

УДК.628.517.2

UDC.628.517.2

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ВИБРОДЕМПФИРУЮЩИХ ПРОКЛАДОК С
СУХИМ ТРЕНИЕМ ДЛЯ СНИЖЕНИЕ ШУМА
ОТ КРУГЛОПИЛЬНЫХ
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ**

**EFFICIENCY OF VIBRATION-DAMPING
GASKETS WITH DRY FRICTION FOR
REDUCTION NOISE OF CIRCULAR
WOODWORKING MACHINES**

Осмоловский Денис Сергеевич
аспирант
*Воронежская государственная лесотехническая
академия, Воронеж, Россия*

Osmolovsky Denis Sergeevich
postgraduate student
*Voronezh state of forest technical academy, Voronezh,
Russia*

Обоснована новая конструкция для снижения шума от пильных дисков деревообрабатывающих станков, в которой используются прокладки с сухим трением, помещаемые под зажимной фланец. Представлены экспериментально полученные результаты, характеризующие диссипативные и акустические свойства этой конструкции

Reasonable new design for reduction noise for saw disks of woodworking machines, in which gaskets with the dry friction, placed under clamping flange are used, is shown. Experimentally received results, characterizing dissipative and acoustic properties of this design

**Ключевые слова: ВИБРОДЕМПФИРОВАНИЕ,
СНИЖЕНИЕ ШУМА, КРУГЛОПИЛЬНЫЙ
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИЙ СТАНОК,
ПРОКЛАДКИ С СУХИМ ТРЕНИЕМ, ПИЛЬНЫЙ
ДИСК, АБРАЗИВНЫЕ ЧАСТИЦЫ**

**Keywords: VIBRATION-DAMPING, REDUCTION
OF NOISE, CIRCULAR WOODWORKING
MACHINES, GASKETS WITH DRY FRICTION,
SAW DISK, ABRASIVE PARTICLES**

Введение. Как известно, деревообрабатывающее оборудование относится к наиболее шумному, что значительно ухудшает условия труда операторов станков по шумовому фактору. Уровень шума деревообрабатывающих станков превышает нормативные значения на 20 – 30 дБА. Для задачи снижения шума от круглопильных деревообрабатывающих станков (уровень шума на рабочем ходу 100 – 110дБА), наиболее радикальным подходом является снижение звукоизлучения в источнике его возникновения. Доминирующим источником шума является пильный диск, в меньшей степени другие конструктивные узлы станка (электропривод, станина и др.). Снижение звуковой вибрации пильного диска применением вибродемпфирующих материалов, контактирующих с его поверхностью, можно достичь существенного снижения уровня звука на 6 – 8 дБА. Наиболее эффективной технической реализацией такого решения является использование конструкции из прокладочных материалов (с заданными вибродемпфирующими свойствами), помещенной между пильным диском и зажимными фланцами деревообрабатывающего станка. В конструкции вибродемпфирующих прокладок, могут быть использованы эластичные вязкоупругие материалы, в которых диссипация вибрационной энергии происходит за счет вязкого трения (в самом материале) [1,2].

Вязкоупругие материалы нашли широкое применение в качестве вибродемпфирующих покрытий, однако, имеют ряд существенных недостатков. Во-первых, эффективность их применения ощутима при достаточной толщине прокладки, которая должна превышать толщину пильного диска в 1,5 – 2 раза, что приводит к недостаточно надежной фиксации пильного диска и, как следствие поперечным биениям с увеличением ширины пропила и ухудшению качества обработки

поверхности древесного материала. Во-вторых, такие прокладки подвержены внезапному разрушению, вследствие возникающих в них деформаций сдвига и кручения из-за высоких скоростей вращения (4000 – 6000 об/мин.) пильного диска и нагрузок в процессе резания. Последнее обстоятельство может привести к разрушению пильного диска и угрозе травмирования операторов станка.

1. Конструкция вибродемпфирующих прокладок с сухим трением и их диссипативные свойства. Для вибродемпфирующих конструкций предлагается использовать минеральные абразивные материалы на тканевой или бумажной основе, которые лишены указанных недостатков присущих прокладкам из вязкоупругих материалов. Физическим фактором диссипации в таких прокладках выступает сухое трение, возникающее при контакте абразивных частиц. Конструктивно прокладка выполняется двухслойной с абразивными слоями, обращенными друг к другу[3]. Фрикционная площадь поверхности увеличивается в несколько раз за счет взаимного проникновения абразивных частиц слоев прокладок, что позволяет повысить их акустическую эффективность, при этом ограничить их размер до диаметра зажимного фланца. Толщина таких прокладок составляет не более 1 – 1,5мм.

