появлением брака из-за поломки инструмента или несвоевременной подналадки технологической системы СПИД [2].

Чаще всего подналадка связана с настройкой или заменой режущего инструмента как наиболее слабого элемента технологической системы [3]. Контроль и диагностирование инструмента представляет одну из наиболее важных задач автоматизированного производства. Точность прогнозирования зависит от эффективности выбора диагностического признака [4].

Состояние инструмента характеризуют различные критерии — диагностические признаки [5]. В тех случаях, когда главным считается влияние износа на точность обработки в качестве диагностического признака, характеризующего текущее состояние инструмента, принимают радиальный износ  $h_r$  (рис. 1, а). Если необходимо иметь информацию об

износе, после которого инструмент начинает разрушаться, в качестве диагностического признака принимают величину фаски на задней грани резца, лунки на передней грани и др.

При чистовой обработке деталей износ резцов происходит по их задней поверхности (величина фаски по задней грани  $h_3$  (рис. 1, а), что приводит к отдалению вершины резца от центра вращения детали на величину радиального износа  $h_r$ , соответствующего увеличению радиуса обточки [6] (рис. 1, б).

Экспериментальные исследования по обточке заготовок из стали ШХ15 режущим инструментом марки Т15К6, проведенные на токарном станке 16К20, показали, что коэффициент линейной аппроксимации  $R^2$  зависимости  $h_r = f(h_3)$  примерно равен 1 (рис. 2).

Одним из путей определения величины износа является непосредственное измерение геометрических параметров режущей части инструмента, что возможно только до или после обработки детали. Но при этом, как правило, возникают трудности, связанные с размещением датчиков вблизи зоны резания, защитой их от сходящей стружки, невысокая точность измерения и др. Все это существенно осложняет автоматизацию процесса измерения.

В работе [7] отмечается, что рекомендуемые способы оценки радиального износа  $h_r$  по величине износа по задней грани  $h_3$  следует считать недостоверными, поскольку, как следует из результатов исследований, приведенных в этой работе, износ в радиальном направлении развивается более стабильно, чем износ по задней грани. Кроме того, на увеличение диаметра детали  $D$  с увеличением

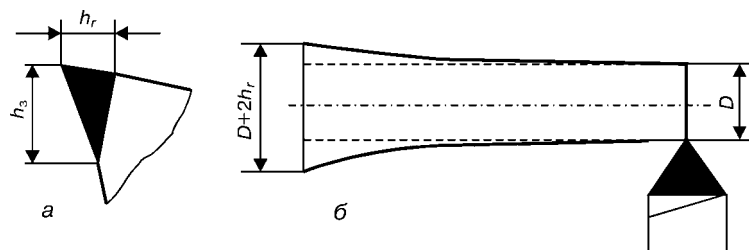


Рис. 1. Изменение размеров обрабатываемой детали при радиальном износе резца ( $D$  — диаметр детали)

