

Г.Л.Антипенко, канд. техн. наук, доц., В.А.Судакова, М.Г.Шамбалова

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ МАШИН ИМПУЛЬСНЫМ МЕТОДОМ НА СТАЦИОНАРНЫХ СТЕНДАХ

В данной работе предложены новые технологии диагностирования технического состояния зубчатых зацеплений трансмиссий мобильных машин на стационарных стендах на основе использования импульсного метода, легко реализуемого микропроцессорной системой диагностики. Представлены алгоритмы диагностирования зубчатых зацеплений суммарному угловому зазору, характеризующему износ боковых поверхностей зубьев и по кинематической погрешности, характеризующей наличие погрешности шага зацепления и единичных дефектов зубьев.

Процесс технического диагностирования включает: обеспечение функционирования объекта в заданном режиме (функциональное диагностирование) или подачу тестовых воздействий на объект (тестовое диагностирование), позволяющих локализовать дефект, измерение величины диагностических параметров и постановка диагноза на основе логической обработки полученной информации или путем сопоставления с нормативами.

Диагностирование трансмиссии осуществляется по параметрам технического состояния зубчатых зацеплений, подшипников, фрикционных элементов, синхронизаторов и элементов привода. Но ресурс трансмиссии в основном определяется состоянием зубчатых зацеплений. Контроль технического состояния зубчатых зацеплений в настоящее время в основном осуществляется инструментальными методами, что отражается на трудоемкости получения результатов или виброакустическими, имеющими невысокую точность диагностирования из-за влияния других виброактивных элементов. Поэтому совершенствование методов диагностирования трансмиссии является актуальной задачей.

Состояние зубчатых зацеплений оценивается величиной бокового износа зубьев и наличием единичных дефектов зубьев. Единичные дефекты зубьев – это сколы, выкрашивания рабочих поверхностей зубчатых колес коробок передач, главной передачи, колесных передач, а также раздаточных коробок, коробок отбора мощности. Появление таких дефектов является признаком скорого разрушения сборочной единицы, поскольку они вызывают появление дополнительных динамических нагрузок превосходящих рабочие в 2...3 раза.

При выборе параметров диагностирования зубчатых зацеплений следует иметь в виду, что появление дефектов зубьев является признаком скорого разрушения зубчатой передачи. Поэтому целесообразно отслеживать техническое состояние трансмиссии до наступления этой фазы. В этом случае наиболее приемлемым параметром является суммарный угловой зазор в зубчатых зацеплениях коробки передач и трансмиссии в целом. Этот параметр в настоящее время определяется инструментальным методом - угломером и динамометрическим ключом, трудоемкость которого достаточно велика.

Диагностическими параметрами характеризующими наличие единичных дефектов являются: кинематическая неравномерность вращения выходного вала, виброакустические – шум, удары, возрастание амплитуды напряжений. Замерять и контролировать эти параметры достаточно сложно. По виброакустическим параметрам судить о состоянии зубчатых зацеплений сложно из-за большого числа виброактивных элементов создающих помехи, влияющие на диагностический параметр. Кинематическая неравномерность вращения является наиболее информативным диагностическим параметром, характеризующим наличие единичного дефекта. Однако кинематическая неравномерность вращения выходного вала может быть связана и с цикличностью работы самого двигателя. Поэтому, измерение этого параметра целесообразно проводить на неработающей машине, т.е на приводном стенде, чтобы исключить влияние двигателя и других элементов на точность показаний. Такие стенды широко распространены и используются для оценки технического состояния тормозных систем при проведении технической диагностики машин. Но для этого трансмиссия должна быть подготовлена к диагностированию технического состояния зубчатых зацеплений, т.е. оснащена необходимыми датчиками, связанными с компьютерной системой обработки информации.