Как известно, основными характеристиками диссипативных свойств вибродемпфирующих материалов являются коэффициент потерь η и динамический модуль упругости E' , связанные между собой как:

$$E = E'(1 + j\eta) \quad (1)$$

где E – комплексный модуль упругости.

Для сравнительного анализа диссипативных свойств вибродемпфирующих прокладок с вязким и сухим трением определение коэффициента потерь предпочтительнее использованием метода составных стержней Г. Оберста [4]. Следуя данной методике, измерялся

суммарный коэффициент потерь (η_{Σ}) несущего стержня и варьируемых материалов прокладки, наносимых клеевой фиксацией. Для всей серии экспериментальных исследований использовался стальной несущий стержень марки Ст08Ю, 08ПС толщиной 2 мм. Для исследования влияния температуры на изменение суммарного коэффициента потерь (η_{Σ}) использовалась термокамера.

Были экспериментально исследованы демпфирующие свойства серийно выпускаемых образцов шлифлистов на тканевой и бумажной основе с минеральными абразивными частицами различной дисперсности, а также, линолеум ПВХ и линолеум на тканевой основе. Последние материалы приведены, как наиболее распространенные вибродемпфирующие покрытия с вязкоупругим трением.

Для научного обоснования виброакустической эффективности конструкции из прокладочных материалов с сухим трением были проведены экспериментальные исследования по влиянию на значение суммарного коэффициента потерь (η_{Σ}):

- вида основы (тканевой и бумажной);
- частоты возбуждения f Гц;
- размера частиц (зернистости) минерального абразивного материала (d , мкм).
- влияние температурного фактора (T , $^{\circ}\text{C}$)

По результатам экспериментальных исследований установлено, что доминирующее влияние на значение η_{Σ} в системе «пластина–ВДПСТ» оказывает частота колебаний и дисперсность минеральных абразивных частиц. При частоте возбуждения свыше 500 Гц наблюдается резкое возрастание суммарного коэффициента потерь (η_{Σ}), который достигает своего максимального значения (0,03) на частоте в 1000 Гц. С возрастанием размера частиц наблюдается рост суммарного коэффициента

потерь (η_{Σ}), который при размере частицы 180 мкм для тканевой и 250 мкм для бумажной основы достигает своего максимального значения (0,03). Дальнейшее увеличение размера частиц приводит лишь к уменьшению значения (η_{Σ}). С повышением температуры суммарный коэффициент потерь η_{Σ} практически не изменяется, а даже несколько увеличивается. Установленное свойство выгодно отличает ВДПСТ от полимерных вязкоупругих материалов, демпфирующие свойства которых с ростом температуры резко ухудшаются. Это обстоятельство является их неоспоримым преимуществом, при эксплуатации с пыльными дисками, которые испытывают значительные температурные нагрузки в процессе пиления. Вид основы ВДПСТ практически не влияет на значение η_{Σ} .

В таблице 1 приведены физико-механические характеристики испытуемых материалов.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики исследованных материалов

№ п/п	Материал	Поверхностная плотность ρ , кг/м ²	Толщина, h , мм	Суммарный коэффициент потерь η_{Σ} на частоте 1000Гц
1	2	3	4	5
Основа – бумага				
1	Р 24 (710мкм)	1,728	1,55	0,0185
2	Р 40 (355мкм)	1,449	1,40	0,0220
3	Р 60 (250мкм)	0,936	1,00	0,0300
4	Р 80 (180мкм)	0,875	0,80	0,0240
5	Р 100 (150мкм)	0,764	0,72	0,0210
6	Р 120 (100мкм)	0,723	0,68	0,0192
1	2	3	4	5
7	Р 320 (46,2мкм)	0,499	0,50	0,0171
8	Р 2000 (10,3мкм)	0,425	0,40	0,0155
Основа – ткань				

9	P 24 (710мкм)	1,965	1,65	0,1850
10	P 40 (355мкм)	1,682	1,45	0,0220
11	P 60 (250мкм)	1,392	1,30	0,0250
12	P 80 (180мкм)	1,264	1,20	0,0300
13	P 100 (150мкм)	1,193	0,85	0,0230
1	2	3	4	5
14	P 120 (100мкм)	1,127	0,74	0,0196
15	P 320 (46,2мкм)	0,912	0,55	0,0173
1	2	3	4	5
16	P 2000 (10,3мкм)	0,848	0,46	0,0158
Линолеум				
17	Линолеум ПВХ	2,700	4,00	0,0160
18	Линолеум на тканной основе	2,200	3,00	0,0125

