

## МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 629.114.2

*Г. Л. Антипенко*

### ДИАГНОСТИКА СЦЕПЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ АВТОМОБИЛЯ

UDC 629.114.2

*G. L. Antipenko*

### DIAGNOSTICS OF THE CLUTCH OF MOTOR VEHICLE MECHANICAL TRANSMISSION

#### Аннотация

Предлагается новый метод диагностики или непрерывного мониторинга технического состояния сцепления механической трансмиссии автомобиля в процессе эксплуатации на основе контроля относительных угловых перемещений ведущего и ведомого валов по параметрам буксования при передаче максимального вращающего момента и наличия момента поворота выключенного сцепления, а также по анализу темпа включения сцепления при трогании машины с места.

#### Ключевые слова:

автомобиль, неисправность, диагностика, отказ, износ, буксование, поворота, сцепление, трансмиссия, ресурс.

#### Abstract

The article proposes a new method for diagnosing or continuous monitoring the technical condition of the clutch of motor vehicle mechanical transmission during operation based on monitoring relative angular displacements of the drive and driven shafts using slipping parameters when transmitting the maximum torque and in the presence of the residual friction torque of the disengaged clutch, as well as by analyzing the rate of clutch engagement when the vehicle starts from rest.

#### Keywords:

motor vehicle, malfunction, diagnostics, failure, wear, slipping, residual friction torque, clutch, transmission, resource.

#### Введение

При создании автомобиля конструкторы должны найти компромисс между динамичностью и экономичностью автомобиля, с одной стороны, и надежностью и безопасностью – с другой. Первая задача решается в основном за счет снижения массы автомобиля посредством оптимизации конструкции и снижения запасов прочности, а вторая – за счет повышения запаса

прочности и долговечности элементов конструкции. Надежность агрегатов автомобилей максимальна при работе на установившихся режимах, что доказывает опыт их эксплуатации. Известно, что в условиях загородных маршрутов на хороших дорогах надежность автомобилей существенно выше, чем при эксплуатации в черте города. В городах неустановившиеся режимы работы агрегатов автомобилей обуславливаются, прежде всего, частыми остановками и



последующими разгонами из-за наличия светофоров, пешеходных переходов, железнодорожных переездов и пр. Положение усугубляют также современные реалии с заторами (пробками) на дорогах, достаточно крутые подъемы и спуски на маршрутах движения автомобилей. Все это вызывает необходимость частых торможений, переключений передач и троганий с места. Данное обстоятельство приводит к возрастанию динамической нагруженности агрегатов автомобиля и, как следствие, к интенсификации процессов изнашивания трущихся пар дисков сцепления, зубчатых и карданных передач. Все факторы снижения надежности агрегатов автомобилей в городских условиях эксплуатации особенно ярко проявляются на примере автобусов и маршрутных такси с механической коробкой передач (МКП). По некоторым данным, доля отказов агрегатов механических трансмиссий таких автомобилей составляет 19...23 % от всех отказов. В свою очередь отказы трансмиссии распределяются следующим образом: 70 % – отказы сцепления, 17 % – коробки передач, 10 % – карданной передачи, 3 % – заднего моста [1].

Сцепление передает вращающий момент двигателя и служит для временного отсоединения трансмиссии от работающего двигателя, а также для плавного их соединения. Отсоединять трансмиссию от двигателя необходимо при остановке и торможении автомобиля и при переключении передач; плавно соединять их – при трогании автомобиля с места и после включения передачи. Кроме того, сцепление предохраняет детали трансмиссии и двигателя от значительных перегрузок инерционным моментом, создаваемым вращающимися массами двигателя при резком замедлении вращения коленчатого вала.

При интенсивной эксплуатации автомобиля могут возникнуть различные неисправности сцепления. Разли-

чают неисправности собственно сцепления и неисправности привода сцепления. К неисправностям сцепления относятся:

- износ и повреждения фрикционных накладок ведомого диска;
- деформация ведомого диска;
- замасливание фрикционных накладок ведомого диска;
- износ шлицев ведомого диска или первичного вала коробки передач;
- износ или поломка демпферных пружин;
- поломка или ослабление диафрагменной пружины;
- износ или поломка подшипника выключения сцепления;
- износ поверхности маховика двигателя;
- износ поверхности нажимного диска;
- заедание вилки выключения сцепления.

Привод сцепления, в зависимости от вида, может иметь следующие неисправности:

а) механический привод:

- заедание, удлинение или повреждение троса;
- повреждение рычажной системы;

б) гидравлический привод:

- засорение гидропривода;
- нарушение герметичности системы (подтекание рабочей жидкости, наличие воздуха в системе);
- неисправность рабочего цилиндра (повреждение манжеты).

Дефекты сцепления возникают не только из-за интенсивной эксплуатации, но и по причине нарушения правил эксплуатации, таких как трогание с места на высоких оборотах двигателя, держание ноги на педали сцепления во время движения. В большей степени это отражается на износе ведомого диска сцепления, имеющего ограниченный ресурс. У междугородных автобусов данный элемент исправно служит свыше 100 тыс. км про-



бега, а у городских – ресурс сцепления редко доходит до 50 тыс. км.

