

ределения. [Текст]. Взамен ГОСТ 22954-78; введ. 1986-07-01. М.: Госстандарт России: изд-во стандартов, 2002. 18 с.

8. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем : Пер. с англ. [Текст]/ Б.Диллон, Ч.Сингх. - М. : Мир, 1984. 318 с.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЕРЕВООБРАБОТКИ ПО ПАРАМЕТРУ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ «ТОЧНОСТЬ»**

**Новоселов В.Г., Полякова Т.В.** (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

[vgnov@usfeu.ru](mailto:vgnov@usfeu.ru)

## **THEORETICAL RESEARCH OF RELIABILITY OF TECHNOLOGICAL SYSTEM OF WOODWORKING ON PARAMETER OF QUALITY OF PRODUCTION "ACCURACY"**

Технологическая система деревообработки в соответствии с ГОСТ 27.004-85 [1] включает в себя функционально взаимосвязанные и выполняющие в регламентированных условиях производства заданную технологическую операцию: средство технологического обеспечения – станок, предмет производства – деревянную заготовку и исполнителя – станочника по деревообработке. По ГОСТ 27.202-83 [2] точность является одним из основных показателей надежности технологической системы по параметрам качества изготавливаемой продукции.

Обработка древесины и древесных материалов в станках характеризуется [3] высокими значениями скорости резания ( $V > 30$  м/с), коэффициента трения ( $f = 0,2 \dots 0,5$ ), температуры в зоне резания ( $t = 800 \dots 840^\circ\text{C}$ ) и удельного давления в контакте инструмента с древесиной ( $p = 400 \dots 5000$  МПа). Такие жесткие режимы эксплуатации приводят к высокой интенсивности изнашивания инструмента быстрому его затуплению, потере режущих свойств и снижению точности обработки. В результате фактические размеры обработанной детали выходят за пределы соответствующих допусков, происходит отказ и наступает неработоспособное состояние технологической системы по параметру качества продукции «точность».

Знание закономерности наступления этого состояния в зависимости от конструктивно-технологических факторов процесса обработки древесины позволит объективно устанавливать период стойкости инструмента, время подналадки оборудования и рационально организовать его эксплуатацию и техническое обслуживание.

В ГОСТ 27.301-95 [4] предусмотрены физические методы расчета надежности, основанные на применении математических моделей, описывающих физические, химические и иные процессы, приводящие к отказам объекта, и вычислении показателей надежности по известным параметрам нагруженности объекта, характеристикам применяемых в объекте веществ и материалов, с учетом особенностей его конструкции и технологии изготовления.

Физическая модель, описывающая потерю точности в деревообработке по мере износа инструмента, и закономерности возникновения соответствующих отказов приведена в работе [5]. Средняя наработка до отказа  $T_1$  определяется через математические ожидания параметров по формуле

$$T_1 \approx \frac{16,7\bar{d}}{\gamma_{\Delta}nl(e-\varepsilon_0)}, \quad (1)$$

где  $d$  – допускаемое отклонение поверхности обработки от ее номинального расположения, мкм;  $\gamma_{\Delta}$  – интенсивность изнашивания инструмента мкм/м;  $n$  – частота вращения инструмента, мин<sup>-1</sup>;  $l$  – длина дуги контакта инструмента с древесиной, мм;  $e$  – вспомогательная величина;  $\varepsilon_0$  – относительная остаточная деформация древесины под поверхностью резания.

$$e = \frac{\sin(\alpha + \beta/2)}{\sin(\beta/2)}, \quad (2)$$

где  $\beta$  – угол заострения;  $\alpha$  – задний угол лезвия.

$$l = \sqrt{\Pi D_p}, \quad (3)$$

где  $\Pi$  – припуск на обработку;  $D_p$  – диаметр окружности резания.