Методика, описанная выше, позволяет получать надёжные результаты до значений высоких частот (1000 Гц). Однако научный и практический интерес представляет оценка не только диссипативных свойств ВДПСТ (по значению η_{Σ}), но и экспериментальное исследование их акустической эффективности (ΔL , дБ, дБА) во всём нормируемом диапазоне частот для шума (до 8000 Гц), на лабораторной установке и в процессе натурных испытаний. Следует отметить, что наибольший интерес представляют исследования их акустической эффективности в высокочастотном диапазоне (свыше 1000 Гц), так как в спектрах шума пильных дисков преобладают составляющие именно в этой частотной области.

2. Экспериментальные исследования акустической эффективности вибродемпфирующих прокладок с сухим трением. Исследование акустической эффективности от применения вибродемпфирующих прокладок с сухим трением (ВДПСТ) было осуществлено экспериментальным путём, по следующей методике.

Оценка снижения шума ΔL , дБА демпфированных тонкостенных металлических конструкций в настоящее время не поддаётся теоретическому расчёту из-за сложности картины распространения

звуковой вибрации. Эффективность применения вибродемпфирующих покрытий с сухим трением с различной дисперсностью устанавливается экспериментальным путём.

Было предложено использовать следующую физическую модель. Так как оценка акустической эффективности носит сравнительный характер, то физической моделью возбужденного пильного диска может служить возбуждённая стальная пластина. Толщина пластины была выбрана 2мм, т.к. толщина наиболее распространенных пильных дисков имеет именно этот размер. Габаритный размер пластины выбран 500x500 мм с тем, чтобы длина изгибной волны, начиная от 250 – 500 Гц, укладывалась в этих размерах. Образцы ВДПСТ в форме квадрата накладывались на центр пластины и фиксировались адгезионным способом. Соотношение площадей ВДПСТ и пластины было выбрано $\frac{1}{2}$, так как покрыть пильный диск полностью ВДПСТ невозможно, в силу эксплуатационных требований. Площадь нанесения ограничивается глубиной пропила.

Для сравнительных измерений уровней звука ΔL при оценке влияния различных параметров ВДПСТ нет необходимости менять режим возбуждения пластины, а наоборот, требовалось обеспечить его стабильность для всех серий измерений. Предлагается следующая схема возбуждения стальной пластины. Стальная пластина закреплена по углам на раме упругими растяжками. В нижней части установки под стальной пластиной размещается устройство возбуждения в виде электродвигателя (частота вращения $n = 1300$ об/мин) с гибким валом, в торце которого насажен стальной ударник. При раскручивании электродвигателем гибкого вала последний, отклоняясь от оси из-за воздействия центробежной силы, наносит ударником удары по центру стальной пластины. При таком режиме возбуждения излучаемый пластиной шум по слуховому восприятию принят постоянным, так как временной интервал между импульсами составлял $t < 0,05$ с. Для исключения возможности притока

дополнительной колебательной энергии через растяжки к металлическому листу из-за вибрации двигателя, рама установки изготовлена из древесины. А сам двигатель установлен на виброизолированном основании из слоеной фанеры и мягкой резины. Из соображений обеспечения безопасности обслуживания устройство возбуждения обнесено мелкоячеистой стальной сеткой.

Оценкой акустической эффективности ВДПСТ являлось снижение уровня звука ΔL :

$$\Delta L = L - L_{\text{н}} \quad (2)$$

где L – уровень звука от пластины, дБА;

$L_{\text{н}}$ – уровень звука от пластины с применением ВДПСТ, дБА.

Акустические измерения проводились с использованием приборов ВШВ-003 и Октава 101А. При разработке изложенной методики использовались действующие регламентирующие документы по шуму и его измерению.

При экспериментальном исследовании варьировалась:

- дисперсности минеральных абразивных частиц (d , мкм),
- вид основы (тканевая или бумажная)

Результаты экспериментального исследования приведены на рисунках 1,2,3,4,5. На рисунках 1 и 2 представлены диаграммы (по результатам этого эксперимента), которые демонстрируют снижение уровней звукового давления (ΔL , дБ) в октавных полосах от 125 до 8000 Гц при различных значениях d , мкм. На рис. 1 представлена зависимость снижения уровня звукового давления (ΔL , дБ) вибровозбужденной пластины + ВДПСТ при различных значениях дисперсности частиц (d), на бумажной основе.

