

В. М., Токтогожаев М. А. Химическая стойкость натуральной и модифицированной древесины // Лесн. журн. 1988. — № 2. — С. 56—59. — (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 12 мая 1991 г.

УДК 674.053 : 621.934

О ВЛИЯНИИ НАПРАВЛЯЮЩИХ НА КОЛЕБАНИЯ ДИСКА ПИЛЫ ПРИ ЖЕСТКОМ ЕЕ КРЕПЛЕНИИ НА ПИЛЬНОМ ВАЛУ

Ю. М. СТАХИЕВ, В. В. МАКАРОВ
ЦНИИМОД

Диск тонкой круглой пилы не способен эффективно сопротивляться действующим на него при пилении силам. Для уменьшения отклонений диска от плоскости вращения в непосредственной близости от зоны резания устанавливают ограничители отклонения (направляющие). Их диаметр колеблется от 10...20 до 60...90 мм и более.

Влияние направляющих на колебания тонкого диска изучено недостаточно. Нами было проведено три серии опытов. В основных опытах использовали диск диаметром 486 мм, толщиной 1,25 мм, полученный путем обрезки зубьев у пилы диаметром 510 мм фирмы Tergu Saw (Япония). Диаметр зажимных фланцев 125 мм, параметр шероховатости торцовых поверхностей $R_z = 0,85 \dots 1,55$ мкм, торцовое биение диска при медленном вращении 0,23 мм.

В первой серии опытов изучено влияние направляющих на формы и частоты собственных колебаний невращающегося диска. Исследования проводили на экспериментальной установке, разработанной ЦНИИМОД [5, рис. 4.7], дополнительно оснащенной кронштейном для крепления против периферийной зоны пилы с двух сторон аэростатических направляющих диаметром 60 мм. Они спроектированы на основании расчетов по методике [2] с кольцевой микроканавкой диаметром 30 мм, глубиной 0,7 мм и равномерно расположенными четырьмя отверстиями поддува диаметром 1,1 мм. При одностороннем зазоре между направляющими и диском 0,04 мм, давлении поддува 0,5 МПа подъемная сила равна 523 Н, жесткость опоры 523 Н/мкм, а массовый расход воздуха 3 м³/ч.

Изучено несколько вариантов установки направляющих: без зазора (жесткое защемление диска); с односторонним зазором 0,04 мм без подвода воздуха; то же, но с подводом воздуха под давлением 0,2; 0,3 и 0,4 МПа. Рассмотрены формы собственных колебаний с числом узло-

Таблица 1

Односторонний зазор между пилкой и направляющими, мм	Давление поддува, МПа	Частота собственных колебаний, Гц, при числе узловых радиусов										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Без направляющих	—	24	—	29	—	48	—	88	—	145	—	215
	0	—	27	31	42	57	79	102	131	161	*	234
	0,04	0	—	25	30	40	52	*	92	*	149	217
	0,2	—	25	31	40	52	76	93	126	150	*	218
	0,3	—	25	31	40	53	76	94	127	150	*	220
0,4	—	25	31	40	53	76	94	128	151	*	221	

*. Возбудить колебания в диске не удалось.

вых диаметров $\lambda = 0 \dots 5$ (0...10 узловых радиусов). Результаты опытов приведены в табл. 1.

Опыты показали, что защемление периферийной зоны диска направляющими вызывает увеличение частот собственных колебаний для обычных форм и приводит к возникновению новых форм собственных колебаний (рис. 1) с нечетным числом узловых радиусов (числом узловых диаметров 0,5; 1,5; 2,5; 3,5...).

