

НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ДЕРЕВООБРАБОТКЕ

Новоселов В.Г. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) vgnov@usfeu.ru

REALIBILITY OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS IN WOODWORKING

В соответствии с положениями ГОСТ [1] технологическая система в деревообработке понимается как совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения (СТО), предметов производства (ПП) и исполнителей (И) для выполнения в регламентированных условиях производства (РУП) заданных технологических процессов или операций (рис.1).

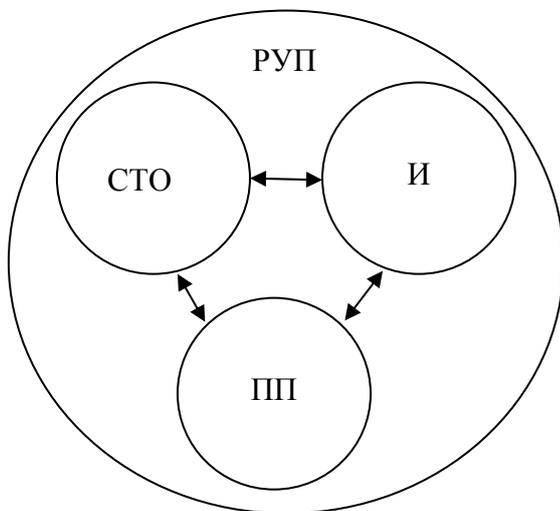


Рисунок 1 – Структура технологической системы

К предметам производства относятся: материал, заготовка, полуфабрикат и изделие, находящиеся в соответствии с выполняемым технологическим процессом в стадии хранения, транспортирования, формообразования, обработки, сборки, ремонта, контроля и испытаний.

Исполнитель это – человек, осуществляющий в технологической системе трудовую деятельность по непосредственному изменению и (или) определению состояния предметов производства, техническому обслуживанию или ремонту средств технологического оснащения.

К регламентированным условиям производства относятся: регулярность поступления предметов производства, параметры энергоснабжения, параметры окружающей среды и др.

Понятие средств технологического оснащения ГОСТ не регламентирует. Очевидно, под ними следует понимать оборудование, машины, механизмы, приборы, приспособления, инструменты, используемые в технологическом процессе или операции.

Структура технологической системы рассматривается в соотношении с конкретными иерархическими уровнями: технологические системы операций, процессов, производств, предприятий. В иерархической технологической системе предприятия элементами приняты технологические подсистемы производств. В них – технологические системы процессов. Нижнему, элементарному уровню подсистем сопоставлена технологическая система операции.

Технологические системы объединяются в зависимости от порядка выполнения операций и процессов в последовательные, параллельные или комбинированные цепи. Связи между подсистемами осуществляются посредством одного из элементов технологической системы - предмета производства, перемещаемого с одного рабочего места на другое при помощи транспортирующих средств (ТС), а также общих для данной системы регламентированных условий производства (рис.2).

Работоспособным является состояние технологической системы, при котором значение хотя бы одного параметра и (или) показателя качества изготавливаемой продукции, производительности, материальных и стоимостных затрат на изготовление продукции соответствуют требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации. В случае любого отклонения от

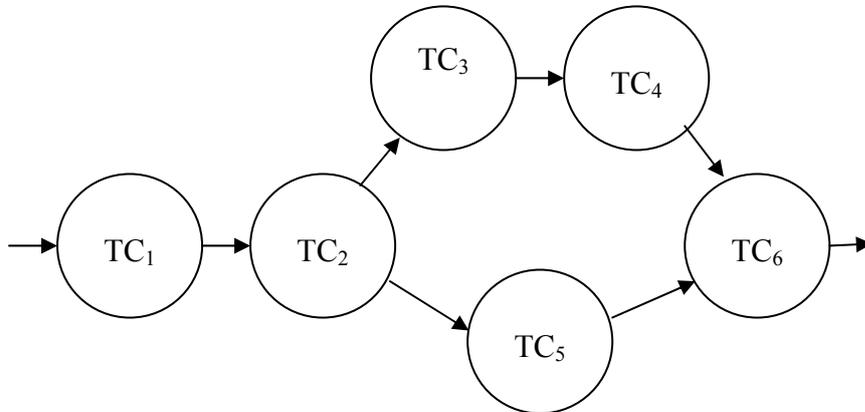


Рисунок 2 – Структура комбинированной технологической системы

этих требований означает переход в неработоспособное состояние, а само событие является отказом.