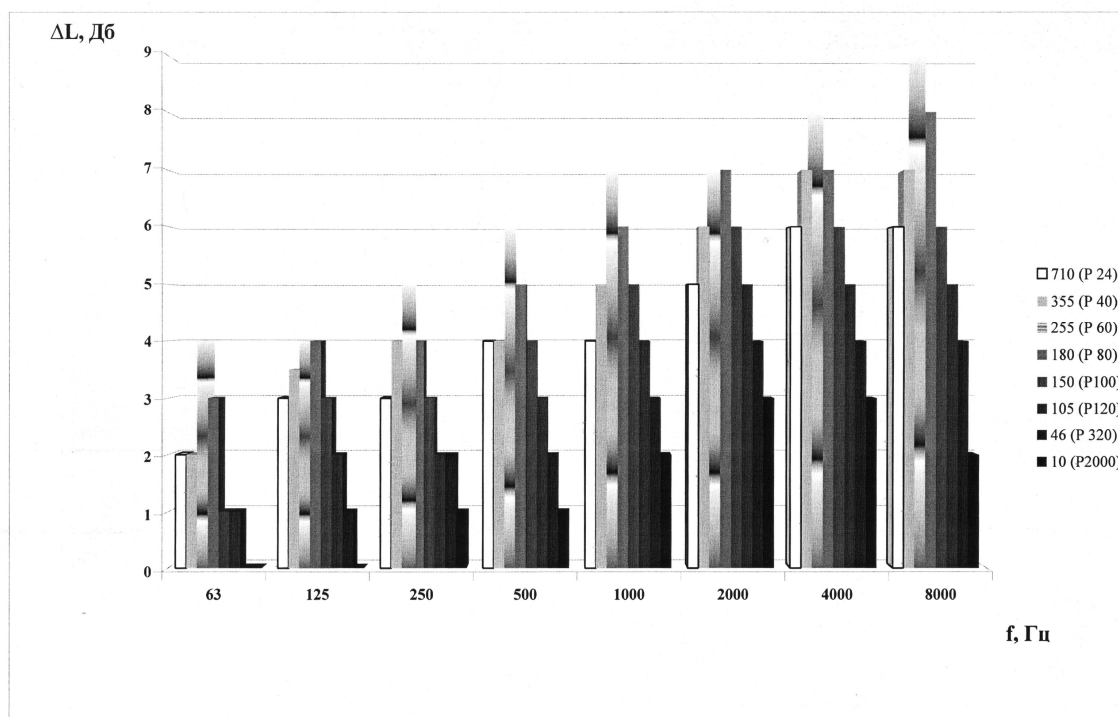


Рис. 1 – Снижение уровня звукового давления (ΔL , дБ) вибровозбуждённой пластины + ВДПСТ при различных значениях дисперсности частиц (d), на бумажной основе

Из графических зависимостей видно, что характер кривых, как при тканевой, так и бумажной основах идентичен и возрастает с увеличением значения частоты (f), причём наибольший эффект наблюдается в высокочастотной области. Также диаграммы демонстрируют зависимость акустического эффекта ВДПСТ от дисперсности минеральных абразивных частиц (d , мкм), который достигает своего максимального значения при дисперсности 255 мкм на бумажной 180 мкм на тканевой основах. Сравнение частотных характеристик показало, что с увеличением дисперсности частиц более 355 мкм и уменьшением менее 150 мкм происходит снижение акустического эффекта, как на тканевой, так и на бумажной основе, а оптимальное значение дисперсности частиц находится между 255 мкм и 180 мкм. На рис. 2 представлена зависимость снижения уровня звукового давления (ΔL , дБ) вибровозбужденной пластины +

ВДПСТ при различных значениях дисперсности частиц (d), на тканевой основе.

