

ТРАНСПОРТ

УДК 629.114.2

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

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСМИССИЙ МАШИН ИМПУЛЬСНЫМ МЕТОДОМ НА СТАЦИОНАРНОМ СТЕНДЕ

В данной работе предложена новая технология диагностирования технического состояния зубчатых зацеплений механических трансмиссий машин на стационарном приводном барабанном стенде с использованием импульсного метода, легко реализуемого микропроцессорной системой диагностики. Представлена схема реализации этого метода на основе дистанционного измерения угловых перемещений ведущего и ведомого валов трансмиссии.

Процесс технического диагностирования включает: обеспечение функционирования объекта в заданном режиме (функциональное диагностирование) или подачу тестовых воздействий на объект (тестовое диагностирование), позволяющих обнаружить дефект; измерение величины диагностических параметров; постановку 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.

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, превосхо-

дящих рабочие в 2...3 раза. Поэтому целесообразно отслеживать техническое состояние трансмиссии до наступления этой фазы.

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, создающих помехи, влияющие на диагностические параметры. Так, для оценки величины износа боковых поверхностей зубьев наиболее приемлемым диагностическим параметром является суммарный угловой зазор в зубчатых зацеплениях коробки передач и трансмиссии в целом. Этот параметр в настоящее время определяется угломером и динамометрическим ключом, трудоемкость которого достаточно велика. Диагностическими параметрами, характеризующими наличие единичных дефектов, являются: кинематическая неравномерность вращения выходного вала, шум, удары, возрастание амплитуды напряжений. Наиболее информативным диагностическим параметром, характеризующим наличие единичного дефекта, является кинематическая неравномерность вращения выходного ва-

ла. Однако она может быть связана и с цикличностью работы самого двигателя. Поэтому измерение этого параметра целесообразно проводить на неработающей машине, т. е. на приводном стенде, исключая влияние двигателя и других элементов на точность показаний. Такие стенды широко распространены и используются для оценки технического состояния тормозных систем при проведении инспекционного контроля. Но для диагностирования трансмиссии на таком стенде необходима разработка новых методов и алгоритмов диагностирования состояния зубчатых зацеплений, оснащение ее необходимыми датчиками, связанными с компьютерной системой обработки информации.

Как видно, определять суммарный угловой зазор и кинематическую неравномерность вращения выходного вала, характеризующие техническое состояние зубчатых зацеплений трансмиссий, достаточно сложно. Поэтому необходима разработка новых подходов к диагностированию трансмиссий, ориентированных на использование современных методов и компьютерных средств.

Одним из таких подходов является использование импульсных методов, легко реализуемых современными компьютерными средствами. Они могут быть использованы как внешними, так и встроенными системами диагностирования. Для автоматизации процесса диагностирования зубчатых элементов трансмиссий по суммарному угловому зазору и кинематической неравномерности вращения ведомого вала относительно ведущего разработаны импульсные методы, защищенные патентами в Патентном ведомстве Республики Беларусь [1, 2].

Методы предполагают отслеживание относительных угловых перемещений ведущего и ведомого валов при передаче вращающего момента от двигателя к ведущим колесам и при тестовых воздействиях на трансмиссию, направленных на выбор суммарного углового

зазора. Для этого с ведущим валом связан датчик опорного высокочастотного сигнала, а с ведомым – датчик угла поворота выходного вала. Оценка кинематической неравномерности вращения осуществляется посредством подсчета количества опорных сигналов в каждом выходном или на нескольких выходных импульсах. 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 этого на ведомом валу необходимо контролировать его перемещение, соответствующее периоду обращения каждого зубчатого колеса в отдельности. Это возможно в том случае, если с ведомым валом связать также высокочастотный датчик углового положения, а относительные угловые перемещения входного и выходного валов контролировать не на одном выходном, а на нескольких, соответствующих повороту конкретного зубчатого колеса на один зуб. При таком подходе более важна не аппаратная, а программная обработка результатов диагностирования, позволяющая локализовать дефект, т. е. установить принадлежность его тому или иному зубчатому колесу, а зная расположение дефекта в кинематической цепи трансмиссии, по значению диагностического параметра определять величину дефекта и его опасность для дальнейшей эксплуатации.

При диагностировании зубчатых зацеплений механической трансмиссии по суммарному угловому зазору на стационарном приводном барабанном стенде трансмиссия или стенд должны быть оснащены необходимым количеством датчиков информации об угловом положении ведущего и ведомого валов.

