

МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 629.114.2

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

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ФРИКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСМИССИЙ ИМПУЛЬСНЫМ СПОСОБОМ

Рассмотрены вопросы диагностирования технического состояния элементов сцепления механических и фрикционных муфт гидромеханических трансмиссий импульсным способом на примерах автомобилей ЗИЛ-5301 и БелАЗ-7555. Представлены результаты расчетно-теоретических исследований, показывающие высокую информативность и универсальность предложенного способа при определении наличия буксования при передаче максимальных вращающих моментов, при определении качества переключения ступеней в коробке передач по времени буксования фрикционных элементов или по ускорению машины.

Состояние фрикционных элементов трансмиссий – сцепления в механической трансмиссии и фрикционных муфт в гидромеханической, оценивают по наличию буксования при передаче максимальных вращающих моментов. И если в механической трансмиссии буксование сцепления при резком увеличении скоростного режима двигателя опытный водитель может заметить, то буксование фрикционной муфты в гидромеханической трансмиссии при заблокированном гидротрансформаторе обнаружить практически невозможно. Вследствие этого при снижении давления в гидролинии управления фрикционными муфтами из-за повышенных утечек через уплотнительные кольца или при заедании фрикционных дисков в шлицевых соединениях возможно возникновение длительного буксования фрикционных элементов, приводящего к их спеканию. Такие неисправности имеют место при эксплуатации карьерных автомобилей БелАЗ, следствием которых является выход из строя всей коробки передач.

Фрикционные муфты гидромеханических передач необходимо дополнительно проверять по плавности замыкания или работе буксования фрикционных элементов при переключении

фрикционных муфт. Плавность включения фрикционных муфт обеспечивается введением в систему управления клапанов плавности или пропорциональных клапанов, управляемых от электронного блока управления (ЭБУ). Нарушение в их работе в процессе эксплуатации приводит к ухудшению плавности движения при переключении ступеней (резкое переключение) и возрастанию динамических нагрузок в трансмиссии либо к увеличению работы буксования (затянутое переключение) и соответственно быстрому износу, высокому нагреву и короблению пар трения.

Вовремя обнаружить такие неисправности можно при отслеживании технического состояния фрикционных элементов трансмиссии в процессе ее эксплуатации. Для этого следует воспользоваться импульсным способом, легко реализуемым с помощью внешних или встроенных компьютерных средств.

Состояние фрикционных элементов сцепления, которое оценивается отсутствием буксования при передаче максимального крутящего момента от двигателя, является одним из параметров, определяющих ресурс механической трансмиссии. При нарушении регулировки привода сцепления или изно-

се фрикционных накладок ведомых дисков уменьшается усилие сжатия пар трения и, как следствие, уменьшается коэффициент запаса сцепления. Это может привести к появлению пробуксовки сцепления при резком увеличении скоростного режима двигателя в момент обгона, что скажется на безопасности движения. При передаче больших вращающих моментов в тяжелых дорожных условиях, при движении с полной нагрузкой появление буксования может привести к полной остановке движения.

В процессе эксплуатации состояние сцепления, как правило, оценивает сам водитель по своим субъективным ощущениям, т. е. когда такой дефект начинает проявляться в ухудшении качества функционирования трансмиссии. Объективная оценка состояния сцепления осуществляется с помощью стробоскопического фонаря на стационарном стенде. Для этого в топливопровод одной из форсунок дизельного двигателя или к распределителю зажигания бензинового двигателя устанавливают датчик замыкания контактов стробоскопического фонаря из комплекта мотортестера или иной аппаратуры и на прямой передаче освещают крестовину карданной передачи при нагружении ведущих колес тормозным моментом. При отсутствии буксования наблюдается картина неподвижного карданного шарнира, поскольку на прямой передаче происходит кратковременное синфазное освещение одной и той же поверхности, приводящее, из-за инерционности нашего зрения, к наблюдению неподвижной картины вращающегося карданного шарнира. При появлении буксования наблюдается картина проворачивающегося карданного шарнира. Как видно, этот способ достаточно трудоемок и требует наличия тормозного стенда.

Импульсный метод диагностирования сцепления имеет существенные преимущества: он не требует специального стационарного стенда, диагности-

рование возможно при движении машины на любой передаче при нагружении трансмиссии со стороны штатной тормозной системы. Но для этого трансмиссия должна быть оснащена импульсными датчиками угловых перемещений ведущего и ведомого валов трансмиссии с выходом на внешние средства диагностирования в виде ноутбука с соответствующим программным обеспечением или на встроенные средства диагностирования.