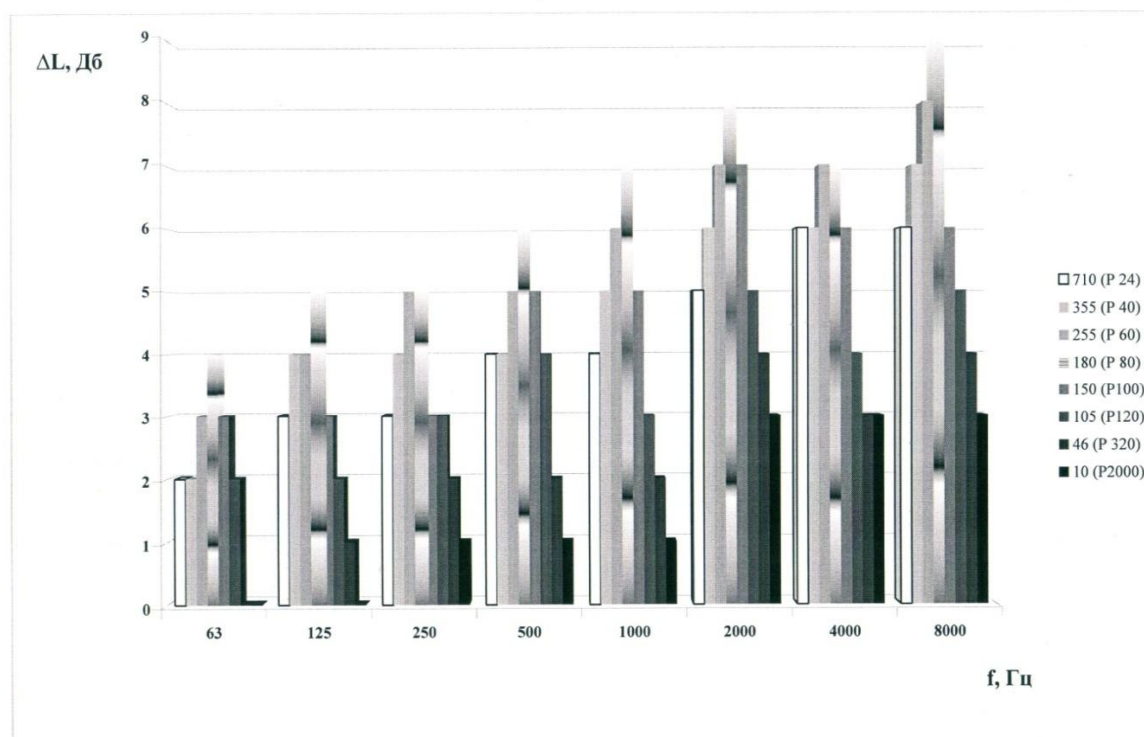


Рис. 2 – Снижение уровня звукового давления (ΔL , дБ) вибровозбуждённой пластины + ВДПСТ при различных значениях дисперсности частиц (d), на тканевой основе

Из диаграмм четко видно, что все покрытия наиболее эффективны в высоком диапазоне. Максимальный акустический эффект (8 – 9 дБ) прослеживается в октавных полосах 4000 и 8000 Гц при значении $d = 255$ мкм на бумажной и $d = 180$ мкм на тканевой основах. На рис. 3 показана диаграмма, отображающая изменение уровней звука, излучаемого системой «пластина–ВДПСТ», при различных значениях дисперсности частиц (d).

