

Пермяков А.А., Клочко А.А., Набока Е.В., Перминов Е.В.
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина
Новиков Ф. В.
Харьковский национальный экономический университет
имени Семена Кузнецца, г. Харьков, Украина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СНИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ШУМА ЗА СЧЕТ СОЗДАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АПРИОРНЫХ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЧИСЕЛ С ФОРМИРОВАНИЕМ ОПТИМАЛЬНОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

Цилиндрические зубчатые передачи ГОСТ 1643-81 формируют и обеспечивают надежную и безопасную работу станков, машин, агрегатов. Как составная часть изделий зубчатые передачи во многом определяют технико-экономические показатели изделий: надежность, ресурс, шум, массу, габариты, стоимость [1, 2].

Зубчатые передачи, как продукт производства, являются наукоемкой продукцией и характеризуются значительной виброактивностью и являются одним из основных источников шума в приводах машин.

Масштабы производства и применения зубчатых передач при постоянно растущих требованиях к их надежности и качеству делают проблему обеспечения и повышения качества передач, в частности их нагрузочной способности и ресурса, очень важной научно технической задачей. При решении подобной задачи важная роль принадлежит науке, составляющей теоретическую основу поиска решения данной проблемы. Одним из направлений такого поиска является дальнейшее развитие технологических методов снижения динамических нагрузок и шума, с целью обеспечения более высокого качества передач еще на стадии проектирования. В рамках общей задачи анализа и синтеза зубчатых передач важное значение имеет проведение динамического расчета, на основе которого определяются основные рабочие характеристики передач: кинематические, силовые, габаритно-прочностные, а также уровень их шума и вибраций,

В общем виде анализ динамики зубчатых передач заключается в построении математической модели (уравнений динамики) передач, отображающей основные динамические свойства передач, и решении полученных характеристических их уравнений. Начальной задачей динамического анализа передач является выбор расчетной схемы, используемой для получения математической модели. В качестве расчетных схем используются кинематические схемы передач, а также схемы в виде идеализированных физических систем с сосредоточенными параметрами. Схемы с распределенными параметрами для указанных целей не применяются. Составление динамических моделей передач в зависимости от их сложности и требований к расчету может осуществляться как тра-

диционными средствами (путем прямого использования положений и методов классической механики и теории машин и механизмов) так и альтернативными методами, в частности, с помощью моделей на графах. Качественная и количественная оценка динамической эквивалентности математической модели и реальной передачи производится по выбранным критериям эквивалентности, в частности, по уровню информативности модели или по условию совпадении частот и форм свободных колебаний модели и ее прототипа в заданном частотном диапазоне. В зависимости от требований к точности динамического расчета расчетные схемы передач могут рассматриваться как с абсолютно жесткими, так и упругими звеньями. В последнем случае принимается, что деформации звеньев при действии заданных возмущений являются малыми, а остаточные деформации отсутствуют, т.е. конфигурация расчетной схемы мод действием нагрузки не меняется. Ввиду неформального характера многих расчетных процедур процесс динамического анализа передач представляет собой весьма сложную и трудоемкую задачу, что нередко приводит к необоснованным упрощениям задачи и в итоге к качественно и количественно неверным результатам. Повышение доступности и результативности динамического расчета может осуществляться путем совершенствования традиционных методов анализа, а также на основе новых более эффективных методов расчета, обеспечивающих как приемлемую точность, так и меньшую трудоемкость расчета, например, за счет большей формализации расчетных процедур.

В современных условиях наиболее эффективным способом достижения высокого качества проектирования зубчатых передач является автоматизация проектных работ на основе компьютерных технологий. Автоматизация проектирования позволяет не только минимизировать ошибки и сокращать сроки проектирования, но и осуществлять качественно новый вид проектирования – оптимальное проектирование. Одним из условий, необходимых для реализации автоматизированного проектирования, является требование формализации проектных и технологических процедур, определяющее возможности и уровень автоматизации проектирования. Такое условие актуально для динамического расчета и расчета на шум зубчатых передач.

