

УДК 629.331

Методы снижения усилий в синхронизаторе при включении передачи

Круташов А. В.¹, Баулина Е. Е.^{1,*}

[*baulina@mami.ru](mailto:baulina@mami.ru)

¹Университет машиностроения, Москва, Россия

В статье анализируется характер изменения усилий в синхронизаторе при включении передачи. Детально рассматриваются характерные фазы процесса включения передачи и исследуются фазы, влияющие на усилия включения. Приводятся характеристики переключения передач, свидетельствующие о наличии второго пика усилий. Излагается методика расчёта усилий на муфте синхронизатора, и приводятся результаты расчётов этих усилий для нескольких вариантов синхронизаторов. Результаты расчётов показывают, что в ситуации неблагоприятного взаимного положения скосов зубчатых венцов муфты и шестерни, фаза перемещения муфты при взаимном контакте скосов шлицевых венцов, сопровождающаяся разворотом включаемой шестерни создаёт, в совокупности, второй пик усилий, сопоставимый с усилием синхронизации ($\approx 53...71\%$). В итоге выявлены резервы снижения второго пика усилий при включении передач и сформулированы рекомендации по развитию конструкции синхронизатора.

Ключевые слова: управление коробкой передач; синхронизатор; фазы процесса включения передачи; снижение второго пика усилий

Введение

Требования к удобству управления автомобилем по мере развития техники, роста уровня автомобилизации приобретают новые оттенки. Становится важным, чтобы управление не только не требовало чрезмерных усилий, не являлось сложным для выполнения, но и вызывало ощущение совершенства действия систем автомобиля, уверенность в точности выполнения управляющих действий. В полной мере это относится и к управлению ступенчатой коробкой передач (КП).

При разработке конструкции синхронизатора важнейшим оценочным параметром является усилие включения при заданном времени синхронизации (или «обратный» показатель - время синхронизации при заданном усилии включения). Ради снижения усилий включения выбирается максимально возможный диаметр конической поверхности трения синхронизатора или даже применяется конструкция многоконусного синхронизатора. Однако, опыт эксплуатации, результаты исследований процесса переключения передач пока-

зывают, что не всегда усилие синхронизации является определяющим в оценке качества включения. Часто наблюдаемая картина - двухступенчатый характер изменения усилий в процессе включения передачи. Если первый пик характеристики усилий обусловлен процессом синхронизации, то наличие второго пика, величина усилия и нестабильность значений второго пика в ходе многократных повторных включений требуют исследования.

Основная часть

На рис. 1 представлен график процесса переключения передач, полученный ранее АО «Москвич» для 5-ти ступенчатой двухвальной КП с эффективным синхронизатором (максимальный диаметр конуса синхронизатора 90 мм при межосевом расстоянии 75 мм) и свидетельствующий о наличии второго пика усилий. Аналогичная, но более отчётливая, картина наблюдается на графике, представленном фирмой «INA» (рис. 2).

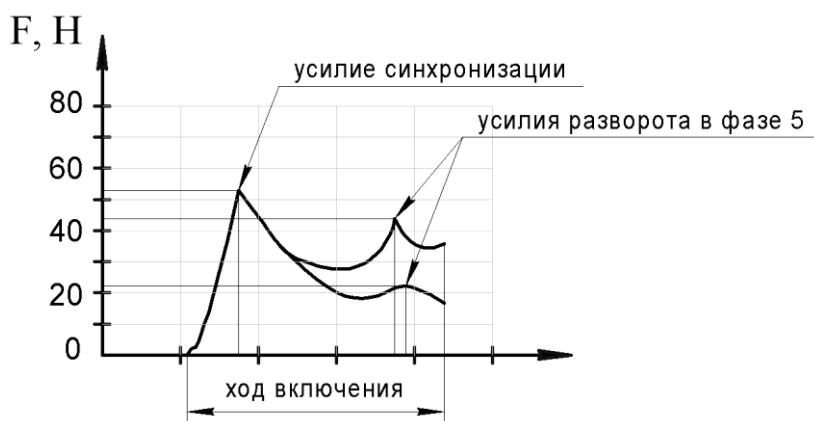


Рис. 1. График усилий на рычаге управления КП (данные АО "Москвич")

