

УДК 629.113

ДЕМУЛЬТИПЛИКАТОР ИЛИ ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПОНИЖЕННАЯ ПЕРЕДАЧА? ФОРМИРОВАНИЕ ДИАПАЗОНА ПЕРЕДАТОЧНЫХ ЧИСЕЛ АВТОМОБИЛЯ КОНЦЕПЦИИ «КРОССОВЕР»

А.В. Круташов, к.т.н. / Е.Е. Баулина, к.т.н.

Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

Тенденция роста доли выпуска кроссоверов — легковых автомобилей универсального по климатическим и дорожным условиям назначения, способных обеспечить как безопасное движение с высокой скоростью на магистральных дорогах, так и возможность уверенного движения на заснеженных и обледенелых дорогах, а также по неровному грунту, — захватывает всё большее число ведущих производителей. Для России опережающий рост продаж кроссоверов является вполне естественным и, можно с уверенностью предположить, будет характерен в длительной перспективе, делая концепцию кроссовера основой «народного» типа автомобиля.

Как известно, концепция полноценного, «настоящего» кроссовера предусматривает полный привод колёс, постоянный или подключаемый, и наличие возможности расширения диапазона передаточных чисел в сторону пониженных передач. Арсенал технических решений по расширению диапазона узок — используется двухступенчатый дополнительный редуктор (демультипликатор), устанавливаемый, как правило, на выходе коробки передач (КП). Дополнительный редуктор на входе КП используется редко. Иные решения, опробованные на автомобилях повышенной проходимости, не получили распространения. Конструкция дополнительного редуктора — по схеме с неподвижными осями валов или на основе планетарного механизма, — важная с точки зрения совершенства кинематической схемы и компоновки конструкции, непринципиальна в части идеологии расширения диапазона передаточных чисел.

На многих полноприводных автомобилях, как легковых, так и грузовых, расширение диапазона является умеренным: отношение передаточных чисел низшей и высшей передач дополнительного редуктора не превышает передаточное число первой передачи основной КП. Это означает, что расширенный диапазон образуют две ветви, смещённые относительно друг друга и имеющие существенное перекрытие. В зоне перекрытия в разных ветвях диапазона имеются близкие по значению передаточные числа.

В качестве типового примера на рис. 1 приведён график передаточных чисел с учётом раздаточной

коробки автомобилей ВАЗ-2121 «Нива» и «Нива-Шевроле».

Другой принцип формирования расширенного диапазона используется на грузовых автомобилях, предназначенных для движения на магистралях. В коробке передач с дополнительным редуктором создаётся единый ряд передаточных чисел, в котором ветвь высшего участка диапазона является продолжением ветви низкого участка. Передаточные числа ряда практически без отклонений соответствуют геометрической прогрессии. Зона перекрытия передаточных чисел отсутствует.

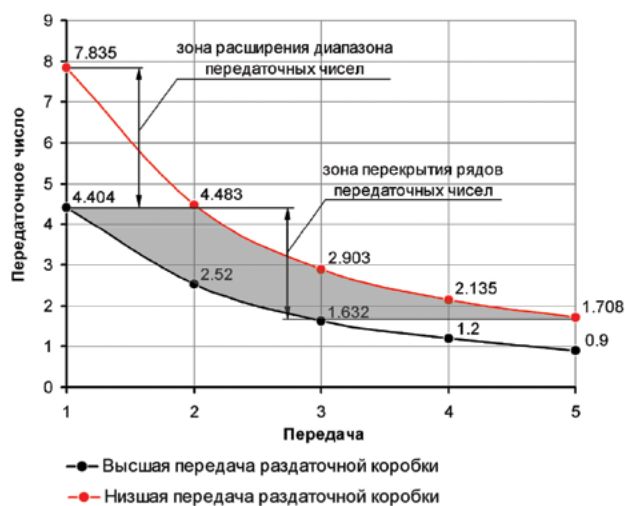


Рисунок 1. Передаточные числа коробки передач автомобиля ВАЗ-2121 (с дополнительным редуктором в раздаточной коробке)

Различие подходов обусловлено разными задачами расширения диапазона. На полноприводных автомобилях универсального назначения важной задачей является не столько поддержание оборотов двигателя в узком, наиболее экономичном диапазоне, сколько обеспечение в тяжёлых дорожных условиях повышенной силы тяги, а также возможности движения в ползучем режиме, со скоростью, близкой к скорости пешехода (≈ 5 км/ч).

