

К вопросу о снижении шума в зубчато-ременных передачах

Б.В. Шогенов, И.А. Ногеров, А.М. Казиев

Кабардино-Балкарский государственный университет

Аннотация: Разработаны способы снижения шума и вибрации в источнике распространения и уменьшения степени передачи звуковой энергии на пути распространения по проблеме «вибрации и шума в зубчато-ременных передачах» направленные на решение конкретных практических задач, возникающих вследствие повышения требований к предельным условиям шума для жизнедеятельности человека.

Ключевые слова: шум, вибрация, передача, ремень, шкив, привод, машина, колебания, анализ, частота, звук, звукоизоляция, механизм.

Исследование зубчато-ременных передач (ЗРП) в приводах машин весьма разнообразно. ЗРП широко применяются в главных приводах транспортных и сельскохозяйственных машин и механизмов, металлорежущих станках, автоматических линиях, промышленных роботах и манипуляторах, бытовой и вычислительной технике как эффективное средство повышения скорости их движения. Это связано с рядом достоинств ЗРП по сравнению с другими механическими передачами, в частности, высокий КПД, простотой конструкции, надежностью, большими межосевыми расстояниями, простотой в эксплуатации и др. Вместе с тем, ЗРП, как и другие механические передачи: зубчатые, цепные, клино- и плоскоремненные передачи и другие, являются источником вибраций и шумоизлучения. Шум – один из основных факторов, неблагоприятно воздействующих на здоровье человека [1,2]. Как показывают современные исследования, высокая шумовая нагрузка является причиной и стимулятором сердечно-сосудистых, желудочных и нервных заболеваний. Постоянное ежедневное воздействие шума повышает нервное напряжение, снижает творческую деятельность и производительность труда в ряде случаев до 50 %, а число ошибок в расчетных работах более чем на 40%.

Возникновение вибраций и шума в ЗРП обусловлено специфической особенностью работы самой передачи, заключающейся в образовании зацепления между зубьями ремня и шкивов, следствием чего является удар



зубьев ремня о зуб шкива и неравномерность движения ветвей и вращения зубчатых шкивов. При этом процесс шумоизлучения в ЗРП является сложным процессом, так как интенсивность потока звуковой энергии, излучаемой передачей, связана с начальными значениями амплитуды перемещений и скорости колебаний точек сопрягающихся поверхностей звеньев в результате импульсных взаимодействий, степенью затухания колебаний, соотношением размеров источника и длины волны излучаемого звука, которая, в свою очередь, является функцией кинематических и геометрических параметров ЗРП и физико-механических свойств материалов, используемых для изготовления их элементов.

Как показано в работах [3,4,5,6,7,8], уровень звукового давления L , выбранный в качестве шумовой характеристики ЗРП, определяется влиянием основных ее параметров и режимов эксплуатации на шумоизлучение. Из результатов проведенных экспериментальных исследований следует, что главной причиной возникновения шума в ЗРП является ударное зацепление зубьев ремня с зубьями шкивов. При этом первым по степени влияния фактором выделяется угловая скорость ω_1 ведущего шкива, от значения которой зависят скорость удара и частота зацепления зубьев, а следовательно, и мощность удара. Действительно в ЗРП с зубьями стандартного и полукруглого профиля, изменение числа зубьев шкива z_1 может оказывать существенное влияние на шумоизлучение, так как частота зацепления, а также площадь звукоизлучения зависят от z_1 ведущего шкива. Поэтому проблема уменьшения вибрации и особенно шума в быстроходных ЗРП имеет важное значение. Особенно возрастание рабочей скорости приводов различных машин и агрегатов в ряде случаев приводит к возникновению уровня шума в ЗРП до 90 дБа и более превышающего санитарные нормы.

Таким образом, значительным недостатком, ограничивающим использование зубчатых ременных передач в высокопроизводительном оборудовании, является повышенный уровень шума при больших скоростях. Поэтому анализ закономерностей шумоизлучения позволяет наметить пути снижения уровня шума, разработать ряд конструктивно-технологических мероприятий, исключающих возникновение шума, и определить эффективность звукоизоляции ЗРП. В связи с этим основным направлением в борьбе с шумом и вибрацией в приводах машин с зубчатыми ременными передачами является, с одной стороны, их локализация в местах образования путем применения «модифицированных» зубчатых шкивов и ремней с рациональной конструкцией и динамических виброгасителей [9], с другой стороны, путем использования натяжных устройств, звукоизолирующих и звукопоглощающих кожухов [10]. Кроме того в вопросе снижении вибраций и шума ЗРП важное место занимает соблюдение технологической дисциплины при изготовлении и монтаже передач, снижение погрешностей изготовления.