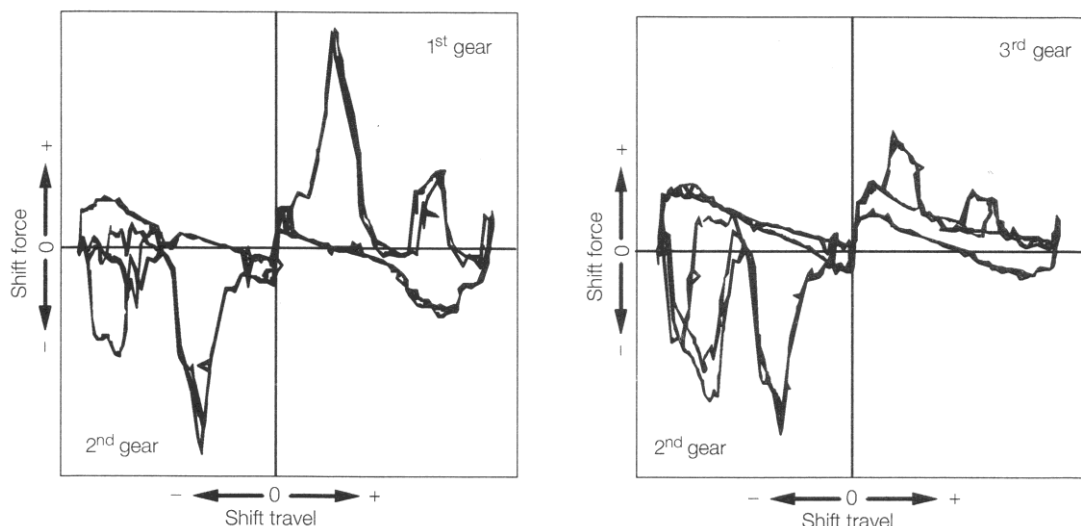


Рис. 2. График усилий на муфте синхронизатора (данные фирмы INA)

Рассмотрим более детально характерные фазы процесса включения передачи (общие для синхронизаторов инерционного типа несмотря на различия в их конструктивном исполнении). Фазы, влияющие на усилия включения, и станут предметом исследования.

Фаза 1. Прижатие блокирующего кольца упругим устройством с целью создания начального момента трения в контакте конических поверхностей и разворота блокирующего кольца до соприкосновения блокирующих поверхностей («скосов»).

Фаза 2. Процесс синхронизации с блокированием перемещения муфты до выравнивания скоростей вращения.

Фаза 3. Разблокирование. Движение муфты, вызывающее скольжение в контакте блокирующих скосов, сопровождающееся угловым разворотом блокирующего кольца и включаемой шестерни (всей группы деталей от включаемой шестерни до ведомого диска сцепления*), до момента полного «схода» блокирующих скосов.

*Далее для краткости изложения под «включаемой шестерней» подразумевается вся группа деталей от включаемой шестерни до ведомого диска сцепления.

Фаза 4. Перемещение муфты до возможного контакта скосов зубьев её шлицевого венца со скосами зубьев включаемой шестерни. При этом взаимное положение контактирующих скосов носит случайный характер - от упора вершины в вершину, как одна крайность, до «чистого» совпадения зубьев шлицев муфты и соответствующих впадин шлицевого венца шестерни.

Фаза 5. Перемещение муфты при взаимном контакте скосов шлицевых венцов, сопровождающееся разворотом включаемой шестерни. При этом угол разворота зависит от начального контакта - степени перекрытия скосов в фазе 4. На рис. 3 показано «среднее» положение перекрытия скосов. (В случае «чистого» совпадения зубьев шлицев муфты и соответствующих впадин шлицевого венца шестерни разворота, естественно, не происходит).