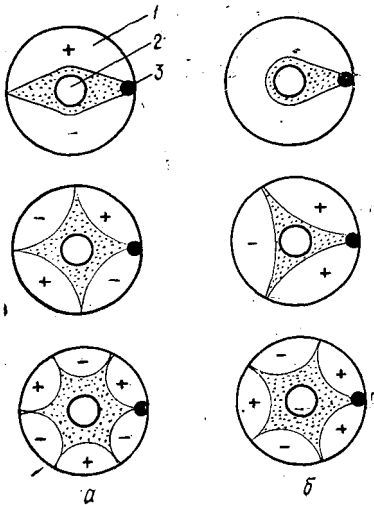


Рис. 1. Формы собственных колебаний диска с обычными (а) при $\lambda = 1, 2, 3$ и новыми (б) при $\lambda = 0,5, 1,5, 2,5$ направляющими: 1 — пила; 2 — фланцы; 3 — аэростатические направляющие

Максимальное увеличение частот происходило при жестком защемлении диска направляющими. Для обычных форм колебаний с числом узловых диаметров 1, 2, 3, 4 и 5 оно составило соответственно 7, 19, 16, 11 и 9 %. При использовании аэростатических направляющих

с односторонним зазором 0,04 мм увеличение частот собственных колебаний слабо зависело от давления поддува воздуха и составляло (при давлении 0,4 МПа) соответственно 7, 10, 7, 4 и 3 %.

При возбуждении как обычных, так и новых форм колебаний один из узловых диаметров (радиусов) обязательно проходил через направляющие. Возможность появления новых форм колебаний, впервые обнаруженная ЦНИИМОД в 1967 г. [3, 5], ранее в технической литературе не обсуждалась. При расшифровке осциллограмм с записью резонансных колебаний вращающегося диска необходимо учитывать возможность возникновения как обычных, так и новых форм колебаний.

Во второй серии опытов проводились разгонные испытания диска $486 \times 1,25$ мм и пилы $510 \times 1,65$ мм без направляющих на экспериментальной установке, разработанной ЦНИИМОД, [5, рис. 4.9]. Она обеспечивает бесступенчатое медленное ($3,5 \text{ мин}^{-1}/\text{с}$) повышение частоты вращения n пильного вала от 0 до 6000 мин^{-1} и регистрацию на осциллографе Н-700 (скорость записи $0,5 \text{ мм}/\text{с}$) поперечных колебаний диска неподвижным емкостным датчиком, расположенным против периферийной зоны пилы с зазором 5 мм. Диаметр зажимных фланцев равен 125 мм.

Установлено (рис. 2, а), что при свободном вращении с постепенным увеличением частоты диск проходит несколько критических частот вращения $n_{кр \lambda}$, после чего возникают автоколебания. Для диска $486 \times 1,25$ мм, зажато фланцами диаметром 125 мм, критические частоты вращения были равны 2200 ($\lambda = 2$), 2300 ($\lambda = 3$), 2700 ($\lambda = 4$), 3115 мин^{-1} ($\lambda = 5$), а частота вращения, соответствующая началу возникновения автоколебаний, $n_{авт}^{\text{min}} = 3510 \text{ мин}^{-1}$. При медленном ($3,5 \text{ мин}^{-1}/\text{с}$) непрерывном снижении частоты вращения из зоны авто-