Как видно, определять суммарный угловой зазор и кинематическую неравномерность вращения выходного вала достаточно сложно. Анализируя эти параметры, можно прийти к выводу, что они так или иначе связаны с изменением относительного углового положения ведущего и ведомого валов трансмиссии. Следовательно, отслеживая угловое положение валов на входе и выходе трансмиссии, можно приспособить ее для диагностики зубчатых элементов трансмиссий. Но при этом необходима разработка новых подходов к диагностированию, ориентированных на использование современных методов и компьютерных средств.

Одним из таких подходов является использование импульсных методов для диагностирования зубчатых элементов трансмиссий, легко реализуемых современными компьютерными средствами. Суть импульсных методов заключается в отслеживании относительных угловых перемещений ведущих и ведомых элементов трансмиссии по количеству опорных импульсов, генерируемых задатчиком, связанным с ведущей частью трансмиссии, в каждом выходном импульсе зубцовой частоты, снимаемом с ведомой части трансмиссии. Эти методы могут быть использованы как внешними, так и встроенными системами диагностирования.

Для определения кинематической неравномерности вращения ведомого вала относительно ведущего целесообразно воспользоваться импульсным методом, защищенным патентом Республики Беларусь за № 6802 ВУ [1]. Он предполагает отслеживание относительных угловых перемещений ведущего и ведомого валов при передаче вращающего момента от двигателя к ведущим колесам. Для этого с ведущим валом связан задатчик опорного высокочастотного сигнала, а с ведомым – низкочастотного, от зубчатого венца одной из шестерен. Оценка кинематической неравномерности вращения

осуществляется посредством подсчета количества опорных сигналов в каждом выходном. Если их количество одинаково – дефектов нет. Если один из импульсов имеет меньшее число опорных, а последующий большее – имеется дефект, величина которого будет зависеть от этой разницы и места расположения дефекта в кинематической цепи трансмиссии. По периоду повторного появления дефекта можно установить, какому зубчатому колесу принадлежит дефект, поскольку период обращения у каждого колеса свой.

Для автоматизации процесса диагностирования зубчатых элементов трансмиссий по суммарному угловому зазору разработан импульсный метод (патент № 9279 ВУ), также легко реализуемый современными компьютерными средствами [2]. Его особенностью является то, что для определения величины суммарного углового зазора в коробке передач или трансмиссии в целом, на трансмиссию необходимо подать тестовое воздействие, направленное на выбор этого зазора. И тогда, сравнивая количество импульсов опорного сигнала в выходном, легко установить величину суммарного углового зазора.

При диагностировании зубчатых зацеплений механической трансмиссии по суммарному угловому зазору на стационарном приводном барабанном стенде, трансмиссия и стенд должны быть оснащены необходимым количеством легко монтируемых датчиков информации об угловом положении ведущего и ведомого валов. Тестовым воздействием на трансмиссию в этом случае будет реверсирование приводных барабанов, при котором обеспечивается выбор суммарного углового зазора в трансмиссии. Информация от них накапливается в микропроцессорном блоке, выполняющем функции устройства сопряжения с датчиками и накопителя информации, а затем обрабатывается персональной ЭВМ с соответствующим программным обеспечением для постановки диагноза.

Определять угловое положение ведущего вала с помощью датчика тахометра, а ведомого – с помощью датчика спидометра, имеющих на большинстве машин, вряд ли возможно, поскольку там применяют либо индукционные датчики, либо магнитоэлектрические, неустойчиво работающие при малых скоростях. Поэтому, необходимо использовать внешние устанавливаемые датчики углового положения валов. Поскольку доступа к ведущему валу коробки передач у большинства машин нет, то местом установки датчика ведущего вала может быть шкив или шестерня, расположенные на носке коленчатого вала двигателя. Информацию об угловом положении ведомого вала можно снимать непосредственно с ведущих колес или приводного барабана стенда.

Определение суммарного углового зазора в трансмиссии должно осуществляться на всех передачах. Для локализации дефекта, если суммарный угловой зазор превышает допустимый, необходима установка дополнительного датчика углового положения выходного вала коробки передач, который позволит разделить суммарный угловой зазор в трансмиссии на две составляющие – суммарные угловые зазоры в коробке передач и в главной передаче. Это разделение необходимо, поскольку суммарный угловой зазор в коробке передач однозначно характеризует износ зубьев по толщине, а в

главной передаче он еще зависит и от регулировки конической (гипоидной) передачи. Поэтому заключение о техническом состоянии трансмиссии по суммарному угловому зазору, при его превышении, необходимо давать после проверки и регулировки конической (гипоидной) главной передачи.