Гамма-процентная наработка до отказа при  $\gamma=80\%$  определяется по формуле

$$t_{0,8} = \bar{T}_1 - 0,841\sigma_t. \quad (4)$$

Среднее квадратическое отклонение наработки до отказа  $\sigma_t$  определяется через дисперсию  $D\{t\}$  как для функции случайных величин

$$\sigma_t^2 = D\{t\} = \left(\frac{\partial t}{\partial d}\right)^2 D\{d\} + \left(\frac{\partial t}{\partial \gamma_{\Delta}}\right)^2 D\{\gamma_{\Delta}\} + \left(\frac{\partial t}{\partial n}\right)^2 D\{n\} + \left(\frac{\partial t}{\partial l}\right)^2 D\{l\} + \left(\frac{\partial t}{\partial e}\right)^2 D\{e\} + \left(\frac{\partial t}{\partial \varepsilon_0}\right)^2 D\{\varepsilon_0\}. \quad (5)$$

В свою очередь

$$D\{l\} = \left(\frac{\partial l}{\partial \Pi}\right)^2 D\{\Pi\} + \left(\frac{\partial l}{\partial D_p}\right)^2 D\{D_p\}, \quad D\{e\} = \left(\frac{\partial e}{\partial \alpha}\right)^2 D\{\alpha\} + \left(\frac{\partial e}{\partial \beta}\right)^2 D\{\beta\}. \quad (6,7)$$

Ниже приведены формулы для определения частных производных:

$$\frac{\partial t}{\partial d} = \frac{16,7}{\gamma_{\Delta}nl(e-\varepsilon_0)} \quad \frac{\partial t}{\partial \gamma_{\Delta}} = -\frac{16,7d}{\gamma_{\Delta}^2nl(e-\varepsilon_0)}; \quad \frac{\partial t}{\partial n} = -\frac{16,7d}{\gamma_{\Delta}n^2l(e-\varepsilon_0)}; \quad \frac{\partial t}{\partial l} = -\frac{16,7d}{\gamma_{\Delta}nl^2(e-\varepsilon_0)}; \quad (8-11)$$

$$\frac{\partial t}{\partial e} = -\frac{16,7d}{\gamma_{\Delta}nl(e-\varepsilon_0)e}; \quad \frac{\partial t}{\partial \varepsilon_0} = \frac{16,7d}{\gamma_{\Delta}nl(e-\varepsilon_0)\varepsilon_0}; \quad \frac{\partial l}{\partial \Pi} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{D_p}{\Pi}}; \quad \frac{\partial l}{\partial D_p} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\Pi}{D_p}}; \quad (12-15)$$

$$\frac{\partial e}{\partial \alpha} = \frac{\cos(\alpha + \beta/2)}{\sin(\beta/2)}; \quad \frac{\partial e}{\partial \beta} = -\frac{\sin\alpha}{2\sin^2(\beta/2)}. \quad (16,17)$$

Исследование надежности технологической системы деревообработки по параметру качества продукции «точность» производилось методом численного эксперимента на основе разработанной физической модели расчета. Задачей эксперимента являлось определение количественной зависимости гамма-процентной наработки до отказа непосредственно от факторов процесса обработки древесины.

Ввиду многомерности модели исследование проводилось в два этапа. На первом этапе оценивалась чувствительность модели к изменению факторов, подверженных

рассеянию, в малых окрестностях около средних на диапазонах своих допустимых значений. Для проведения эксперимента все факторы были распределены на фиксированные и варьируемые.

Фиксированными факторами принимались:

- вид обработки – продольное цилиндрическое фрезерование;
- тип, модель станка – односторонний рейсмусовый СР6-10;
- порода древесины – сосна;
- влажность - 12 %;
- толщина заготовки – 50 мм.

В качестве варьируемых факторов приняты параметры, входящие аргументами в правые части формул (1-3), а также их дисперсии, входящие в правые части формул (5-7). Диапазоны варьирования факторов – параметров формул (1-3) - от их основного уровня принимались равными средним квадратическим отклонениям в пределах их допустимых по ГОСТ (или достижимых) отклонений. Дисперсии факторов принимались в соответствии с их средними квадратическими отклонениями. Варьирование дисперсий производилось на уровнях допустимых погрешностей инженерных расчетов в пределах  $\pm 3\%$ .