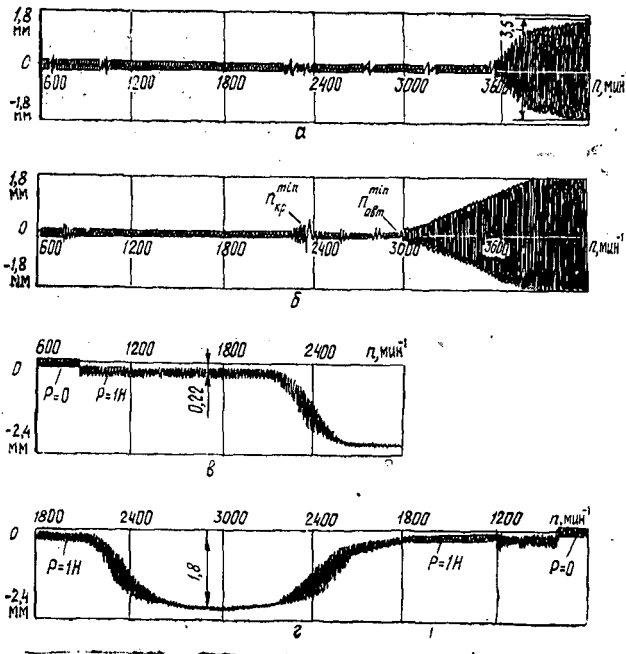


Рис. 2. Осциллограммы колебаний вращающегося диска: а, б — соответственно при увеличении и уменьшении частоты вращения; в — при действии поперечной силы $P = 1\text{H}$; г — то же, но сначала частота увеличивалась, а затем уменьшалась

колебаний $n_{\text{авт}}^{\text{min}} \approx 2925 \text{ мин}^{-1}$, что объясняется запаздыванием затухания колебаний (рис. 2, б).

Разгон диска при действии на его периферийную зону неподвижной в пространстве поперечной сосредоточенной силы $P = 1\text{H}$ приводил к значительному увеличению прогиба в направлении действия силы при $n \geq n_{\text{кр}}^{\text{min}}$ (рис. 2, в). Ввиду нелинейности системы происходило затягивание колебаний формы $\lambda = 2$ на широкую область частот вращения, причем принимаемая диском форма «стоячих волн» ориентирована относительно точки приложения сосредоточенной силы P . Если при действии силы $P = 1\text{H}$ производить сначала увеличение частоты вращения от 1800 до 3000 мин^{-1} , а затем снижение до 600 мин^{-1} , то характер отклонений диска при увеличении и снижении частот вращения в области $n_{\text{кр}}^{\text{min}} < n < n_{\text{кр}}^{\text{min}}$ одинаков (рис. 2, г).

Для более полной общей информации на рис. 3 приведены осциллограммы разгонных испытаний пилы $510 \times 1,65 \text{ мм}$ фирмы Tepguu Saw. Частоты собственных колебаний невращающейся пилы для форм $\lambda = 0 \dots 5$ были соответственно равны 30, 33, 56, 103, 169 и 249 Гц. Число зубьев 48, торцовое биение диска 0,11 мм, диаметр зажимных фланцев 125 мм. Для проведения опытов использовали специально сконструированную установку, которая размещалась в барокамере «Нема» (ГДР) для создания вакуума. Поперечную нагрузку $P = 2\text{H}$ прикладывали с помощью электромагнита. Колебания регистрировали индуктивным датчиком. Критические частоты вращения пилы были равны 2580 ($\lambda = 2$), 2670 ($\lambda = 3$), 3080 ($\lambda = 4$), 3275 мин^{-1} ($\lambda = 5$). При вращении в воздушном пространстве автоколебания начинались

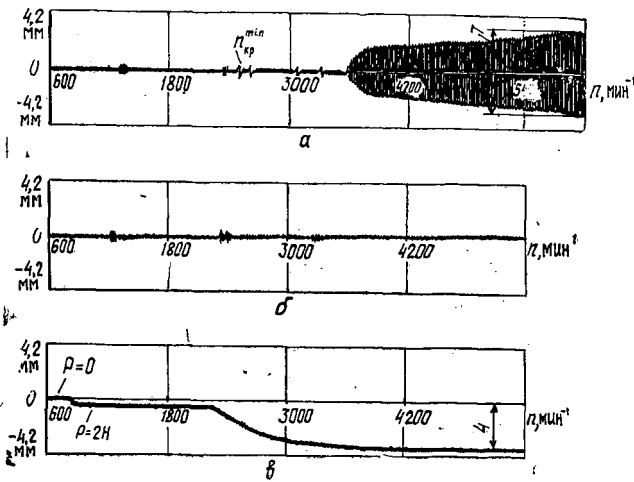


Рис. 3. Осциллограммы колебаний пилы, работающей при атмосферном давлении (а) и в вакууме без приложения поперечной силы P (б) и при $P = 2 \text{ Н}$ (в)

при $n_{\text{авт}}^{\text{min}} = 3600 \text{ мин}^{-1}$, а при вращении в вакууме (разгон до 5400 мин^{-1}) они не обнаружены.

