

ства пиломатериалов требуемого качества и размеров и заставляет прибегать к экстенсивным методам увеличения выпуска пилопродукции. Применение же в этих условиях численных моделей на основе сплайнов позволяет практически с полной адекватностью описывать раскраиваемый объект и максимально учитывать при раскрое геометрические особенности его формы. При этом возможность учета особенностей геометрии бревна, включая и пороки формы, заложена в самом концептуальном подходе построения моделей круглых лесоматериалов и, как следует из изложенного выше, осуществляется путем использования достаточно «плотных» интерполяционных сеток. Строго говоря, лишь при наличии адекватного описания раскраиваемого объекта открывается возможность осуществления оптимального раскроя и собственно управления производством пиломатериалов на основе реализации принципа индивидуального раскроя каждой единицы сырья [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. А. с. 1551990 СССР, МКИ G 01 В 11/10, 11/24. Способ определения профилей сечения объектов, преимущественно бревен / А. А. Янушкевич, М. И. Кулак, М. К. Яковлев, И. И. Кулак (СССР). № 4354200/24—28; Заявлено 30.12.87; Опубл. 23.03.90, Бюл. № 11 // Открытия. Изобретения.— 1990.— № 11.— С. 116. [2]. Елсаков С. Г. Математическое моделирование раскроя пиловочного сырья неправильной формы с использованием сплайн-функции // Лесн. журн.— 1990.— № 3.— С. 70—73.— (Изв. высш. учеб. заведений). [3]. Завьялов Ю. С. Интерполирование функций одной и двух переменных кусочно-полиномиальными функциями // Математические проблемы геофизики.— Новосибирск: Наука, 1969.— С. 58—79. [4]. Петровский В. С. Автоматическая раскряжевка лесоматериалов.— М.: Лесн. пром-сть, 1989.— 288 с. [5]. Пижурин А. А., Розенбит М. С. Основы моделирования и оптимизации процессов деревообработки.— М.: Лесн. пром-сть, 1988.— 294 с. [6]. Яковлев М. К., Янушкевич А. А., Кулак М. И. Применение сплайнов в математических моделях хлыстов и бревен // Технология и оборудование заготовки и переработки древесины.— Минск: Вышэйш. шк., 1988.— Вып. 3.— С. 97—103. [7]. Янушкевич А. А., Кулак М. И., Яковлев М. К. Автоматизированное проектирование раскроя пиловочного сырья на основе сплайновых моделей // Технология и оборудование заготовки и переработки древесины.— Минск: Вышэйш. шк., 1989.— Вып. 4.— С. 145—150. [8]. Янушкевич А. А., Кулак М. И., Яковлев М. К. Оптимизация раскроя сырья для производства строганого шпона // Технология и оборудование заготовки и переработки древесины.— Минск: Вышэйш. шк., 1990.— Вып. 5.— С. 104—108. [9]. Янушкевич А. А., Кулак М. И., Яковлев М. К. Сплайновые модели в САПР раскроя древесного сырья // Математическое обеспечение рационального раскроя в САПР: Тез. докл. Всесоюз. науч. конф.— Уфа, 1987.— Ч. 2.— С. 182—183. [10]. Янушкевич А. А., Яковлев М. К. Система проектирования раскроя лесоматериалов на ПЭВМ: модели, алгоритмы, реализация // Матер. междунар. симпозиума «Информатика-89». Минск, 1989.— Т. 2, ч. II.— С. 715—719. [11]. Янушкевич А. А., Яковлев М. К. Совершенствование лесопиления на основе индивидуальных моделей раскроя // Деревообаб. пром-сть.— 1991.— № 3.— С. 18—19.

Поступила 4 февраля 1992 г.

УДК 674.053 : 621.934

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ КОЛЕБАНИЙ ЖЕСТКО ЗАКРЕПЛЕННОЙ И ПЛАВАЮЩЕЙ НА ПИЛЬНОМ ВАЛУ КРУГЛОЙ ПИЛЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АЭРОСТАТИЧЕСКИХ НАПРАВЛЯЮЩИХ

Ю. М. СТАХИЕВ, В. В. МАКАРОВ

ЦНИИМОД

В круглопильных станках для продольной распиловки древесины используются пилы с жестким (традиционным) креплением на пильном валу и плавающие, которые имеют возможность аксиального переме-

щения на валу и самоустанавливания между жестко закрепленными направляющими. Через направляющие для смазки и охлаждения обычно подается вода или водовоздушная смесь. В последние годы все больше внимания уделяется аэростатическим направляющим, в работе которых используется только воздух. Первые работы в этой области были выполнены в СССР в 1966 г. (для ленточных пил) и 1970 г. (для круглых).