Алгоритм диагностирования в этом случае должен анализировать относительные перемещения ведущего и ведомого валов трансмиссии по информации от импульсных датчиков. При равном количестве импульсов опорного сигнала в одном выходном буксовании отсутствует, а по их изменению можно судить о пробуксовке сцепления при передаче больших крутящих моментов. Но поскольку в трансмиссии имеются упругие элементы, влияющие на относительные угловые смещения ведущего и ведомого валов, необходимо знать максимальные отклонения числа импульсов опорного сигнала в выходном, вызываемые не буксованием сцепления, а колебаниями в системе.

Расчеты на математической модели, разработанной для автомобиля ЗИЛ-5301 с механической трансмиссией, показывают, что если техническое состояние сцепления неудовлетворительное, то при нагружении трансмиссии в процессе движения на первой передаче тормозным моментом происходит буксование сцепления (рис. 1). Это сразу же определяется импульсной системой диагностирования по резкому возрастанию количества опорных импульсов в каждом выходном (рис. 2). При начале буксования сцепления (со 2-й с) количество импульсов опорного сигнала в каждом выходном резко возрастает до момента полной остановки машины. После этого одна информационная переменная теряется и подсчет импульсов прекращается.

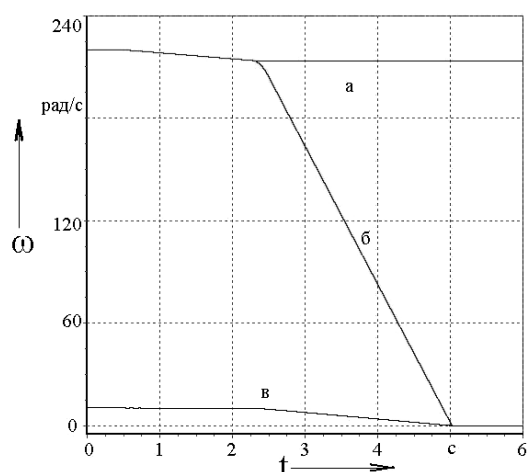


Рис. 1. Изменение угловых скоростей при нагружении сцепления: а – ведущая часть сцепления; б – ведомая часть сцепления; в – выходной вал трансмиссии

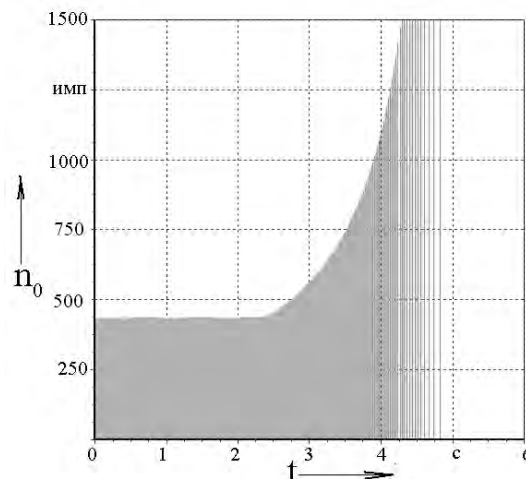


Рис. 2. Изменение диагностического сигнала при буксовании сцепления

Однако при этом следует иметь в виду, что колебания момента на выходном валу при затормаживании машины приводят к незначительным изменениям количества импульсов опорного сигнала в каждом выходном. При использовании в качестве датчика опорного сигнала энкодера, генерирующего 1500 импульсов за один оборот, эти колебания находятся в интервале 360...380 импульсов. Это следует учитывать при оценке результатов диагностирования сцепления, чтобы данные колебания не принять за пробуксовку сцепления.

Таким образом, диагностирование сцепления механической трансмиссии импульсным методом позволяет с высокой точностью и достаточно простыми средствами установить его техническое состояние в процессе эксплуатации машины.

Техническое состояние фрикционных элементов гидромеханической коробки передач (ГМКП) в процессе эксплуатации определить достаточно сложно. Отделить скольжение в разблокированном гидротрансформаторе от буксования фрикциона даже опытному специалисту практически невозможно. А даже непродолжительное буксование

фрикциона может привести к перегреву и короблению фрикционных дисков, а при длительном – к их спеканию. Импульсный же метод позволяет отслеживать в процессе движения относительные перемещения турбинного и выходного валов трансмиссии, а значит и отделять буксование фрикциона от скольжения в гидротрансформаторе [1].