Значение последнего свойства становится в России всё более весомым в условиях движения с частыми и продолжительными пробками в городах и на их выездных дорогах, а также в условиях маневрирования на ограниченной по размерам площадке. Наряду с этим расширенный в сторону низких передач диапазон, облегчая управление автомобилем, является средством уменьшения работы буксования и сохранения ресурса сцепления в реальных, усложнившихся условиях использования автомобиля.

В условиях, когда дорожные пробки и стеснённость городских территорий дополнили традиционные проблемы неразвитости сети дорог с усовершенствованным покрытием, возможность расширить диапазон передаточных чисел в сторону низших передач становится для кроссовера, оснащённого механической коробкой передач и сцеплением, весомым дополнительным преимуществом концепции автомобиля. Такая возможность в определённой степени приближает автомобиль с механической КП по удобству управления в ползучем режиме к автомобилю с гидромеханической передачей (ГМП), поскольку отпадает необходимость частого переключения передач и длительного пробуксовывания сцепления. Неслучайно на автомобилях повышенной проходимости комплектация с ГМП признаётся весьма желательной: гидротрансформатор не только обеспечивает при необходимости увеличенную тягу на тяжёлой дороге, но и беспроблемное пробуксовывание, делая движение в ползучем режиме лёгким в управлении.

Однако для кроссовера — массового автомобиля — концепция двойного диапазона, основанная на использовании дополнительного редуктора и получившая признание как классика на автомобилях повышенной проходимости, в настоящее время уже не может быть признана оптимальным вариантом по целому ряду причин, а именно:

- при удвоенном (в совокупности) количестве передач и определённом усложнении конструкции коробка передач не является многоступенчатой: нет стройного ряда со сближенными передаточными числами. Зона перекрытия передаточных чисел неудобна для перехода из ряда в ряд — переход логически трудно предсказуем для водителя из-за близости

отдельных передач в низшем и высшем рядах (см. рис. 1). Практически используется лишь часть пониженного ряда — его низшие передачи; для управления дополнительным редуктором необходим особый орган управления. На автомобилях повышенной проходимости дополнительный орган управления используется периодически и не вызывает неудобств, поскольку пониженный ряд практически предназначен лишь для перехода на движение в тяжёлых дорожных условиях при повышенном сопротивлении движению и необходимости длительного медленного движения. Для кроссовера же возможность движения в ползучем режиме, в том числе и в городских условиях, становится всё более важным свойством. Дополнительный орган управления для массового автомобиля является уже недостатком конструкции, поскольку доставляет неудобства: частые переходы с ряда на ряд при несинхронизированном переключении неприемлемы, а введение синхронизаторов усложняет конструкцию;

- длительное использование дополнительного редуктора на его пониженной передаче снижает КПД силовой передачи. При отсутствии же прямой передачи в конструкции дополнительного редуктора (входящего в состав раздаточной коробки, а это распространённый вариант при дифференциальном полном приводе) КПД силовой передачи понижен в любом режиме;

- достигнутые объёмы производства кроссоверов велики по сравнению с объёмами автомобилей повышенной проходимости, поэтому соображения экономической и производственной целесообразности использования унифицированной коробки передач базового автомобиля, сочетаемой с дополнительным редуктором, уже теряют своё значение. Более того, возможности заимствования для полноприводного авто унифицированной коробки передач базового легкового автомобиля классической компоновочной схемы сужаются и даже сходят на нет в связи с практически полным переводом базовых автомобилей на переднеприводную схему;

- массовому автомобилю необходим более высокий технический уровень как с точки зрения удобства управления трансмиссией, так и с точки зрения совершенства кинематической схемы.