В настоящее время неисправности сцепления в основном диагностируют по внешним признакам. Вместе с тем один внешний признак может соответствовать нескольким неисправностям сцепления. Поэтому конкретные неисправности сцепления устанавливаются, как правило, при его разборке. Внешними признаками неисправностей сцепления являются:

- неполное выключение (сцепление «ведет»). Оно сопровождается затруднением при включении передач на работающем двигателе, шумом, треском при переключении передач, увеличением свободного хода педали сцепления. Неисправностями, вызывающими эти признаки, могут быть: деформация ведомого диска, износ шлицев ведомого диска, износ или повреждение фрикционных накладок ведомого диска, поломка или ослабление диафрагменной пружины, неисправность рабочего цилиндра, засорение гидропривода, нарушение герметичности привода, заедание, удлинение или повреждение троса, повреждение рычажной системы;

- неполное включение (сцепление «буксует»). Характеризуется запахом от горения фрикционных накладок ведомого диска, недостаточной динамикой автомобиля, перегревом двигателя, повышенным расходом топлива. Его вызывают: износ или повреждение фрикционных накладок ведомого диска, замасливание ведомого диска, поломка или ослабление диафрагменной пружины, износ рабочей поверхности маховика, засорение гидропривода, неисправность рабочего цилиндра, заедание троса, заедание вилки выключения сцепления;

- рывки при работе сцепления. Вызываются износом или повреждением фрикционных накладок ведомого диска, замасливанием ведомого диска, заеданием ступицы ведомого диска на

шлицах, деформацией диафрагменной пружины, износом или поломкой демпферных пружин, короблением нажимного диска, ослаблением опор крепления двигателя;

- вибрация при включении сцепления. Происходит при износе шлицев ведомого диска, деформации ведомого диска, замасливание ведомого диска, деформации диафрагменной пружины, ослаблении опор крепления двигателя;

- шум при выключении сцепления. Появляется при износе или повреждении подшипника выключения сцепления.

Анализируя влияние дефектов сцепления на работу автомобиля, можно выделить общий признак – это кинематическая погрешность вращения ведомого вала сцепления. Кинематическая погрешность – относительные угловые перемещения ведомого и ведущего элементов сцепления. Современные компьютерные технологии дают возможность отслеживать малейшие относительные перемещения, сложность представляют только алгоритмы идентификации дефектов по этим перемещениям. Данные задачи позволит решить предлагаемая система диагностирования сцепления.

### **Современная технология диагностирования сцепления автомобиля**

Для диагностики сцепления подходит импульсный метод контроля относительных угловых перемещений ведущего и ведомого валов трансмиссии. Применительно к трехвальным коробкам передач (с промежуточным валом) схема системы диагностирования представлена на рис. 1.

Суть метода диагностирования сцепления заключается в генерировании высокочастотного опорного сигнала с зубчатого венца маховика двигателя  $Z_0$  (см. рис. 1) установленным напротив



него датчиком Холла (Д1 на рис. 2) и выходного сигнала с зубчатого венца шестерни промежуточного вала коробки передач  $Z_в$  посредством датчика выходного сигнала (Д2 на рис. 2), реги-

страции этих сигналов на плату сбора данных с последующей обработкой их на компьютере по соответствующим алгоритмам.

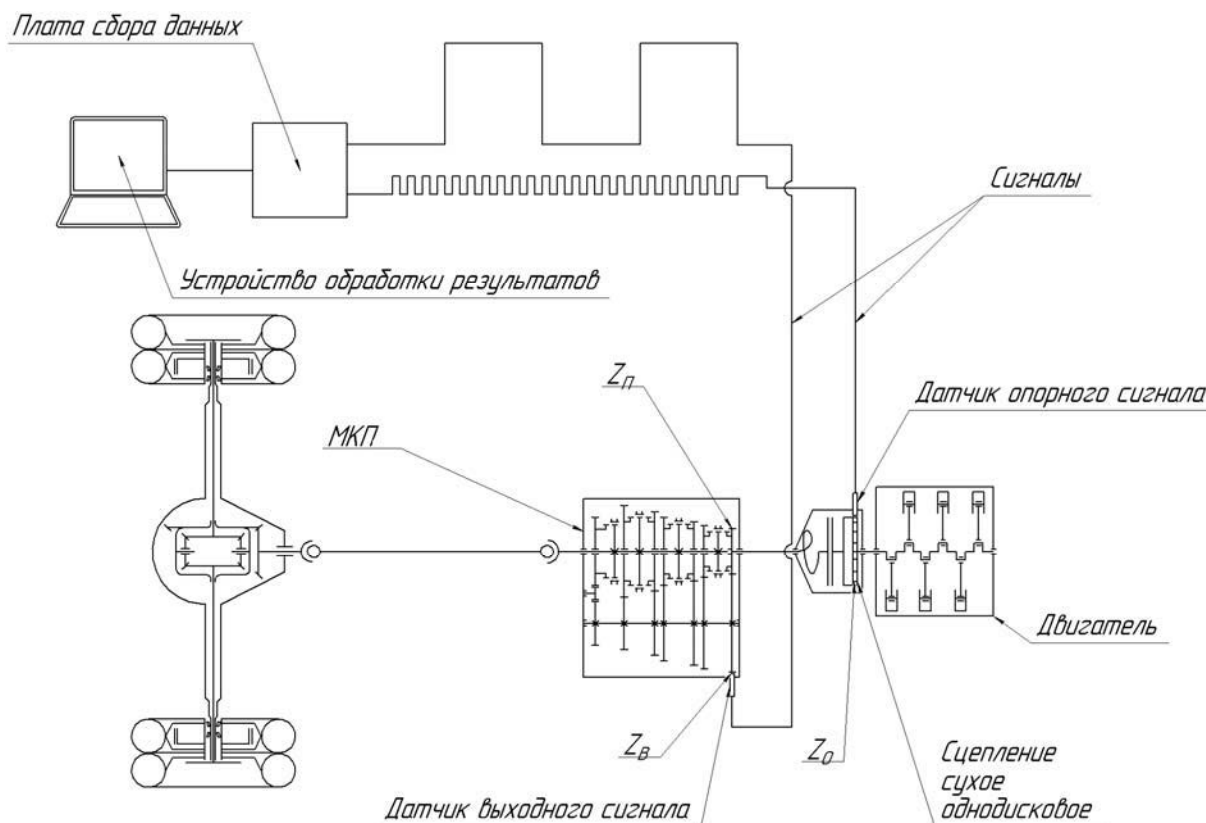


Рис. 1. Схема системы диагностирования сцепления по относительным угловым перемещениям ведущего и ведомого валов