Одним из основных показателей надежности технологической системы является вероятность безотказной работы – вероятность того, что в пределах заданной наработки не произойдет отказа технологической системы по параметрам изготавливаемой продукции (параметрам производительности, затратам).

Для комбинированной технологической системы вероятность безотказной работы $P(t)$ определится после разбиения ее на последовательные и параллельные участки

$$P(t) = \prod_{i=1}^k [P_i(t)] \{1 - \prod_{i=k+1}^l [1 - P_i(t)]\},$$

где $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы элемента (подсистемы) технологической системы; $i=1 \dots k$ – элементы последовательных участков технологической системы; $i=k+1 \dots l$ – элементы параллельных участков технологической системы.

Вероятность безотказной работы элементарной подсистемы - технологической системы операции определяется зависимостью

$$P_i(t) = P_{1i}(t)P_{2i}(t)P_{3i}(t),$$

где $P_{1i}(t)$ – вероятность безотказной работы средств технологического оснащения операции; $P_{2i}(t)$ – вероятность соответствия предмета производства установленным требованиям; $P_{3i}(t)$ – вероятность безошибочной работы исполнителя.

Вероятность безотказной работы средств технологического оснащения описывается различными законами распределения в зависимости от вида возникающих повреждений: износ, усталость, коррозия или старение. В общем случае она может быть выражена законом Вейбулла

$$P_{1i}(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b},$$

где a – параметр масштаба, b – параметр формы, варьирование которым позволяет описывать различные виды распределений. Вопросы безотказности средств технологического оснащения - машин и оборудования лесного комплекса - подробно рассмотрены в [2].

Стабильное соответствие предмета производства установленным требованиям к размерно-качественным характеристикам сырья и полуфабрикатов обеспечивается надлежащей сортировкой и входным контролем. Его вероятность определяется относительно стабильной интенсивностью отклонений от заданных требований λ_{2i} как для экспоненциального закона распределения

$$P_{2i}(t) = 1 - e^{-\lambda_{2i}t}.$$

Безошибочная работа исполнителя (человека-оператора) в технологической системе характеризуется функцией его надежности в непрерывной временной области [3] сменяющейся в зависимости от напряженности и продолжительности труда интенсивностью появления ошибок $\lambda_{3i}(t)$. Ее вероятность определяется по формуле

$$P_{3i}(t) = 1 - e^{-\int_0^t \lambda_{3i}(t) dt}.$$

Отказы технологических систем по характеру нарушения работоспособности подразделяются на функциональные и параметрические. Функциональным является отказ, в результате которого наступает прекращение ее функционирования, не предусмотренное регламентированными условиями производства или в конструкторской документации, например, вследствие поломки инструмента. Признаком функционального отказа являются также факты превышения сроков запланированных перерывов в работе: регламентированного времени смены инструмента, установки заготовки, заданных перерывов на отдых персонала и т.д. Отказ технологической системы, в результате которого сохраняется ее функционирование, но происходит выход одного или нескольких параметров за пределы установленные в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации. В зависимости от того, какие параметры нарушены, различают отказы и, соответственно, наступившие неработоспособные состояния: по производительности; по параметрам продукции; по затратам.

Таким образом, с точки зрения проявления отказов вероятность безотказной работы технологической системы может быть определена как вероятность совмещения событий безотказности по всем критериям

$$P(t) = P_{\phi}(t)P_{\Pi}(t)P_K(t)P_3(t),$$

где $P_{\phi}(t)$, $P_{\Pi}(t)$, $P_K(t)$, $P_3(t)$ – соответственно вероятность безотказной работы по критериям: функционирования, производительности, качества изготавливаемой продукции и затрат на изготовление.