Тестовым воздействием на гидромеханическую трансмиссию при оценке технического состояния фрикциона по параметру наличия буксования при передаче максимальных вращающих моментов может быть нагружение фрикционных муфт штатной тормозной системой в процессе движения. Поскольку при затормаживании машины можно создать момент нагружения, существенно превосходящий момент, на который рассчитан фрикцион, то при отсутствии в трансмиссии датчика момента величину нагружения диагностируемого фрикциона необходимо определять расчетным путем. Это значит, что необходимо найти тот скоростной режим работы двигателя на внешней или частичной характеристике, при котором создается требуемый для диагностирования того или иного фрикциона вра-

шающий момент, и реализовать его в процессе нагружения. Для этого создается универсальная математическая модель гидромеханической трансмиссии, в которую заносят характеристики двигателя, гидротрансформатора, а передаточное число коробки передач на каждой ступени разбивают на передаточное число до диагностируемого фрикциона и после. Это позволяет отслеживать коэффициент трансформации гидротрансформатора в процессе затормаживания машины, а следовательно, контролировать вращающий момент на диагностируемом фрикционе.

При таком подходе к диагностированию фрикциона по параметру наличия буксования при передаче максимального вращающего момента двигатель плавно выводится на предельную регуляторную (при максимальном положении педали акселератора) или из-

вестную частичную характеристику с одновременным плавным затормаживанием машины до достижения расчетной частоты вращения коленчатого вала двигателя, контролируемой по показаниям тахометра на приборной панели кабины водителя, при которой создается требуемый для диагностирования фрикциона вращающий момент.

Адаптация трансмиссии для импульсной диагностики фрикционных элементов гидромеханической трансмиссии БелАЗ-7555 в процессе движения достаточно проста. Для этого необходимы как минимум два элемента – задатчик опорного высокочастотного сигнала Д1, связанный с ведущим (турбинным) валом, и импульсный датчик выходного сигнала Д2, устанавливаемый напротив зубчатого венца колеса, связанного с ведомым валом (рис. 3).

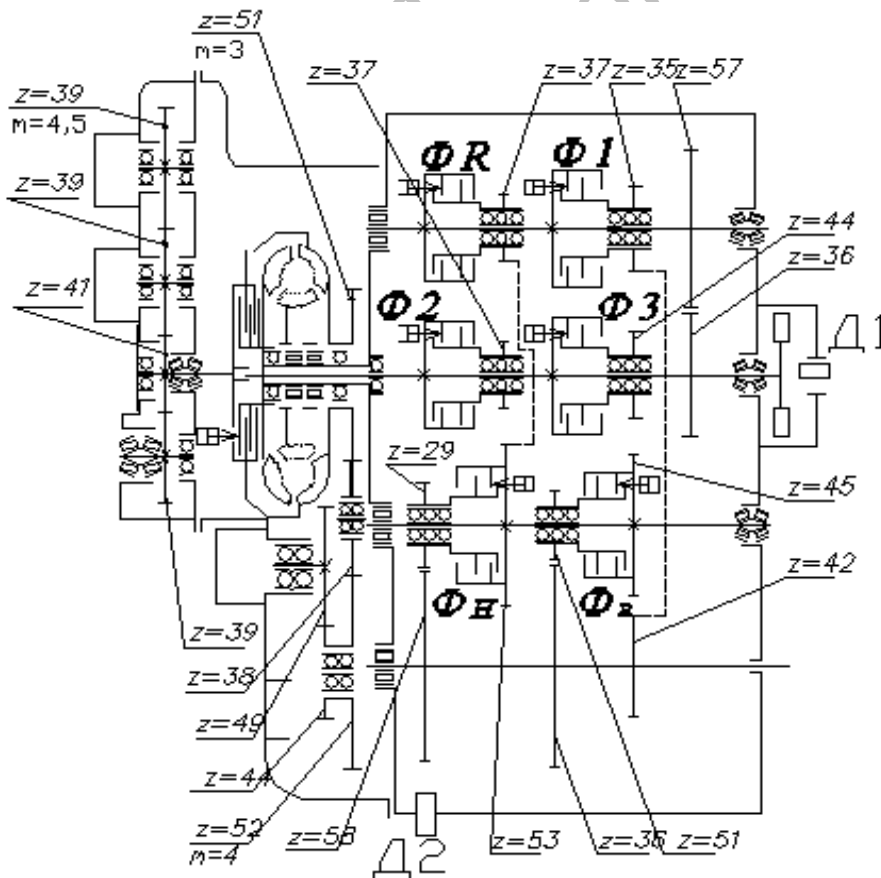


Рис. 3. Схема установки импульсных датчиков на ГМКП БелАЗ-7555

Задатчик Д1 представляет собой инкрементальный энкодер, размещенный на крышке тормоза-замедлителя, генерирующий 1500 импульсов за один оборот. По числу импульсов опорного сигнала за поворот на один зуб шестерни с количеством зубьев 58, связанной с выходным валом, напротив зубчатого венца которой установлен датчик выходного сигнала Д2, можно судить о наличии или отсутствии буксования. Изменение числа импульсов опорного сигнала относительно шага зацепления ведомой шестерни будет свидетельствовать о нарушении кинематической связи между валами, т. е. о наличии буксования фрикциона, а по стабильности числа импульсов можно судить об отсут-

ствии буксования.