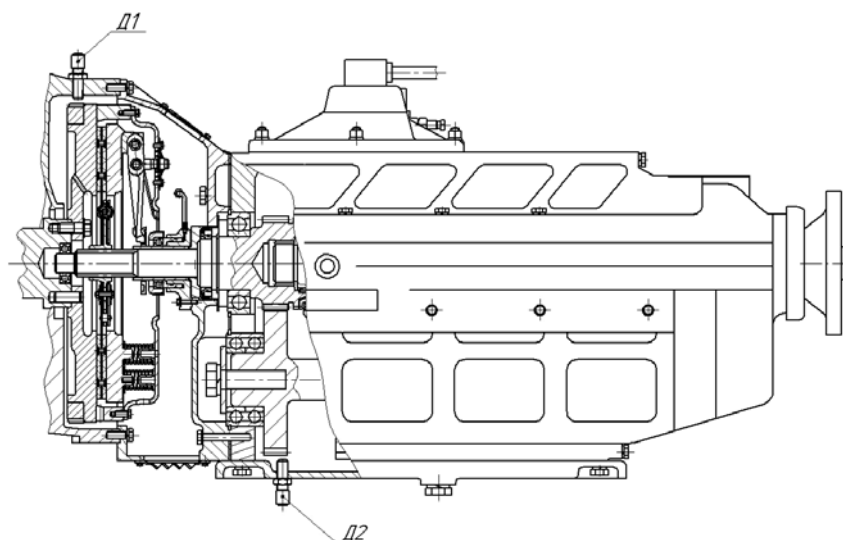


Рис. 2. Места установки датчиков системы диагностики сцепления



Алгоритм обработки предполагает подсчет импульсов опорного сигнала с зубчатого венца маховика двигателя  $Z_0$  за каждый импульс выходного сигнала  $Z_в$ . Если относительные угловые перемещения между ведущим и ведомым дисками сцепления будут отсутствовать, то количество опорных импульсов в каждом выходном будет одинаковым. Так, если зубчатый венец маховика имеет 132 зуба ( $Z_0 = 132$ ), первичного вала коробки передач – 22 зуба ( $Z_n = 22$ ) и шестерни промежуточного вала – 53 ( $Z_в = 53$ ), то в каждом импульсе выходного сигнала будет

$$N_{опн/вых} = N_0 (Z_в/Z_n)/Z_в = 132 \cdot (53/22)/53 = 6 \text{ импульсов.}$$

Для диагностирования сцепления по параметру наличия буксования при передаче максимального момента двигателя на ведомую часть необходимо подать тестовое воздействие в виде момента сопротивления. В качестве тестового воздействия предлагается затор-

маживание машины стояночным тормозом или штатной тормозной системой на первой передаче при максимальной подаче топлива в двигатель. При отсутствии буксования сцепления двигатель должен заглухнуть. На рис. 3 показана диаграмма импульсов выходного и опорного сигналов при диагностировании на отсутствие буксования сцепления при исправной тормозной системе, использованной для создания тестового воздействия. Поскольку ведомый диск сцепления имеет демпфер крутильных колебаний, его упругий элемент при максимальном передаваемом вращающем моменте деформируется, позволяя ведущей части повернуться относительно ведомой на угол  $\varphi$ , составляющий  $2^\circ 30' \dots 3^\circ 40'$  [2]. Это, соответственно, добавит  $0,9 \dots 1,4$  импульса опорного сигнала в нескольких выходных по мере выбора угла  $\varphi$ . После этого кратность опорных импульсов вновь восстановится до момента остановки двигателя ( $N_4 = N_1$ ), хотя длительность каждого последующего выходного импульса  $L$  возрастает (см. рис. 3).

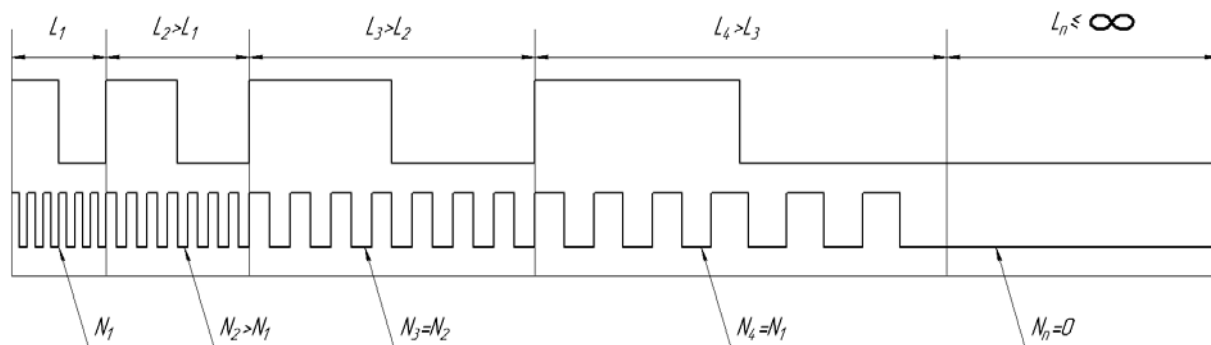


Рис. 3. Диаграмма импульсов выходного и опорного сигналов при отсутствии буксования сцепления автомобиля с исправной тормозной системой

При замедлении в каждом последующем шаге выходного сигнала ( $L_1 < L_2 < L_3 < L_4 \dots L_n \leq \infty$ ) количество опорных импульсов будет ( $N_1 = N_4 \dots N_n \geq 0$ ).  $N_1 < N_2 = N_3$ , поскольку происходит деформация упругого элемента демпфера крутильных колеба-

ний. При буксовании фрикционных дисков ведомый вал становится неподвижным, импульсы с ведомого вала не генерируются, а ведущий вращается и непрерывно генерирует импульсы опорного сигнала (рис. 4).