ЦНИИМОДом в 1990 г. проведены опыты по сравнительной оценке влияния жестко фиксированных аэростатических направляющих на колебания пил при жестком и плавающем вариантах их установки на пыльном валу. Опыты проводили на экспериментальной установке [4, рис. 4.9] дополнительно оснащенной кронштейном для крепления против периферийной зоны пилы с двух сторон с заданными зазорами аэростатических направляющих диаметром 60 мм. Они спроектированы на основании расчетов по методике [2] и имели кольцевую микроканавку диаметром 30 мм, глубиной 0,7 мм (треугольной формы) с равномерно расположенными в ней четыремя отверстиями поддува диаметром 1,1 мм. При одностороннем зазоре между направляющими и диском 0,04 мм и давлении поддува 0,5 МПа подъемная сила равна 523 Н, жесткость опоры — 520 Н/мкм, объемный расход воздуха — 3 м³/ч.

В основных опытах использовали прокованную пилу диаметром 510 мм фирмы Tenyu Saw (Япония). Толщина пилы 1,25 мм, число зубьев 60, параметр шероховатости торцовых поверхностей $R_a = 0,85 \dots 1,55$ мкм, торцовое биение диска при медленном вращении 0,27 мм. Диаметр зажимных фланцев при жестком и плавающем креплении пил составлял 160 мм. Частоты собственных колебаний пилы для форм с числом узловых диаметров $\lambda = 0 \dots 5$ равны соответственно 30, 34, 51, 84, 132, 192 Гц, диаметр посадочного места вала для плавающей пилы 99,9 мм, диаметр отверстия плавающих фланцев 100,01 и 100,10 мм.

Схема взаимного расположения емкостного датчика для регистрации колебаний вращающегося диска и аэростатических направляющих показана на рис. 1. Такое расположение обосновано в работе [3, рис.

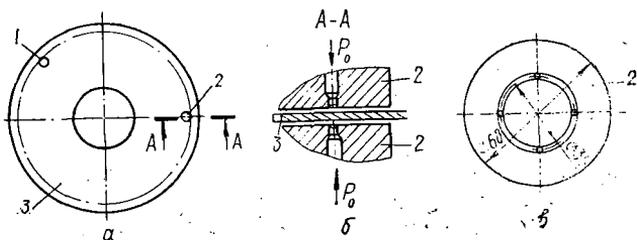


Рис. 1. Схема, поясняющая расположение емкостного датчика и аэростатических направляющих относительно пилы (а) и схемы аэростатических направляющих (б, в): 1 — датчик; 2 — направляющие; 3 — пила (P_0 — относительное давление поддува)

2.24] и связано с формой колебаний при минимальной критической частоте вращения $n_{кр}^{min}$ (обычно λ равно 2 или 3). Разгон диска производили при повышении частоты вращения пыльного вала от 600 до 2500...3600 мин⁻¹ со скоростью 3,5 мин⁻¹/с. Колебания регистрировали с помощью осциллографа Н.107 (скорость записи 0,5 мм/с). Зазор между емкостным датчиком и диском пилы был равен 5 мм.

Результаты основных опытов приведены на осциллограммах (рис. 2 и 3). Их анализ, а также дополнительные наблюдения в ходе опытов позволяют отметить следующее.

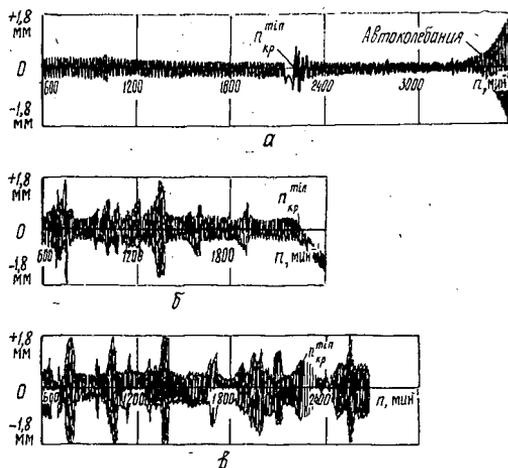


Рис. 2. Осциллограммы колебаний пилы при жестком закреплении на пильном валу: а — без аэростатических направляющих; б — с аэростатическими направляющими при давлении поддува воздуха 0,4 МПа и зазоре 0,09 мм; в — то же, при зазоре 0,05 мм

При холостом вращении (рис. 2, а) с постоянным увеличением частоты вращения пила, жестко зажата на пильном валу фланцами диаметром 160 мм, имеет критические частоты вращения 2190, 2300, 2480, 2810 мин⁻¹ для форм колебаний λ, равных 3, 2, 4, 5. Автоколебания начинаются при частоте вращения 3360 мин⁻¹. Отсюда максимально допустимая частота вращения $n_{доп}^{max} = 0,85 n_{кр}^{min} = 0,85 \times 2190 = 1860 \text{ мин}^{-1}$. Если учесть, что, например, в многопильном круглопильном станке СБ8М частота вращения пильного вала равна 1500 мин⁻¹, т. е. ниже максимально допустимой величины, то возможно использование прокованных пил 510 × 1,25 мм при принятии мер, исключающих их неравномерный нагрев.