Для диагностики трансмиссии по суммарному угловому зазору можно использовать роликовые стенды, способные реверсировать приводные барабаны. Такие стенды производятся как в России (КИ-4856, СТМ-8000), так и многими известными фирмами (например, американской фирмой "Burke E Porter", немецкой фирмой МАНА и др.). Общий вид одного из них показан на рисунке 1.



Рисунок 1 - Роликовый тормозной стенд для грузовых автомобилей с максимальной нагрузкой на ось до 18 т IW 7/E немецкой фирмы «МАНА»

При диагностировании трансмиссии по суммарному угловому зазору импульсным методом, на точность измерения будет влиять частота сканирования показаний с первичного преобразователя угла поворота вала, установленного в том или ином месте трансмиссии при невысокой угловой скорости ведущих колес на барабанном стенде. Из-за невысокой скорости приводных барабанов, обеспечивающих скорость машины около 5 км/час, штатные датчики не выдают сигнал требуемого уровня, достаточного для регистрации принимающей аппаратурой. Поэтому, в качестве датчиков углового положения валов хорошо использовать фотоэлектрические энкодеры, уровень выходного сигнала которых всегда постоянен и не зависит от относительной скорости. Фотоэлектрические энкодеры (рисунок 2) имеют приводные валы, из-за чего возникают трудности установки датчиков на входном и выходном валах коробки передач и ведущих колесах машины.



Рисунок 2 – Фотоэлектрические датчики угловых перемещений (энкодеры)

Лучшим решением для данных условий является использование оптических датчиков работающих по методу отражения, которые предназначены для дистанционного измерения скорости и считывания штрих-кодов. Такие датчики удобны для генерирования сигнала углового положения входного вала коробки передач (от носка коленчатого вала) и сигнала углового положения ведущего колеса. Их принцип работы показан на рисунке 3. Они интегрируют в одном корпусе инфракрасный (ИК) излучатель и ИК фотоприемник, которые закреплены в корпусе под определенным углом. Угол пересечения оптических полей излучателя и приемника составляет рабочую область датчика. Если в нее попадает объект, на фототранзистор поступает отраженный сигнал, что приводит к увеличению выходного тока. Как правило, такие датчики имеют малое рабочее расстояние срабатывания. Преимущества этого датчика в том, что он может работать на расстоянии до 12 мм, и имеет широкий диапазон рабочих температур от -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$.



Рисунок 3 – Принцип работы оптического датчика скорости, работающего по методу отражения

Для получения сигнала с выхода коробки передач машины можно применять и оптический датчик меток, если метки располагать на торце фланца карданного вала. Он представляет собой лазерный излучатель, направляемый

на ленту с метками, от которой отраженный сигнал регистрируется приемником, находящимся в этом же корпусе. Данный датчик может работать как в горизонтальном, так и в вертикальном положении, считывать до 10000 меток в секунду и располагаться на расстоянии до 40 мм, что вполне достаточно для определения углового положения карданного вала на выходе коробки передач. Датчик оптических меток будет располагаться под машиной непосредственно возле карданного вала, дистанционно считывая метки, которые будут нанесены на ленте, закрепленной вокруг фланца кардана. Общий вид такого датчика показан на рисунке 4.

Поскольку тестовым воздействием на трансмиссию является реверсирование стенда, то это значит, что к ведущим колесам необходимо подвести вращающий момент от барабанов стенда сначала в одну сторону, а затем в другую, т.е. стенд реверсируется. После реверсирования движения выходной сигнал (с носка коленчатого вала) будет отсутствовать некоторое время, из-за наличия угловых зазоров в зубчатых зацеплениях, а на входе (с ведущего колеса) будут подсчитываться импульсы за тот промежуток, пока не появятся импульсы выходного сигнала. По количеству входных импульсов за промежуток времени между выходными импульсами, можно судить о величине суммарного углового зазора трансмиссии. Этот подсчет и определение зазоров, а также расчет номинальных и предельных зазоров, реализуется с помощью компьютерных программ с выдачей протокола диагностирования.