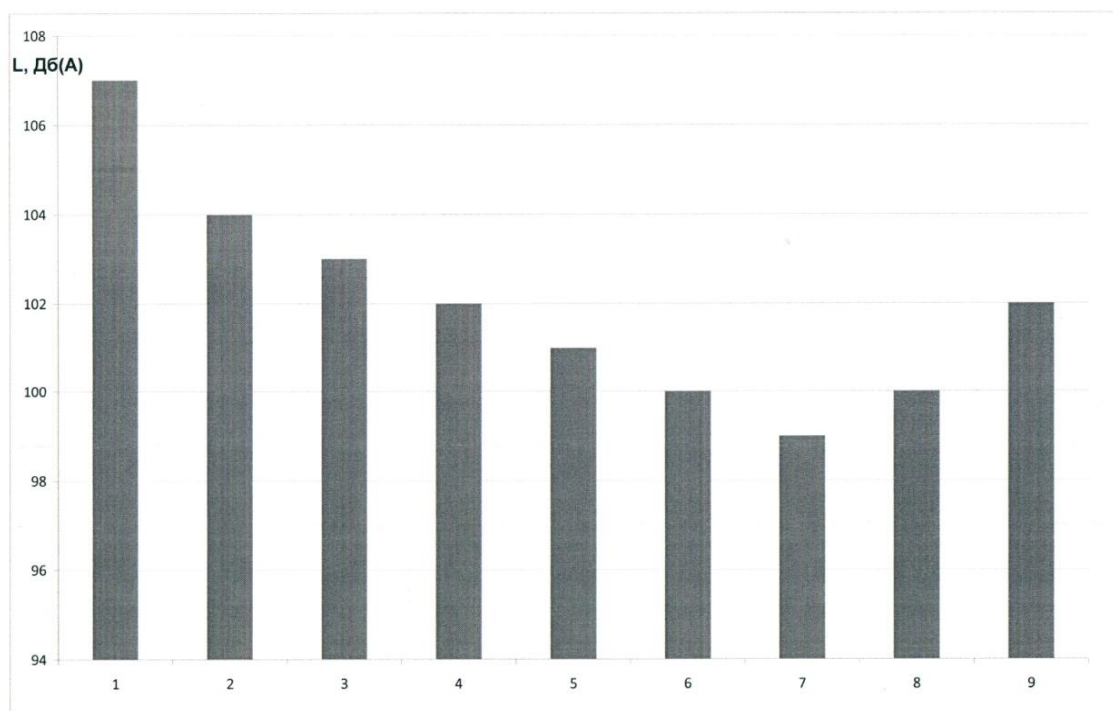


Рис. 3 – Уровней звука (L , дБ(A)) вибровозбуждённой пластины + ВДПСТ в зависимости от дисперсности частиц (d), на тканевой основе. 1 – пластина без покрытия, 2 – пластина + ВДПСТ ($d = 10.3$ мкм), 3 – пластина + ВДПСТ ($d = 46.2$ мкм), 4 – пластина + ВДПСТ ($d = 100$ мкм), 5 – пластина + ВДПСТ ($d = 150$ мкм), 6 – пластина + ВДПСТ ($d = 180$ мкм), 7 – пластина + ВДПСТ ($d = 255$ мкм), 8 – пластина + ВДПСТ ($d = 355$ мкм), 9 – пластина + ВДПСТ ($d = 710$ мкм)

Очевидно, что даже при менее оптимальной дисперсности частиц d , равной 100мкм и 710мкм, достигается ощутимый акустический эффект $\Delta L = 5$ дБА. (Необходимо принимать во внимание что, площадь покрытия пластины 50%).

Для сравнительной оценки акустической эффективности вибродемпфирующих прокладок с сухим трением (ВДПСТ) и вибродемпфирующих покрытий (ВДП) были проведены экспериментальные исследования. На рис. 4 представлены спектры

акустической эффективности (ΔL , дБ,) линолеума ПВХ, ВДПСТ на тканевой (ВДПСТТ) и бумажной (ВДПСТБ) основах.