Основным, определяющим точность обработки, является смещение  $d$  (рис. 1).

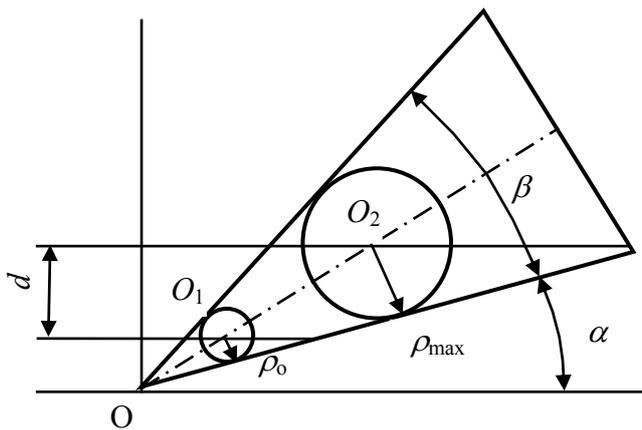


Рисунок 1 – Схема к расчету положения плоскости резания

Начальное положение лезвия режущего инструмента задается при размерной настройке станка так, чтобы поле рассеяния фактических размеров обработанных деталей  $\delta_\delta$  не выходило за пределы поля допуска размера детали по чертежу  $\delta_p$ , и имелся определенный запас на износ инструмента. Очевидно, что при такой настройке, когда центры распределений фактических размеров и размеров, назначенных по чертежу детали, совпадают, получим нижний предел

$\bar{d} = (\delta_p - \delta_\delta) / 2$ . По ГОСТ 7228-75 [6] допуск на равномерность толщины заготовки после пробной обработки на станке составляет 0,15мм. Допуск на толщину изготовленных сопрягаемых деталей столярно-строительных изделий по ГОСТ 6449.1-82 [7] должен быть по 12 качеству 0,25 мм. Учитывая фрезерование с одной стороны, примем  $\delta_\delta = 0,075$  мм и  $\delta_p = 0,125$  мм. Отсюда  $\bar{d} = 0,025$  мм. При настройке на совпадение нижних границ допусков на пробную обработку и на размеры по чертежу допускаемое смещение увеличивается, и получаем верхний предел  $\bar{d} = (\delta_p - \delta_\delta) = 0,05$  мм.

Интенсивность изнашивания  $\gamma_\Delta$  зависит от материала инструмента, вида обработки, режима и пути резания, от породы древесины. Она оценивается для стального инструмента величиной  $\gamma_\Delta = 0,0008 \dots 0,0020$  мкм/м [8].

Частота вращения инструмента для двухстороннего рейсмусового станка С2Р12-3 составляет  $\bar{n} = 4570$  мин<sup>-1</sup>. Ее дисперсия связана с изменением под нагрузкой сколь-

жения в электромагнитной системе двигателя ( $s_{max} \approx 0,02$ ) и упругого скольжения в ременной передаче ( $\xi_{max} \approx 0,02$ ). Суммарная величина диапазона рассеяния может достигать  $\delta_n = \pm (\sqrt{0,02^2 + 0,02^2})n \approx \pm 0,03n$ .

По ГОСТ 7307-75 [9] припуск на обработку составляет 4,5 мм на две стороны. Предельные отклонения размеров пиломатериалов при заданной толщине  $\pm 2,0$  мм, следовательно предельные значения припуска на одну сторону составят

$$P = (4,5 - 2)/2 \dots (4,5 + 2)/2 = 1,25 \dots 3,25 \text{ мм.}$$

Диаметр окружности резания для данного станка  $\bar{D}_p = 128$  мм, его поле допуска при тщательной настройке 0,05 мм.

Номинальный угол заострения ножей составляет  $\bar{\beta} = 40^\circ$  (0,6981 рад), задний угол  $\bar{\alpha} = 15^\circ$  (0,2618 рад). Предельные отклонения углов  $\pm 2^\circ$  (0,0349 рад).