Каковы иные решения? Альтернативой является коробка передач с дополнительной пониженной передачей, то есть с единым расширенным в сторону понижения диапазоном передаточных чисел. Некоторые известные примеры выполнения интересны для анализа.

Принципиально для двухвальной коробки передач дополнительная пониженная передача может

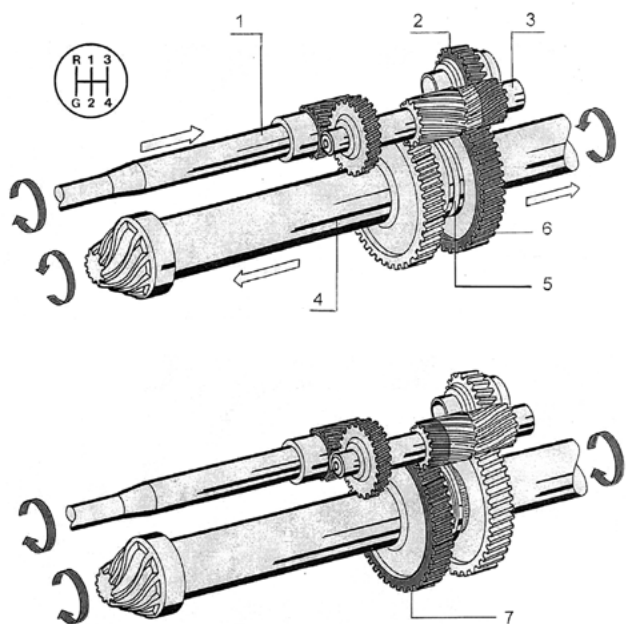


Рисунок 2. Конструкция дополнительной пониженной передачи в двухвальной коробке передач легкового полноприводного автомобиля Volkswagen Iltis: а — дополнительная пониженная передача; б — передача заднего хода

быть образована тремя парами шестерён. Три пары обеспечивают как необходимое передаточное число, примерно вдвое более низкое по отношению к первой передаче, так и нужное направление вращения. Однако количество дополнительных шестерён в этом решении чрезмерно велико. Конструкция коробки передач с дополнительной пониженной передачей

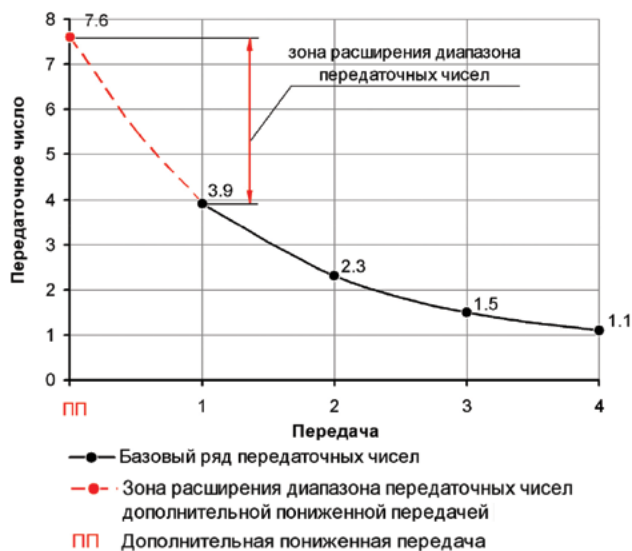


Рисунок 3. Передаточные числа коробки передач с дополнительной пониженной передачей автомобиля Volkswagen Iltis

на основе схемы с тремя парами дополнительных шестерён применялась на автомобилях ЛуАЗ-969.

Вместе с тем общее число шестерён может быть уменьшено, если для пониженной передачи использовать уже имеющуюся третью ось — ось промежуточных шестерён заднего хода, предусмотрев при этом участие двух шестерён заднего хода в образовании дополнительной передачи переднего хода. Такой вариант пониженной передачи был реализован в двухвальной коробке передач армейского полноприводного автомобиля Volkswagen Iltis с продольным передним расположением двигателя (см. рис. 2; шестерни основных передач переднего хода на рисунке не показаны). На третьей оси располагается трёхвенцовый вал 3 промежуточных шестерён. Его третий зубчатый венец находится в зацеплении со второй промежуточной шестернёй 2 пониженной передачи, расположенной на первичном валу.

Весь узел расположен в задней крышке коробки передач, на которой установлен и единый рычаг управления. Включение дополнительной пониженной передачи и передачи заднего хода осуществляется муфтой 5. Схема включения передач показана на рис. 2, а. Символ G относится к пониженной передаче.

Ряд передаточных чисел коробки передач автомобиля Volkswagen Iltis представлен на рис. 3.

Как видим, образован единый ряд расширенного до значения 6,91 диапазона передаточных чисел. Соотношение передаточных чисел пониженной и первой передач составляет 1,95, что несколько выше соотношения передач в раздаточной коробке автомобиля ВАЗ-2121.

Следует отметить, что пониженная, ползучая передача может быть целесообразна и для грузового автомобиля, в частности самосвала, поскольку обеспечивает высокую манёвренность и облегчает точное позиционирование транспортного средства (ТС) при разгрузке. Фирма Zahnradfabrik предлагает в настоящее время для таких автомобилей коробку передач ZF Ecomid 9S 1310 TO с дополнительной пониженной передачей. КП имеет восемь основных ступеней на основе схемы базовой трёхвальной четырёхступенчатой конструкции и дополнительного планетарного редуктора. Базовая часть КП имеет также дополнительную низкую передачу (без синхронизатора), которая совместно с дополнительным редуктором и образует ползучую пониженную передачу. Характерно, что дополнительная низкая передача не участвует в формировании высокого ряда передаточных чисел базовой части КП. Отношение пониженной и первой передач относительно невелико и составляет 1,44. Передаточные числа образуют единый стройный ряд, лишь незначительно отклоняясь от геометрической прогрессии (рис. 4).

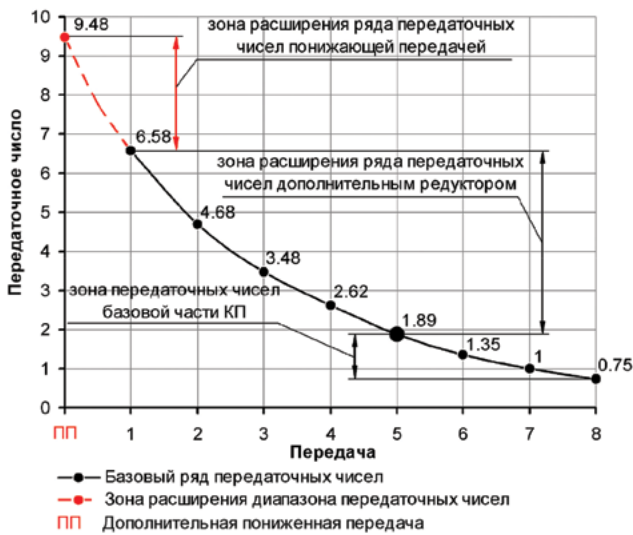


Рисунок 4. Передаточные числа коробки передач ZF 9S 1310 TO с дополнительной пониженной передачей

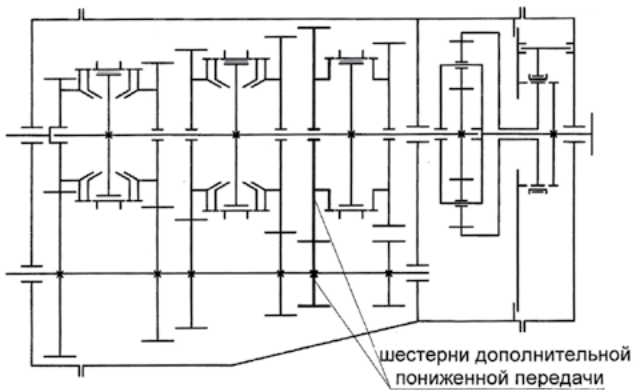


Рисунок 5. Кинематическая схема коробки передач ZF 9S 1310 TO

Кинематическая схема коробки передач представлена на рис. 5. Невысокое значение отношения пониженной и первой передач является свойством схемы КП. Дополнительная пара шестерён пониженной передачи — зубчатый венец на промежуточном валу и шестерня вторичного вала — не может значительно отличаться по передаточному числу от пары шестерён первой передачи.

В управлении КП обеспечен относительно удобный для водителя переход с одной ветви диапазона на другую — он осуществляется при избирательном перемещении рычага управления между двумя нейтральными позициями (на линиях включения третьей-четвёртой и пятой-шестой передач). Переход между этими нейтральными позициями воздействует на клапан управления пневматического сервомеханизма переключения дополнительного редуктора.

В целом для легкового полноприводного автомобиля подобная схема образования пониженной пе-

редачи — дополнительная пара шестерён в коробке передач в сочетании с демультипликатором — представляется чрезмерно сложной и имеющей недостаточное соотношение пониженной и первой передач (1,44).

К тому же схеме КП свойствен несколько пониженный КПД на ветви всех низших передач диапазона.

МАМИ запатентованы схемы коробок передач с дополнительной пониженной передачей, в большей степени отвечающие специфике легкового автомобиля универсального назначения (патент RU № 2313709 С1). Значение отношения пониженной и первой передач может быть выбрано — в зависимости от варианта схемы — в широком диапазоне. Упрощение кинематических цепей передачи крутящего момента обеспечивает снижение механических потерь на всех основных передачах. Управление коробкой передач обеспечивается единым рычагом без использования вспомогательных устройств и сервомеханизмов. Решение обладает высокой универсальностью и приемлемо как для двухвальных, так и для трёхвальных КП, может быть реализовано при классической, переднеприводной и полноприводной компоновке автомобиля.

Особенность конструкции в том, что крутящий момент передаётся на планетарный механизм не вторичным валом, как в конструкции коробки передач с дополнительным редуктором, а ведомой шестернёй первой передачи (муфта синхронизатора при этом находится в нейтральной позиции). Трёхзвенный планетарный механизм установлен на едином выходном валу КП, а ведущее звено планетарного механизма имеет жёсткое соединение с ведомой шестернёй первой передачи КП. Общее передаточное число дополнительной передачи представляет произведение передаточных чисел первой передачи и планетарного механизма соответственно. В вариантах исполнения в зависимости от необходимого значения общего передаточного числа в качестве ведущего звена планетарного механизма выбирается или солнечная шестерня, или коронная.

Планетарный механизм участвует в формировании только дополнительной пониженной передачи переднего хода или, в варианте исполнения, также и пониженной передачи заднего хода (из комплекта шестерён коробки передач при этом исключаются традиционные шестерни заднего хода).

На рис. 6 для примера показаны варианты схем пониженной передачи двухвальной КП автомобиля с постоянным полным приводом при продольном расположении силового агрегата.

В варианте на рис. 6, а ведомая шестерня первой передачи 5 двухвальной коробки передач полнопри-

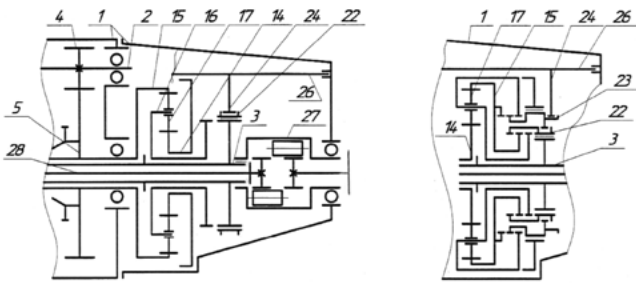


Рисунок 6. Схемы вариантов выполнения пониженной передачи на основе сочетания пары шестерён первой передачи и планетарного механизма (патент RU № 2313709 С1) для полноприводного автомобиля с продольным силовым агрегатом

водного автомобиля связана с коронной шестернёй 15 планетарного механизма, ведомое звено — водило 16 — при включении пониженной передачи муфтой 22 соединяется с вторичным валом 3.