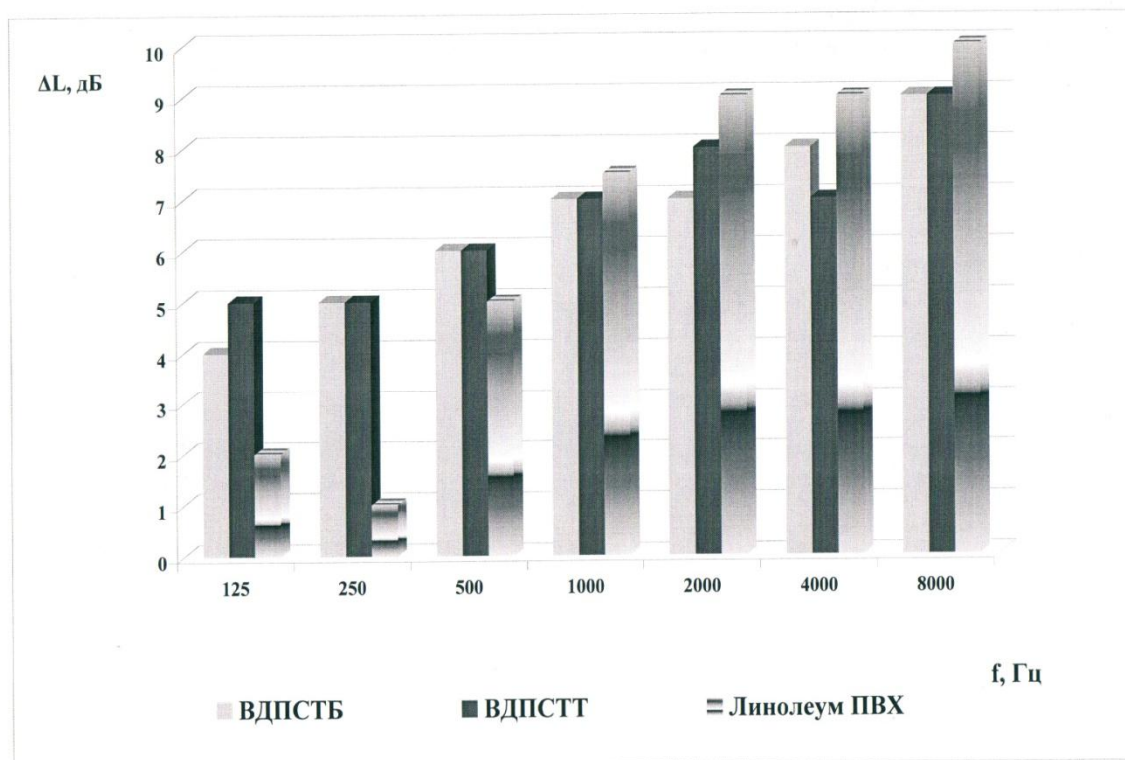


Рис. 4 – Сравнение акустической эффективности ВДПСТТ, ВДПСТБ, линолеум ПВХ

При сравнении акустической эффективности этих покрытий видно, что они одинаково эффективны во всем высокочастотном диапазоне, при этом в средне- и низкочастотном диапазоне линолеум ПВХ значительно уступает ВДПСТ. Таким образом, можно сделать вывод, что ВДПСТ в сравнении с поливинилхлоридным линолеумом обладает высокой акустической эффективностью в более широком диапазоне частот.

Следует отметить, что при сравнении акустической эффективности этих покрытий не берутся во внимание их массы. А это очень важно, так как сравнение акустической эффективности этих покрытий не отражает в полной мере всех достоинств и недостатков покрытий. Поэтому более наглядным и информативным будет такое представление эффективности покрытия, при котором будет учитываться его масса.

Известно, что для оценки эффективности тонкостенных металлических конструкций применяется такое понятие, как «массовая отдача» дБ/(кг/м²), под которой подразумевается величина звукоизоляции, обусловленная единицей массы конструкции.

Учитывая вышесказанное, проведем сравнение эффективности ВДПСТ с поливинилхлоридным линолеумом, учитывая значения поверхностной плотности материалов. Поверхностная плотность ВДПСТ на тканевой основе составляет 1,26кг/м², ВДПСТ на бумажной основе составляет 0,94кг/м², линолеума ПВХ составляет 2,7 кг/м².

На рис. 5 представлена отношение акустической эффективности к

ΔL

поверхностной плотности (ρ) вибродемпфирующих прокладок с сухим трением на тканевой основе (ВДПСТТ), вибродемпфирующих прокладок с сухим трением на бумажной основе (ВДПСТБ), линолеум ПВХ в виде графических зависимостей.