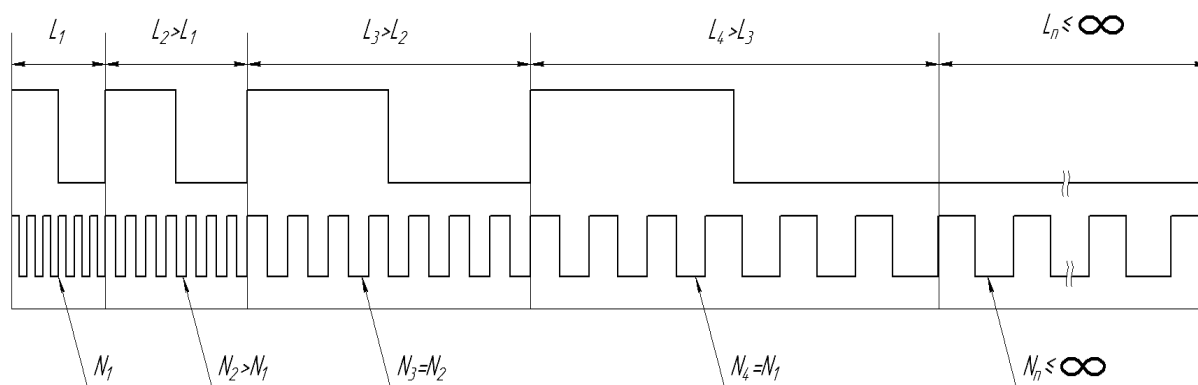


Рис. 4 Диаграмма импульсов выходного и опорного сигналов при буксовании сцепления автомобиля с исправной тормозной системой

При неисправной тормозной системе двигатель не заглохнет и автомобиль будет продолжать движение. Тем не менее определить, было ли буксование сцепления такая система диагностики позволяет. Если в каждом выходном сигнале будет насчитывать-

ся шесть импульсов опорного сигнала, то буксование сцепления будет отсутствовать. На рис. 5 показана диаграмма импульсов выходного и опорного сигналов при диагностировании на отсутствие буксования сцепления при неисправной тормозной системе.

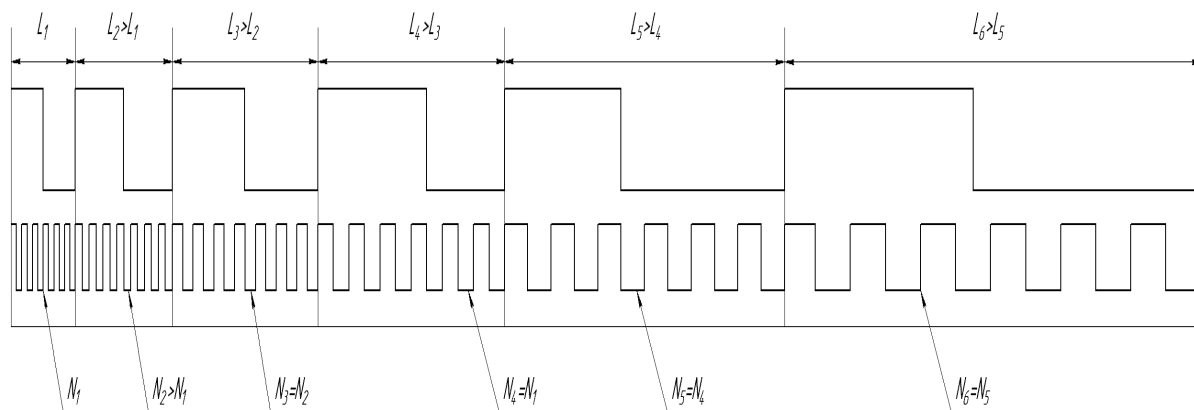


Рис. 5. Диаграмма импульсов выходного и опорного сигналов при отсутствии буксования сцепления автомобиля с неисправной тормозной системой

В этом случае в каждом последующем шаге выходного сигнала ( $L_1 < L_2 < L_3 < L_4 < L_5 < L_6$ ) количество опорных импульсов будет ( $N_1 = N_2 < N_3 = N_4 > N_5 = N_6$ ). Учитывая демпфер крутильных колебаний,  $N_2 < N_3$ .

Если же происходит буксование сцепления, т.е. появятся относительные

угловые перемещения ведущего диска сцепления относительно ведомого, то количество опорных импульсов в каждом выходном при неисправной тормозной системе будет значительно больше шести (рис. 6).

В этом случае в каждом последующем шаге выходного сигнала



( $L_1 < L_2 < L_3 < L_4$ ) количество опорных импульсов будет ( $N_1 < N_2 < N_3 < N_4$ ).

Установка датчика выходного сигнала на шестерне промежуточного

вала трехвальной коробки передач позволяет диагностировать наличие поводок (остаточного момента трения) в разомкнутом сцеплении.

