

УДК 674.0:628.5

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ШУМОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ

Старжинский В.Н., Завьялов А.Ю., Совина С.В.

*ФГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, Россия (620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37), e-mail: [z.artem96@gmail.com](mailto:z.artem96@gmail.com)*

---

Аттестация рабочих мест по условиям труда на деревообрабатывающих предприятиях показывает, что одним из основных вредных факторов производства является производственный шум, создаваемый деревообрабатывающим оборудованием. Шумовые характеристики деревообрабатывающих станков зависят от условий резания древесины, так как наиболее шумным технологическим процессом обработки древесины является процесс резания. Теоретический анализ возникновения шума станка при резании древесины позволяет только в общем виде качественно определить зависимость звуковой мощности от изменения силовых параметров резания. В работе в предположении прямой пропорциональности излучаемой звуковой мощности от энергии, затрачиваемой на резание древесины, получены зависимости изменения шумовых характеристик станков от изменения условий резания древесины. Поправки на изменение уровней звуковой мощности станка в дБ сведены в справочные таблицы.

---

Ключевые слова: шумовые характеристики, звуковая мощность, резание древесины.

## INFLUENCE OF CONDITIONS OF CUTTING OF WOOD ON NOISE CHARACTERISTICS OF WOODWORKING MACHINES

Starzhinsky V.N., Zavyalov A.Y., Sovina S.V.

*The Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia (620100, Sverdlovsk region, Yekaterinburg, Siberian highway, 37), e-mail: [z.artem96@gmail.com](mailto:z.artem96@gmail.com)*

---

Certification of workplaces for working conditions at the woodworking enterprises shows that one of the major harmful factors of production is the production noise created by the woodworking equipment. Noise characteristics of woodworking machines depend on conditions of cutting of wood as the noisiest technological process of processing of wood is cutting process. The theoretical analysis of emergence of noise of the machine when cutting wood allows only in general qualitatively to determine a dependence of sound power on change of power parameters of cutting. In work it is suggested about direct proportionality of the radiated sound power from the energy spent for cutting of wood. Dependences of change of noise characteristics of machines on change of conditions of cutting of wood are as a result received. Amendments on change of levels of sound power of the machine in decibels are consolidated in look-up tables.

---

Key words: noise characteristics, sound power, cutting of wood.

Наиболее шумным технологическим процессом обработки древесины является процесс резания. Из всех видов резания наиболее шумными являются пиление, строгание и фрезерование древесины.

Поэтому исходными данными при акустических расчетах в деревообрабатывающих цехах являются шумовые характеристики станочного оборудования, относящегося к этим технологическим операциям.

Шумовые характеристики источников шума являются определяющими в акустических расчетах, от которых зависит точность результатов определения уровней звукового давления на рабочих местах (в расчетных точках), а, следовательно, и стоимость разрабатываемых мероприятий по снижению шума.

Первичной причиной появления шума в процессе резания древесины является взаимодействие режущей кромки инструмента (резца) с волокнами обрабатываемой древесины, т.е. вибрационные процессы в узле «нож – древесина».

Излучение вибраций в виде воздушного шума происходит как непосредственно с поверхностей деталей, являющихся источниками колебаний, так и с элементов конструкции, сопряженных с ними.

В общем виде звуковую мощность  $P$  станка ориентировочно можно определить по формуле [1]:

$$P = \frac{F^2(t)k}{Z_M} S \rho c \sigma, \quad (1)$$

где  $F(t)$  – вынуждающая переменная сила, определяемая функциональной мощностью станка;

$Z_M = \frac{F(t)}{V_1(t)}$  – механический импеданс в точке возбуждения силы резания;

$V_1(t)$  – колебательная скорость в точке возбуждения, м/с;

$k = \frac{V_2(t)}{V_1(t)}$  – передаточная функция;

$V_2(t)$  – колебательная скорость в точке излучения, м/с;

$S$  – площадь излучения, м<sup>2</sup>;

$\rho c$  – характеристический импеданс среды;

$c$  – скорость звука, м/с;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$\sigma$  – коэффициент излучения, равный отношению интенсивности звука, излучаемого участком с площадью  $S$  на поверхности станка, к интенсивности звука, излучаемого колеблющимся поршнем с той же площадью  $S$  и с той же скоростью  $V_2(t)$ .