В третьей серии опытов исследовали влияние ограничителей отклонения (направляющих) на поведение диска $486 \times 1,25 \text{ мм}$ при разгонных испытаниях на установке, как и для второй серии опытов, но оснащенной кронштейном для крепления направляющих диаметром 10, 20, 40, 60 и 90 мм с двух сторон периферийной зоны диска с нормируемым односторонним зазором, который изменяли от 0,03 до 0,2 мм. Внешние контуры направляющих и исследуемого диска совмещали. Расстояние от центра направляющих до центра емкостного датчика, измеренное по дуге окружности, соответствовало центральному углу 135° . Такое расположение датчика и направляющих [4, рис. 2.2] связано с формой колебаний при $n_{\text{кр}}^{\text{min}}$ и прохождением узлового диаметра через направляющие. Специально поставленные опыты показали, что при $n_{\text{кр}}^{\text{min}}$ форма колебаний соответствует $\lambda = 2$.

Направляющие диаметром 10 и 20 мм изготовлены из сухой древесины (береза) и соответствовали обычно применяемым в однопильных круглопильных станках ограничителям отклонения диска пилы. Металлические направляющие диаметром 40... 90 мм выполнены в виде круглых подпятников: диаметр 40 мм — без микроканавки с подводом воздуха через центральное отверстие диаметром 1 мм; диаметр 60 мм — с кольцевой микроканавкой (см. данные первого опыта); диаметр 90 мм — с кольцевой микроканавкой диаметром 35 мм, глубиной 0,5 мм (вариант 1) и 1,9 мм (вариант 2).

Для условий опытов, когда торцовое биение диска при медленном вращении составляло 0,23 мм, влияние ограничителей отклонения диаметром 10 и 20 мм не наблюдалось, если односторонний зазор между пилой и ними составлял не менее 0,15 мм. В этом случае при увеличении частоты вращения до $n_{\text{авт}}^{\text{min}}$ осциллограммы соответствуют случаю свободного вращения диска без направляющих (рис. 4, а). При уменьшении одностороннего зазора до 0,1 мм и ниже в процессе разгонных испытаний емкостной датчик регистрирует сначала симметричные относительно плоскости вращения колебания, а при достижении $n_{\text{кр}}^{\text{min}}$ и выше — одностороннее отклонение диска, характерное для образования

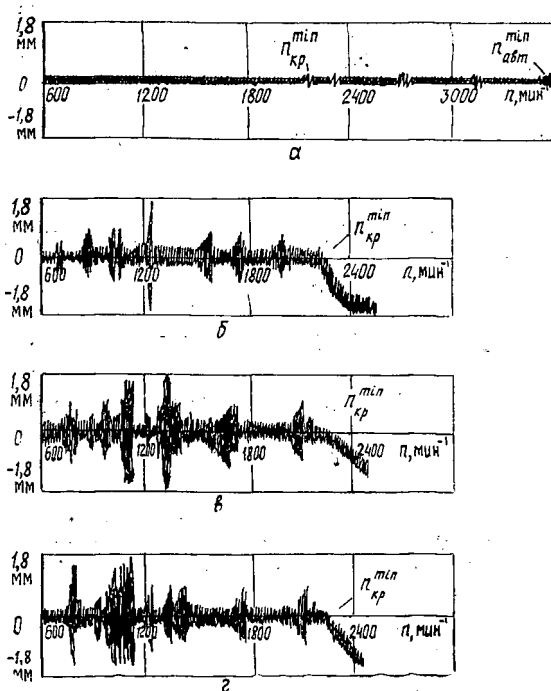


Рис. 4. Осциллограммы колебаний вращающегося диска с диаметром ограничителей отклонения 10 мм и односторонним зазором 0,15 (а) и 0,10 мм (б); с диаметром направляющих 60 мм, односторонним зазором 0,04 мм и давлением подводимого воздуха 0,2 (в) и 0,4 МПа (г)

так называемой «стоячей волны» (рис. 4, б). Отдельные теоретические аспекты проблемы неустойчивости диска при использовании направляющих рассмотрены в работе [6].