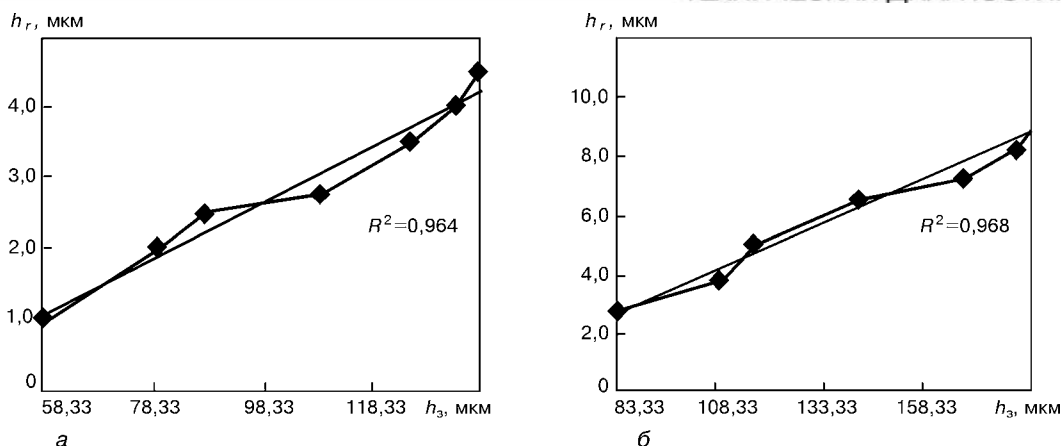


Рис. 2. Зависимости величины износа реза в радиальном направлении  $h_r$  от величины износа по задней поверхности  $h_3$  для разных режимов резания: а — при  $v = 125$  м/мин,  $s = 0,15$  мм/об,  $t = 0,2$  мм; б — при  $v = 150$  м/мин,  $s = 0,08$  мм/об,  $t = 0,5$  мм ( $v$  — скорость резания;  $s$  — подача;  $t$  — глубина резания;  $\blacklozenge$  — экспериментальные точки)

величины радиального износа  $h_r$  ( $D + 2h_r$ ) существенно сказывается тепловое расширение реза, упругие деформации системы СПИД, шероховатость обработанной поверхности и т.д. [5].

Кроме того [8], в автоматизированном производстве экономически выгодно пользоваться не оптимальным критерием износа инструмента, а критерием размерной стойкости, т.е. количеством деталей, изготовленных в пределах допуска без подналадки или замены инструмента, длиной пути резания, площадью обработанной поверхности, линейным относительным износом и т.п.

В других случаях пользуются косвенными методами измерения. Один из них — метод определения смещения режущей грани реза относительно обрабатываемой детали по результатам измерения приращения размера детали.

В данной работе прогнозирование момента подналадки технологической системы (замены режущего инструмента) предлагается проводить путем прогнозирования момента достижения предела допуска обрабатываемой детали. В качестве характеристики размерной стойкости взято количество проходов, выполняемых режущим инструментом. Один проход соответствует пути резания  $L$ , который определяется по формуле:

$$L = \frac{\pi D l_g}{1000 S}, \quad (1)$$

где  $D$  — диаметр обрабатываемой детали;  $l_g$  — длина детали.

На рис. 3 и 4 приведены зависимости изменения погрешности диаметрального размера обработанной поверхности  $\delta$  от изменения величины износа по задней поверхности  $h_3$  и от изменения величины радиального износа  $h_r$ .

Диаметр обработанной детали  $D = 110$  h6. Допуск на размер в соответствии с качеством точности IT6  $TD = 30$  мкм. Погрешность диаметрального размера определяли по формуле:

$$\delta = D_{CP_i} - D_{CP_0}, \quad (2)$$

где  $D_{CP_0}$ ,  $D_{CP_i}$  — соответственно значение диаметра обрабатываемой детали в начале и в конце прохода.

Из приведенных графиков видно, что погрешность диаметрального размера  $\delta$  тесно связана с величиной износа по задней поверхности  $h_3$  и величиной радиального износа  $h_r$  (коэффициент линейной аппроксимации  $R^2 = 0,9532 \dots 0,9932$ ). Это позволяет во многих случаях трудоемкий и сложно-реализуемый на практике процесс контроля вели-