На основе спектрального анализа шума установлено, что возникновение шума вызывается колебаниями зубчатых шкивов и элементами передачи, сопряженных с ними. Причиной этих колебаний являются: ударное зацепление зубьев, кинематические погрешности зубчатых шкивов и ремней, силы трения. При этом шум имеет наибольшую интенсивность при частоте колебаний, соответствующей частоте зацепления зубьев шкива с зубьями ремня:

$$f = knz/60,$$

где z -число зубьев шкива; n -число его оборотов в минуту; $k=1,2,3...$

Кроме того, механический шум ЗРП создают среднечастотные колебания, возникающие от эксцентриситета и накопленной погрешности зубьев шкивов:

$$f_{шк} = kn/60,$$

где n -число оборотов в минуту;

а также низкочастотные колебания от пробега ремня:

$$f_{рем} = pf_{шк} d_{шк} / l_{рем}$$

где $f_{шк}$ - частота колебаний шкива; $d_{шк}$ - диаметр шкива; $l_{рем}$ - длина ремня.

Обычно резонансное колебание ремня проявляется при совпадении собственных частот колебания ремня с частотой колебания приводного механизма ($f_{соб} = f_{дв}$).

Анализ проведенных мероприятий конструктивного порядка показывает, что снижение вибраций и шума в ЗРП можно достичь следующими способами:

- изготовление зубчатого ремня и шкива с полукруглой формой зубьев, что способствует улучшению контакта за счет увеличения поверхностных соприкосновений между зубьями ремня и шкива в зоне зацепления, что приводит к снижению шума на 6-8 дБа;
- изготовление шага зубьев шкива больше, чем зубьев ремня.

Такое явление объясняется тем, что в обычных ЗРП при входе зубьев в зацепление происходит удар сопряженных зубьев ремня и шкива. В результате возникает колебательный процесс. Сила удара находится в прямой зависимости от величины разности шагов между зубьями ремня и шкива ($t_{шк} - t_p = \Delta t$). Доказано, что оптимальный уровень шума соответствует не случаю, когда $\Delta t = 0$, а при $\Delta t > 0$, определяемому суммарной величиной деформации зубьев и полотна ремня. В такой передаче снижение уровня звука достигает 8-9 дБа;

- изготовление зубчатых шкивов с канавками, расположенными на наружной поверхности зубьев, перпендикулярно направлению вращения шкива. Эти компенсационные канавки на зубьях шкивов обеспечивают быстрое удаление сжатого воздуха из зоны зацепления в направлении торцов

шкива, находящихся между плоской частью полотна ремня и вершиной зубьев шкива. Тем самым, вытесняемый поток воздуха через канавки шкива препятствует излучению аэродинамического шума от вращающихся элементов передачи в среднем на 5-7 дБа в зоне высоких скоростей передачи по сравнению с обычными ЗРП;

- изготовление комбинированного зубчатого шкива со стальным центром и венцом из твердой резины, обладающего высоким демпфирующим свойством. Этот способ дает небольшой эффект снижения уровня шума на более высоких частотах в диапазоне частот, соответствующих зубцовым составляет около 12-15 дБ, а на низких и средних частот – около 3-5 дБ по сравнению с обычной ЗРП. Снижение шума непосредственно в источнике возникновения ЗРП путем применения такого зубчатого шкива с демпфирующим элементом (резиной) является весьма эффективным способом. Последний также позволяет снизить требования к точности изготовления и монтажа передачи. Такие шкивы могут найти применение в малонагруженных ЗРП.

В ряде случаев используют и другие конструктивные меры. Так, снижение шума достигается за счет установки динамического гасителя колебаний в передаче, имеющей собственную частоту колебаний, равную частоте вынужденных колебаний шкива. Улучшается шумовая характеристика ЗРП в результате введения «модифицированной» ЗРП, состоящей из вывернутого ремня, зубчатых шкивов и натяжного устройства, повышающего плавность зацепления, приводящего к снижению уровня звука 5-7 дБа. Снижение шума на 2-3 дБа в ЗРП достигается также за счет применения зубчатого ремня с зубьями, имеющими сквозные отверстия по сравнению с обычным ремнем. Кроме того, использование кожухов позволяет в ряде случаев снизить уровень звука в ЗРП на 4-6 дБа.