При медленном вращении пилы в аэростатических направляющих диаметром 60 мм с односторонним зазором 0,04 мм без подачи воздуха имеет место касание диска о направляющие. Подвод воздуха под давлением 0,2 МПа и более полностью исключает касание диска при медленном его вращении. В процессе разгонных испытаний с подводом воздуха под давлением 0,2...0,5 МПа наблюдали интенсивные колебания (рис. 4, в, г), которые при $n < n_{кр}^{мин}$ иногда приводили к контакту диска с направляющими.

Причина повышенной вибрации при использовании аэростатических направляющих — упругий газовый слой, который согласно [1] подобен пружине со слабым демпфированием. При некоторых резонансных колебаниях с повышенной амплитудой могло происходить нарушение равномерности зазора между диском и направляющими. Это, как известно, значительно снижает подъемную силу аэростатической опоры и может быть причиной контакта диска с направляющими. При увеличении давления поддува воздуха, например от 0,2 до 0,4 МПа, и сохранении одностороннего зазора между пилой и направляющей 0,04 мм имело место некоторое уменьшение амплитуды колебаний диска (рис. 4, г). Аналогичную тенденцию наблюдали при увеличении одностороннего зазора, например от 0,04 до 0,1 мм, и сохранении давления поддува воздуха 0,4 МПа.

Для оценки резонансных n_p частот вращения, на которых при разгонных испытаниях происходило возбуждение колебаний, воспользуемся формулой [4]

$$n_p = v_{ст} / \sqrt{(K_1 \pm \lambda)^2 - B}$$

- где $v_{ст}$ — частоты собственных колебаний невращающегося диска;
 $K_1 = 1, 2, 3, \dots$ — коэффициент пропорциональности (кратность) возбуждающих сил частоте вращения;
 λ — число узловых диаметров, характеризующих форму колебаний;
 B — динамический коэффициент, зависящий от λ и C (C — отношение диаметра фланцев к диаметру диска).

Расчетные значения нижних $n_{p,н}$, верхних $n_{p,в}$ и критических $n_{кр}$ частот вращения (мин^{-1}) для диска $486 \times 1,25$ мм без направляющих и при диаметре аэростатических направляющих 60 мм приведены в табл. 2.

Таблица 2

λ	$v_{ст}$ Гц	B	$n_{p,н}$				$n_{кр}$ $K_1=0$	$n_{p,в}$			
			$K=4$	$K=3$	$K=2$	$K=1$		$K=1$	$K=2$	$K=3$	$K=4$
Без направляющих											
0	24	1,19	295	374	515	859	—	—	859	515	
1	29	1,48	359	457	634	1096	—	—	1096	634	
2	48	2,25	496	604	777	1108	2177	—	—	2177	
3	88	3,80	785	931	1148	1512	2316	11 812	—	—	
4	145	5,68	1139	1322	1579	1979	2708	4 775	—	—	
С направляющими											
1	31	1,48	383	488	678	1172	—	—	1172	678	
2	53	2,25	547	667	858	1224	2404	—	—	2404	
3	94	3,80	839	994	1225	1615	2474	12 617	—	—	
4	151	5,68	1186	1377	1645	2061	2820	4 972	—	—	

* Значения приняты согласно [4].