Вероятность безотказной работы технологической системы по функциональным отказам определяется коэффициентами безопасности (запасов прочности) $n(t)$, характеризующими способность ее элементов сопротивляться повреждающему воздействию факторов технологического процесса, из условия

$$P_{\phi}(t) = P\{n(t) \geq 1\}.$$

Эти отказы для деревообрабатывающего оборудования достаточно изучены и описаны, например [2].

Критериями отказов технологических систем операций и процессов по производительности по ГОСТ 27.204-83 [4] являются: прекращение функционирования на время, превышающее допустимое (функциональный отказ - $P_{\phi}(t)$) или снижение произво-

дительности ниже уровня, установленного в нормативно-технической или конструкторско-технологической документации (параметрический отказ – $P_{II}(t)$)

Вероятность безотказной работы технологической системы по параметрам снижения производительности ниже установленного уровня может оцениваться по критерию соответствующей скорости подачи заготовки в станок из условия

$$P_{II}(t) = P\{U(t) \geq U_{\min}\},$$

где $U(t)$, U_{\min} – конкретная реализация скорости подачи и ее минимально допустимое по производительности значение.

Надежность технологической системы по параметрам качества изготавливаемой продукции в соответствии с ГОСТ 27.202-83 [5] оценивается показателем «точность». Вероятность безотказной работы по нему

$$P_T(t) = P\{x_{\min} \leq x(t) \leq x_{\max}\},$$

где $x(t)$, x_{\min} , x_{\max} – фактическое, минимальное и максимальное предельное значения исполняемого размера детали.

Другие количественные критерии, характеризующие непосредственно саму продукцию, ГОСТом не конкретизированы. Нами дополнительно использован важнейший критерий качества, широко применяемый в деревообработке, – «шероховатость обработанной поверхности». Вероятность безотказной работы по нему

$$P_{III}(t) = P\{R_Z(t) \leq R_{\max}\},$$

где $R_Z(t)$, $R_{Z\max}$ – фактическое и максимально допустимое значение параметра шероховатости.

Таким образом, вероятность безотказной работы технологической системы по параметрам качества может быть выражена

$$P_K(t) = P_T(t)P_{III}(t).$$

Принимая нормальный закон распределения наработки до отказа по каждому из принятых критериев

$$P(t) = 1 - \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-T_1)^2}{2\sigma_t^2}} dt,$$

где T_1 – средняя наработка до отказа; σ_t – ее среднеквадратическое отклонение.

В статьях [6,7] разработаны методы расчета средней наработки до отказа по принятым показателям качества продукции, основанные на детерминированных зависимостях положений теории резания профессора А.Л. Бершадского, и работ по исследованию износостойкости инструмента А.В.Моисеева, изложенным в [8]. Они описывают зависимости «дрейфа» центров распределений параметров, характеризующих принятые критерии, и позволяющие определить средние наработки до отказов и их дисперсии.

По параметру точность средняя наработка до отказа составит

$$T_1 \approx \frac{16,7\bar{d}}{\gamma_{\Delta} n l_k (e - \varepsilon_0)},$$

где d – допускаемое смещение центра распределения фактических размеров обработанной детали от начальной размерной настройки; γ_{Δ} – интенсивность изнашивания лезвия

инструмента; n – частота вращения инструмента; l_k – длина дуги контакта лезвия инструмента с заготовкой; ε_o – относительная остаточная деформация древесины под поверхностью резания; e – вспомогательная величина

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

где α – задний угол лезвия; β – угол заострения.

По параметру «шероховатость поверхности»

$$T_1 \approx \frac{16,7}{k \bar{\gamma}_\Delta \bar{n} \sqrt{\Pi D_p}} \ln \frac{\bar{R}_{Z_{\max}}}{\bar{R}_{Z_o}}.$$

где k – показатель экспоненты описывающей, изменение шероховатости поверхности обработки в зависимости от износа инструмента; Π – припуск на обработку; D_p – диаметр окружности резания; R_{Z_o} , $R_{Z_{\max}}$ – шероховатость при обработке соответственно острым и затупленным инструментом.