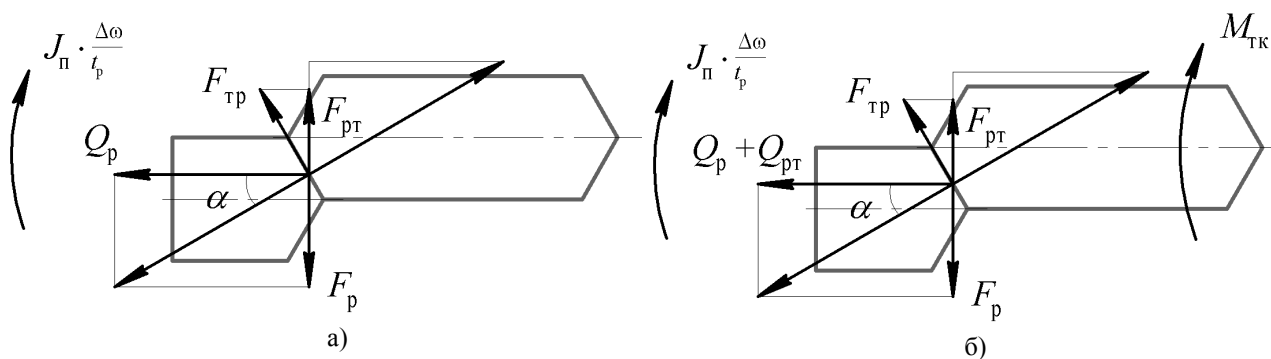


Рис. 3. Расчётная схема фазы 5

Фаза 6. Перемещение муфты по шлицевому венцу шестерни до завершения хода включения.

Особенности этих фаз, которые должны быть положены в основу исследования, таковы.

В фазе 3 скольжение в контакте блокирующих сколов вызывает разворот включаемой шестерни, поскольку конусные поверхности находились в плотном контакте с выдавливанием и снятием масляной плёнки в процессе трения. Угловой разворот включаемой шестерни означает, в принципе, некоторое рассогласование угловых скоростей уже после процесса синхронизации. Степень рассогласования зависит от размерности сколов и радиуса их расположения. (В конструкции синхронизатора с блокирующим зубчатым венцом разворот составит 0,25 углового шага зубьев). Изменение угловой скорости шестерни происходит в «дополнение» к тому, что происходило в процессе синхронизации - при переходе на низшую передачу происходит дополнительное увеличение скорости, при переходе на высшую - снижение. Это изменение скорости требует приложения усилия, обусловленного моментом инерции всей группы ведомого диска сцепления, и скоростью включения. Усилие фазы блокирования сменяется на усилие разворота этой группы деталей. Дополнительное подкручивание включаемой шестерни в фазе 3 означает, что переход в фазу 4 происходит при некоторой созданной разнице угловых скоростей.

В ходе исследований, (проведённых ранее АО «Москвич»), было отмечено, что на характеристике усилий по времени включения наблюдается общий пик усилия синхронизации, при этом в фазе 3 усилие, необходимое на разворот группы ведомого диска сцепления, отдельно не проявляется. В связи с этим целесообразно далее сопоставить фазу 3 с фазой 5.

В фазе 4 блокирующее кольцо уже не поджимается муфтой с усилием блокирования и связь группы деталей включаемой шестерни с контргруппой может быть разной. Одно состояние - блокирующее кольцо «залипло» в процессе синхронизации и поджато на конусе контрдетали благодаря наличию второй ступени профиля фиксирующей лунки упругого устройства. (Двухступенчатый профиль лунки упругого устройства характерен для многих конструкций синхронизаторов). Связь двух инерционных масс - группы деталей ведомого диска сцепления с одной стороны, и группы деталей вторичного вала с другой, поддерживается моментом трения, синхронизированное состояние скоростей вращения поддерживается. Другое состояние - блокирующее кольцо не залипло, не поджато упругим

устройством, и уже не увлекает трением включаемую шестерню, в связи с чем синхронизированное состояние может быть нарушено под воздействием сопротивления вращению.

Залипание блокирующего кольца на конусе контрдетали в результате трения является, однако, вполне вероятным даже без воздействия упругого устройства на его второй ступени. Коэффициент трения, закладываемый в расчёт угла скосов блокирующих поверхностей для обеспечения условия блокировки, обычно составляет $0,08 \dots 0,1$. По мере снятия масляной плёнки коэффициент трения возрастает, и значение $0,123$ уже соответствует углу трения 7° , часто устанавливаемому для конических поверхностей синхронизатора. Способствует залипанию и реальная упругая деформация кольца под воздействием осевого усилия.