При моделировании процесса диагностирования фрикциона, расположенного на турбинном валу, учитывалось, что при нагружении трансмиссии во время движения тормозным моментом изменяется коэффициент трансформации гидротрансформатора, из-за чего момент на фрикционе больше, чем на коленчатом валу двигателя.

Угловая скорость коленчатого вала двигателя при нагружении трансмиссии изменялась от 200 до 152 рад/с (рис. 4, кривая а), а угловая скорость турбинного вала падает значительно больше из-за приближения к стоповому режиму работы гидротрансформатора.

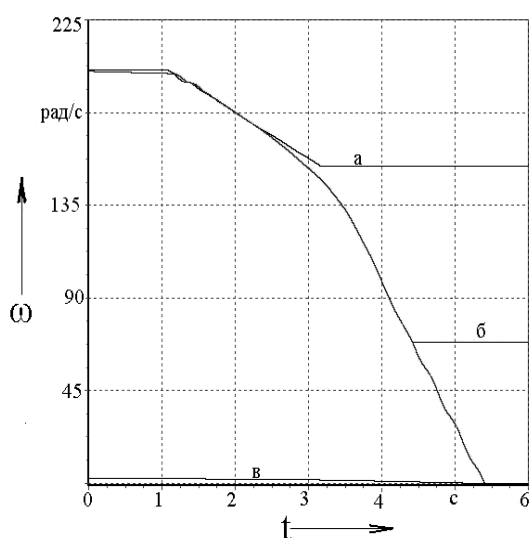


Рис. 4. Результаты моделирования процесса буксования фрикциона: а – угловая скорость двигателя; б – скорость фрикциона при буксовании; в – остановка ведомого вала

При достижении предельного момента фрикционный элемент начинает буксовать (рис. 4, кривая б), а ведомый вал и ведущие колеса, через небольшой промежуток времени (с 4,4 до 5,4 с), останавливаются (рис. 4, кривая в). Именно в этом промежутке времени информационные переменные импульсной системы диагностики выдают четкий

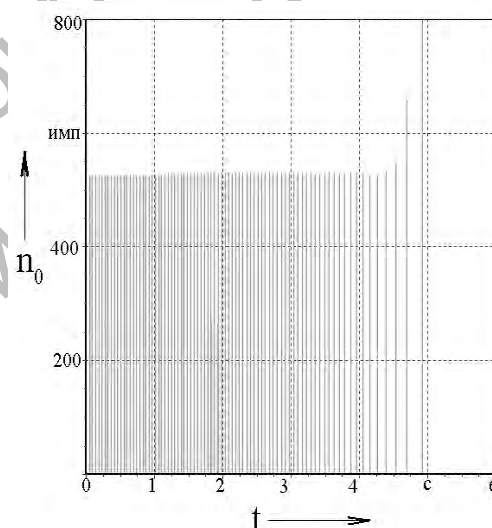


Рис. 5. Определение начала буксования импульсной системой диагностирования

сигнал о буксовании (рис. 5), поскольку число импульсов опорного сигнала в каждом выходном резке возрастает по сравнению со средним значением при отсутствии буксования на данной конкретной передаче. При этом, как и при диагностировании сцепления, необходимо учитывать, что среднее значение числа импульсов опорного сигнала в

каждом выходном при жесткой кинематической связи N_{cp} изменяется на некоторую величину ΔN из-за упругих колебаний ведомого вала относительно ведущего, на котором установлен датчик опорного сигнала. Тогда условие буксования фрикциона будет иметь вид:

$$N_i > N_{cp} + \Delta N,$$

где N_i – текущее значение количества импульсов опорного сигнала в каждом выходном.

Таким образом, импульсная система диагностики позволяет легко распознать буксование фрикциона ГМКП в процессе движения с разблокированным гидротрансформатором.