Эта информация направляется на плату сбора данных, выполняющую 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, имеющихся 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 стэнда.

Тестовым воздействием на трансмиссию в этом случае будет реверсирование приводных барабанов, при котором обеспечивается выбор суммарного углового зазора в трансмиссии. 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 стэнды, способные реверсировать приводные ролики. Такие стэнды производятся как в России (КИ-4856, СТМ-8000), так и многими известными фирмами (например, немецкой фирмой «МАНА» и др.). Общий вид одного из них показан на рис. 1.



Рис. 1. Роликовый тормозной стэнд 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 (роликовом) стенде. Из-за невысокой скорости приводных барабанов, обеспечивающих скорость машины около 5 км/ч, штатные датчики не выдают сигнал требуе-

мого 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 (рис. 2) имеют приводные валы, из-за чего возникают трудности установки датчиков на входном и выходном валах коробки передач и ведущих колесах машины.



Рис. 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 штрихкодов. 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 рис. 3. Датчики 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 попа-

дает 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 до $+85$ °С.

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 10 000 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 непосред-

ственно возле карданного вала, дистанционно считывая метки, которые будут нанесены на ленте, закрепленной вокруг фланца кардана. Общий вид такого датчика показан на рис. 4.

Размещение датчиков для диагностирования механической трансмиссии автомобиля ЗИЛ-5301 показано на рис. 5.



Рис. 3. Принцип работы оптического датчика скорости, работающего по методу отражения



Рис. 4. Оптический датчик меток КТ5-2

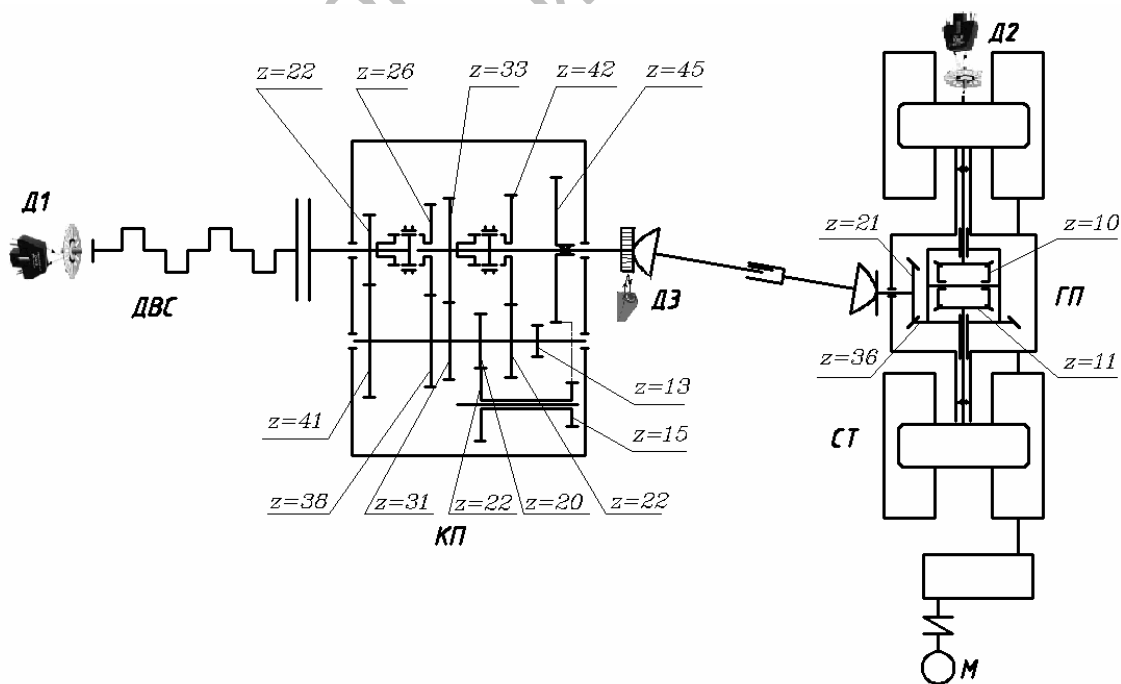


Рис. 5. Схема диагностирования механической трансмиссии автомобиля ЗИЛ-5301 на барабанном стенде

Для определения суммарного углового зазора на стенде необходимо подать на трансмиссию тестовое воздействие. В данном случае тестовым воздействием будет реверсирование стенда. Это значит, что к ведущим колесам подводится 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 импульсов и времени появления входных импульсов можно судить о величине суммарного углового зазора трансмиссии. Схема выбора зазора в зубчатых зацеплениях трансмиссии при диагностировании их импульсным методом на барабанном стенде показана на рис. 6.

