

УДК 621.01

А.В. Станийчук

**СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ ШУМА МЕХАНИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ОБОРУДОВАНИЯ
СРЕДСТВАМИ ЗВУКОИЗОЛЯЦИИ**

Проведены исследования по снижению уровня шума механических приводов оборудования. Предложен алгоритм шумопонижения механических приводов, адекватно подтверждающий акустическую эффективность использования зубчатых колес, боковые поверхности которых облицованы полимерной пленкой.

Ключевые слова: звукоизлучение, механический привод, технологическое оборудование, металлополимерные зубчатые колеса, шум, промышленная звукоизоляция, полимерная облицовка.

**REDUCTION OF NOISE LEVEL OF MECHANICAL ACTUATORS OF EQUIPMENT
BY MEANS OF SOUND INSULATION**

Studies have been conducted to reduce the noise level of mechanical equipment drives. The algorithm of noise reduction of mechanical drives adequately confirming the acoustic efficiency of the use of gear wheels is proposed, the lateral surfaces of which are lined with a polymer film .

Key words: sound emission, mechanical drive, technological equipment, metal-toothed cogwheels, noise, industrial soundproofing, polymeric finishing.

Введение

Современные машины, механизмы и производственное оборудование являются источниками интенсивного шума, оказывающего вредное влияние на организм человека. Под воздействием шума заметно снижаются качество и производительность труда. Множество различных факторов, характеризующих условия работы зубчатых передач, сложные закономерности теории колебаний и упругости пространственных систем, до настоящего времени не позволили на основе обобщения результатов отдельных наблюдений и исследований создать единые методики расчетной количественной оценки влияния каждого из действующих факторов, особенно их сочетаний, на виброакустическую активность и долговечность зубчатых передач технологического оборудования. Проектирование рациональных комплексов средств для снижения виброакустической активности механических приводов оборудования невозможно без детального анализа причин повышенной шумности, требующих учета всех особенностей этих приводов. Задача снижения уровня шума в рабочей зоне станков актуальна для машиностроения, она имеет важное научно-техническое и социально-экономическое значение [1].

Постановка задачи исследования

Исследованиями установлено, что интенсивность и спектральный состав вибраций и шума механических приводов технологического оборудования в значительной мере определяются величи-

нами и характером распределения точностных дефектов зубчатых колес [1–3]. Зубчатую передачу вследствие неизбежных погрешностей изготовления и деформации ее деталей под нагрузкой следует рассматривать как доминирующий источник виброакустической активности привода. Поэтому естественным и эффективным путем снижения виброактивности зубчатых передач является повышение точности изготовления зубчатых колес, что, однако, требует значительных экономических затрат [4]. Перспективно использование промышленной звукоизоляции в сочетании с виброизолирующим эффектом в зубчатых передачах механических приводов металлорежущих станков с учетом эргономических требований и современной технологии. Цель акустического исследования зубчатой передачи – устранить указанный выше недостаток, не изменяя принципа передачи вращающих моментов привода оборудования, его конструктивных и габаритных размеров.

Решение задачи снижение уровня шума механических приводов оборудования

Отношение звуковой мощности N , Вт, излучаемой во внешнюю среду конструктивными элементами механического привода, к функциональной мощности $N_{\text{мех. пр.}}$, Вт, создаваемой или потребляемой этим приводом, можно охарактеризовать акустическим коэффициентом мощности [5]:

$$\eta_a = N / N_{\text{мех. пр.}}$$

Физический механизм звукоизлучения механического привода представим схематически следующим образом. Вынуждающая переменная сила $F(t)$, определяемая функциональной мощностью $N_{\text{мех. пр.}}$, вызывает в некоторой части привода внутри него (в условной точке 1) колебательную скорость $v_1(t)$. Механический импеданс в этой точке $Z_{\text{мех. пр.}} = F(t) / v_1(t)$. От действия указанной силы на поверхности корпусных элементов привода (условная точка 2) возникают колебания со скоростью $v_2(t)$, в результате чего излучается звуковая мощность N . Предположим, что колебания в точках 1 и 2 связаны посредством коэффициента a_k передачи (передаточная функция) линейной зависимостью $v_2(t) = a_k v_1(t)$. Тогда звуковую мощность, излучаемую поверхностями конструктивных элементов привода вблизи точки 2, запишем в виде:

$$N = \rho c v_2^2(t) S \gamma,$$

где ρc – характеристический импеданс среды вокруг привода; S – площадь равномерного излучения вблизи точки 2; γ – коэффициент излучения, равный отношению интенсивности звука, излучаемого участком площадью S на поверхности привода, к интенсивности звука, излучаемого колеблющимся поршнем с той же площадью S и с той же скоростью $v_2(t)$. Принимая во внимание указанные соотношения, получим зависимость

$$N = \frac{F^2(t) a_k^2}{Z_{\text{мех. пр.}}^2} S \rho c \gamma. \quad (1)$$

Из формулы (1) следуют все основные способы снижения шума механических приводов технологического оборудования. Анализ представлений о звукоизлучении показал, что наиболее эффективный способ снижения шума состоит в значительном уменьшении коэффициента излучения, достигнуть этого можно, установив вокруг наиболее виброакустически активных элементов привода звукоизолирующие элементы. Таким образом, если меры по снижению уровня шума машины в источнике его возникновения в основном исчерпаны или же не привели к положительному результату, то перспективным, а иногда и единственным способом снижения уровня шума является звукоизоляция. Последняя предпочтительнее, так как не требует переделки машин.

Один из эффективных способов увеличения звукоизолирующих свойств виброакустически активных передач редукторных систем – применение легких звукопоглощающих материалов, покрывающих ровным слоем всю изолируемую поверхность преграды. При разработке данного направления были созданы зубчатые колеса с полимерным покрытием, наносимым на их боковые поверхности методом электроосаждения.

Формирование покрытия методом электроосаждения проходит в две стадии. На первой стадии на аноде (зубчатое колесо) выделяется осадок пленкообразователя. При последующем термоотверждении (вторая стадия) в условиях повышенных температур образуется трехмерная сетка из практически обезвоженной олигомерной системы (сухой остаток пленки составляет 98–99%). Вода из осадка удаляется вследствие электроосмотического обезвоживания. В результате происходят уплотнение пленки и увеличение ее электросопротивления. Таким образом, при электроосаждении из низкоконцентрированных растворов образуются осадки, представляющие собой высококонцентрированные системы. Одновременно с формированием пленки при взаимодействии частиц пленкообразователя друг с другом и с поверхностью анода формируются когезионные и адгезионные связи. При этом в местах осаждения полимерного материала электросопротивление анода увеличивается, в результате чего силовые линии поля перераспределяются. На участках зубчатого колеса, на которых в начальный момент наблюдалась пониженная плотность тока, также происходит осаждение материала, и на всех боковых поверхностях зубчатого колеса образуется равномерный по толщине слой покрытия.

Особое внимание было уделено предварительной обработке поверхностей зубчатых колес. Выбор метода подготовки поверхностей определялся видами металла и полимерного покрытия, а также условиями эксплуатации. Технологический процесс подготовки поверхностей зубчатых колес включал: обезжиривание, промывку, фосфатирование, промывку, пассивацию, промывку, сушку. В таблице приведены параметры технологического процесса получения покрытия на боковых поверхностях зубчатых колес.

Технологические параметры электроосаждения и сушки покрытия

Материал покрытия	Концентрация рабочего раствора, %	Температура ванны, °С	Напряжение постоянного тока, В	Продолжительность нанесения покрытия, мин.	Режим сушки T, °С/t, мин.	Толщина покрытия, мкм
ВКЧ-0207	10	23	150	2	190/25	20

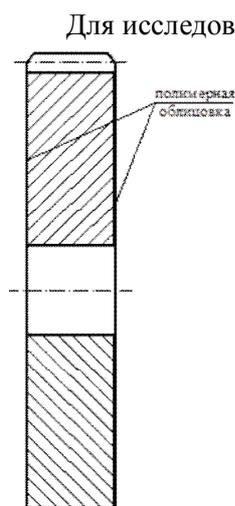


Рис. 1. Металлополимерное зубчатое колесо: 1 – полимерная облицовка.

Для исследований шумоизлучения и работоспособности была изготовлена экспериментальная установка. Исследования выполнены на базе серийных цилиндрических прямозубых зубчатых колес. Для уменьшения технологических факторов, влияющих на рассеяние результатов, зубчатые колеса нарезали на одном и том же оборудовании с одинаковыми нормами точности. Геометрические параметры боковых поверхностей опытных колес были уменьшены на 20 мкм – толщину полимерной облицовки.