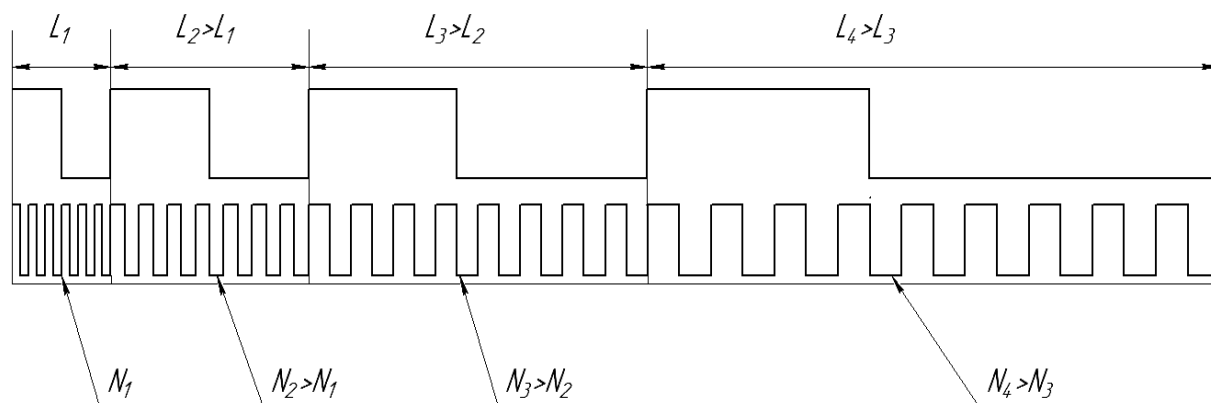


Рис. 6. Диаграмма импульсов выходного и опорного сигналов при буксовании сцепления автомобиля с неисправной тормозной системой

Они появляются, когда нарушена регулировка привода сцепления (неполное выключение сцепления), произошел обрыв или отслаивание фрикционных накладок, а также попадание в зону трения продуктов износа или грязи. Поводки затрудняют процесс переключения передач, т. к. не дают возможность разблокировать запирающее звено синхронизатора при выравнивании угловых скоростей зубчатых полушестерен переключаемой ступени коробки передач. При достаточно большой величине остаточного момента трения даже при полностью выжатом сцеплении автомобиль продолжает движение, не позволяя выключить или включить передачу.

Диагностика этого вида неисправности осуществляется при остановленном автомобиле и «нейтрали» в коробке передач. Запустив двигатель, полностью выжимают сцепление и записывают показания импульсных датчиков Д1 и Д2 в течение 5 с. При отсутствии поводок угловая скорость промежуточного вала уменьшается до нуля в течение некоторого времени, зависящего от накопленной кинетической энергии и момента

сопротивления вращению (рис. 7). В этом случае длительность каждого последующего шага выходного сигнала будет увеличиваться ( $L_1 < L_2 < L_3 < L_4$ ), а количество опорных импульсов будет возрастать ( $N_1 < N_2 < N_3 < N_4$ ).

Наличие поводок сцепления влечет за собой непрерывное вращение промежуточного вала с некоторым отставанием относительно ведущего вала из-за скольжения, величина которого зависит от величины остаточного момента трения. Эти относительные угловые перемещения ведущего и ведомого дисков сцепления отразятся на диаграмме импульсов выходного и опорного сигналов в увеличении количества импульсов опорного сигнала в каждом выходном (рис. 8).

В этом случае в каждом последующем шаге выходного сигнала ( $L_1 < L_2 < L_3 < L_4$ ) количество опорных импульсов будет ( $N_1 < N_2 < N_3 < N_4$ ). При значительных поводках, поскольку момент сопротивления вращению промежуточного вала на «нейтрали» в коробке передач небольшой, длительность выходных сигналов может быть одина-



ковой, а количество опорных импульсов в каждом выходном – минимальным,

соответствующим жесткой кинематической связи (рис. 9).

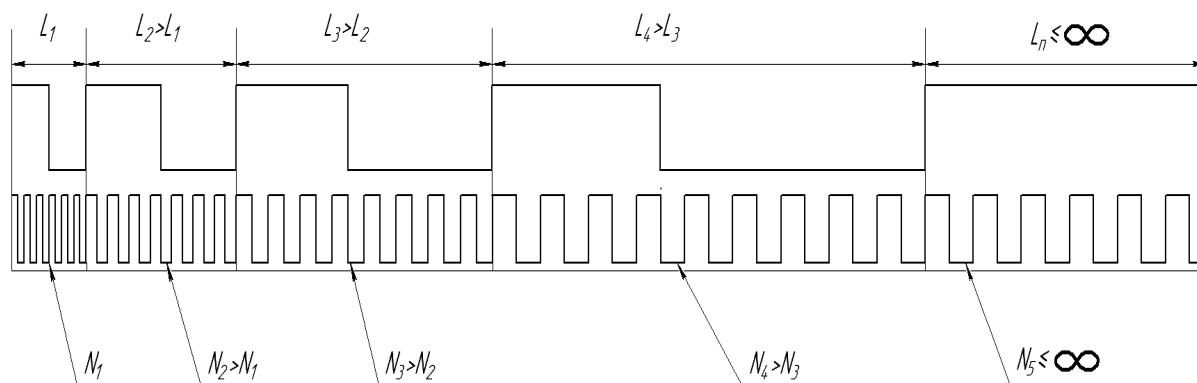


Рис. 7. Диаграмма импульсов выходного и опорного сигналов при отсутствии поводок сцепления

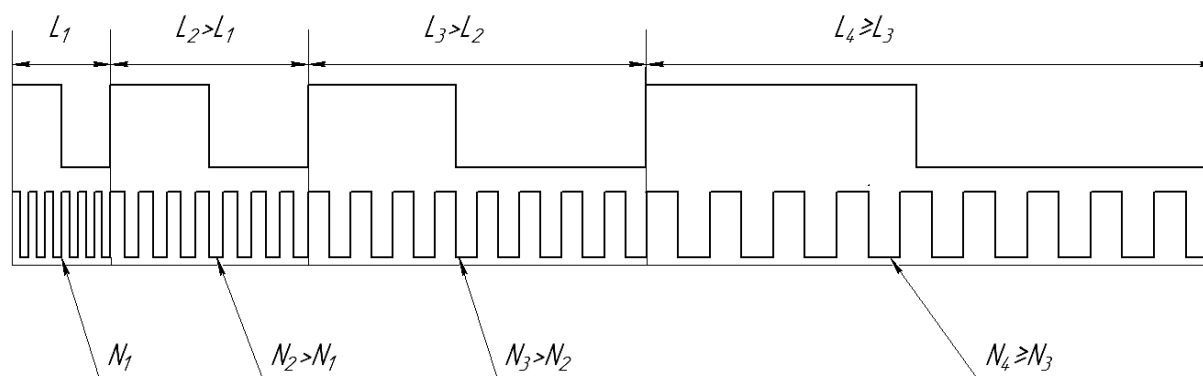


Рис. 8. Диаграмма импульсов выходного и опорного сигналов при наличии поводок сцепления