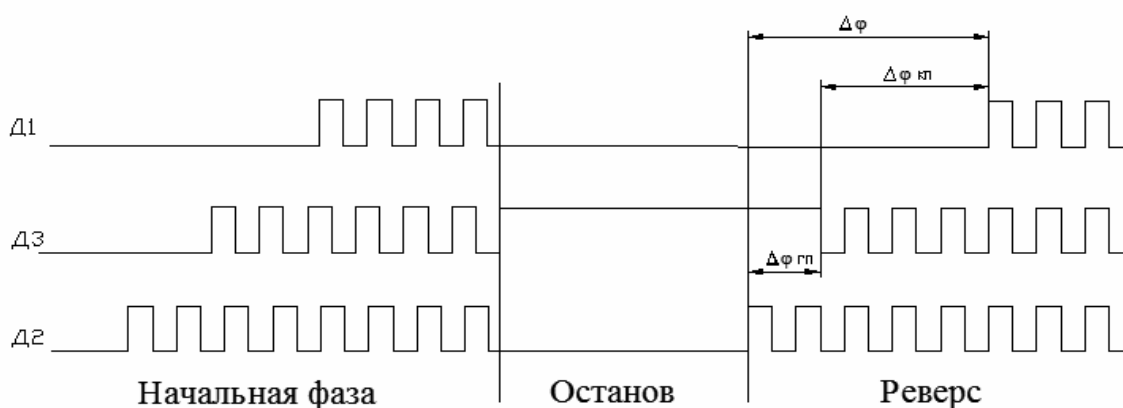


Рис. 6. Схема определения суммарного углового зазора в трансмиссии на барабанном стенде с использованием импульсного метода

На отрезке «начальная фаза» отражены показания с датчиков при выборе зазоров в зубчатых зацеплениях от произвольного состояния трансмиссии при вращении барабанов стенда в одну сторону. На отрезке «останов» стенд 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. Этот подсчет и определение зазоров, а также расчет номинальных и предельных зазоров реализуется с помощью компьютерных программ с выдачей протокола диагностирования.

Точность определения суммарного углового зазора на стенде будет зави-

сеть 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:

$$N_{\text{вых}} = \frac{360^\circ}{0,5^\circ} = 720 \text{ импульсов.}$$

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:

$$d_{\text{кв}} = \frac{0,1 \cdot 2 \cdot 720}{3,14} = 46 \text{ мм.}$$

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 0,5 град, а предельный – 1,02 град, следует, что на выходном фланце коробки передач должна быть наклеена лента, содержащая $N_{\text{кп}}$ штрихов, определяемых из выражения

$$N_{\text{кп}} = \frac{360^\circ}{J_{\text{пред}} - J_{\text{ном}}} \cdot 4 =$$

$$= \frac{360^\circ}{1,02^\circ - 0,5^\circ} \cdot 4 = 2769 \text{ импульсов.}$$

Чтобы разместить на фланце коробки передач ленту, требуется установить промежуточную деталь диаметром не менее 160 мм (это диаметр фланца). Тогда расстояние между штрихами

$$\Delta l = \frac{160 \cdot 3,14}{2769} = 0,18 \text{ мм.}$$

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.

Максимальное количество импульсов, генерируемых на выходе коробки передач за одну секунду N_c , при частоте вращения барабанов, соответствующих скорости движения автомобиля 1 км/ч, можно определить из выражения

$$N_c = \frac{V_a \cdot 1000 \cdot u_2 \cdot N_{\text{кп}}}{3600 \cdot r_k} =$$

$$= \frac{1 \cdot 1000 \cdot 3,273 \cdot 2769}{3600 \cdot 0,39} = 6455 \text{ импульсов,}$$

где u_2 , r_k – передаточное число главной передачи ($u_2 = 3,273$) и радиус качения колеса ($r_k = 0,39$ м) автомобиля ЗИЛ-5301 соответственно.

Оптический датчик меток КТ5-2 позволяет считывать до 10 000 меток за секунду, следовательно, и по этому параметру удовлетворяет требованиям импульсного метода при диагностировании трансмиссии на стенде.