Рисунок 4 - Оптический датчик меток KT5-2

Для проверки возможности реализации импульсного метода на барабанном стенде проведен расчет параметров стенда и импульсной системы диагностирования механической трансмиссии автомобиля ЗИЛ-5301 «бычок». Схема диагностирования этой трансмиссии на стенде, с учетом изложенного выше, показана на рисунке 5.

Точность определения суммарного углового зазора будет зависеть от правильно подобранных частот входного и выходного сигналов, приходящихся на один оборот вала исследуемой сборочной единицы. Задавшись точностью

определения суммарного углового зазора равной $0,5^\circ$, частота генерирования выходного сигнала за один оборот носка коленчатого вала составит 720 импульсов. Разрешающая способность датчиков, работающих по методу отражения составляет до 0,1 мм между штрихами. Следовательно, минимальный диаметр отражающего диска, предназначенного для установки на носок коленчатого вала, учитывая, что импульс должен содержать темный и светлый штрихи, будет равен 50 мм.

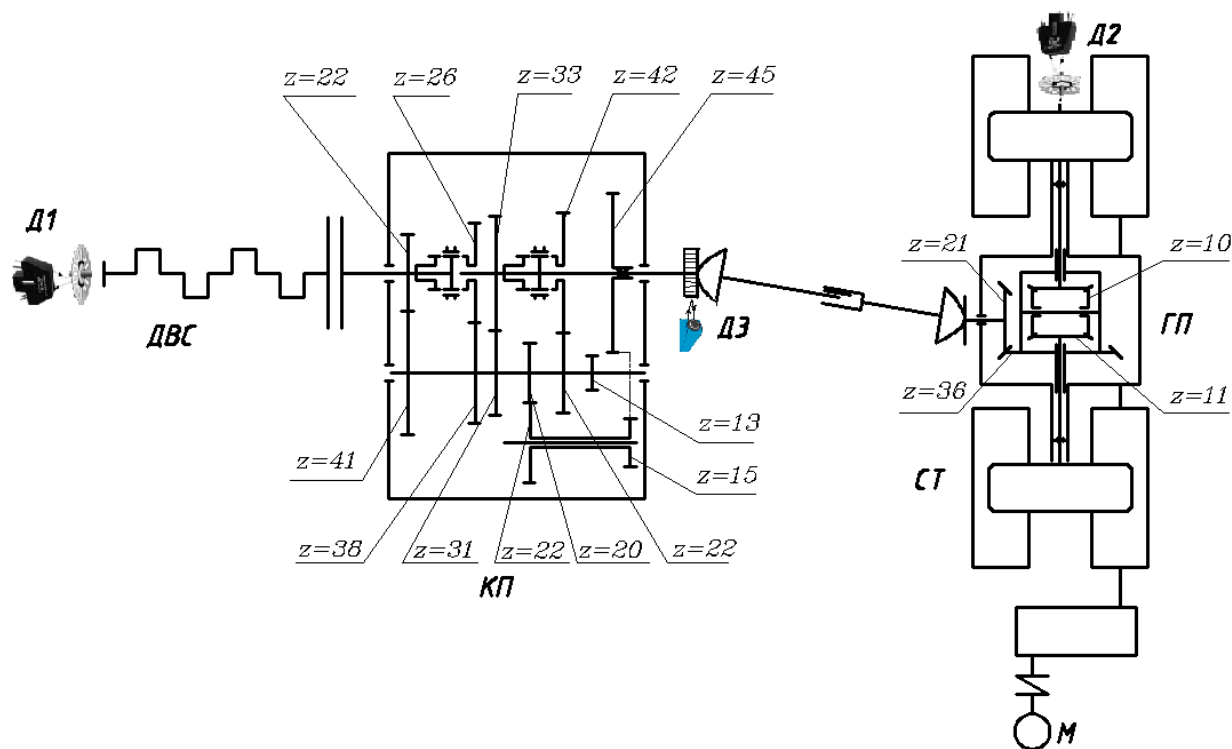


Рисунок 5 - Схема диагностирования механической трансмиссии автомобиля ЗИЛ-5301 на барабанном стенде

