

**ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭКОЛОГИИ  
В ПЕРЕРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ**

**PROBLEMS OF SAFETY AND ECOLOGY  
IN WOOD PROCESSING**

УДК 674.0:628.5

**В.Н. Старжинский, С.В. Совина**

(V.N. Starzhinskij, S.V. Sovina)

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

E-mail для связи с авторами: vsn@usfeu.ru, sovinasv@e1.ru

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АКУСТИЧЕСКОГО РАСЧЕТА  
ОБОРУДОВАНИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ТЕТРАДЕЙ**

**THEORETICAL BASIS FOR ACOUSTIC CALCULATION  
OF EQUIPMENT FOR THE PRODUCTION OF NOTEBOOKS**

*В статье представлена физическая модель излучателя шума линовальных узлов тетрадных агрегатов, позволяющая на стадии их проектирования прогнозировать уровни звукового давления на рабочих местах.*

*The article presents a physical model of the emitter noise road marking nodes tetrad units, which allow at the design stage to predict the sound pressure levels at workplaces.*

Среди оборудования цехов по производству тетрадей наиболее шумными являются собственно линии по производству тетрадей. Самые высокие уровни звука зарегистрированы на рабочем месте оператора линовальной секции – 97–103 дБА. Фальцаппараты, узлы для подрезки тетрадей и лагенов создают на рабочих местах эквивалентный уровень 90–94 дБА и уровень звуковых импульсов до 105 дБ.

В линовальной секции основными источниками шума являются [1, 2]:

- узлы для поперечного линования бумаги;
- механизм поперечной резки бумаги;
- колебания бумажного полотна;
- привод;
- вентилятор для отсоса кромок бумажного полотна.

Наиболее шумными являются узлы для поперечного линования бумаги. Уровень звука этих узлов колеблется от 90 дБА (для тихоходных агрегатов) до 100 дБА (для быстроходных). Установлено, что звуковая мощность узла для поперечного линования представляется формулой:

$$P = v_0 l \left( \frac{v}{c} \right)^5, \quad (1)$$

где  $v_0$  – удельная звуковая мощность, Вт/м;

$l$  – ширина бумажного полотна, м;

$v$  – скорость линования, м/с;

$c$  – скорость звука, м/с.

Шум механизма для поперечной резки бумаги достигает 95 дБА. Основным источником шума являются колебания бумажного полотна в момент отреза.

Шум, обусловленный колебаниями бумажного полотна в бумагопроводящей системе, как правило незначителен. А шум привода, особенно зубчатых передач, достигает уровня в пределах 90–96 дБА. Вентилятор для отсоса кромок бумажного полотна может создавать уровень звука на рабочем месте до 95 дБА.

Основываясь на экспериментальных данных, можно выделить два механизма шумообразования в узле линования:

1. Аэродинамический, вызванный тем, что в процессе контакта перьев рифленого линовального валика с бумаговедущим барабаном в замыкаемых объемах между двумя смежными перьями из-за деформации последних и из-за захлопывания объема создается избыточное давление, которое после открытия этого объема при дальнейшем вращении валика излучается в виде звука.

2. Механический, вызванный тем, что перья линовального валика после выхода из контакта с бумаговедущим барабаном вибрируют и тем самым создают звук.

Рассмотрим физическую картину происходящих процессов и выберем физическую модель излучателя, заменяющую реальный источник шума.

Так, при линовании бумаги излучателем шума является узкая полоска на линовальном валике. Удобно воспользоваться результатом Л.Ф. Лепендина [1]. Звуковая мощность излучателя полосой на цилиндре

$$P_i = \frac{4\rho c v_i^2}{\pi^2 f_i^2} \left( \frac{2\alpha_0^2}{C_0^2(kl)} + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\sin^2 m\alpha_0^2}{m^2 C_m(kl)} \right), \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность среды;

$v_i$  – амплитуда колебательной скорости;

$f_i$  – частота;

$2\alpha_0^2$  – угловая ширина пульсирующего участка;

$C$  – скорость звука в среде;

$k$  – высота перьев;

$m = 0, 1, 2, \dots$ ;

$\alpha$  – угловая ширина;

$C_m$  – цилиндрические формулы Ханкеля.

Используя приближенные значения для  $C_m$ , можно записать:

$$P_i = \frac{\rho f_i s^2 v_i^2}{8}, \quad (3)$$

где  $s$  – ширина пульсирующего участка валика, мм.

Общая мощность  $P$  аэродинамического шума равна сумме составляющих в рассчитываемом диапазоне частот:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i. \quad (4)$$

Таким образом, задача состоит в определении спектра амплитуд объемной скорости. Для этого рассмотрим два бесконечно близких положения линовального валика

(рис. 1). При переходе валика из одного положения в другое путем поворота на  $d\alpha$  замкнутый объем уменьшится на

$$dQ = \theta G l d\alpha, \quad (5)$$

где  $dQ$  – величина изменения замкнутого объема;

$\theta$  – величина, определяемая формулой, представленной ниже;

$G$  – величина, определяемая формулой, представленной ниже;

$l$  – длина линовального валика.