Относительная остаточная деформация древесины под поверхностью резания принята  $\varepsilon_0 = 0,15 \dots 0,25$ .

Принятые значения факторов, их допускаемые отклонения, дисперсии, средние квадратические отклонения, уровни варьирования, кодированные обозначения приведены в табл.1. Учитывая поставленную задачу выявления степени влияния каждого отдельного фактора на гамма-процентную наработку до отказа и малые диапазоны их варьирования, определялась линейная регрессионная зависимость без учета взаимодействий вида

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i X_i . \quad (18)$$

Ввиду большой размерности модели ( $n=16$ ) при проведении эксперимента использовался дробный план типа  $2^{n-m}$ , где  $m$ -количество независимых факторов, которые заменили в матрице плана пренебрежимо малые взаимодействия ( $m=8$ ). Таким образом, количество опытов в численном эксперименте сокращено с 65536 до 256.

Обработка результатов проведенного численного эксперимента дала значения коэффициентов уравнения регрессии (18), приведенные в табл.2.

Анализ данных таблицы показывает, что коэффициент  $b_0$  с точностью до 3 % совпадает со значением 80-процентной наработки до отказа, вычисленной по номинальным (средним) значениям параметров, входящих в формулы (1)-(17), что подтверждает адекватность линейной регрессионной модели. Сравнение коэффициентов регрессии указывает на то, что наибольшее влияние на 80-процентную наработку до отказа оказывает изменение таких факторов как: допускаемое смещение поверхности обработки; интенсивность изнашивания и припуск на обработку. Коэффициенты регрессии других факторов в рассмотренных диапазонах их варьирования составляют величины второго и выше порядка малости. При этом незначительное повышение наработки до отказа может быть достигнуто увеличением угла заточки лезвия инструмента, а также остаточной деформации древесины в зоне резания.

Таблица 1 - Кодирование факторов численного эксперимента

Формульное обозначение факторов	Номинал	Верхний предел	Нижний предел	Допуск	Среднее квадратичное отклонение	Верхний уровень	Нижний уровень	Кодированное обозначение факторов
$d$	37,5	50	25	25	4,17	41,67	33,33	$X_1$
$\gamma\Delta$	0,0014	0,0020	0,0008	0,0012	0,0002	0,0016	0,0012	$X_2$
$n$	4570	4635	4505	130	21,7	4591,7	4548,3	$X_3$
$\Pi$	2,25	3,25	1,25	2	0,333	2,583	1,917	$X_4$
$D_p$	128	128,025	127,975	0,05	0,0083	128,0083	127,9917	$X_5$
$\beta$	0,6981	0,7330	0,6632	0,0698	0,0116	0,7097	0,6865	$X_6$
$\alpha$	0,2618	0,2967	0,2269	0,0698	0,0116	0,2734	0,2502	$X_7$
$\varepsilon_0$	0,2	0,25	0,15	0,1	0,017	0,217	0,183	$X_8$
$D\{d\}$	17,36	-	-	-	-	17,882	16,840	$X_9$
$D\{\gamma\Delta\}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$	-	-	-	-	$4,12 \cdot 10^{-8}$	$3,88 \cdot 10^{-8}$	$X_{10}$
$D\{n\}$	469,4	-	-	-	-	483,53	455,36	$X_{11}$
$D\{\Pi\}$	0,1111	-	-	-	-	0,1144	0,1078	$X_{12}$
$D\{D_p\}$	$6,94 \cdot 10^{-5}$	-	-	-	-	$7,15 \cdot 10^{-5}$	$6,73 \cdot 10^{-5}$	$X_{13}$
$D\{\beta\}$	0,000135	-	-	-	-	0,000139	0,000131	$X_{14}$
$D\{\alpha\}$	0,000135	-	-	-	-	0,000139	0,000131	$X_{15}$
$D\{\varepsilon_0\}$	0,000277	-	-	-	-	0,000286	0,000269	$X_{16}$