Технические требования к методам оценки надежности технологических систем по затратам на изготовление продукции не стандартизованы. Нами использован критерий расхода мощности на обработку древесины $N(t)$, которая не должна превышать максимальной установленной мощности N_{\max} двигателя привода соответствующего механизма (резания или подачи). Вероятность безотказной работы по этому критерию

$$P_3(t) = P\{N(t) \leq N_{\max}\}.$$

По мощности привода механизма резания средняя наработка до отказа составит

$$T_1 \approx \frac{83,3 \bar{\rho}_o}{\bar{\gamma}_\Delta \bar{n} \sqrt{\Pi D_p} \bar{K}_n \bar{K}_u \bar{p}} \left(\frac{\bar{N}_o \bar{\eta}}{\bar{b} \bar{a}_n \bar{a}_w} - \bar{K} \bar{S}_{zp} \sqrt{\Pi / D_p} - \bar{p} \right),$$

где K_n – коэффициент производительности станка; K_u – коэффициент использования станка; b – ширина поверхности резания, мм; a_n и a_w поправочные коэффициенты на породу и влажность древесины; p – фиктивная сила резания; K – касательное давление стружки на переднюю грань зуба; N_o – мощность двигателя; η – к.п.д. привода механизма резания.

Приведенные зависимости позволяют, используя эмпирическую информацию и физические методы расчета определять показатели надежности технологических систем на стадии проектирования процессов обработки и принимать обоснованные решения по ее повышению.

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 России: изд-во стандартов, 2002. 9 с.
2. Амалицкий В.В. Надежность машин и оборудования лесного комплекса: Учебник для студентов специальности 170400 [Текст]/ В.В.Амалицкий, В.Г.Бондарь, А.М.Волобаев, А.С.Воякин. – М. : МГУЛ, 2002. 279 с.
3. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем : Пер. с англ. [Текст]/ Б.Диллон, Ч.Сингх. - М. : Мир, 1984. 318 с.

4. ГОСТ 27.204-83. Надежность в технике. Технологические системы. Технические требования к методам оценки надежности по параметрам производительности. [Текст]. Введ. 1985-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1984. 37 с.

5. ГОСТ 27.204-83. 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.

6. 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

7. Новоселов В.Г. Расчет безотказности технологической системы деревообработки по параметру качества продукции «шероховатость поверхности [Текст]/ В.Г.Новоселов// Изв. Санкт-Петербургской гос. лесотехн. акад. – СПб, 2006. – Вып. 3. – С. 178-184.

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

УСТОЙЧИВОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ДЕРЕВООБРАБОТКЕ

Новоселов В.Г. (УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ) vgnov@usfeu.ru

STABILITY OF FUNCTIONING OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS IN WOODWORKING

Эффективность деревообрабатывающих производств определяется рядом параметров, характеризующих надежность и безопасность технологических систем для персонала и окружающей среды. На процессы обработки древесины оказывает влияние большое количество качественно разнообразных факторов. В регламентированных условиях производства реализации тех или иных значений факторов носят случайный характер, происходит временной дрейф их центров распределений и дисперсий.

При некоторых сочетаниях значений факторов процесса, не выходящих за установленные пределы, наступает такое состояние технологической системы, при котором ее дальнейшее функционирование чревато выходом одного из характеризующих параметров их оценки за установленные пределы, то есть нарушением какого-либо из критериев надежности или безопасности. Это создает проблему устойчивости функционирования технологических систем. Она усугубляется в поточных многооперационных технологических процессах, с ростом уровня автоматизации, с расширением применения высоко энергонасыщенных и компьютеризированных средств технологического оснащения. В свою очередь неустойчивое функционирование технологических систем наносит экономический ущерб производству, снижает эффективность работы предприятий.

Современное состояние науки о технологии и технике деревообработки дает представление об отдельных аспектах оценки устойчивости функционирования техно-