Проблемы уменьшения шума и вибрации зубчатых передач, отрицательно влияющих на работоспособность передач и окружающую среду, непосредственно связаны с задачами их динамики. В общем случае вибрации и шум возникают вследствие неравномерного контактирования зубьев при параметрических колебаниях зубчатых колес, опорных подшипников и валов. Их возбуждение вызывается объективными причинами упругой податливостью звеньев передач и переменностью нагрузки, а также погрешностями изготовления и отсутствием полной приработки зубьев шестерни со всеми зубьями сопрягаемого зубчатого колеса [2, 3] .

Основными способами снижения их уровня шума и вибраций передач является минимизация причин их возникновения и демпфирование колебаний. Определение уровней шума и вибраций передач осуществляется в основном экспериментальными методами. Расчетные методы анализа шума и вибраций

передач еще не обеспечивают достаточно точной их оценки при параметрическом синтезе передач. В этой связи совершенствование и поиск новых методов расчета технологических параметров, обеспечивающих снижение шума и вибраций, имеет важное прикладное значение для повышения точности их прогноза и минимизации при проектировании передач.

Применительно к зубчатым передачам улучшение их качества осуществляется за счет повышения надежности, потребительских свойств и снижения стоимости изготовления и эксплуатации. Отказы передач, например, вследствие износа зубьев, в общем случае вызывается разными причинами. Анализ причин отказов зубчатых передач (рис. 1) показывает, что основными факторами являются ошибки при проектировании. К числу таких ошибок можно отнести, в частности, неточное определение показателей качества передач ввиду существенной условности многих видов параметрического расчета, что характерно для эвристического метода проектирования.



Рисунок 1 – Причины отказов зубчатых передач

Причины отказов зубчатых передач в качественном отношении весьма точно характеризуют существующее положение с проектными расчетами передач. Производятся в основном такие расчеты передач, без которых невозможно их проектирование и изготовление, в частности определение массы и исполнительных и контрольных размеров передач. Другие виды расчетов, такие как анализ динамики и шума передач, ввиду их значительной сложности и трудоемкости производятся очень приближенно, что существенно влияет на уровень качества передач. Регулярность проведения таких сложных расчетов, как динамический и виброакустический анализ, потребует в свою очередь обеспечения их точности.

Зубчатые передачи как объект исследования представляют собой источник вибраций и звукового шума в звуковом диапазоне частот. Динамические силы, возникающие при контакте зубьев, нарушают закон движения точки контакта по линии зацепления, возбуждают крутильные и изгибные колебания вращающихся масс колес и порождают инерционные силы и моменты, суммирующиеся с силами внешней нагрузки. Через валы и подшипники эти перемен-

ные силы передаются на опорные конструкции, вызывая в них соответствующие упругие колебания, что представляет собой первый путь распространения шума и вибраций. Передача колебаний непосредственно через воздушное пространство – это второй путь распространения шума. На долю первичного (структурного) шума приходится 80-95 % процентов энергии, а на вторичный (воздушный) – 20 – 5%. Излучаемая при этом энергия определяется величинами внешней нагрузки, динамическими характеристиками передач и режимом их работы. При совпадении частот вынужденных колебаний с собственными частотами колебаний зубчатых колес могут возникнуть резонансные явления. Вынужденные и резонансные колебания колес могут вызывать дополнительные шумы и значительные вибрации. Возбуждение колебаний происходит вследствие изменения нагрузки и жесткости контакта, соударении зубьев и погрешностей геометрии зацепления. Кроме этого, генерируются изгибные колебания валов вследствие дисбаланса валов и колес, которые могут быть критическими при сверхбольших скоростях вращения. Интенсивные поперечные колебания колес возникают также из-за переменных сил трения в зацеплении, что проявляется и основном на резонансных частотах.

Подобные динамические явления, характерные для работы зубчатых передач, при критических значениях могут приводить к снижению надежности и отказу передач, что вызывает потребность проведения анализа динамики, шумности и вибраций передач и их прогнозирования при проектировании.