Таблица 2 – Коэффициенты уравнения регрессии

$b_0$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	$b_4$	$b_5$	$b_6$	$b_7$	$b_8$	$b_9$	$b_{10}$	$b_{11}$	$b_{12}$	$b_{13}$	$b_{14}$	$b_{15}$	$b_{16}$
3,327	0,386	-0,422	-0,016	-0,231	-0,0003	0,029	-0,062	0,046	-0,052	-0,007	-0,027	-0,001	0,003	-0,007	0,006	0,0006

На втором этапе эксперимент проводился с целью исследования влияния наиболее значимых факторов на гамма-процентную наработку до отказа в более широком диапазоне их возможного изменения. Для этого величины малозначимых факторов и дисперсии параметров фиксировались на номинальном уровне, а три вышеуказанных параметра подвергались ступенчатому изменению в обе стороны от номинала с шагом, равным среднему квадратическому отклонению. При этом значения допускаемого отклонения поверхности обработки принималось в одном случае равным нижнему предельному, а в другом - верхнему предельному.

Промежуточные значения ввиду линейной зависимости от этого параметра могут быть легко получены путем интерполяции.

Результаты исследования представлены объемными графиками на рисунке 2.

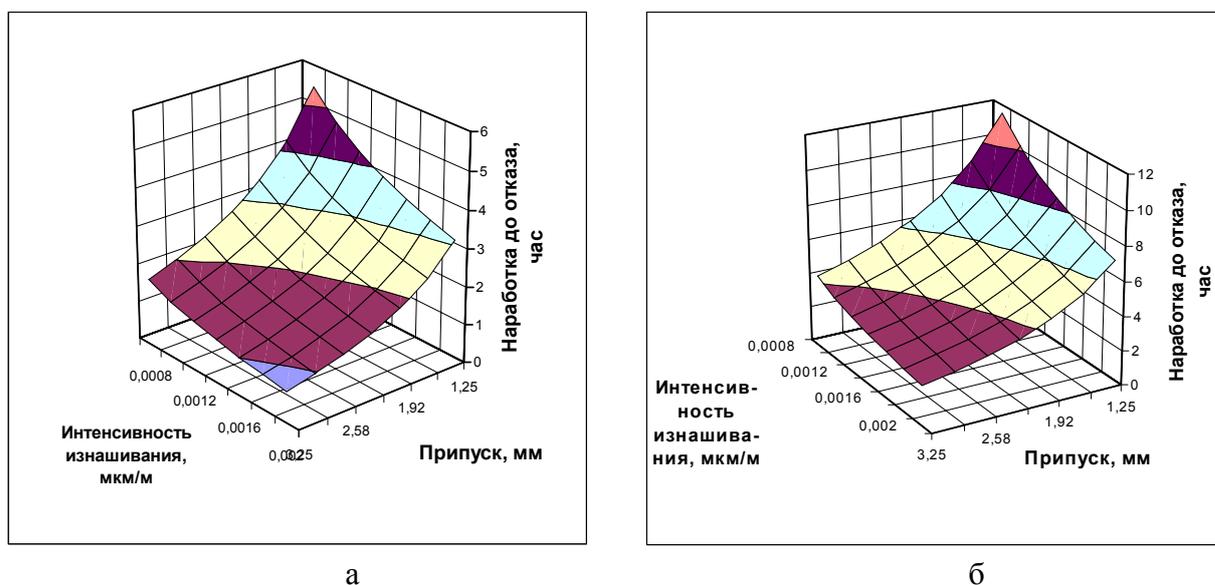


Рисунок 2 – Зависимость 80-процентной наработки до отказа по показателю «точность» от интенсивности изнашивания инструмента и припуска на обработку при величине допускаемого смещения: а – 25 мкм; б – 50 мкм

На поверхности отклика различными цветами показаны диапазоны значений наработки до отказа. Как видно, влияние выбранных факторов на надежность технологической системы обработки древесины весьма существенно: при их крайних значениях 80-процентная наработка может изменяться от 0,815 до 11,524 часа, то есть более чем в 14 раз. Влияние различных факторов существенно и сопоставимо между собой. То есть одного и того же результата в повышении надежности можно достичь повышением износостойкости инструмента или уменьшением припуска на обработку, или увеличением допускаемого смещения поверхности обработки.