Для того, чтобы определить необходимую разрешающую способность датчика, устанавливаемого на выходе коробки передач, необходимо знать разницу между номинальным и предельным зазорами зацеплений высшей ступени. В этом промежутке должно уместиться, как минимум 4 импульса, чтобы можно было различать величину износа зубьев в 25%, 50%, 75% и 100%. Вычислив, что на прямой передаче коробки ЗИЛ-5301 номинальный зазор составляет $0,66$ градуса, а предельный $2,38$ градуса, следует, что на выходном фланце коробки передач должна быть наклеена лента содержащая 900 штрихов, определяемых из выражения:

Разрешающая способность оптического датчика меток КТ5-2, составляет 0,1 мм, что достаточно для использования его в качестве датчика углового положения выходного вала коробки передач автомобиля ЗИЛ-5301, установленного на стенде.

Оптический датчик меток КТ5-2 позволяет считывать до 10000 меток за секунду, что соответствует скорости станда 5 км/ч и по этому параметру удовлетворяет требованиям импульсного метода при диагностировании трансмиссии на станде.

Схема выбора зазора в зубчатых зацеплениях трансмиссии при диагностировании ее импульсным методом на барабанном станде показана на рисунке 6. На отрезке “начальная фаза” отражены показания с датчиков (расположение их см. на рисунке 5) при выборе зазоров в зубчатых зацеплениях от произвольного состояния трансмиссии при вращении барабанов станда в одну сторону. На отрезке “останов” станд выключают. На отрезке “реверс” производится реверсирование вращения барабанов, а следовательно и выбор зазоров в коробке передач, в главной передаче и во всей трансмиссии, а по показаниям датчиков легко определить их величину.

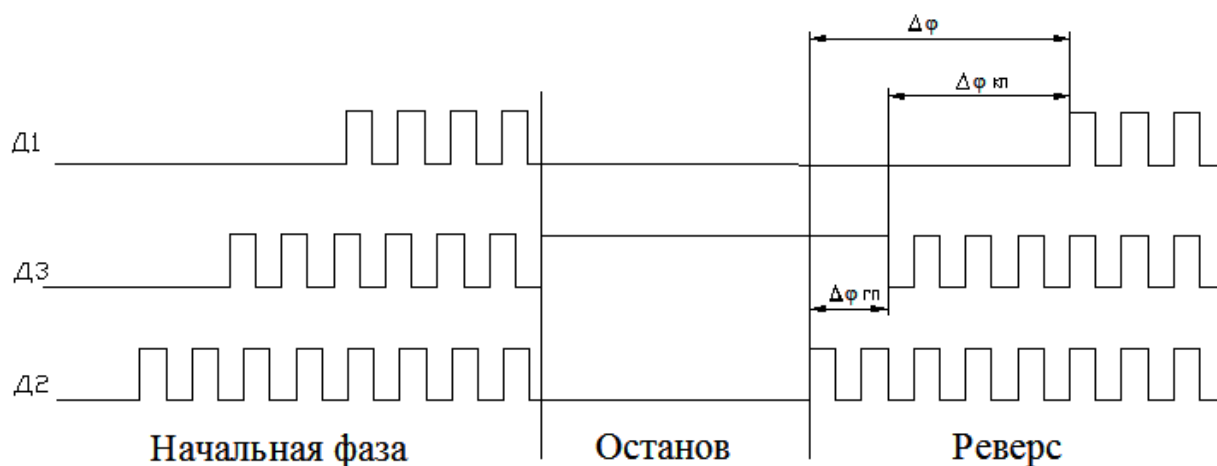


Рисунок 6 – Схема изменения количества опорных импульсов в каждом выходном при выборе суммарного углового зазора

На отрезке “начальная фаза” отражены показания с датчиков (расположение их см. на рисунке 5) при выборе зазоров в зубчатых зацеплениях от произвольного состояния трансмиссии при вращении барабанов станда в одну сторону. На отрезке “останов” станд выключают. На отрезке “реверс” производится реверсирование вращения барабанов а, следовательно, и выбор зазоров в главной передаче $\Delta\varphi_{гл}$, в коробке передач $\Delta\varphi_{кп}$ и во всей трансмиссии $\Delta\varphi$, а по показаниям датчиков легко определить их величину.

Для выбора роликового станда для диагностирования трансмиссии, необходимо чтобы привод барабанов был реверсивным. Мощность привода существенного значения не имеет, так как для выбора суммарных угловых зазоров в трансмиссии затраты мощности незначительны. Если мощность станда значительная и он способен провернуть коленчатый вал двигателя, то выходной сигнал с датчика Д1 будет импульсным, если нет, то импульсов не будет.

Диагностирование трансмиссии по параметрам суммарного углового зазора в зубчатых зацеплениях на приводном роликовом станде импульсным

методом удобны тем, что находящаяся в эксплуатации машина не требует доработки узлов, где должны быть установлены датчики. Однако воспользоваться им можно только для машин с механической трансмиссией. Использование таких стендов для машин с гидромеханической трансмиссией не всегда невозможно, т.к. при создании тестового воздействия (при реверсировании стенда), должно быть обеспечено замыкание фрикционных муфт при неработающем двигателе. Поэтому, диагностирование таких трансмиссий целесообразно проводить в процессе функционирования объекта, т.е. в движении.

На этом же стенде можно диагностировать и наличие единичных дефектов зубчатых зацеплений. Однако определение периода повторного появления дефекта, необходимого для установления его принадлежности тому или иному зубчатому колесу, при использовании низкочастотного выходного сигнала, затруднительно. Для этого на ведомом валу необходимо контролировать его перемещение, соответствующее повороту на один зуб каждого зубчатого колеса в отдельности. Это возможно в том случае, если с ведомым валом связать не низкочастотный, а высокочастотный датчик углового положения, а относительные угловые перемещения входного и выходного вала контролировать не на одном выходном, а на нескольких, соответствующих повороту конкретного зубчатого колеса на один зуб. В этом случае более важна не аппаратная, а программная обработка результатов диагностирования, позволяющая локализовать дефект, т.е. установить принадлежность его тому или иному зубчатому колесу. Зная расположение дефекта в кинематической цепи трансмиссии по значению диагностического параметра можно определить величину этого дефекта и его опасность для дальнейшей эксплуатации машины.

Рассмотренный в статье подход к диагностированию зубчатых зацеплений трансмиссии позволит использовать внешние компьютерные средства с соответствующим программным обеспечением, при минимальном дооснащении существующих стендов и машин в целом. Это существенно облегчает оценку технического состояния трансмиссии, повышает достоверность диагностирования зубчатых зацеплений, как элементов определяющих ее ресурс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 6802 ВУ, С1 G 01М 13/02. Способ диагностирования зубчатых зацеплений механических передач / Г.Л.Антипенко, Д.Г.Антипенко, А.Н.Максименко, Б.М.Моргалик (РБ). - №а20020570; Заявлено 02.07.2002; Оpubл. 30.03.2005.- 5 с. : ил.
2. Пат. 9279 ВУ, С1 G 01М 13/02. Способ диагностирования зубчатых зацеплений механических передач / Г.Л.Антипенко, Д.Г.Антипенко, А.Н.Максименко, Б.М.Моргалик (РБ). - №а20040773; Заявлено 02.07.2002; Оpubл. 30.06.2007.- 4 с. : ил.

Белорусско-Российский университет
Дата поступления рукописи 4.10.2009