Данные табл. 2 для случая без направляющих соответствуют использованию обычных ограничителей отклонения диаметром 10...20 мм (без подвода воздуха), поскольку они не изменяют частот собственных колебаний диска. Их сопоставление с рис. 4, а показывает, что при разгонных испытаниях от 600 до 2200 мин^{-1} (до $n_{кр}^{мин}$) колебания с повышенными амплитудами регистрируют при нижних резонансных частотах вращения, соответствующих $\lambda = 2, K_1 = 2$ (777 мин^{-1}); $\lambda = 3, K_1 = 3$ (931 мин^{-1}); $\lambda = 1, K_1 = 1$ (1096 мин^{-1}); $\lambda = 2, K_1 = 1$ (1108 мин^{-1}); $\lambda = 3, K_1 = 2$ (1148 мин^{-1}); $\lambda = 3, K_1 = 1$ (1512 мин^{-1}); $\lambda = 4, K_1 = 1$ (1979 мин^{-1}). При использовании аэростатических направляющих (см. рис. 4, в) ввиду некоторого увеличения частот собственных колебаний диска (см. табл. 1) описанная выше осциллограмма колебаний при нижних резонансных частотах вращения сдвигается в область более высоких частот вращения (см. табл. 2). Все это указывает на то, что при расчетах нижних резонансных частот вращения необходимо обращать внимание в первую очередь на формы $\lambda = 2 \dots 4$ и кратности $K_1 = 1$ и 2. Колебания вращающегося диска по новым формам λ , равным 0,5; 1,5; 2,5, ..., требуют специального изучения.

Выводы

1. Защемление периферийной зоны невращающегося диска направляющими повышает частоты собственных колебаний обычных (с четным числом узловых радиусов) и приводит к возникновению новых (с нечетным числом узловых радиусов) форм колебаний. Аэростатические направляющие диаметром 60 мм увеличивают на 7...10 % частоты собственных колебаний пилы диаметром 510 мм, толщиной 1,25 мм при диаметре фланцев 125 мм (для форм $\lambda = 2$ и 3).

2. Ограничители отклонения и направляющие при частотах вращения диска $n \geq n_{кр}^{min}$ могут быть причиной возбуждения и развития колебаний типа «стоячая волна». При этом узловой диаметр, определяющий форму колебаний, проходит через направляющие. Это определяет предпочтительное расположение датчика для регистрации отклонений диска и управления точностью пиления.

3. Двусторонние аэростатические направляющие при $n < n_{кр}^{min}$ вызывают во вращающемся диске колебания при нижних резонансных частотах $n_{р.н}$. В первую очередь необходимо обращать внимание на формы колебаний $\lambda = 2 \dots 4$ и кратности $K_1 = 1$ и 2. Амплитуда колебаний в зонах $n_{р.н}$ (при прочих равных условиях) уменьшается с увеличением давления поддува воздуха (при сохранении зазоров) и одностороннего зазора «диск — направляющие» (при сохранении давления поддува).

4. Критических частот вращения с новыми формами колебаний не обнаружено. Условия возникновения колебаний новых форм при $n < n_{кр}^{min}$ требуют специального изучения. Также необходимо продолжить работы по поиску эффективных конструкций и режимов работы аэростатических направляющих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Опоры скольжения с газовой смазкой / С. А. Шейнберг, В. П. Жедь, М. Д. Шищев и др. — 2-е изд., перераб. и доп. / Под общ. ред. Шейнберга С. А. — М.: Машиностроение, 1979. — 336 с. [2]. Расчет аэростатических опор // Методические рекомендации. — М.: ЭНИМС, 1977. — 30 с. [3]. Стахив Ю. М. О формах резонансных колебаний дисковых пил // Тр. ЦНИИМОД. — Архангельск, 1969. — Вып. 24, т. 2. — С. 100—102. [4]. Стахив Ю. М. Работоспособность плоских круглых пил. — М.: Лесн. пром-сть, 1989. — 384 с. [5]. Стахив Ю. М. Устойчивость и колебания плоских круглых пил. — М.: Лесн. пром-сть, 1977. — 296 с. [6]. Shen I. Y., Mote C. D. J.R. On the Mechanisms of Instability in the circular saws // The 9-th International Wood Machining Seminar (Richmond, California, USA, October 1988). — P. 14. — Fig. 13.

Поступила 28 апреля 1991 г.