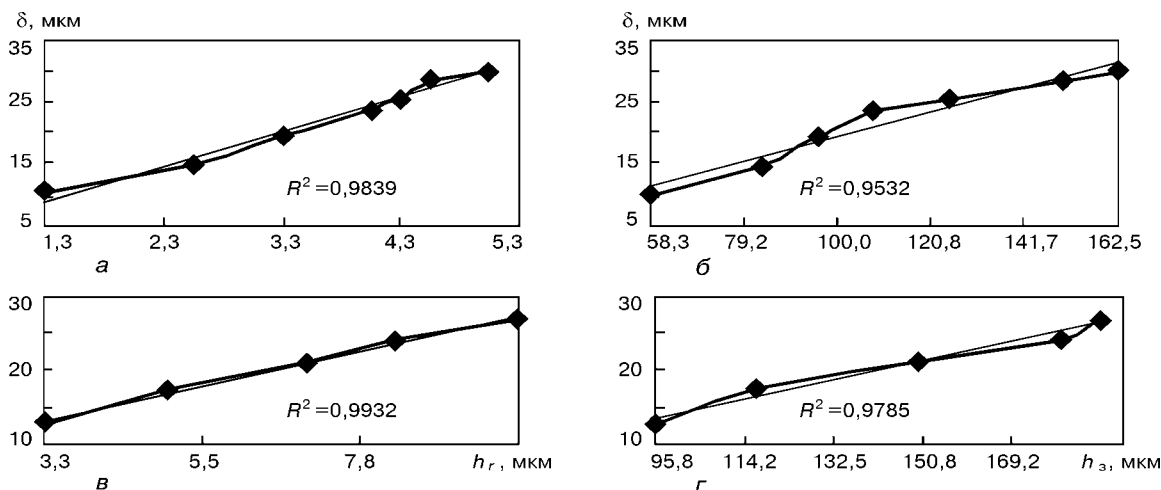


Рис. 3. Зависимости величины изменения диаметра детали от величин  $h_r$  и  $h_3$  для разных режимов резания: а, б —  $v = 150$  м/мин,  $s = 0,15$  мм/об,  $t = 0,5$  мм; в, г —  $v = 150$  м/мин;  $s = 0,08$  мм/об;  $t = 0,5$  мм

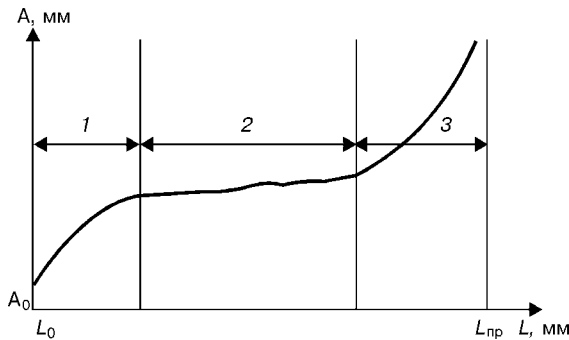


Рис. 4. Типичный график изменения диагностического признака в зависимости от пути резания: 1-3 — соответственно участки приработки, стационарной работы и подналадки

чины износа реза заменить измерением погрешности диаметрального размера детали.

Приведем результаты сравнительных исследований точности прогнозных оценок момента подналадки технологической системы, выполняемых на основе контроля за величиной износа реза (по задней поверхности  $h_z$  и радиального износа  $h_r$ ) и погрешности диаметрального размера  $\delta$ .

Исследования заключались в аппроксимации экспериментальных данных об износе и погрешности диаметрального размера детали аналитической зависимостью, описывающей изменение этих диагностических признаков в зависимости от пути резания (рис. 4) [9]:

$$A = A_0 + \alpha A_0 \left( \frac{L - L_0}{L_{пр} - L} \right)^n, \quad (3)$$

где  $A_0$  — первоначальное значение величины диагностического признака;  $L_0, L$  — путь резания соответственно на момент первоначального и текущего определения величины диагностического признака.

Параметры формулы  $\alpha, n, L_{пр}$  определялись путем поиска минимума следующего функционала:

$$U_0 = \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{A_i}{A_0} - \left( 1 + \alpha \left( \frac{L_i - L_0}{L_{пр} - L_i} \right)^n \right) \right\}^2, \quad (4)$$

где  $A_i$  — текущее значение величины диагностического признака;  $L_i$  — соответствующий ему путь резания.

Момент подналадки технологической системы  $L_{подн}$  определяли в результате решения уравнения (3) относительно пути резания при равенстве левой части уравнения предельно допустимому значению  $A_{пр}$ :

$$L_{подн} = \frac{\gamma L_{пр} + L_0}{1 + \gamma}, \quad (5)$$

где  $\gamma = \left( \frac{A_{пр} - A_0}{\alpha A_0} \right)^{1/n}$ .