Целями и задачами динамического и акустического расчета зубчатых передач является определение динамических и шумовых характеристик передач под воздействием переменных во времени внешних и внутренних возмущений. Задачи динамики и акустики зубчатых передач осуществляются по единой методике, различаются только физической природой результатов расчета и могут быть объединены в одну общую задачу динамического анализа передач. При динамическом расчете передача может рассматриваться как подсистема в составе системы привода, так и в виде отдельной динамической системы (рис. 2). Сам процесс динамического анализа передач в методическом отношении условно подразделяется на ряд отдельных этапов, с собственными целями и задачами и выполняемых в определенной последовательности.

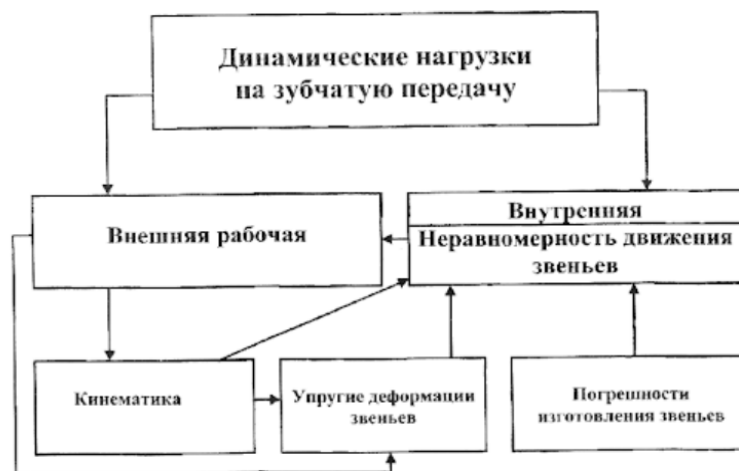


Рисунок 2 – Динамические нагрузки, действующие на зубчатую передачу

На этапе динамического расчета предлагается учитывать технологические параметры поверхностного слоя контактируемых эвольвентных поверхностей зубчатых колес и прогнозирования априорных передаточных чисел [1, 2], что обеспечит полную прирабатываемость всех зубьев шестерни со всеми зубьями колеса.

К числу задач динамического анализа передач относится также установление величины расчетной нагрузки на зубья, неточное определение которой является одной из основных причин возможных отказов передач. При статическом расчете передач расчетная нагрузка и зубья рассматривается как постоянная, эквивалентная среднему значению нагрузочной характеристики на определенном временном интервале.

При динамическом расчете нагрузочная характеристика передач должна учитывать как внешние, так и внутренние силы, возникающие из-за погрешностей изготовления, упругой податливости и трения элементов передач, а также кинематики всей приводной системы.

Следующим шагом является математическое описание расчетной схемы, т.е. разработка системы уравнений (математической модели), характеризующих динамику передачи в произвольный момент времени.

На третьем этапе расчета осуществляется поиск решения полученных уравнений динамики (реализация математической модели), в частности, интегрирование дифференциальных уравнений движения с целью определения числовых значений искомых параметров передач. Завершающим этапом расчета является обработка и анализ полученных результатов с учетом априорности передаточного отношения и формированием оптимального поверхностного слоя зубчатых передач, обеспечивающих эксплуатационные характеристики исполнительных механизмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Математичне моделювання технологічних процесів обробки великогабаритних зубчастих коліс / Ф. В. Новіков, Д. Ф. Новіков, О. О. Ключко, О. Г. Соколов, Д. М. Туманов, А. О. Скоркін // *Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції 31 жовтня – 02 листопада 2018 року* / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2018. – С. 143 – 145.
2. Декларативний пат. на корисну модель u 2018 02191 UA, МПК F16H 5i9/04 (2016.01). Спосіб забезпечення контактування зубів ведучої шестерні з зубами веденого колеса / В. Д. Ковальов, О. О. Ключко, Д. О. Кравченко, О. А. Пермяков, М. І. Гасанов, А. О. Скоркін, О. Л. Кондратюк. – 4 с. : ил.
3. Ключко А. А. Аспекты формирования имитационного моделирования как науки / А. А. Ключко, Е. В. Набока, В. Д. Пепеля // *Всеукраїнська наукова конференція «Розвиток прикладної науки, освіти та студентського самоврядування на Буковині» (26-27 травня 2017 р., м. Чернівці) : матеріали конф.* – Харків: НТУ «ХПІ», 2017. – С. 193–195. – ISBN 978-617-05-0241