Экспериментальные исследования шумоизлучения металлополимерных зубчатых колес проводили в заглушенной камере 1-го класса акустического комплекса Института охраны труда (г. Иваново). Цель испытаний – экспериментальная оценка ожидаемого снижения уровня шума передачи вследствие использования зубчатого колеса, облицованного полимерной пленкой (рис. 1). Испытания осуществлялись в диапазоне скоростей и нагрузок, охватывающем типовые режимы эксплуатации механических приводов металлорежущих станков. Частоту вращения зубчатых колес контролировали стробоскопическим тахометром 2ТС-45С. В ходе эксперимента были исследованы уровни звукового давления (УЗД) в октавных полосах частот $63 \div 8000$ Гц и уровни звука (УЗ) серийных и опытных зубчатых колес.

Наиболее характерные спектры шума, полученные при сравнительных испытаниях, представлены на рис. 2. Характер спектра УЗД экспериментальной зубчатой передачи практически не изменялся. Однако УЗД опытной передачи ниже, чем серийной, на $1 \div 3$ дБ. Особо следует отметить, что снижение наблюдается во всем исследуемом диапазоне частот.

Снижение шумоизлучения зубчатой передачи может быть объяснено следующим образом: во-первых, полимерная облицовка в определенной степени выполняет функции звуко- и виброизолирующей оболочки, в которой находится зубчатое колесо; во-вторых, введение полимерной облицовки существенно влияет на излучающую способность боковых поверхностей колес. Существенно повысить звуко- и виброизолирующий эффект полимерной облицовки могло бы введение в конструкцию колеса виброгасящего, вибродемпфирующего устройства, однако увеличение акустической эффективности не входило в план исследований.

Важнейшим аспектом разработки и эксплуатации металлополимерных зубчатых колес является исследование износостойкости облицовок. После 1000 час. непрерывной наработки разрушения полимерной облицовки на боковых поверхностях зубчатых колес не отмечены.

Таким образом, предложенный алгоритм шумопонижения механических приводов адекватно подтверждает акустическую эффективность использования зубчатых колес, боковые поверхности которых облицованы полимерной пленкой. Применение металлополимерных зубчатых колес рационально в передачах, работающих в относительно мягких режимах эксплуатации. Зубчатые колеса данного типа имеют сравнительно неплохие виброакустические характеристики (до 3 дБА) и высокую технологичность; при массовом производстве возможно снижение массы передачи. Акустическая эффективность в достаточной степени подтверждается экспериментальным материалом.

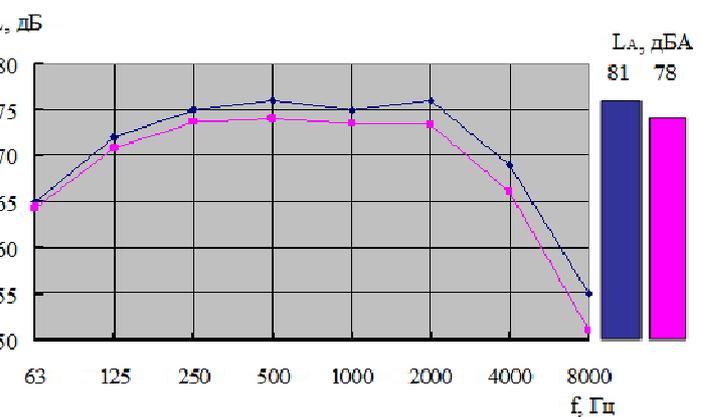


Рис. 2. Спектр звукового давления $[L(f)]$ и максимальный уровень звука (L_A) зубчатых передач: светлый – серийное исполнение; темный – полимерной облицовкой зубчатых колес.

Выводы

Результаты исследований шумопонижения зубчатых передач редукторных систем позволяют на ранних стадиях проектирования добиться уменьшения шумоизлучения оборудования. Реализация результатов экспериментальных исследований – увеличение звукоизолирующей способности зубчатых колес, боковые поверхности которых облицованы полимерной пленкой. Спроектирована и изготовлена технологическая установка для нанесения полимерных облицовок методом электроосаждения.

1. Иванов, Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: Учебник. – М.: Университетская книга; Логос, 2008. – 423 с.
2. Юдин, Е.Я. Борьба с шумом на производстве. – М.: Машиностроение, 1985. – 400 с.
3. Технологии экспериментальных исследований. Российская инженерная академия / С.А. Зайдес, А.П. Бабищев, А.М. Медведев и др. – Иркутск: НИ ИргТУ, 2011. – 572 с.
4. Хекл, М., Мюллер, Х.А. Справочник по технической акустике / пер. с нем. – Л.: Судостроение, 1980. – 440 с.
5. Боголепов, И.И. Промышленная звукоизоляция. – М.: Судостроение, 1986. – 368 с.