Диагностирование фрикционных муфт ГМКП по наличию буксования при передаче максимального вращающего момента можно проводить и в условиях ремонтной мастерской. В этом случае машина затормаживается штатной тормозной системой, а диагностируемый фрикцион плавно нагружается моментом двигателя. Поскольку нагружение трансмиссии в данном режиме осуществляется изменением положения педали акселератора, т. е. изменением скоростного режима работы двигателя, то моделирование работы двигателя осуществлялось по частичным регуляторным характеристикам для каждого положения педали акселератора. Это нагружение кратковременно и осуществляется от угловой скорости коленчатого вала, соответствующей угловой скорости холостого хода двигателя, до номинальной. Коэффициент трансформации гидротрансформатора при таком тестовом воздействии на трансмиссию всегда постоянен и равен максимальному значению, т. к. турбинное колесо гидротрансформатора неподвижно. Это упрощает расчет скоростного режима работы двигателя, обеспечивающего требуемый момент для диагностируемого фрикциона.

Алгоритм диагностирования состояния фрикционных элементов в данном случае иной. Он должен включать не анализ шага зацепления на циклических составляющих зубцовой частоты шестерни ведомого вала относительно высокочастотного опорного сигнала, а анализ наличия импульсов опорного сигнала с турбинного вала гидротрансформатора относительно некоторых, дискретно задаваемых периодов времени диагностирования, поскольку ведущий вал неподвижен и связанный с ним датчик импульсов сигнала не выдает. Появление импульсов с датчика, связанного с турбинным валом гидротрансформатора, будет свидетельствовать о буксовании диагностируемого фрикциона.

Расчеты, проведенные на математической модели с параметрами автомобиля БелАЗ-7555, приведены на рис. 6 и 7. В этом случае гидротрансформатор работает в стоповом режиме с максимальным коэффициентом трансформации, увеличивая момент на диагностируемом фрикционе.

При достижении некоторого момента, превышающего момент диагностируемого фрикциона, турбинный вал ГМКП, с которым связан датчик опорных импульсов, начинает вращаться (см. рис. 6, кривая б) и выдавать импульсы, подсчет которых осуществляется, например, с интервалом 0,2 с. Угловая скорость вала двигателя, поскольку между турбинным и насосным колесом имеется нежесткая гидравлическая связь, изменяется от холостого хода до расчетной (см. рис. 6, кривая а), которую должен контролировать водитель по тахометру, поскольку от ее величины зависит требуемый, для диагностируемого фрикциона, момент двигателя. Появление буксования вызовет появление сигнала с датчика и на каждом временном интервале количество импульсов будет возрастать (см. рис. 7).

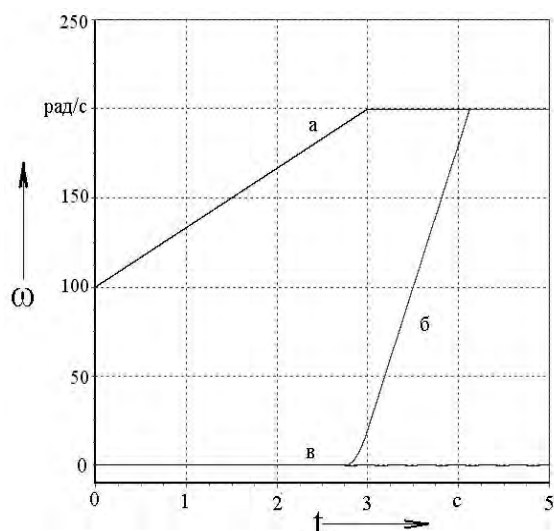


Рис. 6. Графики угловых скоростей при диагностировании фрикциона: а – угловая скорость двигателя; б – скорость турбинного вала; в – скорость выходного вала

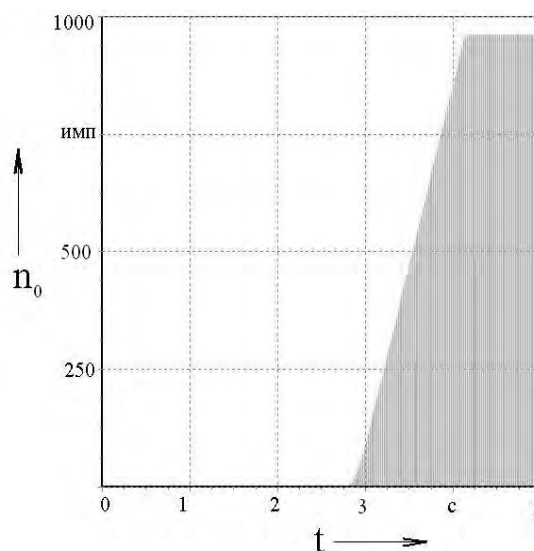


Рис. 7. Определение наличия буксования фрикциона импульсной системой в стоповом режиме

И в этом случае импульсная система диагностики позволяет определить наличие буксования фрикциона при нагружении его максимальным моментом. Величину создаваемого момента рассчитывают по скоростному режиму работы двигателя, положению педали подачи топлива, максимальному коэффициенту трансформации гидротрансформатора и местоположению диагностируемого фрикциона в кинематической цепи трансмиссии.