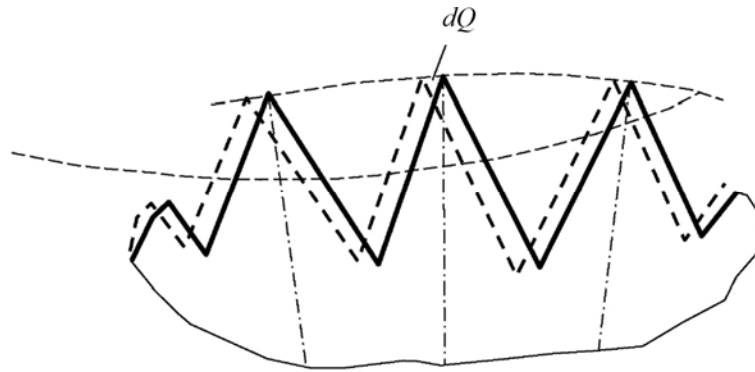


Рис. 1. Зона взаимодействия линовального валика и линовального барабана

$$\theta = \operatorname{cosarcsin} \frac{R(r_1 - k)}{2r_1 \sqrt{h^2 + k^2}},$$

где  $r_1$  – радиус бумаговеду щего барабана.

$$G = R_2 + \operatorname{cosec} \alpha \left( \frac{a}{l + \operatorname{tg}^2 \alpha} + \sqrt{\frac{a^2}{(l + \operatorname{tg}^2 \alpha)^2} - \frac{a^2 - r_2}{l + \operatorname{tg}^2 \alpha}} \right),$$

где  $R$  – шаг линования;

$a$  – расстояние между центрами линовального валика и барабаном;

$r_2$  – радиус линовального валика.

Объемная скорость выражается в

$$V(\alpha) = \frac{dQ}{dt} = \omega \theta G l, \quad (6)$$

где  $dt$  – изменение времени;

$\omega$  – угловая частота.

Путем гармонического анализа можно представить функцию объемной скорости как сумму средней величины скорости и ряда периодических составляющих:

$$V_i = \frac{\omega z}{2\pi} \int_0^{2\pi} V(\alpha) \operatorname{cosin} \omega z \alpha d\alpha, \quad (7)$$

где  $z$  – акустический импеданс.

В первом приближении можно считать

$$V_i \approx \frac{2\omega^2 z^2 l \theta a}{f_i^2}. \quad (8)$$

Используя найденное значение для  $V_i$ , определяем гармонику звуковой мощности

$$P_i = \frac{8\rho c \pi^2 r_2^2 \omega^2 z^2 l^4 \theta^2 a^2}{f_i^3}. \quad (9)$$

Далее получим звуковую мощность, приходящуюся на полосу частот шириной в 1 Гц (средняя спектральная плотность):

$$P_1 = \frac{P_i}{\omega z} = \frac{8\rho c \pi^2 r_2^2 \omega z l^4 \theta^2 a^2}{f_i^3}. \quad (10)$$

Подобные преобразования справедливы для частоты  $f > \omega z$ . Звуковая мощность в октавной полосе определяется интегралом:

$$P = \int_{\frac{f}{\sqrt{2}}}^{\sqrt{2}f} P_1(f_i) df_i = \frac{12\rho c \pi^2 r_2^2 \omega z l^4 \theta^2 a^2}{f^2}. \quad (11)$$

Переходя к уровню звуковой мощности, будем иметь:

$$L_p = 10 \lg \frac{P}{P_0} = 167 + 10 \lg \omega z + 20 \lg r_2 l^2 \theta a - 20 \lg f, \quad (12)$$

где  $P_0 = 10^{-12}$  – пороговая звуковая мощность, Вт.

Как видно из рисунка 2, предложенная модель дает хорошее совпадение теоретических результатов и экспериментальных данных.

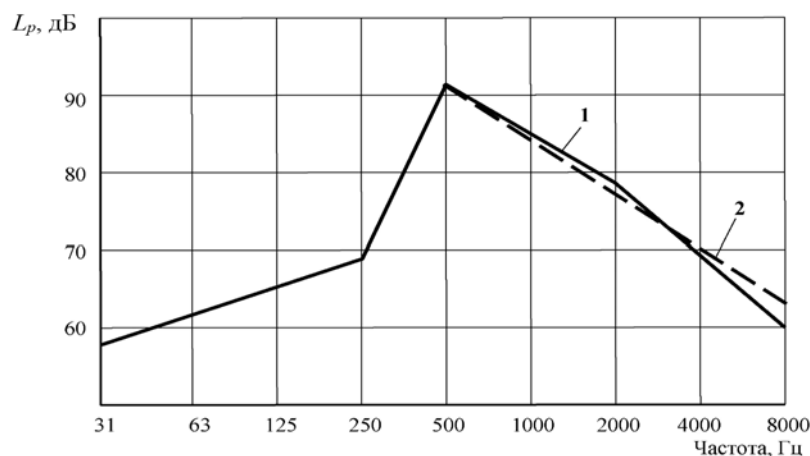


Рис. 2. График спектров шума линовальных валиков

Можно сделать вывод, что звуковая мощность узла для поперечного линования бумаги возрастает с увеличением скорости вращения, размеров линовального валика и барабана, а также убывает с возрастанием частоты звука (6 дБ на октаву). Таким образом, можно рассчитать предполагаемые уровни шума на рабочих местах у тетрадных агрегатов.

### **Библиографический список**

1. Вибрация и шум технологических машин и оборудования лесного комплекса: монография / А.А. Санников, В.Н. Старжинский, Н.В. Куцубина, Н.Н. Черемных, В.П. Сиваков, С.Н. Вихарев; под ред. А.А. Санникова. Екатеринбург: УГЛТУ, 2006. 484 с.

2. Экспериментальное исследование шумообразования узла для поперечного линования бумаги / В.Н. Старжинский, С.Н. Христолюбов, С.Н. Полбицин // Машины и аппараты целлюлозно-бумажного производства: Межвуз. сб. науч. тр. Л.: ЛТА, 1984. С. 125–128.