Неоднократно предпринимающиеся попытки получить теоретические зависимости звуковой мощности при резании древесины на круглопильных и продольно-фрезерных станках от силовых параметров резания не увенчались успехом из-за сложности с определением этих параметров.

Поэтому в акустических расчетах деревообрабатывающих цехов шумовые характеристики станков и уровни звуковой мощности приходится брать из справочников [2; 5].

В реконструируемых цехах эти данные могут быть взяты из результатов аттестации рабочих мест по условиям труда.

К сожалению, в этих справочных материалах не указываются параметры резания, от которых в значительной степени зависят уровни излучаемой звуковой мощности.

Цель работы – исследование влияния условий резания древесины на шумовые характеристики оборудования.

Рассмотрим задачу по определению звуковой мощности резания с другой стороны.

В процессе резания часть энергии, затрачиваемой на резание, превращается в акустическую энергию. Поэтому можно считать, что акустическая мощность  $P$ , генерируемая в процессе резания, прямо пропорциональна мощности резания [4], т.е.:

$$P = K_{\Pi} N, \quad (2)$$

где  $K_{\Pi}$  – коэффициент пропорциональности.

Мощность, затрачиваемая на резание, определяется из формулы А.Л. Бершадского [3]:

$$N = KbhV_{\Pi}, \quad (3)$$

где  $K$  – удельная работа, затрачиваемая на отделение 1 см<sup>3</sup> объема древесины при резании, Дж/см<sup>3</sup>;

$b$  – ширина стружки, мм.

$h$  – высота пропила или припуск при фрезеровании, мм;

$V_{\Pi}$  – скорость подачи, м/сек.

Удельная работа  $K$  является переменной величиной, зависящей от физических свойств и породы обрабатываемой древесины, параметров и скорости резания, угловых величин заточки и состояния резца.

Исходя из формулы (3) и предположения прямой зависимости звуковой мощности от затрачиваемой на резание мощности, можно считать, что уровень шума, возникающий при резании древесины, зависит от следующих основных факторов:

- 1) размеров, профиля, угловых значений заточки режущих инструментов (зубьев пильных дисков, ножевых валов, фрез и др.);
- 2) скорости подачи и скорости резания;
- 3) твердости и влажности обрабатываемой древесины;
- 4) ширины стружки и высоты пропила (величины припуска);
- 5) степени затупления режущей кромки инструмента.

Для круглых пил уровень шума зависит, кроме того, от количества зубьев пильного диска, одновременно находящихся в рабочем контакте с обрабатываемой древесиной.

В настоящее время имеется обширный экспериментальный материал по процессам резания древесины и древесных материалов, необходимый для выполнения силовых расчетов.

Метод расчета по экспериментальным данным предполагает использование в качестве справочных материалов результатов наиболее известных и полных экспериментальных исследований конкретных процессов резания, полученных для определенных зафиксированных условий эксперимента. При этом влияние условий резания, отличных от условий проведения «справочного», «табличного» эксперимента, на результат прогнозируется (учитывается) системой поправок, численные значения которых также получены по результатам экспериментов [3].

Этот метод в нескольких его разновидностях лежит в основе всех современных инженерных расчетов.

Удельная работа  $K$  для расчетных условий в формуле (3) находится как произведение табличного значения удельной работы  $K_T$ , действительного для определенных так называемых табличных условий резаний, на поправочные множители, учитывающие отличия расчетных условий резания от табличных [3]:

$$K = K_T a_{\Pi} a_w a_T a_{\varphi} a_p a_{\delta} a_v a_t = K a_{\text{нопр}}, \quad (4)$$

где  $K_T$  – табличное значение удельной работы, Дж/см<sup>3</sup>;

$a_{\Pi}$  – поправочный множитель на породу древесины;

$a_w$  – то же на влажность древесины;

$a_T$  – то же на температуру древесины;

$a_{\varphi}$  – то же на угол встречи лезвия с волокнами древесины;

$a_p$  – то же на затупление лезвий;

$a_{\delta}$  – то же на угол резания;

$a_v$  – то же на скорость резания;

$a_t$  – то же на глубину обработки для процессов закрытого резания (например, на высоту пропила при пилении).