В процессе эксплуатации ГМКП одним из важнейших показателей является качество переключения передач фрикционными муфтами или тормозами (для планетарных коробок передач). Комплексная оценка технического состояния гидромеханической коробки передач (фрикционных элементов и системы управления ими) осуществляется по длительности буксования при переключении передач. При увеличении длительности буксования увеличивается работа буксования, возрастает температура трущихся пар, которая может привести к перегреву и короблению дисков. Уменьшение длительности буксования приводит к ухудшению плавности дви-

жения машины при переключении ступеней в коробке передач.

Основными неисправностями, вызывающими растянутость во времени процесса переключения ступеней, являются ухудшение работы клапанов плавности или пропорциональных клапанов, пониженное давление в главной масляной магистрали, возникающее при повышенных внутренних утечках, перегреве масла или его вспенивании.

Резкое переключение (рывки при переключении передач) возможно при заедании фрикционных дисков на шлицах ведомой или ведущей части фрикционной муфты или тормоза коробки передач, износе или задире рабочих поверхностей фрикционных дисков, отсутствии свободного хода при потере упругости отжимных пружин.

Таким образом, техническое состояние ГМКП в процессе эксплуатации можно оценивать временем буксования или угловым ускорением выходного вала при переключении ступеней в коробке передач.

Наиболее распространенным способом диагностирования таких неисправностей являются дорожные испы-

тания [2]. Они проводятся на различных режимах движения и определяются субъективно, по ощущениям мастера-диагноста. Точность и объективность такого способа невелика. И здесь незаменим импульсный способ.

Процесс диагностирования технического состояния коробки передач по длительности процесса переключения ступеней импульсным способом поясняется графиками на рис. 8 и 9. При переключении ступеней с низшей

на высшую угловая скорость ведущего вала (см. рис. 8, кривая а) несколько падает, поскольку требуется энергия на разгон машины до более высокой скорости, а угловая скорость ведомого вала (см. рис. 8, кривая б) и выходного (см. рис. 8, кривая в) увеличивается. В этот период времени количество опорных сигналов N в каждом периоде выходных уменьшается в начале процесса переключения до установившегося значения при его завершении.

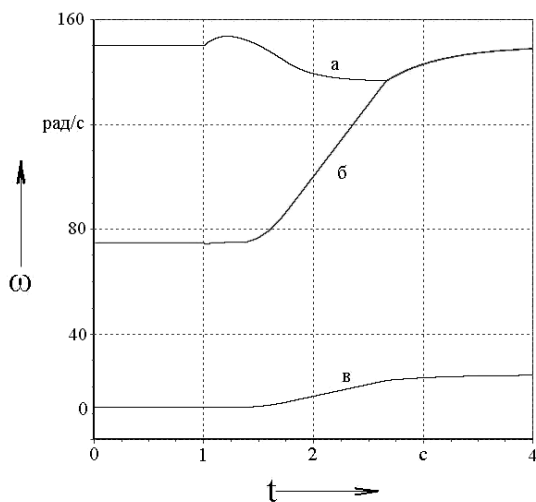


Рис. 8. Изменение угловых скоростей: а – угловая скорость ведущего вала; б – угловая скорость ведомого вала; в – угловая скорость выходного вала

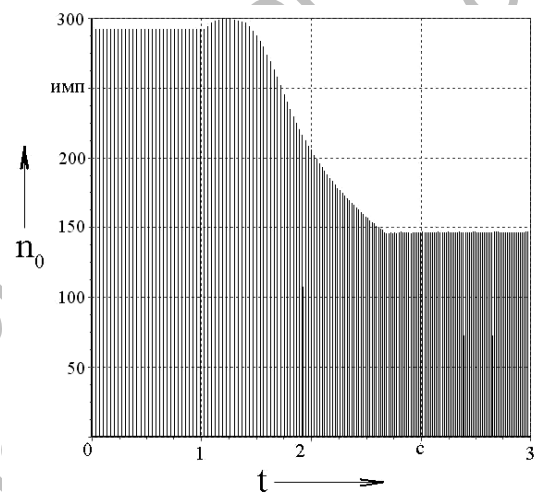


Рис. 9. Характер сигналов системы в коробке при переключении ступеней передач диагностики