Аэростатические направляющие при жестком креплении на пильном валу вращающейся пилы приводят к возбуждению в ней колебаний. Одна из причин повышенной вибрации — упругий газовый слой, который, согласно [1], подобен пружине со слабым демпфированием. Из осциллограмм (рис. 2, б, в) видно, что при частотах вращения ниже $n_{кр}^{min}$ емкостный датчик регистрирует симметричные колебания относительно плоскости вращения. Анализ этих колебаний показывает, что они соответствуют нижним резонансным частотам вращения $n_{рез. n}$ [3, с. 92], причем наиболее интенсивные имеют место при формах колебаний с числом узловых диаметров λ, равных 2; 3 и 4, и кратностях 1 и 2. При частоте вращения, равной или большей n^{min} , происходит постоянное нарастание отклонения диска от плоскости вращения, характерное для колебаний, известных под названием «стоячая волна». Форма колебаний обычно ориентируется относительно направляющих: через них проходит один из узловых диаметров λ.

Таким образом, при жестком креплении пил на пильном валу аэростатические направляющие являются причиной неустойчивости диска при частотах вращения $n \geq n_{кр}^{min}$, что делает эксплуатацию пил в данных условиях нецелесообразной. Наличие при $n < n_{кр}^{min}$ большого числа зон колебаний, соответствующих нижним резонансным частотам вращения, затрудняет использование межрезонансных зон. При этом круглопильные станки должны выпускаться с регулируемой частотой вращения пильного вала или же в станках с постоянной частотой вращения необходимо производить подбор пил по диаметру, толщине, напряженному состоянию. В обоих случаях надо принимать меры для исключения нагрева пил при эксплуатации, сохранения их диаметра.

Специальные опыты показали, что возбудимость и амплитуды колебаний при нижних резонансных частотах вращения $n_{\text{рез. н}}$ в значительной степени зависят от величины торцового биения пилы и зазоров между пилой и аэростатическими направляющими. Например, у пилы с торцовым биением 0,27 мм при одностороннем зазоре между диском и аэростатическими направляющими 0,09 мм наиболее широкие межрезонансные зоны находятся в диапазонах частот вращения 1415... 1530, 1592... 1840, 1915... 2250 мин⁻¹. Уменьшение же одностороннего зазора до 0,05 мм приводит к возникновению дополнительных и перегруппировке резонансных зон колебаний, причем свободные межрезонансные зоны находятся в диапазонах частот вращения 1440... 1660 и 1720... 1850 мин⁻¹. Проблема оптимизации зазоров в направляющих, давления поддува воздуха, размеров направляющих в сочетании с различной исходной плоскостностью диска может быть предметом самостоятельного изучения. Однако резервы для практического использования в данной области сравнительно невелики.

Поведение плавающих пил в аэростатических направляющих (рис. 3) существенно отличается от рассмотренного выше поведения пил с жестким креплением на пильном валу во фланцах.

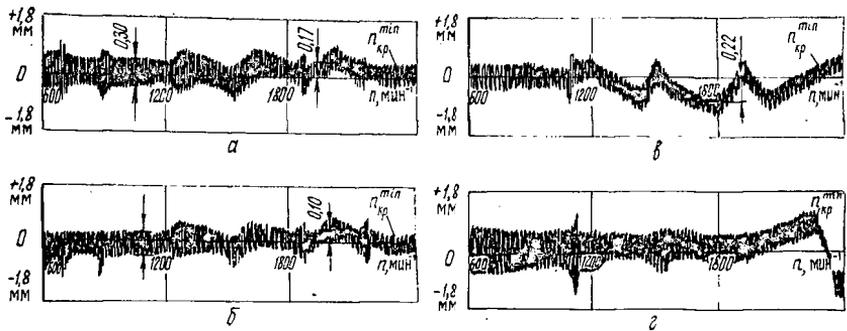


Рис. 3. Осциллограммы колебаний плавающей пилы с использованием аэростатических направляющих (давление поддува воздуха 0,4 МПа, зазор 0,05 мм): а — новые фланцы с $d_{\text{отв}} = 100,01$ мм и вал с $d_{\text{в}} = 99,9$ мм; б — то же, при наличии демпфера между шпонкой вала и фланцем; в — фланцы с $d_{\text{отв}} = 100,10$ мм; г — то же, при установке дополнительных (с другой стороны по диаметру) ограничителей отклонения диска