В качестве предельно допустимого значения диагностического признака  $A_{пр}$  принималась величина износа реза и погрешность диаметраль-

Таблица 1. Фактическое (I) и прогнозируемое (II) количество проходов до замены режущего инструмента, отработавшего свой ресурс (1 режим)

Наименование параметров		Значения параметров				
I	Количество проходов	1	2	3	4	5
	$h_r$ , мм	0,0033	0,005	0,007	0,0083	0,001
$h_z$ , мм	0,096	0,116	0,150	0,179	0,187	
$\delta$ , мм	0,013	0,017	0,021	0,024	0,027	
II	$h_r$ , мм	—	—	3,66	4,23	4,79
	$h_z$ , мм	—	—	4,14	4,81	4,92
	$\delta$ , мм	—	—	4,19	4,77	4,99

ного размера детали, фиксируемые после последнего прохода  $L_k$ .

Погрешность прогнозирования оценивалась по величине  $\Delta$ :

$$\Delta = \frac{L_{подн} - L_K}{L_K} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где  $L_K$  — фактическое значение пути резания, проходимого инструментом на последнем проходе;  $L_{подн}$  — прогнозируемое значение пути резания до подналадки.

Исследования проводились для двух режимов резания: **1 режим:**  $v = 150$  м/мин,  $s = 0,08$  мм/об,  $t = 0,5$  мм; **2 режим:**  $v = 150$  м/мин,  $s = 0,15$  мм/об,  $t = 0,5$  мм.

Результаты исследований представлены в табл. 1 и 2.

Изменение погрешности прогнозирования момента подналадки технологической системы в зависимости от момента контроля величины диагностического признака представлена на рис. 5.

При этом момент контроля характеризовался безразмерной величиной  $T$ , равной отношению в процентах текущего количества проходов  $L_i$  к предельно реализованному в эксперименте количеству проходов  $L_K$ :

$$T = \frac{L_i}{L_K} \cdot 100\%.$$

Анализ результатов, приведенных на рис. 5 и в табл. 1, 2 показывает, что начиная с момента определения диагностического признака, составляющего 50 % от предельно реализованного в опы-

Таблица 2. Фактическое (I) и прогнозируемое (II) количество проходов до замены режущего инструмента, отработавшего свой ресурс (2 режим)

Наименование параметров		Значения параметров						
I	Количество проходов	1	2	3	4	5	6	7
	$h_r$ , мм	0,001	0,0025	0,0033	0,004	0,0043	0,0045	0,005
$h_z$ , мм	0,058	0,083	0,096	0,108	0,125	0,150	0,163	
$\delta$ , мм	0,010	0,015	0,0195	0,024	0,025	0,028	0,030	
II	$h_r$ , мм	—	—	3,63	5,20	6,29	6,96	6,86
	$h_z$ , мм	—	—	5,06	7,20	6,0	6,33	6,98
	$\delta$ , мм	—	—	4,63	5,05	5,98	6,37	6,75