Вариант на рис. 6, б позволяет иметь пониженную передачу как переднего хода, так и заднего. Ведомая шестерня первой передачи связана с солнечной шестернёй 14 планетарного механизма. Ведомым звеном на пониженной передаче переднего хода является водило, а на заднем ходу — коронная шестерня 15. Для включения пониженных передач переднего и заднего хода применены две муфты 22 и 23, перемещаемые одновременно. Одна из муфт (22) вращается вместе с вторичным валом, вторая (23) вращения не имеет.

Вариант выполнения дополнительной пониженной передачи переднего хода и пониженной передачи заднего хода по схеме на рис. 6, б для трёхвальной КП автомобиля классической компоновки представлен на рис. 7.

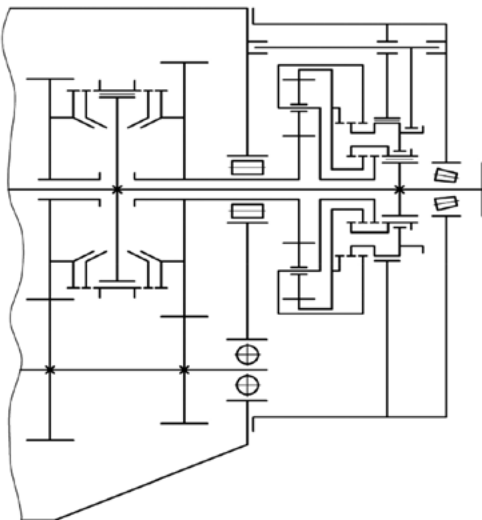


Рисунок 7. Схема дополнительной пониженной передачи переднего хода и пониженной передачи заднего хода для трёхвальной КП автомобиля классической компоновки

На полноприводных автомобилях классической компоновки (с трёхвальной КП, агрегируемой с раздаточной коробкой) применение разработанных МАМИ схем пониженной передачи позволяет существенно упростить конструкцию раздаточной коробки, поскольку её функции сокращаются до основных — размещения межосевого дифференциала, если он предусматривается, и узла раздачи мощности к переднему мосту. Облегчается оптимизация схемы раздаточной коробки, содержащей межосевой дифференциал, с целью увеличения КПД — упрощается установка дифференциала на оси выходного вала КП. Тем самым обеспечивается непосредственная, без промежуточных зубчатых зацеплений, передача мощности к заднему мосту.

Существенным и принципиальным достоинством дополнительной пониженной передачи в сравнении с демультипликатором является упрощение управления коробкой передач: переключение всех передач в расширенном диапазоне выполняется одним рычагом управления. Для включения пониженной передачи необязательно предусматривать в её конструкции синхронизатор — переход на пониженную передачу сходен с включением заднего хода, но может выполняться не только с остановкой движения, но и при медленном движении, так как требуемое изменение относительных скоростей вращения включаемых деталей меньше, чем при включении заднего хода. Обратный переход с пониженной передачи на первую выполняется в движении без каких-либо ограничений, поскольку используется имеющийся синхронизатор этой передачи.

Проведённое сопоставление способов формирования расширенного (в сторону низших передач) диапазона передаточных чисел свидетельствует о предпочтительности конструкции КП с дополнительной пониженной передачей для легкового полноприводного автомобиля концепции «кроссовер». Вполне возможно, что такой выбор заслуживает внимания и для легкового автомобиля высокой проходимости.

Разработанные в МАМИ варианты пониженной передачи по патенту RU № 2313709 С1 отвечают задаче создания совершенной в кинематическом отношении конструкции КП с предельно простой схемой узла раздачи мощности и удобным управлением единым рычагом. Следует добавить, что выполненные в МАМИ разработки ряда конструкций КП для различных компоновочных схем силового агрегата подтверждают достоинства предлагаемых конструктивных решений, свидетельствуют о целесообразности развёртывания ОКР в этом направлении и могут служить исходной базой для сотрудничества с автозаводами.