Повышение износостойкости инструмента является традиционным путем, однако и самым дорогостоящим.

Уменьшение припуска на обработку по сравнению с рекомендуемым ГОСТ 7228-75 возможно путем получения столярных заготовок не непосредственно из продукции лесопиления, а, например, переработкой необрезных пиломатериалов в заготовки круглопильных станках, дающих более высокую точность и меньшую шероховатость поверхностей, подлежащих дальнейшему фрезерованию.

Допускаемое смещение поверхности обработки может быть увеличено путем более точной предварительной настройки станка и инструмента на нижний предел получаемого размера детали.

Проведенные теоретические исследования позволяют расчетным путем определять рациональный период стойкости инструмента по принятому показателю и намечать пути его повышения за счет наиболее экономически целесообразных и технически возможных решений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 27.004-85 Надежность в технике. Системы технологические. Термины и определения. [Текст]. Взамен ГОСТ 22954-78; введ. 1986-07-01. М.: Госстандарт Рос-

сии: изд-во стандартов, 2002. 18 с.

2. ГОСТ 27.202-83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции. [Текст]. Введ. 1984-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1984. 50 с.

3. Глебов И.Т. Справочник по резанию древесины [Текст] / Глебов И.Т., Новоселов В.Г., Швамм Л.Г.; Урал.гос.лесотехн.акад. Екатеринбург, 1999. 190 с.

4. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. [Текст]. Введ. 1997-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1996. 10 с.

5. Новоселов В.Г. Физический метод расчета надежности технологической системы деревообработки по параметру качества продукции «точность» [Текст] / В.Г.Новоселов, И.Т.Глебов // Надежность и качество: материалы международного симпозиума, Пенза, 25-31 мая 2006 г./ Пензенский гос.техн.ун-т. – Пенза, 2006. - С. 276-278.

6. ГОСТ 7228-75. Деревообрабатывающее оборудование. Станки рейсмусовые. Нормы точности. [Текст]. Введ. 1976-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1986. 7 с.

7. ГОСТ 6449.1-82. Изделия из древесины и древесных материалов. Поля допусков для линейных размеров и посадки [Текст]. Введ. 1982-03-26. М.: Изд-во стандартов, 1991. 21 с.

8. Моисеев А.В. Износостойкость дереворежущего инструмента. [Текст] / А.В.Моисеев. – М.: Лесн.пром-сть, 1981. 112 с.

9. ГОСТ 7307-75. Детали из древесины и древесных материалов. Припуски на механическую обработку. [Текст]. Введ. 1977-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 15 с.

## **ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ДИСПЕРСНЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРОВ**

**Синегубова Е.С.** (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) [sinyes@yandex.ru](mailto:sinyes@yandex.ru)

**Григоров И.Г.** (Институт химии твердого тела УрО РАН,  
г. Екатеринбург, РФ) [grigorov@ihim.uran.ru](mailto:grigorov@ihim.uran.ru)

### *PHYSICAL METHODS OF DISPERSIBLE AND COMPOSITE MATERIALS ON THE POLYMERS BASIS STRUCTURE RESEARCH*

Производство композитных материалов непосредственно связано с технологическими процессами получения материалов с прогнозируемыми свойствами, т. е. определением оптимальных режимов их изготовления для получения максимальных эксплуатационных свойств [1]. В этой связи особое значение приобретает анализ и изучение твердых тел методами сканирующей электронной (РЭМ) и зондовой микроскопии (СЗМ), которые позволяют непосредственно наблюдать микро- и наноструктуру исследуемых объектов. Однако, для создания новых материалов недостаточно качественное