Часть функциональной мощности станка, изменяющаяся при изменении условий резания, определяется поправочным коэффициентом  $a_{\text{нопр}}$  и определяет также изменение излучаемой звуковой мощности при изменении этих условий.

Исходя из формул 1-3, можно записать выражение для звуковой мощности:

$$P = K_T b h V_{\Pi} K_{\Pi} a_{\text{нопр}}, \quad (5)$$

Введем пороговые параметры ( $P_0 = 10^{-12}$  Вт;  $K = 1$  Дж/см<sup>3</sup>;  $b$  и  $h = 1$  мм;  $V_{\Pi} = 1$  м/с), прологарифмируем по основанию 10 и умножим на 10 уравнение (5) с учетом уравнения (4). Получим (6):

$$10\lg P = 10\lg(K_T bhV_{II} K_{II}) + 10\lg a_{nonp}, \quad (6)$$

Переходя к шкале звуковых уровней и раскрывая значения  $K$  можно записать:

$$L_p = 10\lg(K_T bhV_{II} K_{II}) + 10\lg a_{II} + 10\lg a_w + 10\lg a_T + 10\lg a_\phi + 10\lg a_p + 10\lg a_\delta + 10\lg a_v + 10\lg a_t, \text{ дБ} \quad (7)$$

Обозначим слагаемое  $(K_T bhV_{II} K_{II})$  через  $L_p^0$ .

Первое слагаемое в уравнении (7) представляет собой уровни звуковой мощности станка, полученные при стандартных (справочно-табличных) условиях эксперимента силовых режимов резания.

Остальные слагаемые учитывают изменение уровней излучаемой звуковой мощности в зависимости от изменения условий резания, дБ.

Для расчетов необязательно по каждому процессу находить все поправочные множители. Обычно при вычислении  $a_{nonp}$  ограничиваются множителями, указанными ниже.

Расчетные формулы для общего поправочного множителя:

$$- \text{ пиление круглой пилой } a_{nonp} = a_{II} a_w a_\phi a_p a_\delta a_v a_t; \quad (8)$$

$$- \text{ фрезерование цилиндрическое } a_{nonp} = a_{II} a_w a_p a_\delta a_v. \quad (9)$$

Результаты расчетов поправок на изменение уровней звуковой мощности в зависимости от условий резания ( $\Delta L_p$ ) приведены в таблицах 1-6.

**Таблица 1 – Влияние породы древесины на звуковую мощность**

Порода	Множитель $a_{II}$	$\Delta L_p, \text{ дБ}$	Порода	Множитель $a_{II}$	$\Delta L_p, \text{ дБ}$
Липа	0,80	-0,969	Лиственница	1,10	0,414
Осина	0,85	-0,706	Береза	1,25	0,969
Ель	0,95	-0,223	Бук	1,40	1,461
Сосна	1,00	0	Дуб	1,55	1,903
Ольха	1,05	0,212	Ясень	1,75	2,430

**Таблица 2 – Влияние влажности древесины на звуковую мощность**

Древесина		Множитель $a_w$ для открытого резания	$\Delta L_p, \text{ дБ}$	Множитель $a_w$ для закрытого резания	$\Delta L_p, \text{ дБ}$
Состояние	Влажность W, %				
Очень сухая	5...8	1,10	0,414	0,90	-0,458
Сухая	10...15	1,00	0	1,00	0
Полусухая	25...30	0,95	-0,223	1,05	0,212
Сырая	50...70	0,90	-0,458	1,10	0,414
Мокрая (проваренная)	более 70	0,80	-0,969	1,15	0,607