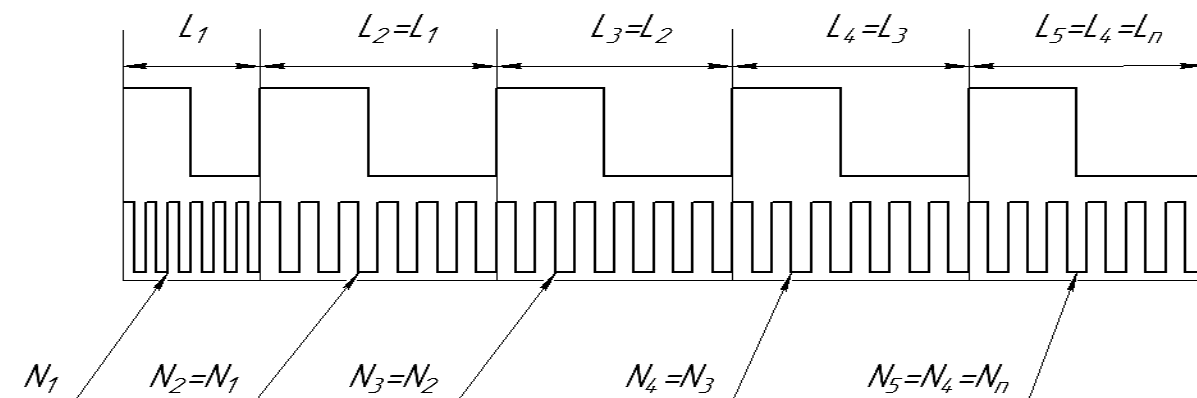


Рис. 9. Диаграмма импульсов выходного и опорного сигналов при значительных поводках сцепления



Мониторинг технического состояния сцепления можно проводить, анализируя процесс трогания автомобиля с места. Износ фрикционных накладок ведомого диска, нарушение регулировки привода сцепления приводят либо к затянутости замыкания сцепления, что влечет за собой повышенную работу буксования и, как следствие, перегрев и, возможно, коробление ведомого диска, либо к резкому включению, вызывающему рывки при трогании и дополнительные динамические нагрузки на двигатель и трансмиссию. Поскольку плавность замыкания сцепления контролирует сам водитель, то для оценки состояния сцепления при различных темпах отпускания педали сцепления и скоростного режима работы двигателя необходима еще одна информационная переменная – перемещение педали сцепления  $h_n$ . Так как сцепление выполняет не только функции отключения и плавного соединения двигателя и трансмиссии, но и предохраняет двигатель от перегрузок при резком нагружении его со стороны трансмиссии, то коэффициент запаса сцепления находится в пределах 1,2...1,4. Это значит, что при отпуске педали сцепления автомобиль тронется раньше, чем будет выбран весь ход педали. Следовательно, если для диагностики сцепления выбрать ровный асфальтированный участок дороги, можно, например, для порожнего автомобиля установить положение педали сцепления  $h_n$  при полном замыкании дисков и образовании жесткой кинематической связи между двигателем и коробкой передач, когда относительные угловые перемещения будут отсутствовать. На это укажет диаграмма импульсов выходного и опорного сигналов. Во время разгона автомобиля сцепление буксует и количество опорных сигналов в каждом последующем выходном будет изменяться на каждом шаге ( $L_1 > L_2 > L_3 > L_4$ ) от некоторого большого значения ( $N_1 > N_2 > N_3 > N_4$ ) до установившегося ( $N_4 = N_5 = N_6 = N_7$

и т. д.), в данном случае до 6 импульсов (рис. 10). Момент, когда установится это равенство, и будет моментом замыкания сцепления, где угловые скорости двигателя  $\omega_d$  и ведомого диска сцепления  $\omega_s$  выравниваются.

Поскольку после замыкания сцепления имеется еще ход педали, то можно с уверенностью констатировать, что диски сцепления сожмутся еще сильнее, т. е. запас сцепления имеется и сцепление находится в удовлетворительном техническом состоянии. При этом темп замыкания сцепления большой роли не играет, поскольку момент замыкания дисков при идентичных условиях испытаний будет одним и тем же.

Если же имеет место затягивание процесса замыкания сцепления, то процесс выравнивания угловых скоростей ведущей и ведомой частей будет после отпускания педали сцепления на шагах ( $L_1 > L_2 > L_3 > L_4 > L_5 > L_6 > L_7$ ), когда количество импульсов будет уменьшаться ( $N_1 > N_2 > N_3 > N_4 > N_5 > N_6 > N_7$ ) до момента выравнивания ( $N_8 = N_7$ ) (рис. 11).

Очевидно, что запас сцепления отсутствует, т. е. техническое состояние сцепления неудовлетворительное, а для установления причины необходимо вначале отрегулировать привод сцепления и повторить диагностику. Если картина осталась неизменной, причиной является износ фрикционных элементов ведомого диска сцепления.

Другая распространенная неисправность – резкое замыкание сцепления при плавном отпуске педали. Это возможно при неотрегулированном приводе сцепления, при отслаивании фрикционных накладок, при заедании ведомого диска сцепления на шлицах первичного вала коробки передач и других дефектах. Контроль относительных угловых перемещений ведущего и ведомого валов импульсным методом и положения педали сцепления позволяет выявить и данную неисправность.



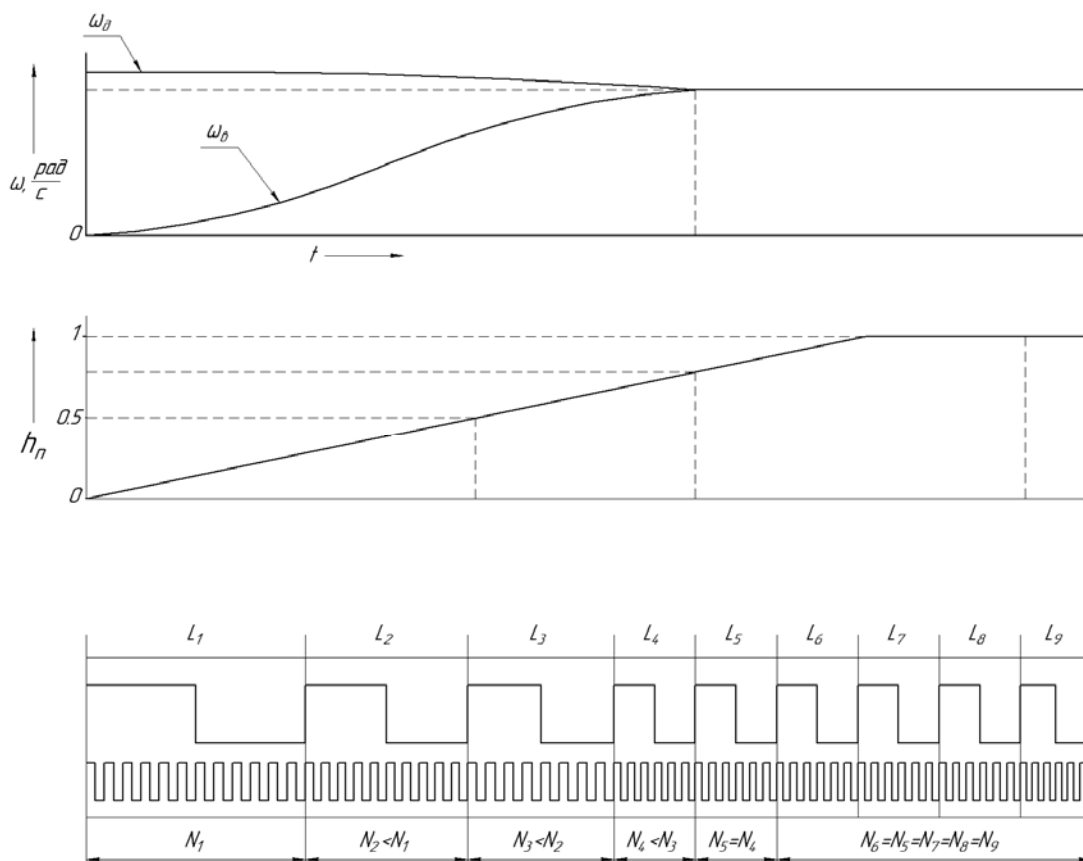


Рис. 10. Графики результата диагностирования исправного сцепления

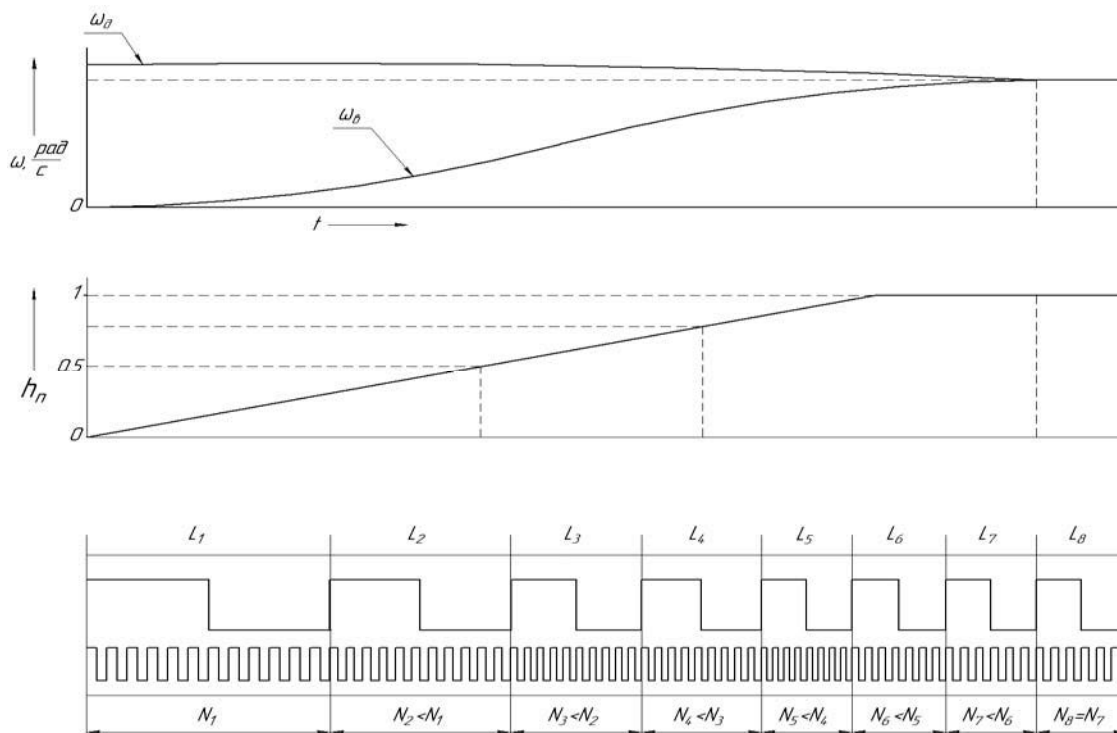


Рис. 11. Результаты диагностирования при затягивании процесса замыкания сцепления

Если на шаге  $L_4$  количество импульсов опорного сигнала в выходном выровнялось ( $N_4 = N_3$ ), что свидетельствует о замыкании сцепления, а поло-

жение педали сцепления  $h_n$  находится далеко от исходного положения, то это будет указывать о наличии вышеназванной неисправности (рис. 12).