Подсчет длительности процесса буксования фрикциона начинается с момента, когда количество импульсов опорного сигнала в каждом выходном на предыдущей ступени N_j начинает изменяться, и до величины N_{j+1} , характерной для последующей ступени. Длительность этого и всех последующих импульсов до момента, когда они уравниваются, и составит время буксования T_{δ} фрикционных элементов, т. е.

$$T_{\delta} = \sum_{i=N_i}^{N_{i+1}} T_i.$$

Продольное ускорение машины при переключении ступени в гидромеханической трансмиссии можно выразить через угловое ускорение выходного вала. Его легко определить из анализа информации от системы диагностики. Угловое ускорение – это приращение угловой скорости $\Delta\omega$ за среднюю продолжительность между соседними импульсами T_i и T_{i+1} , т. е. за период времени $(T_i + T_{i+1})/2$. Поскольку один импульс выходного сигнала – это поворот шестерни, связанной с выходным валом, на один зуб, то приращение угловой скорости $\Delta\omega$, рад/с, найдется из выражения

$$\Delta \omega = 2\pi / z (1 / T_{i+1} - 1 / T_i). \quad (1)$$

Тогда угловое ускорение ϵ_i , рад/с², можно отслеживать постоянно, анализируя длительность соседних импульсов выходного сигнала датчика по зависимости

$$\epsilon_i = 4\pi / z ((T_i - T_{i+1}) / (T_i \cdot T_{i+1}(T_i + T_{i+1}))). \quad (2)$$

Таким образом, используя анализ шага зацепления ведомой шестерни относительно высокочастотного опорного сигнала, генерируемого с ведущего вала, путем подсчета импульсов на каждом периоде зубцовой частоты и длительности этих периодов легко оценить техническое состояние как коробки передач в целом, так и отдельных ее элементов – зубчатых колес и фрикционных муфт, используя компьютер с соответствующим алгоритмом обработки данных как средство диагностирования.

Проведенные расчетно-теоретические исследования показывают, что любую трансмиссию мобильной машины можно легко адаптировать к компьютерной диагностике. При этом можно получить высокую точность постановки диагноза при минимальных затратах, используя современные средства диагностики. Создание системы компьютерной диагностики на основе предложенного импульсного метода диагностирования трансмиссий позволит существенно снизить затраты на эксплуатацию, поскольку трудоемкость ремонтных работ по трансмиссии при выходе ее из строя достаточно велика.

Использование импульсного метода диагностирования фрикционных муфт гидромеханической трансмиссии позволило бы в процессе эксплуатации машин отслеживать их техническое состояние и предупреждать или снижать вероятность указанных отказов трансмиссии. А поскольку получение диагностических параметров требует подачи

на трансмиссию тестовых воздействий, то целесообразно использовать не встроенные, а внешние средства диагностирования. При этом трансмиссия должна быть оснащена как минимум двумя датчиками углового положения – на входном и выходном валах, сведенных в диагностический разъем.

Алгоритм диагностирования фрикционных муфт с применением внешних средств диагностирования (в виде ноутбука) показан на рис. 10.

Выбирая режимы диагностирования ($R = 0$ – диагностирование по наличию буксования при передаче максимального вращающего момента, $R = 1$ – диагностирование по времени буксования при переключении ступеней в коробке передач), производится подача тестового воздействия на трансмиссию. При $R = 0$ осуществляется нагружение трансмиссии штатной тормозной системой до расчетного, для диагностируемого фрикциона, момента. Если буксование не обнаружено по истечении некоторого времени, дается команда на включение следующей передачи. Этот режим диагностирования можно реализовать как в движении, так и в стационарных условиях на стоповом режиме работы гидротрансформатора.

При диагностировании гидромеханической коробки передач по времени буксования фрикционов при переключении ступеней ($R = 1$) необходимо в исходных данных отразить условия тестирования, поскольку время переключения будет зависеть как от дорожных условий, так и от загрузки автомобиля. Для этих условий в базе данных должны быть номинальные и предельные величины времени буксования и углового ускорения, необходимые для постановки диагноза.

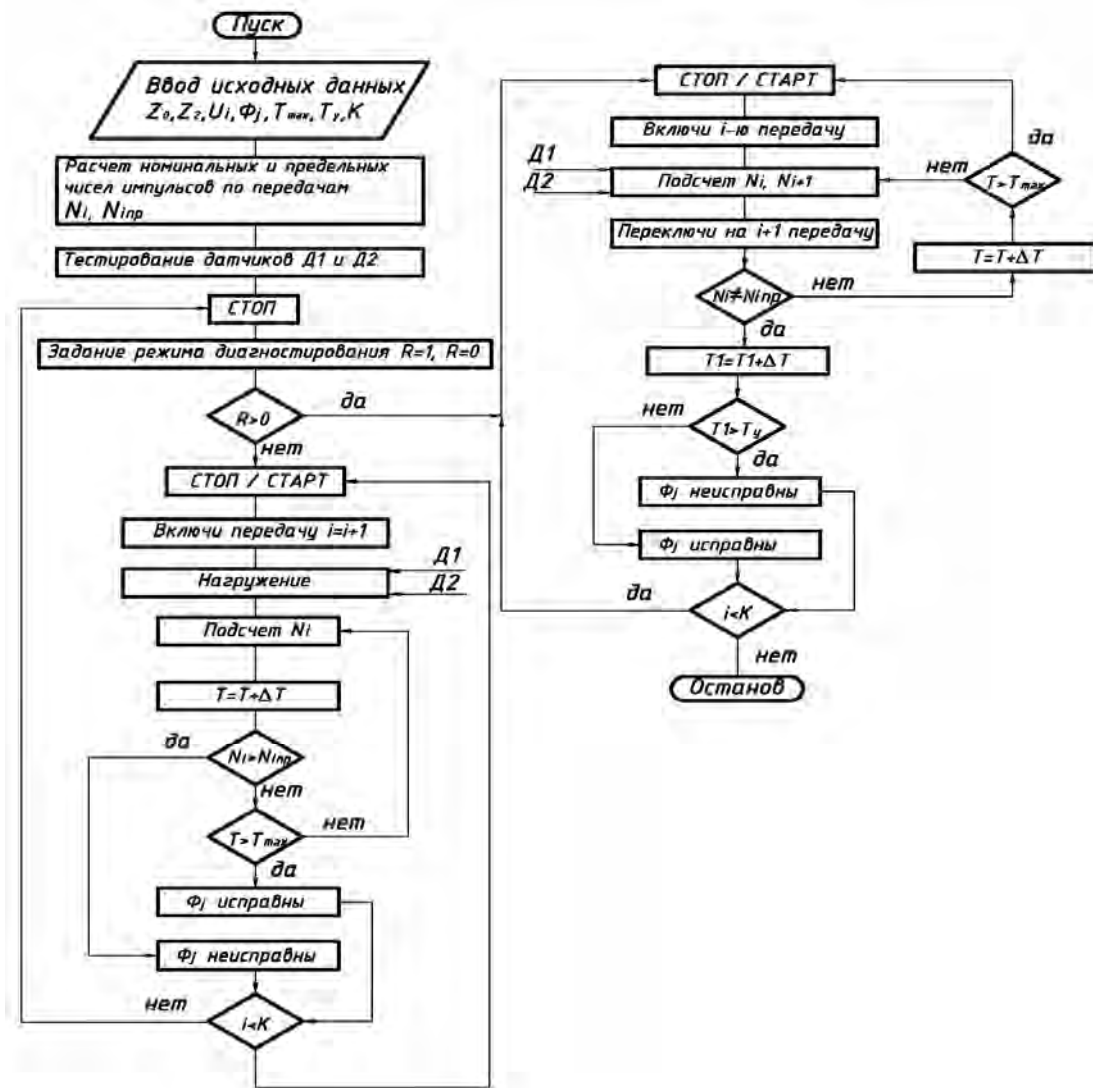


Рис. 10. Алгоритм диагностирования фрикционных муфт ГМКП

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 13401 ВУ, С1 G 01 М 17/00. Способ диагностирования технического состояния фрикционного элемента трансмиссии / Г. Л. Антипенко, В. А. Судакова ; заявитель и патентообладатель Белорус.-Рос. ун-т. – № а 20070926 ;

заявл. 19.07.07 ; опубл. 28.02.09. – 4 с. : ил.

2. Нагайцев, М. В. Автоматические коробки передач современных легковых автомобилей / М. В. Нагайцев, С. А. Харитонов, Е. Г. Юдин. – М. : Легион-Автодата, 2000. – 125 с.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 30.12.2010

G. L. Antipenko, V. A. Sudakova,
M. G. Shambalova
Diagnostics of friction elements of
transmissions by the impulse method

The problems of diagnosing the technical condition of elements of mechanical and frictional clutches of hydromechanical transmissions of ZIL-5301 and BelAZ-7555 vehicles are studied by using the impulse method. The paper gives the results of design and theoretical studies showing high informativity and versatility of the proposed method for determining the availability of skidding in transmitting maximum torque moments, and in determining the quality of step switching in the gearbox regarding the time of skidding of friction elements or the vehicle acceleration.