**Таблица 3 – Влияние затупления лезвий на звуковую мощность**

Время работы инструмента после заточки T, мин.	Множитель $a_p$ для продольного пиления круглой пилой	$\Delta L_p, \text{дБ}$	Множитель $a_p$ для поперечного пиления круглой пилой	$\Delta L_p, \text{дБ}$	Множитель $a_p$ для цилиндрического продольного фрезерования	$\Delta L_p, \text{дБ}$
0	1,00	0	1,00	0	1,00	0
60	1,20	0,792	1,10	0,414	1,20	0,792
120	1,50	1,761	1,15	0,607	1,30	1,139
180	1,80	2,553	1,20	0,792	1,42	1,523
240	2,20	3,424	1,30	1,139	1,50	1,761
300	2,50	3,979	1,40	1,461	1,57	1,959
360	2,80	4,472	1,50	1,761	1,60	2,041

**Таблица 4 – Влияние угла резания лезвий на звуковую мощность**

Угол резания, $\delta$ град.	Множитель $a_\delta$ для продольного фрезерования и пиления круглой пилой	$\Delta L_p, \text{дБ}$	Угол резания, град.	Множитель $a_\delta$ для продольного фрезерования и пиления круглой пилой	$\Delta L_p, \text{дБ}$
50	0,78	-1,079	70	1,34	1,271
55	0,86	-0,655	75	1,55	1,903
60	1,00	0	80	1,80	2,553
65	1,16	0,645	85	2,10	3,222

**Таблица 5 – Влияние скорости резания на звуковую мощность**

Скорость резания, $v$ , м/с	Множитель $a_v$ для продольного пиления круглой пилой	$\Delta L_p, \text{дБ}$	Множитель $a_v$ для фрезерования цилиндрического продольного	$\Delta L_p, \text{дБ}$
20	1,07	0,294	1,10	0,414
30	1,08	0,334	1,04	0,170
40	1,00	0	1,00	0
50	0,98	-0,088	1,00	0
60	1,02	0,086	1,06	0,253
70	1,06	0,253	1,17	0,682
80	1,16	0,645	1,25	0,969
90	1,23	0,899	1,33	1,239

100	1,34	1,271	1,42	1,523
-----	------	-------	------	-------

**Таблица 6 – Влияние глубины обработки на звуковую мощность**

Глубина обработки $t$ , мм	Множитель $a_t$ для продольного пиления круглой пилой	$\Delta L_p$ , дБ	Глубина обработки $t$ , мм	Множитель $a_t$ для продольного пиления круглой пилой	$\Delta L_p$ , дБ
20	0,84	-0,757	70	1,07	0,294
30	0,90	-0,458	80	1,11	0,453
40	0,95	-0,223	90	1,16	0,645
50	1,00	0	100	1,21	0,828
60	1,03	0,128	-	-	-

На основе предположения прямой пропорциональности звуковой мощности от мощности резания получены данные по изменению уровней звуковой мощности деревообрабатывающих станков в зависимости от условий резания древесины.

Результаты работы позволяют проверить акустические расчеты деревообрабатывающих цехов при изменении режимов резания и разрабатывать с учетом этого конкретные мероприятия по снижению шума на рабочих местах.

Данные экспериментальных исследований на действующем оборудовании показали, что диапазон изменения уровней звуковой мощности в зависимости от изменения условий резания при стационарном режиме резания может составлять 5-8 дБ.

#### Список литературы

1. Борьба с шумом на производстве : справочник / под ред. Е.Я. Юдина. – М. : Машиностроение, 1985. – 400 с.
2. Защита от шума : справочник проектировщика / под ред. Е.Я. Юдина. – М. : Стройиздат, 1974. – 135 с.
3. Любченко В.И. Резание древесины и древесных материалов. – М. : МГУЛ, 2004. – 309 с.
4. Соколов Г.А. Борьба с шумом в деревообрабатывающей промышленности. – М. : Лесная промышленность, 1974. – 442 с.
5. Справочная книга по охране труда в машиностроении / под ред. О.Н. Русака. – Л. : Машиностроение, 1988.

**Рецензенты:**

Санников Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и оборудование целлюлозно-бумажного производства» ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург.

Пашков Валентин Кузьмич, доктор технических наук, профессор кафедры «Станки и инструменты» ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург.