

УДК 629.331

ЗУБЧАТЫЕ МУФТЫ В СОСТАВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ТРАНСМИССИИ: ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОЧНЫХ РЕЖИМОВ

Б. А. Сафонов, асп. / Д. О. Бутарович, к. т. н., доц. / А. А. Смирнов, к. т. н., доц.
МГТУ им. Н. Э. Баумана

В последнее время зубчатые муфты находят широкое применение в автомобилестроении. В частности, использование их в автоматизированных трансмиссиях приводит к упрощению конструкции и снижению веса трансмиссионного агрегата. Наиболее ярким примером является использование зубчатых муфт в автоматизированной планетарной коробке передач, где с их помощью осуществляется включение некоторых ступеней трансмиссии. Такая коробка передач разработана фирмой ZF. Также зубчатые муфты используются для включения передач в роботизированных коробках передач. Зубчатые муфты, оснащённые электроприводом, применяются в раздаточных коробках автомобилей для подключения полного привода, включения блокировки дифференциалов или включения понижающей передачи, а также в блокировках межколёсных дифференциалов в ведущих мостах.

Применение зубчатых муфт позволяет получить ряд преимуществ: простоту конструкции, высокий КПД, снижение веса агрегата. Всё это сказывается на снижении стоимости агрегатов. Но вместе с тем применение зубчатых муфт накладывает определённые ограничения. Включение зубчатой муфты во время движения автомобиля при разных скоростях вращения блокируемых между собой элементов требует их синхронизации. В классической механической коробке передач данную роль исполняет синхронизатор, в планетарной коробке передач — пакеты фрикционов, а в раздаточной коробке нужно либо производить включение при остановке транспортного средства, либо синхронизировать скорости вращения с помощью управления двигателем.

Необходимость синхронизации скорости вращения соединяемых валов требует использования определённого закона включения зубчатой муфты во время движения автомобиля. Кроме того, возникает задача определения ресурса зубчатой муфты при частых включениях, которые могут носить ударный характер.

Для определения ресурса зубчатой муфты можно использовать различные подходы. Очевидно, что на ресурс будет оказывать влияние количество включений и выключений зубчатой муфты в различных режимах. Если зубчатая муфта применяется для

включения передач в автоматической коробке передач, то набранная статистика даст представление о количестве переключений и наиболее нагруженных режимах.

Для определения параметров нагрузочных режимов деталей трансмиссии КМ используют три способа: экспериментально-статистический, расчётный и экспериментальный.

Экспериментально-статистический способ основан на использовании результатов экспериментальных исследований нагрузочных режимов в деталях трансмиссии в различных условиях эксплуатации и нахождении общих закономерностей, присущих определённым классам ТС.

В основе расчётного способа лежит моделирование процессов нагружения трансмиссии в условиях эксплуатации при различных режимах движения КМ и различных воздействиях на трансмиссию. Оба эти способа могут быть использованы на стадии проектирования КМ.

Экспериментальный способ основан на схематизации процессов нагружения деталей трансмиссии, полученных при испытательных пробегах КМ в характерных условиях эксплуатации, и поэтому не может быть использован на стадии проектирования.

В данной статье рассмотрен экспериментально-статистический способ определения количества



Рисунок 1.
Зубчатая муфта



Рисунок 2.
Объект эксплуатационных испытаний — автомобиль ГАЗ-33027

переключений передач за один километр движения автомобиля.

В 2012 году МГТУ им. Н. Э. Баумана по заказу ООО «Объединённый инженерный центр», входящего в «Группу ГАЗ», проводил эксплуатационные дорожные испытания двух предсерийных лёгких коммерческих автомобилей: ГАЗ-33027 с двигателем Cummins ISF 2.8 и ГАЗ-2705 с двигателем УМЗ-4216 с газобаллонным оборудованием. Испытания проводились специалистами кафедры колёсных машин. Подробнее о проведении испытаний рассказано в статье [1].

Программа испытаний автомобилей включала в себя движение по дорогам общего пользования с заданным распределением пробегов на междугородних шоссе, в городской черте, в горной местности, по грунтовым дорогам и бульвару.

Для считывания и регистрации указанных параметров автомобиля были оснащены бортовыми контроллерами «АвтоГРАФ-GSM (ГЛОНАСС)» (см. рис. 1), производимыми компанией ООО «ТехноКом» (г. Челябинск), подключаемыми к шине CAN автомобиля.

С помощью установленного на автомобиле оборудования производилась запись географических координат, скорости, пройденного расстояния от последней контрольной точки, частоты вращения двигателя с соответствующими отметками времени. Эти данные с помощью программного обеспечения «АвтоГРАФ» экспортировались в файл в текстовом формате для последующей статистической обработки в программном пакете MATLAB [2].

Для автоматизированной статистической обработки данных была разработана программа на языке пакета MATLAB. Особенности созданной программы следующие.

Как указано в вышеупомянутой статье [1], установить датчики, позволяющие непосредственно определять номер включённой передачи, не представлялось возможным. Поэтому определение номера включённой передачи осуществлялось по двум параметрам: скорости вращения коленчатого вала двигателя и скорости движения автомобиля. Разработанная программа, используя значения передаточных чисел раздаточной коробки и ведущего моста, значение радиуса качения колеса, вычисляет отношение частоты вращения коленчатого вала двигателя к частоте вращения выходного вала коробки передач. Путём сравнения полученных значений с известными передаточными числами коробки передач определяется номер передачи или отсутствие

Таблица 1. Количество переключений передач автомобиля за один километр по маршруту Москва — Балашиха

Номер передачи	Повышение						Место для диаграммы. Рисунок 5. Распределение количества переключений передач автомобиля за один километр по маршруту Москва — Балашиха
	N	1	2	3	4	5	
N	0,00	0,76	0,24	0,03	0,00	0,00	
1	0,93	0,00	1,86	0,03	0,00	0,00	
2	0,10	1,52	0,00	1,62	0,28	0,03	
3	0,00	0,28	1,17	0,00	0,86	0,21	
4	0,00	0,07	0,17	0,48	0,00	0,62	
5	0,00	0,21	0,10	0,34	0,21	0,00	
Понижение							
Суммарное количество переключений					352		
Суммарный пробег автомобиля по маршруту, км					29		
Среднее количество переключений за один километр пути					12,1		



Рисунок 3.

Бортовой контроллер «АвтоГРАФ-GSM (ГЛОНАСС)»

кинематической связи между валом двигателя и выходным валом коробки передач, что соответствует выключению сцепления или нейтральной передаче.

Подсчёт числа переключения передач целесообразно производить отдельно для загородного и городского режимов движения, а также в смешанном режиме движения. Разделение загородного и городского циклов можно осуществлять с помощью географических параметров, используя показания датчика GPS (ГЛОНАСС) и сопоставляя их с картой автодорог. Из полученных маршрутов были сделаны выборки, соответствующие режимам движения по данным GPS. Характерный маршрут движения испытываемого автомобиля в городском режиме (Москва — Балашиха) представлен на рис. 4.

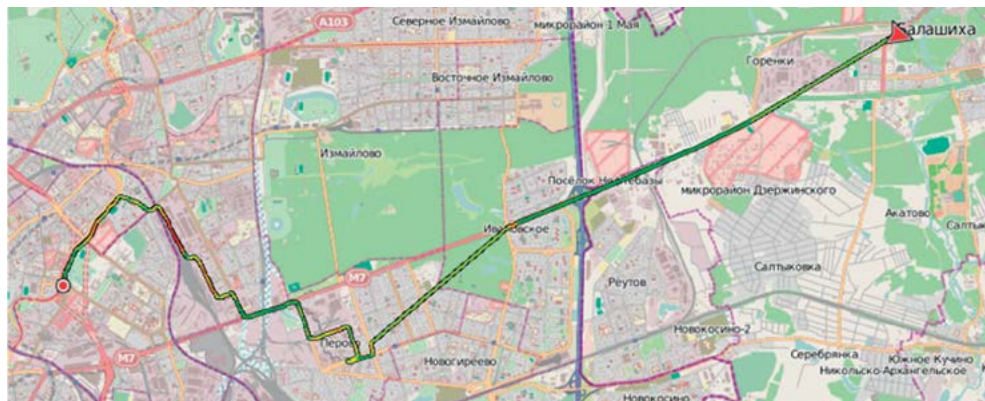


Рисунок 4. Маршрут движения автомобиля в городском режиме

Таблица 2. Количество переключений передач автомобиля за один километр по маршруту Нижний Новгород — Ульяновск

Номер передачи	Повышение					
	N	1	2	3	4	5
N	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1	0,02	0,00	0,10	0,01	0,00	0,00
2	0,02	0,07	0,00	0,10	0,00	0,00
3	0,00	0,01	0,03	0,00	0,16	0,01
4	0,00	0,01	0,01	0,06	0,00	0,18
5	0,00	0,02	0,04	0,04	0,09	0,00
	Понижение					
Суммарное количество переключений					484	
Суммарный пробег автомобиля по маршруту, км					472	
Среднее количество переключений за один километр пути					1,025	

Место для диаграммы. Рисунок 7. Распределение количества переключений передач автомобиля за один километр по маршруту Нижний Новгород — Ульяновск

Для наглядного представления количества переключений передач будем использовать матрицу переключений размерности 6×6 . Наименование каждого столбца и строки соответствует номеру передачи, N — нейтраль. В ячейках матрицы — число переключений передач за один километр пробега по маршруту. Над главной диагональю (помечена серым) — количество переключений с повышением передачи. Под главной диагональю — переключение с понижением передачи. Допустим, в ячейке, соответствующей строке 1 и столбцу 2, стоит числовое значение 1,86. Это значит, что среднее количество переключений с 1-й передачи на 2-ю составило 1,86 за один километр пройденного маршрута.

Аналогично в ячейке, соответствующей строке 4 и столбцу 1, стоит числовое значение 0,07, которое указывает среднее число переключений с 4-й передачи на 1-ю за один километр движения по маршруту.

В таблицах также выделены цветом максимальное и минимальное количества переключений, указаны суммарное количество переключений и среднее количество переключений по всем передачам за один километр движения по маршруту.

В табл. 1 и на рис. 5 представлены данные о количестве переключений передач при движении в городском режиме по маршруту Москва — Балашиха.

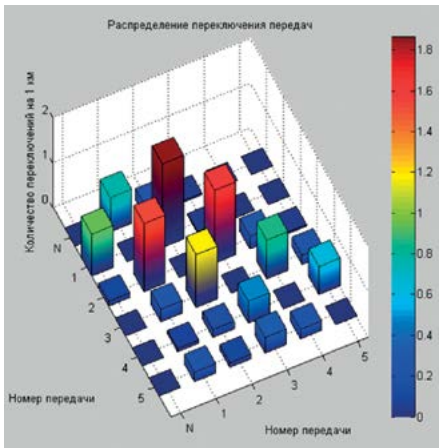


Рисунок 5. Распределение количества переключений передач автомобиля за 1 км по маршруту Москва — Балашиха

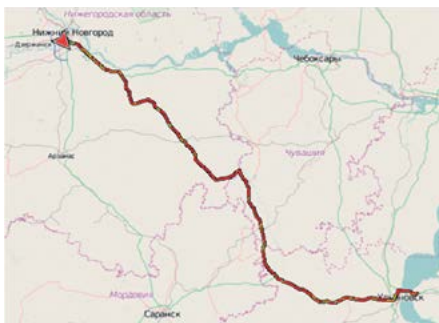


Рисунок 6. Маршрут движения автомобиля в загородном режиме

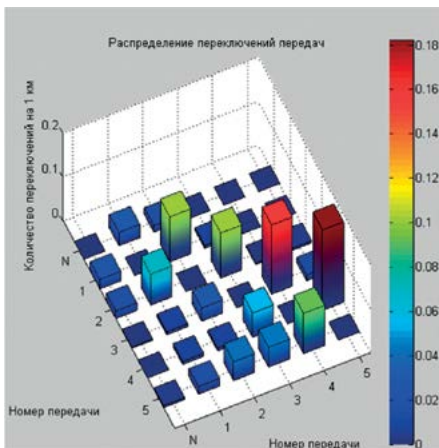


Рисунок 7. Распределение количества переключений передач автомобиля за 1 км по маршруту Нижний Новгород — Ульяновск

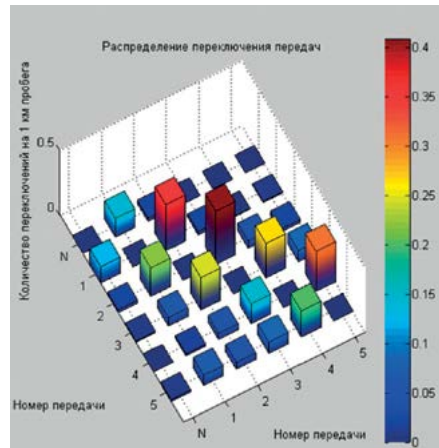


Рисунок 8. Маршрут движения автомобиля в смешанном режиме

Характерный маршрут движения испытываемого автомобиля ГАЗ-33027 в загородном режиме (Нижний Новгород — Ульяновск) представлен на рис. 6.

В табл. 2 и на рис. 7 представлены данные о количестве переключений передач при движении в загородном режиме по маршруту Нижний Новгород — Ульяновск.

Характерный маршрут движения испытываемого автомобиля в смешанном режиме (Москва — Яковлево) представлен на рис. 8. В табл. 3 и на рис. 9 представлены данные переключений передач при движении по маршруту Москва — Яковлево.

В табл. 4 и на рис. 10 представлены статистические данные переключений передач для автомобиля ГАЗ-33027 за весь цикл испытаний, проводившихся на городских улицах и загородных трассах, в ходе которых общий пробег составил 3 675 километров.

На основании представленных статистических данных можно сделать следующие выводы.

В городском режиме движения преобладают переключения с 1-й на 2-ю передачу. Общее количество переключений передач за один километр пробега достаточно высокое и составляет 12,1 переключения,

Таблица 3. Количество переключений передач автомобиля за один километр по маршруту Москва — Яковлево

Номер передачи	Повышение					
	N	1	2	3	4	5
N	0,00	0,14	0,02	0,00	0,00	0,00
1	0,12	0,00	0,36	0,02	0,00	0,01
2	0,02	0,22	0,00	0,41	0,06	0,02
3	0,01	0,06	0,25	0,00	0,26	0,08
4	0,00	0,02	0,05	0,15	0,00	0,31
5	0,01	0,08	0,05	0,08	0,20	0,00
Понижение						
Суммарное количество переключений					757	
Суммарный пробег автомобиля по маршруту, км					250	
Среднее количество переключений за один километр пути					3,02	

Место для диаграммы. Рисунок 9. Распределение количества переключений передач автомобиля за один километр по маршруту Москва — Яковлево

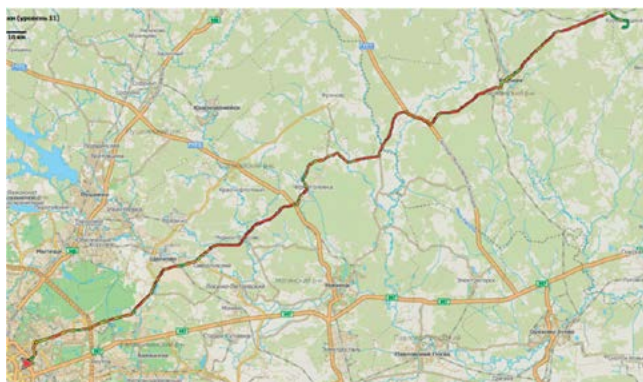


Рисунок 9. Распределение количества переключений передач автомобиля за 1 км по маршруту Москва — Яковлево

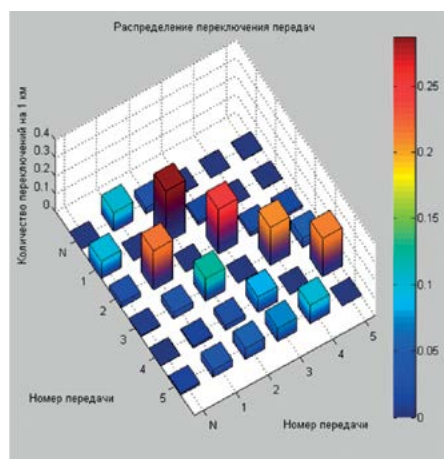


Рисунок 10. Распределение количества переключений передач автомобиля ГАЗ за 1 км за весь цикл испытаний

в отличие от показателей загородного и смешанного режимов, которые равны 1,025 и 2,1 соответственно.

В загородном режиме распределение переключений смещается к высшим передачам, в частности к переключению с 4-й на 5-ю передачу. В смешанном цикле распределение достаточно равномерное.

Следует отметить, что переключение передач в большинстве случаев происходит последовательно и «перескоки» через одну или две передачи редки,

Таблица 4. Количество переключений передач автомобиля ГАЗ за один километр за весь цикл испытаний

Номер передачи	Повышение					
	N	1	2	3	4	5
N	0,00	0,10	0,03	0,00	0,00	0,00
1	0,10	0,00	0,29	0,02	0,00	0,00
2	0,03	0,22	0,00	0,25	0,02	0,01
3	0,00	0,03	0,12	0,00	0,21	0,05
4	0,00	0,01	0,03	0,08	0,00	0,21
5	0,01	0,04	0,06	0,07	0,10	0,00
	Понижение					
Суммарное количество переключений					7 722	
Суммарный пробег автомобиля по маршруту, км					3 675	
Среднее количество переключений за один километр пути					2,1	

Место диаграммы. Рисунок 10. Распределение количества переключений передач автомобиля ГАЗ за один километр за весь цикл испытаний

то есть эти режимы нагружения можно исключить при расчётах или учесть в последовательных переключениях. Также отмечается преобладание количества переключений с повышением над количеством переключений с понижением передач, что можно объяснить стремлением водителя ехать «накатом» в целях экономии топлива.

За весь цикл испытаний наибольшее количество переключений соответствует переходу с первой на вторую передачу, следовательно, этот режим можно считать наиболее нагруженным.

Полученные данные можно использовать для расчёта циклов нагружения зубчатой муфты, а также для оптимизации работы автоматических коробок передач, создания адаптивных алгоритмов переключения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бутарович Д. О., Смирнов А. А. Распределение относительных пробегов лёгких коммерческих автомобилей по результатам дорожных испытаний // Журнал автомобильных инженеров. — 2013. — № 6 (83). — С. 28–32.
2. ГОСТ 16504-81. Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества. Основные термины и определения.
3. MathWorks [Электронный ресурс]. URL: www.mathworks.com (дата обращения: 01.10.2013).
4. Проектирование полноприводных колёсных машин: учеб. для вузов: в 2 т. / Б. А. Афанасьев, Н. Ф. Бочаров, А. Ф. Жеглов и др. / под общ. ред. А. А. Полуняна. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. — Т. 1. — 488 с.