Аналогично определяются параметры для датчика Д2, связанного со ступицей колеса машины. Расчетная величина номинального и предельного зазоров трансмиссии составляет 2,07 и 5,94 град соответственно. Тогда

$$N_{\text{тр}} = \frac{360^\circ}{\varphi_{\text{пред}} - \varphi_{\text{ном}}} \cdot 4 =$$

$$= \frac{360^\circ}{5,94^\circ - 2,07^\circ} \cdot 4 = 372 \text{ импульса.}$$

Минимальный диаметр отражающего диска, предназначенного для установки на ступице ведущего колеса, будет равен:

$$d_{\text{вк}} = \frac{0,1 \cdot 2 \cdot 372}{3,14} = 24 \text{ мм.}$$

Диагностирование трансмиссии по параметрам суммарного углового зазора в зубчатых зацеплениях на приводном роликовом стенде импульсным методом удобно 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 возможно, т. к. при создании тестового воздействия (при реверсировании стенда) аварийный насос, обеспечивающий замы-

кание фрикционных муфт, отключается. По этой причине на стенде установить жесткую кинематическую связь от двигателя до ведущих колес проблематично. Поэтому диагностирование таких трансмиссий целесообразно проводить в процессе функционирования объекта, т. е. в движении.

Для проведения диагностирования трансмиссии на наличие единичных дефектов необходимо знать число импульсов на каждом зубе диагностируемой шестерни со стороны ведущего и со стороны ведомого валов в случае, когда единичный дефект отсутствует, а также когда дефект шестерни значителен (принимается $1/3$ зуба) и может привести к выходу из строя всего механизма. Для этого датчики Д1 и Д2 должны генерировать высокочастотные сигналы.

Методика выявления единичного дефекта и его местоположения в кинематической цепи трансмиссии заключается в следующем: при изменении углового положения приводного вала фиксируется количество опорных сигналов от датчика Д2, соответствующих одному зубу колеса главной передачи, и сопоставляется с количеством опорных сигналов от датчика Д3, соответствующих повороту этого же колеса на один зуб. На основе этого сравнения делают вывод о наличии или отсутствии единичного дефекта зуба колеса. Затем аналогичные операции повторяют для шестерни. Местоположение дефекта определяют по периоду его повторного появления. Для этого по каждому зубчатому колесу кинематической цепи просчитывается количество импульсов, соответствующих полному обороту колеса. Если подсчитанное количество

импульсов совпадает с числом импульсов, соответствующих периоду повторного появления дефекта, то единичный дефект принадлежит исследуемому колесу. В противном случае поиск продолжается по всей кинематической цепи. Для поиска единичных дефектов в коробке передач используют датчики Д1 и Д3.

При выборе роликового стенда для диагностирования трансмиссии необходимо, чтобы привод барабанов был реверсивным. Мощность привода должна обеспечивать проворот коленчатого вала неработающего двигателя на включенной низшей передаче при диагностировании трансмиссии на наличие единичных дефектов. При диагностировании трансмиссии по суммарному угловому зазору затраты мощности на привод незначительны, т. к. мощность расходуется только на выбор суммарных угловых зазоров в трансмиссии.

Таким образом, импульсный способ диагностирования механических трансмиссий машин позволяет с высокой точностью оценить техническое состояние зубчатых зацеплений, используя современные информационные технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 9279 ВУ, С1 G 01M 13/02. Способ диагностирования зубчатых зацеплений механических передач / Г. Л. Антипенко [и др.]. – № а20040773 ; заявл. 02.07.02 ; опубл. 30.06.07. – 4 с. : ил.
2. Пат. 6802 ВУ, С1 G 01M 13/02. Способ диагностирования зубчатых зацеплений механических передач / Г. Л. Антипенко [и др.]. – № а20020570 ; заявл. 02.07.02 ; опубл. 30.03.05. – 5 с. : ил.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 10.11.2009

G. L. Antipenko, V. A. Sudakova, M. G. Shambalova
Diagnosing of vehicles mechanical transmissions
by the impulse method on fixed stand

A new method of vehicles mechanical transmissions gearing technical state diagnosis on the fixed driven drum stand with the use of the impulse method easily performed by microprocessor diagnostics system has been suggested. The method implementation scheme on the basis of driving and driven transmission shaft angular displacements measurement has been presented.