

2. Ловейкин, В.С. Комплексный синтез оптимального управления движением грузоподъемного крана / В.С. Ловейкин, Ю.О. Ромасевич // Автоматизация производственных процессов в машиностроении и приборостроении. – Киев, 2011.

3. Понтрягин, Л.С. Математическая теория оптимальных процессов / Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.В. Гамкрелидзе, Е.Ф. Мищенко. – М.: Физматгиз, 1961. – 392 с.  
УДК 004.942

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ В КРУГЛЫХ ДИСКОВЫХ ПИЛАХ

*Суша О.Н., Карпович Д.С.*

Белорусский государственный технологический университет,  
Минск, Республика Беларусь

Основу проблемы оценки работоспособности инструмента при любом подходе к ее решению составляет анализ напряженного состояния круглой дисковой пилы. Задача сводится к составлению функциональных зависимостей, устанавливающих связь между напряжениями и нагрузочными факторами, которые определяют режимы пиления, конструкцию пилы, качество материала пилы, качество ее подготовки к работе. Построение таких зависимостей на основе точных решений имеет значительные математические сложности. Это связано со сложностью характера нагрузочных факторов, которые не всегда имеют линейную связь с напряжениями в пиле, и со сложностью геометрической формы зубчатой кромки пилы. Эти обстоятельства послужили причиной широкого применения экспериментальных методов (оптических или тензометрических) определения напряжений. Аналитические работы, касающиеся вопросов определения напряженного состояния дисковых пил, связаны в основном с решением проблемы устойчивости и колебаний. При этом пила рассматривается как диск с гладким внешним контуром, так как на современном этапе построение аналитических решений с учетом реальной геометрии зубчатой кромки не представляется возможным [1].

Так как на данный момент аналитическое решение невозможно, рассмотрим численный метод исследования напряженного состояния круглой дисковой пилы. В настоящее время возможно использование современных компьютерных пакетов предназначенных для моделирования поведения дереворежущего инструмента [3]. Одним из таких пакетов является ANSYS. В данной программе был промоделирован процесс резания круглой пилой и представлено численное решение распределение напряжения дереворежущего инструмента.

Одним из этапов подготовки к проведению расчета и получения удовлетворительных результатов является определение внешних воздействий (механических, тепловых) на конструкцию [3].

При продольной круглопильной распиловке древесины в пропиле одновременно действуют на один зуб пилы касательные, нормальные и боковые силы [1]. Пример графического окна с приложенными к модели нагрузками представлен на рисунке 1.

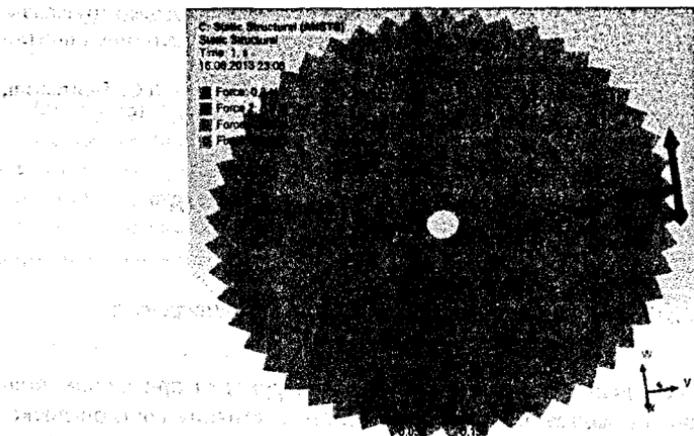


Рисунок 1 – Нагрузки, приложенные к зубу круглой пилы

Программа ANSYS позволяет получить реакцию модели круглой дисковой пилы на приложенные к ней касательной, боковой, а также нормальной силы при малых величинах (рисунок 2).



Рисунок 2 – Напряжение в круглой пиле при малых величинах действия на зуб касательной нормальной и боковой сил

Напряженное состояние при этом возникает непосредственно на поверхности режущего элемента, однако имеет место распространение напряженного состояния на зубчатый венец в зонах двух соседних режущих элементов [2]. Напряженное состояние при этом не передается на основное полотно дисковой пилы, а концентрируется в небольшой области на расстоянии  $r=0.1R$ .

Напряженное состояние при больших величинах действующих сил на круглую дисковую пилу имеет место в зоне насадки круглой дисковой пилы на вал (рисунок 3).