Первое отличие состоит в том, что при $n < n_{\text{кр}}^{\text{min}}$ не происходит возбуждения многих колебаний, характерных для $n_{\text{рез. н}}$, причем это имеет место не только при зазорах в направляющих 0,09, но и 0,05 мм (при торцовом биении диска 0,27 мм). Если в некоторых случаях и возникают отдельные резонансные колебания, то все равно межрезонансные зоны остаются очень широкими. Фактически датчик при $n < n_{\text{кр}}^{\text{min}}$ в большинстве случаев регистрировал неустойчивость движения («плавание») пилы на пильном валу, а не резонансные состояния диска.

При отдельных частотах вращения иногда наблюдали уход диска от плоскости вращения (некоторое смещение по валу). Это в значительной степени зависит от сочетания полей допусков пильного вала и отверстия плавающих фланцев пилы. Величины оптимальных полей допусков должны быть предметом специального изучения. Для новых фланцев с диаметром отверстия 100,01 мм смещение пилы от плоскости вращения было порядка 0,17 мм (рис. 3, а), а для 100,10 мм смещение увеличилось на 30... 50 % (рис. 3, в).

Второе отличие в поведении плавающих пил на пыльном валу состояло в том, что при разгоне в области частот вращения $n \geq n_{кр}^{min}$, как правило, не фиксировались колебания в виде длительно поддерживаемых и непрерывно нарастающих по амплитуде «стоячих волн». То есть, не наблюдалось затягивания нелинейных колебаний при $n_{кр}^{min}$ на широкую область частот вращения, а области колебаний при частотах вращения $n_{кр, \lambda}$ были достаточно узкими. Эти результаты в какой-то степени объясняют то, что и при $n < n_{кр}^{min}$ колебания с резонансной частотой вращения $n_{рез. н}$ также были трудновозбудимыми.

Все это подтверждает преимущества, которые имеют плавающие пилы по сравнению с жестко закрепленными на пыльном валу.

Для исключения или уменьшения «сползания» плавающих пил по пыльному валу в отдельных работах рекомендуется устанавливать две пары направляющих: первую — в зоне резания, вторую — в зоне холостой ветви пилы. Проведенные дополнительно опыты (рис. 3, г) подтвердили эффективность такого мероприятия. В этих опытах наряду с аэростатическими направляющими на противоположной (по диаметру) стороне пилы устанавливали березовые ограничители отклонения пилы (диаметр ограничителей 20 мм, односторонний зазор 0,05 мм). Ограничители препятствовали «сползанию» пилы по валу, однако иногда (достаточно редко) являлись источником возбуждения отдельных колебаний при нижних резонансных частотах вращения и приводили к неустойчивости при $n > n_{кр}^{min}$.

Благоприятные результаты были получены ЦНИИМОДом также при установке между шпонкой пыльного вала и плавающим фланцем пилы специальных (например, резиновых) прокладок. Они не только уменьшали вероятность «сползания» пилы, но и в необходимых пределах ограничивали «плавание» пыльного фланца по пыльному валу при сохранении ранее рассмотренных преимуществ (см. рис. 3, б). Поэтому целесообразно проводить дальнейшие исследования в данном направлении с одновременным совершенствованием самой конструкции демпфера для плавающих пил.

Выводы

1. При жестком (традиционном) креплении пил на пыльном валу аэростатические направляющие являются источником возбуждения колебаний при нижних резонансных и критических частотах вращения. Защита системы от этих колебаний представляет собой большую техническую трудность.

2. Плавающие пилы при использовании аэростатических направляющих в значительной меньшей степени подвержены резонансным состояниям. Поэтому разработка конструкций аэростатических направляющих должна вестись в первую очередь применительно к плавающим пилам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Опоры скольжения с газовой смазкой / С. А. Шейнберг, В. П. Жедь, М. Д. Шишеев и др.; Под общ. ред. Шейнберга С. А.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Машиностроение, 1979.— 336 с. [2]. Расчет аэростатических опор // Методические рекомендации.— М.: ЭНИМС, 1977.— 30 с. [3]. Стахийев Ю. М. Работоспособность плоских круглых пил.— М.: Лесн. пром-сть, 1989.— 384 с. [4]. Стахийев Ю. М. Устойчивость и колебания плоских круглых пил.— М.: Лесн. пром-сть, 1977.— 296 с.