Каждое из этих направлений имеет свои практические ограниченные возможности, которые должны приниматься во внимание при разработке общих планов снижения внутренних шумов в зависимости от степени точности изготовления и эксплуатации ЗРП.

Таким образом, разработанные способы снижения шума и вибрации в источнике распространения и уменьшения степени передачи звуковой энергии направлены на решение конкретных практических задач. Наиболее большее количество разработок связано с созданием способов и средств уменьшения шума в ЗРП за счет конструктивного сочетания средств звукопоглощения и звукоизоляции.

В связи с этим основными направлениями для создания малошумных ЗРП являются:

- разработка высокоэффективных шумопоглощающих материалов и конструкций;
- разработка методов прогнозирования шумового поля передач.

Литература

1. Пушенко С.Л., Волкова Н.Ю. Производственный шум – как элемент профессионального риска на предприятиях стройиндустрии // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1124.
2. Пушенко С.Л., Волкова Н.Ю., Стасева Е.В. Анализ и классификация методов идентификации производственного шума в стройиндустрии // Инженерный вестник Дона, 2013, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2157.
3. Kubo A. Ando, T., S. Sato, T. Aida, Hosutro T. noise of the toothed belt drive - Bulletin of JSME 1971 V.14. №75. pp.991-1007.
4. Постонен У.М. Шумовые характеристики зубчато-ременной передачи // Станки и инструменты. -№11. 1976. С 15-16.



5. Kagotani M., Kovama T. Some Methods to Reduce Noise in Toothed Belt Drive - Bulletin of JSME – vol. 24.-№190, 1981. pp. 723-728.
6. Сабанчиев Х.Х. Снижение шума в зубчато-ременных передачах // Вестник машиностроения. -№1. 1987. С 32-36.
7. Шогенов Б.В. Методы снижения уровня шума в ЗРП // Наука, техника и технология нового века (НТТ-2003): материалы Всероссийской н/т конференции. Нальчик: КБГУ, 2003. С. 222-225.
8. Шогенов Б.В., Сабанчиев Х.Х., Тебоева Р.М., Гапова М.А. Снижение аэродинамического шума в зубчато-ременной передаче. // Наука, техника и технология XXI века (НТТ-2007): материалы III Международной н/т конференции. Нальчик, 2007. Т.1. С. 179-182.
9. Сабанчиев Х.Х. Анализ динамики ЗРП с учетом динамического гасителя с трением // Тезисы докладов н/т конференции «Проблемы строительства и машиностроения». Нальчик, КБГУ, 1984.с.17-19.
10. Сабанчиев Х.Х. Шум и вибрация в зубчато-ременных передачах // Извест. СКНЦ ВШ. Сер. «Технические науки». 1981, №2, с.56-59.

References

1. Pushenko S.L., Volkova N.Ju. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4p1y2012/1124.
2. Pushenko S.L., Volkova N.Ju., Staseva E.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2157.
3. Kubo A. Ando, T., S. Sato, T. Aida, Hosutro T. noise of the toothed belt drive - Bulletin of JSME 1971 V.14. №75. pp.991-1007.
4. Postonen U.M. Stanki i instrumenty. №11. 1976. pp. 15-16.
5. Kagotani M., Kovama T. Some Methods to Reduce Noise in Toothed Belt Drive - Bulletin of JSME. vol. 24.-№190, 1981. pp. 723-728.
6. Sabanchiev H.H. Vestnik mashinostroenija. №1. 1987. pp. 32-36.



7. Shogenov B.V. Nauka, tehnika i tehnologija novogo veka (NTT-2003): materialy Vserossijskoj n/t konferencii. Nal'chik: KBGU, 2003. pp. 222-225.
8. Shogenov B.V., Sabanchiev H.H., Teboeva R.M., Gapova M.A. Nauka, tehnika i tehnologija XXI veka (NTT-2007): materialy III Mezhdunarodnoj n/t konferencii. Nal'chik, 2007. V.1. pp. 179-182.
9. Sabanchiev H.H. Tezisy dokladov n/t konferencii «Problemy stroitel'stva i mashinostroenija». Nal'chik, KBGU, 1984. pp.17-19.
10. Sabanchiev H.H. Izvest. SKNC VSh. Ser. «Tehnicheskie nauki». 1981, №2, pp.56-59.