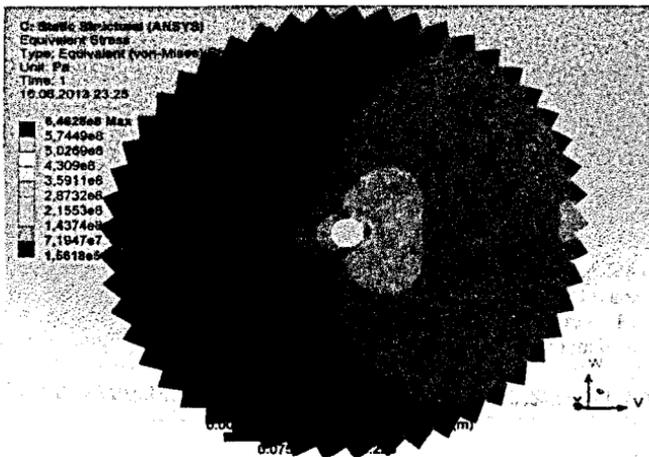


Рисунок 3 – Напряжение в круглой пиле при действии на зуб касательной нормальной и боковой силы и напряжение при больших величинах действующих сил на круглую пилу

Жёсткость вращающейся круглой пилы (если внутренние напряжения в ней соответствуют оптимальным значениям) в принципе должна быть больше, чем у пилы в покое. Постоянно действующая боковая сила может быть источником возбуждения и поддержания в пилах неподвижных в пространстве волн. Возникновение стоячей волны в дереворежущем инструменте сопровождается её значительным отгибом в боковом направлении и, как следствие, снижением жёсткости (при постоянной действующей поперечной силе).

Диск становится неустойчивым, и даже незначительные поперечные силы резания приводят к потере плоской формы пилы. Пила зарезает. Это особенно важно у тонких пил и пил большого диаметра. Правильно прокованные (или провальцованные) круглые пилы могут работать при большей частоте вращения и выдерживают большой перепад температуры периферийной и средней частей диска. В любом случае частота вращения вала круглопильного станка не должна превышать критическую.

Следует отметить, что, кроме создания внутренних напряжений проковкой и вальцеванием, устойчивость круглых пил может быть повышена также за счет выравнивания температуры диска. Выравнивать температуру можно нагревом центральной части или охлаждением периферии пилы. Вредное влияние термических напряжений может быть уменьшено при устройстве щелевых компенсаторов в диске пилы. Чаще всего этот прием употребляют в пилах с пластинками из твердого сплава, так как компенсаторы позволяют уменьшить деформацию пилы в процессе напайки пластин.

С возникновением напряжений можно бороться, создавая и «противонапряжения», проковкой или вальцеванием инструмента. Но при «противонапряжении» величина напряжений противодействует деформации инструмента, и не будет изменяться при смене режимов резания. Наличие уширяющих элементов, выполненных из материала с более высокими температурными коэффициента-

ми линейного расширения, приводит к динамическому изменению величин противонапряжений и в результате обеспечивает более корректную стабилизацию полотна в пропилах. Предложенный способ натяжения зубчатого венца характеризуется простотой и обеспечивает возможность создания напряженного состояния зубчатого венца в пилах большего диаметра и твердосплавных непосредственно на деревообрабатывающих предприятиях.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Санёв, В.И. О поперечной жёсткости дисковых пил в покое и при вращении / В.И. Санёв, В.К. Пашков // Изв. вузов: Лесной журнал. – 1970. – №3.
2. Суша, О.Н. Установка для исследования статической устойчивости круглых пил / О.Н. Суша, Д.С. Карлович // Энергия - 2013: материалы конф., 23-25 апреля 2013г. / ИГЭУ. – Иваново, 2013.
3. Басов, К.А. Графический интерфейс комплекса ANSYS. – М.: ДМК Прес, 2006. – 248 с.

УДК 681.5.03

### ПОДБОР МОДЕЛИ ПРИВОДА МАЛОМОЩНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ РАЗГОНЕ И ТОРМОЖЕНИИ

*Морозова М.П., Оробей И.О., Гринюк Д.А.*

Белорусский государственный технологический университет,  
Минск, Республика Беларусь

Как известно, для получения параметров настроек контура регулирования стабилизации частоты вращения требуется знать динамические характеристики объекта управления. В качестве объекта управления выступает маломощный двигатель постоянного тока с независимым возбуждением ДПР-42-Ф1-02. Датчиком частоты являлся практически такой же двигатель в режиме генератора, который жестко соединен с валом ведущего двигателя.

В качестве управляющей системы в контуре выступает Arduino. Напряжение с генератора через делитель для согласования диапазона подключено на АЦП вход микроконтроллера. В свою очередь PWM выход контроллера через силовой драйвер формирует напряжение для двигателя.

Наиболее часто в литературе можно встретить передаточную характеристику двигателя постоянного тока при моменте сопротивления  $M_n$  равном нулю как

$$W(s) = \frac{k_1}{T_E T_M s^2 + T_M s + 1},$$

где  $s$  – оператор Лапласа,  $T_E$ ,  $T_M$  – соответственно электрическая и механическая постоянные.

Однако проведенные эксперименты показали наличие существенных нелинейных свойств в динамике микромощного электропривода.

Согласно программе микроконтроллер формировал меандровый сигнал с частотой для выхода частоты на стационарное значение. Кривые торможения и разгона фиксировались с помощью цифрового осциллографа (рисунки 1-2).