Вероятность залипания кольца на «сухой» конической поверхности была подтверждена АО «Москвич» - после нагружения блокирующего кольца осевым усилием (в диапазоне усилий блокирования) отмечалось залипание кольца на конической поверхности шестерни, если поверхности трения не имели приработки. Для отрыва кольца требовалось усилие до ≈ 20 Н.

В фазе 5 угол разворота включаемой шестерни, носящий случайный характер, может максимально составить $0,5$ шага зубьев шлицевого венца. Изменение угловой скорости, происходящее в результате разворота шестерни, может вызвать второй пик усилия, значение которого зависит и от фактического углового разворота группы ведомого диска сцепления, с его случайным характером, и от вероятности преодоления момента трения конических поверхностей - срыва блокирующего кольца с конуса контрдетали в том случае, когда угловой разворот происходит, а блокирующее кольцо поджато или залипло. Влияние именно этой фазы на проявление второго пика усилий включения передачи требует исследования.

В рассмотренной ранее фазе 3 разворот включаемой шестерни, происходящий при разблокировании, не может оказать такого влияния на усилия включения, как в фазе 5 при неблагоприятном контакте скосов. Разворот шестерни вдвое меньше, нет срыва блокирующего кольца с конуса контрдетали.

В фазе 6 при вхождении шлицев муфты в шлицевый венец шестерни проявляется влияние фазы 5. При развороте включаемой шестерни переход в фазу 6 происходит при некоторой, созданной скольжением по скосам зубьев, разнице угловых скоростей, носящей случайный характер.

Для количественной оценки влияния фаз происходящих процессов на усилия включения, используем известную динамическую модель синхронизатора. Усилия разворота в фазе 5 целесообразно сопоставить с усилиями синхронизации.

Сопоставительный характер исследования позволяет принять ряд допущений - не учитывать сопротивления вращению в коробке передач, температурный режим, чистоту выключения сцепления. Представляется возможным не учитывать проявления ударного характера процесса контакта скосов, если предусмотреть сравнительные варианты расчётов модификаций конструкции при единых временных параметрах.

Фаза 5. Разворот группы ведомого диска сцепления без срыва блокирующего кольца.

При линейном характере процесса (при постоянном моменте, вызывающем разворот) уравнение движения масс представляется формулой [2, 3]:

$$\frac{J_n \cdot (\omega_k - \omega_n)}{t_p} = M.$$

Здесь M - крутящий момент, вызывающий разворот; J_n - приведённый момент инерции масс группы ведомого диска сцепления - от ведомого диска сцепления до включаемой шестерни; ω_k и ω_n - конечная и начальная скорости разворота включаемой шестерни, t_p - время разворота. Дополнительные условные обозначения для последующего текста: z - число зубьев шлицевых венцов синхронизатора; μ - коэффициент трения поверхностей сколов шлицев; r_z - радиус контакта сколов шлицевых венцов шестерни и муфты (соответствует радиусу делительной окружности); α - угол сколов шлицев.

Неблагоприятный - максимальный, угловой путь разворота φ_p в этой фазе составляет 0,5 шага шлицев: $\varphi_p = \frac{\pi}{z}$. Вместе с тем, при линейном характере процесса

$$\varphi_p = \frac{\omega_k - \omega_n}{2} \cdot t_p. \text{ Таким образом, } \omega_k - \omega_n = \frac{2 \cdot \pi}{z \cdot t_p}.$$

Под действием усилия Q_p , приложенного к муфте синхронизатора, момент M , вызывающий разворот (с учётом трения поверхностей сколов, см. рис. 3а), составит:

$$M = Q_p \cdot (tg\alpha - \mu) \cdot r_z.$$

В итоге находим усилие, необходимое для разворота включаемой шестерни при неблагоприятном контакте сколов шлицев (без срыва блокирующего кольца):

$$Q_p = \frac{J_n \cdot 2\pi}{(tg\alpha - \mu) \cdot r_z \cdot z \cdot t_p^2}.$$

Приведённый к включаемой шестерне момент инерции группы ведомого диска с учётом передаточного числа включаемой передачи i_k и коэффициента k , учитывающего влияние инерционных масс деталей КП в этой группе, составит: $J_{\Pi} = J_{\text{в}} \cdot i_k^2 \cdot k$, где $J_{\text{в}}$ - момент инерции ведомого диска сцепления.