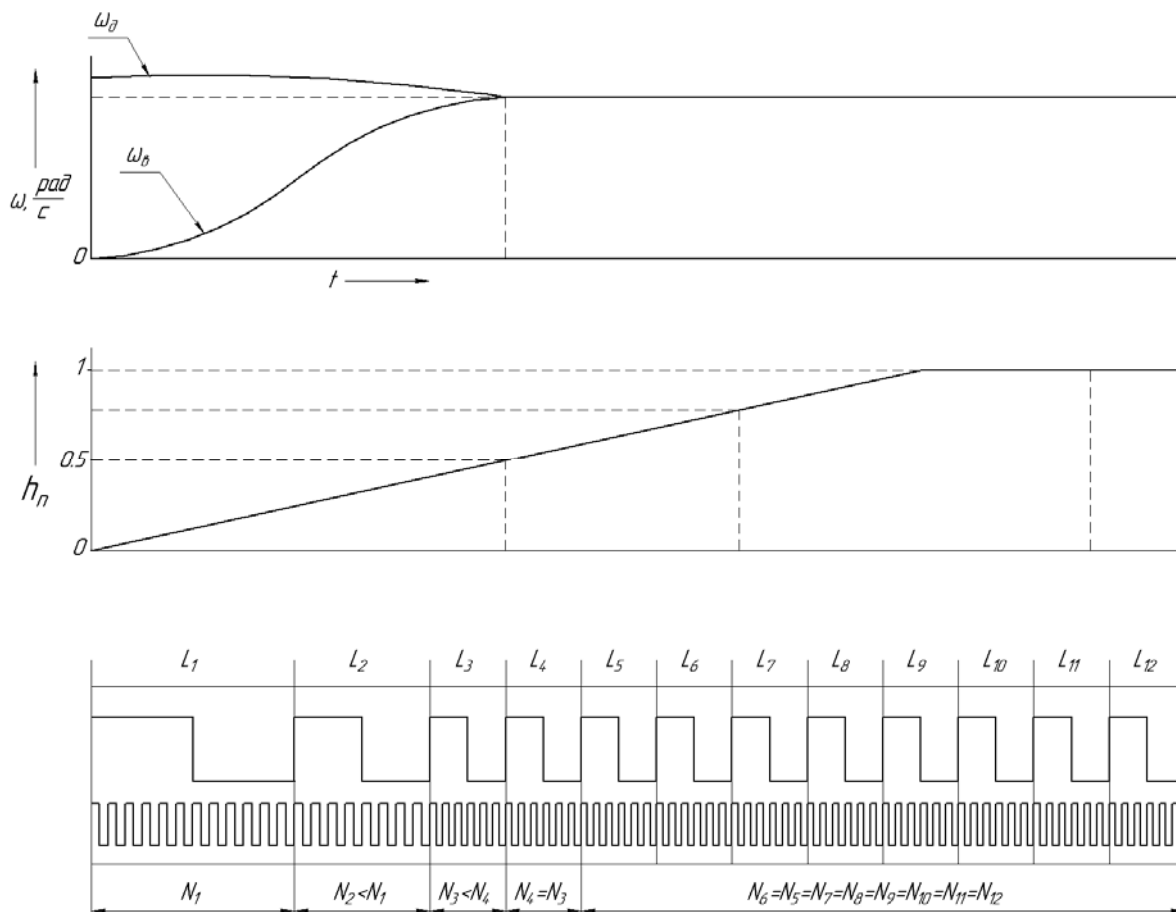


Рис. 12. Результаты диагностирования при резком замыкании сцепления

### Заключение

Таким образом, техническое состояние сцепления механической трансмиссии можно отслеживать в процессе эксплуатации компьютерными средствами, не прибегая к частым и трудоемким техническим обслуживаниям на основе субъективных ощущений водителя или механика. Реализовать описанную систему диагностики на современных автомобилях не вызовет больших затруднений, поскольку в системах зажигания или тахометрах двигателей необходимые датчики уже имеются. Остается только в поддоне

картера коробки передач установить напротив зубчатого венца промежуточного вала датчик Холла и вывести эту информацию либо на регистрирующее устройство (плату сбора данных), либо непосредственно на ноутбук с соответствующим программным обеспечением. Регистрацию положения педали сцепления на время диагностики также осуществить несложно, так как уже имеются электронные педали управления двигателем, которые можно использовать отдельно.

Такой подход позволит обеспечить минимальный уровень затрат по поддержанию автомобилей на требу-



мом уровне надежности и осуществлять дифференцированные технические воздействия, исходя из их кон-

кретного состояния в определенный период эксплуатации.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Кустиков, А. Д.** Проблемы надежности трансмиссий городских автобусов / А. Д. Кустиков, Н. А. Кузьмин, М. Г. Корчажкин // Тр. Нижегород. гос. техн. ун-та им. Р. Е. Алексеева. – 2013. – № 4 (101). – С. 18–26.

2. Автомобили: конструкция, конструирование и расчет. Трансмиссия / А. И. Гришкевич [и др.]; под ред. А. И. Гришкевича. – Минск: Вышэйшая школа, 1985. – 240 с.

*Статья сдана в редакцию 20 января 2020 года*

**Григорий Леонидович Антипенко**, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. Тел.: +375-297-45-34-95.

**Grigory Leonidovich Antipenko**, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University. Phone: +375-297-45-34-95.