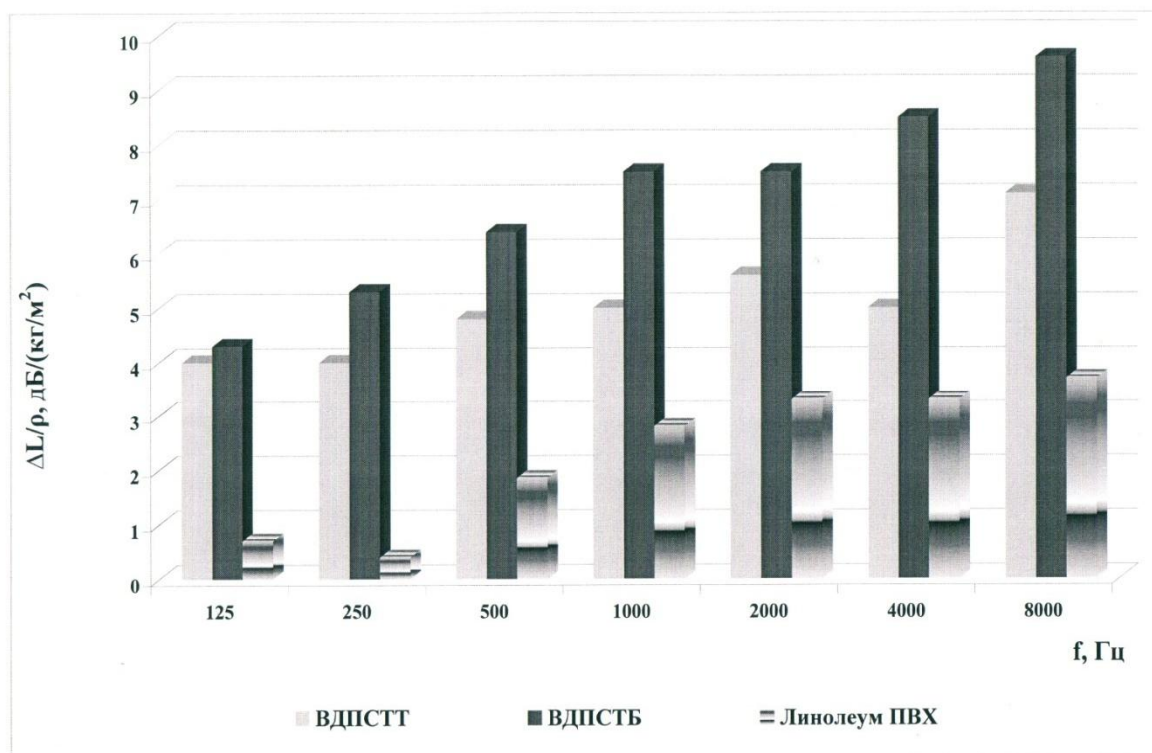


Рис. 5 – Акустическая эффективность материалов относительно их поверхностной плотности

Исходя из графических зависимостей, можно отметить, что массовая отдача вибродемпфирующих прокладок с сухим трением в 2 – 3 раза выше(!), чем линолеума, и в среднем составляет 7 дБ/(кг/м²), что демонстрирует ожидаемую акустическую эффективность при нанесении 1кг покрытия на демпфируемую поверхность пластины. Для линолеума ПВХ эта усредненная величина 2,3 дБ/(кг/м²). Также, видно что, массовая отдача ВДПСТБ несколько выше, чем у ВДПСТТ. Этот факт необходимо учитывать при решении задач, в которых необходимо минимизировать нагрузку от ВДП.

Заключение. В итоге, можно сделать вывод, что для задачи снижения звуковой вибрации от пильного диска применением ВДПСТ, они выгодно отличаются от вибродемпфирующих покрытий из полимерных материалов по следующим показателям:

- акустической эффективностью в широком диапазоне частот;

- меньшей поверхностной плотностью;
- стабильностью демпфирующих свойств с повышением температуры;
- устойчивостью к сдвиговым деформациям и разрушению.

Выводы

1. Экспериментально обоснована акустическая эффективность конструкции вибродемпфирующих прокладок с сухим трением для снижения шума от пильных дисков круглопильных деревообрабатывающих станков. В прокладках используются минеральные абразивные материалы на тканевой или бумажной основе.
2. Экспериментально определен размер минеральных абразивных частиц, обеспечивающий максимальное значение снижения шума от пильных дисков, который составляет для прокладок на тканевой основе $d = 180 \text{ мкм}$, на бумажной основе – 255 мкм .
3. Разработанная конструкция прокладок с сухим трением с использованием минеральных абразивных материалов обладает рядом преимуществ по сравнению с аналогами из полимерных вязкоупругих материалов: стабильностью демпфирующих свойств с ростом температуры (т.к. пильные диски испытывают значительные температурные нагрузки во время пиления); меньшую поверхностную плотность, а, следовательно, и массу.
4. Предлагаемая конструкция прокладок является унифицированной и применима на различных существующих круглопильных деревообрабатывающих станках. Помимо этого, конструкция прокладок проста и дает возможность их изготовления и применения непосредственно на предприятиях эксплуатирующих эти станки.

Библиографический список

1. Иванов, Н.И. Основы виброакустики / Н.И. Иванов, А.С. Никифоров. – СПб.: Политехника, 2000. – 482 с.
2. Соколов, Г.А. Борьба с шумом в деревообрабатывающей промышленности/ Г.А. Соколов; Лесная промышленность, 1974. –144 с.
3. Д.С. Осмоловский, В.Ф. Асмнин. Диссипативные свойства вибродемпфирующих прокладок с сухим трением с использованием шлифовальных листов с абразивными минеральными частицами различной дисперсности // Леса России в XXI веке: 3 Международ. науч. – практ. инт. – конф. Июль 2010 г. / Под ред. авторов. – СПб.: СПбГЛТА, 2010. – С. 217 - 222.
4. Oberst, H. Uber die Dampfung der Biegeschurgungen dunner Bleche durch Festhaftende Belage [Text] / H. Oberst // Acoustische Beihefte. – 1952. – P. 181 – 195.
5. Юдин, Е.Я. Справочник : борьба с шумом на производстве/ Е.Я. Юдин, Л.А. Борисов, И.В. Горенштейн [и др.]; под общ. ред. Е.Я. Юдина; Машиностроение, 1985. – 400 с.