Значение разворота включаемой шестерни в фазе 5, приводящего к некоторому отклонению от синхронизированной скорости в момент вхождения муфты в зацепление, может быть количественно оценено по относительному изменению скорости

$$\Delta\omega_p = \frac{\omega_{\kappa} - \omega_{\text{н}}}{\omega_{\text{ис}}} \cdot 100, \%$$

Здесь $\omega_{\text{ис}}$ - синхронизированная скорость включаемой шестерни.

Для неблагоприятной ситуации - разворота на 0,5 углового шага, $\omega_{\kappa} - \omega_{\text{н}} = \frac{2 \cdot \pi}{z \cdot t_p}$, как установили ранее. Скорость включаемой шестерни (установленной на вторичном валу) составит: $\omega_{\text{ис}} = \frac{n'_e \cdot \pi}{30 \cdot i_k}$. Здесь n'_e - обороты двигателя, соответствующие скорости включаемой шестерни при передаточном числе i_k . Тогда

$$\Delta\omega_p = \frac{60 \cdot i_k}{n'_e \cdot z \cdot t_p} \cdot 100\%.$$

Фаза 5. Разворот группы ведомого диска сцепления с преодолением момента трения в контакте конических поверхностей.

Определим дополнительное усилие разворота $Q_{\text{рт}}$ (рис. 3б), необходимое для преодоления момента трения в контакте конических поверхностей. В конструкции синхронизатора автомобилей семейств ВАЗ 2101 - 2107 блокирующее кольцо поджимается к конусу муфты пружиной, усилие которой возрастает по мере хода муфты. В фазе 5 усилие пружины несколько превышает усилие преднатяга и составляет ~ 20 Н. Это усилие определяет минимальный момент трения конических поверхностей, соответствующий лишь возросшему в процессе синхронизации коэффициенту трения.

Примечание: конструкция с возрастающим, по мере хода включения, усилием упругого устройства имеет недостаток - способствует самовыключению передач и, соответственно, требует особо надежного замка для предотвращения дефекта.

В конструкциях синхронизаторов, имеющих упругое устройство с падающим по мере хода муфты в фазе 4 усилием (за счёт двухступенчатого профиля фиксирующей канавки),

в частности в конструкции синхронизаторов АЗЛК-2141, поджатие блокирующего кольца также возможно. «Остаточное» усилие в фазе 5 конструкции АЗЛК составляет $\sim 15 \dots 20$ Н.

Момент трения в контакте конических поверхностей под воздействием усилия упругого устройства F_a равен

$$M_{\text{тк}} = \frac{F_a}{\sin \gamma} \cdot \mu_c \cdot r_c \cdot$$

Необходимое для преодоления этого момента дополнительное усилие $Q_{\text{рт}}$ составит

$$Q_{\text{рт}} = \frac{F_a \cdot \mu_c \cdot r_c}{\sin \gamma \cdot r_z \cdot (\operatorname{tg} \alpha - \mu)} \cdot$$

Здесь F_a - усилие поджатия блокирующего кольца в фазе 5; γ - угол образующей конуса; μ_c - коэффициент трения в контакте конических поверхностей; r_c - средний радиус конической поверхности.

Суммарное усилие разворота включаемой шестерни в неблагоприятной ситуации:

$$Q_{\Sigma} = Q_p + Q_{\text{рт}},$$

или в полном виде, удобном для анализа:

$$Q_{\Sigma} = \frac{J_n \cdot 2\pi}{(\operatorname{tg} \alpha - \mu) \cdot r_z \cdot z \cdot t_p^2} + \frac{F_a \cdot \mu_c \cdot r_c}{\sin \gamma \cdot r_z \cdot (\operatorname{tg} \alpha - \mu)} \cdot$$

Как видим, для снижения усилий разворота в фазе 5 целесообразно увеличение числа зубьев шлицевых венцов и радиуса их делительной окружности - радиуса расположения скосов муфты и шестерни, а также более «острое» зубозакругление скосов - увеличение угла α .

Увеличение же радиуса конической поверхности, необходимое для снижения усилий синхронизации, увеличивает усилие разворота в той ситуации, когда взаимное положение скосов является неблагоприятным, а усилие поджатия блокирующего кольца в фазе 5 является чрезмерным (или когда имеется вероятность залипания блокирующего кольца).

Здесь уместно отметить, что конструкция синхронизаторов с блокирующими пальцами имеет то преимущество, что позволяет разделить функции блокирующих поверхностей (выполняемых на пальцах) и функции скосов на торцах зубьев шлицевых венцов, соответственно выбрать оптимальные углы для них в соответствии с функциями. К тому же, повреждение геометрии скосов шлицев, возможное в эксплуатации, не приводит к искажению геометрии блокирующих поверхностей, что происходит в тех конструкциях, когда скосы шлицев являются и блокирующими поверхностями.

Для подтверждения изложенных соображений по фазе 5 рассмотрим в сравнении результаты расчётов по приведённым выше формулам для двух вариантов исполнения синхронизаторов, применявшихся в КП автомобилей семейств ВАЗ 2101...2107 (вариант 1) и АЗЛК-2141(вариант 2). И тот и другой вариант достаточно совершенны с точки зрения выбора диаметра конуса и соотношения $\frac{r_c}{r_\phi}$, влияющего на угол блокирующих скосов (r_ϕ - радиус расположения блокирующих скосов). Дополним сравнение модифицированным на основе изложенных выводов вариантом 3.

Поскольку искомые усилия разворота включаемой шестерни важны в сопоставлении усилиями синхронизации, то найдём и эти усилия. Для расчёта принят достаточно жёсткий режим перехода с 3-ей передачи на 2-ую с выходом при переключении на обороты двигателя 3500 об/мин. Применим модифицированную формулу [4]:

$$Q_c = \frac{\pi \cdot J_n \cdot \sin \gamma \cdot n_e}{30 \cdot t_c \cdot \mu \cdot r_c \cdot u_2} \cdot \left(1 - \frac{i_3}{i_2}\right).$$

Здесь Q_c - усилие синхронизации; n_e - обороты двигателя после переключения с 3-ей передачи на 2-ую; i_3 и i_2 - передаточные числа соответственно на 3-ей и 2-ой передачах; t_c - время синхронизации.

Параметры синхронизаторов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры синхронизаторов

Параметры синхронизатора	Вариант синхронизатора		
	1	2	3
Диаметр конуса синхронизатора r_c , мм	73	90	82
Угол образующей конуса	7°	7°	7°
Число зубьев шлицевых венцов, z	30	27	45
Радиус делительной окружности шлицев, мм	30	27	45
Радиус расположения скосов шлицев r_z , мм	30	27	45
Угол скосов (зубозакругления) шлицев	35°	40°	40°
Радиус расположения блокирующих скосов r_ϕ , мм	30 (r_z)	38	38
Угол блокирующих скосов (от плоскости торца)	35°	40°	40°

Для расчёта приняты значения:

- коэффициент трения μ_c конических поверхностей синхронизатора, для начальной стадии блокирования - 0,08, для стадии срыва блокирующего кольца - 0,13.
- коэффициент трения μ поверхностей скосов шлицев «муфта - шестерня» - 0,1.

- время синхронизации t_c - 0,3 сек;
- время разворота включаемой шестерни t_c (в фазе 5) - 0,1 сек.
- усилие поджима блокирующего кольца F_a (в фазе 5) - 20 Н (принято постоянным).

Для удобства сопоставления вариантов исполнения приняты условные одинаковые передаточные числа: 2-ой передачи - 2,1; 3 -ей передачи - 1,5.

Момент инерции ведомого диска сцепления - 0,0035 кг/м², коэффициент k - 1,1 (соответственно приведённый момент инерции J_n при переходе с 3-ей на 2-ую передачу - 0,017 кг/м²).

Относительное изменение скорости $\Delta\omega_p$ в фазе 5, как показал расчёт, незначительно - для варианта 2 в рассматриваемом режиме переключения составило 1,5%, и оказать влияние на вхождение муфты в зацепление не может.