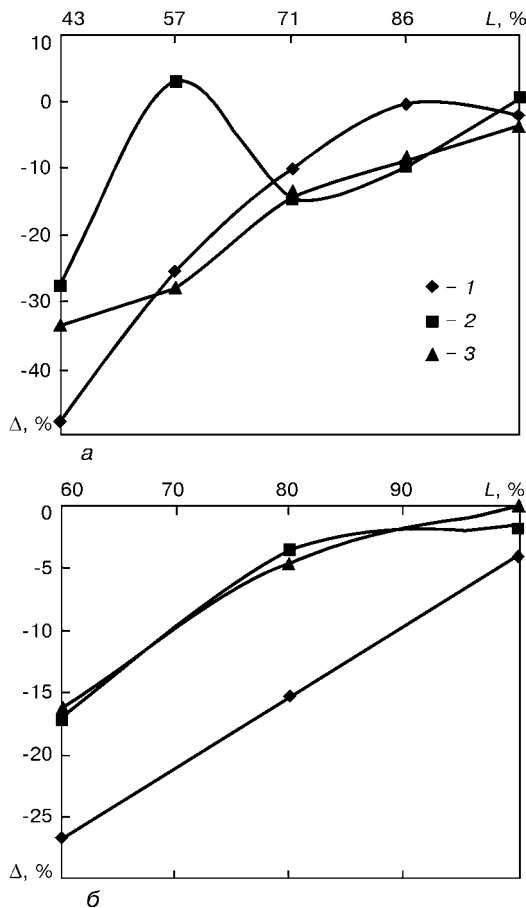


Рис. 5. Изменение погрешности прогнозирования подналадки в зависимости от момента контроля величины диагностических признаков для разных режимов резания: а —  $v = 150$  м/мин;  $s = 0,15$  мм/об;  $t = 0,5$  мм; б —  $v = 150$  м/мин;  $s = 0,08$  мм/об;  $t = 0,5$  мм;  $h_z$  (1),  $h_r$  (2),  $\delta$  (3)

те количества проходов  $L_K$ , погрешность прогнозирования становится меньше 20 %, причем прогнозируемое количество проходов меньше фактически реализованного. Погрешности прогнозирования, выполненного на основе износа, и погрешности размера детали соизмеримы.

В качестве примера на рис. 6 приведено соотношение между экспериментальными значениями диагностических признаков (погрешность размера  $\delta$ ) и аппроксимирующей кривой, рассчитанной для режима 2.

**Выводы**

Проведенные исследования показали, что процесс измерения величины износа резца можно заменить процессом контроля за погрешностью размера детали.

Сумской гос. ун-т

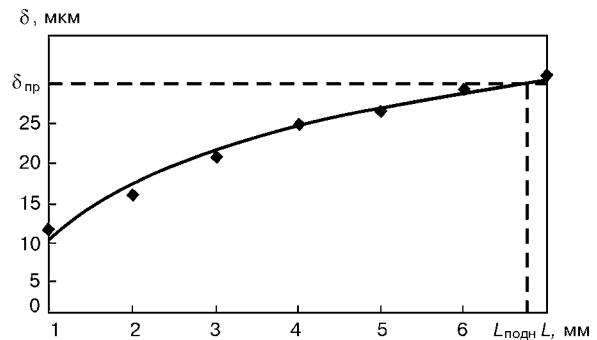


Рис. 6. Соотношение между фактическими значениями погрешности размера детали и аппроксимирующей кривой (штриховые линии — допустимые изменения диаметра)

Этот параметр является диагностическим признаком, который наиболее полно и комплексно характеризует общее текущее состояние технологической системы СПИД и с приемлемой погрешностью своевременно сигнализирует о необходимости проведения подналадок в системе.

На основании проведенных исследований разработана программа для ЭВМ, позволяющая прогнозировать момент подналадки технологической системы механической обработки при возможных отклонениях от допустимых значений размеров обрабатываемых деталей.

1. Юркевич В. В. Прогнозирование точности изготовления деталей. — Техника машиностроения. — 2000. — № 4 (26). — С. 46–52.
2. Нахаметян Е. Г. Контроль и диагностирование автоматического оборудования. — М: Наука, 1990. — 272 с.
3. Старков В. К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве. — М: Машиностроение, 1989. — 296 с.
4. Нагорный В. М., Залого В. А., Дядюра К. А. Методика прогнозирования работоспособности металлорежущего инструмента в условиях попутного тангенциального точения // Вісн. Сум. держ. ун-ту. — Сумы: Вид-во Сум. держ. ун-ту, 2000. — № 19. — С. 88–95.
5. Базров Б. М. Технологические основы проектирования самоподнастраивающихся станков. — М: Машиностроение, 1978. — 216 с.
6. Маталин А. А. Точность механической обработки и проектирование технологических процессов. — М: Машиностроение, 1970. — 320 с.
7. Юркевич В. В., Гурип В. Д. Точность обработки на токарных станках. — Техника машиностроения. — 2001. — № 4 (32). — С. 24–29.
8. Макаров А. Д. Оптимизация процессов резания. — М: Машиностроение, 1976. — 278 с.
9. Пат. 384338А. Украина, МКІ ГО/М7/00. Спосіб визначення залишкового ресурсу роботи машини / В. М. Нагорний (UA); СумДУ; Заявл. 04.07.2000. Опубл. 15.05.2001, Бюл. № 4.

Поступила в редакцию 30.01.2003