Результаты расчёта усилий на муфте синхронизатора представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты расчёта усилий на муфте синхронизатора

Расчётные значения	Вариант синхронизатора		
	1	2	3
Усилие синхронизации Q_c , Н	118.0	95.7	105.0
Усилие разворота по скосам «муфта - шестерня» без срыва контакта конических поверхностей Q_p , Н	19.8	19.8	7.1
Усилие срыва контакта конических поверхностей Q_{pt} , Н	43.2	48.0	26.2
Суммарное усилие разворота по скосам «муфта - шестерня» со срывом контакта конических поверхностей Q_Σ , Н	63.0	67.8	33.3
Соотношение суммарного усилия разворота Q_Σ и усилия синхронизации Q_c , %	53.4	70.8	31.7

Результаты расчётов, на примере вариантов 1 и 2, показывают, что в ситуации неблагоприятного взаимного положения скосов зубчатых венцов муфты и шестерни, фаза 5 создаёт, в совокупности, второй пик усилий, сопоставимый с усилием синхронизации ($\approx 53...71\%$). Определяющим является усилие срыва контакта конических поверхностей Q_{pt} .

Существенное увеличение числа зубьев шлицев - до 45 в варианте 3, снижает соотношение суммарного усилия разворота Q_Σ и усилия синхронизации Q_c до 31,7 %. Это находит подтверждение в новых конструкциях синхронизаторов ведущих производителей. Так число зубьев шлицевых венцов выросло с 24...30 в ранних конструкциях до

36...48 в современных. Существенно также, что не используются упомянутые ранее конструкции, имеющие упругие элементы с возрастающим усилием. Они претерпели эволюционную модернизацию - переход на двухступенчатую характеристику с падающим усилием.

Заключение

Таким образом, выявлены резервы снижения второго пика усилий при включении передач, что особенно важно для обеспечения качества процесса, и могут быть сформулированы следующие рекомендации по развитию конструкции синхронизатора:

- при максимально возможном увеличении диаметра конических поверхностей трения и, тем более, при многоконусной конструкции синхронизатора, следует максимально увеличивать диаметр делительной окружности шлицевых венцов и количество зубьев шлицев;

- целесообразна ступенчатая характеристика упругого устройства, обеспечивающая снижение усилия поджима блокирующего кольца в фазе 4 с полным снятием усилия в фазе 5;

- угол образующей конической поверхности трения следует устанавливать не только по условию обеспечения блокировки при начальном, сравнительно малом, коэффициенте трения (0,08), но и по условию исключения залипания блокирующего кольца при возрастании коэффициента трения до $\approx 0,12...0,13$.

- применяемая рядом производителей конструкция синхронизатора, имеющая муфту со скосами шлицев, предназначенными лишь для взаимодействия с шестерней, и обособленными блокирующими поверхностями, имеет преимущество, поскольку геометрия каждой поверхности может быть оптимизирована по своим функциям.

Можно обоснованно считать, что технические требования к конструкции современного синхронизатора должны предусматривать не только предел усилий на стадии синхронизации, но и относительный предел для второго пика усилий включения передач на уровне не более $\approx 1/3$, что обеспечит восприятие управления коробкой передач как вполне совершенного.

Список литературы

1. Shift System Components in Manual Transmissions. Automotive Product Information API. INA-Schaeffler KG, 2009.

2. Проектирования полноприводных колесных машин. В 3 т. / ред. А.А. Полунгян. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.
3. Шарипов В.М. Конструирование и расчёт тракторов. М.: Машиностроение, 2009. 751 с.
4. Небялков А.П. Механические синхронизированные коробки передач // Совершенствование технико-экономических показателей автомобильной техники: сб. науч. тр. НАМИ. Вып. 214. М.: НАМИ, 1993. С. 73-85.

Methods for Reducing Effort Exertion in a Gearbox Synchronizer During Shifting Process

A.V. Krutashov¹, E.E. Baulina^{1,*}

[*baulina@mami.ru](mailto:baulina@mami.ru)

¹Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI), Moscow, Russia

Keywords: gear shifting process; synchronizer; gear shifting stages; decreasing of shifting effort

In gearbox synchronizer design process, the most important parameter to be determined is the effort required to engage a gear within specified time interval (or vice versa – engaging time for the specified effort). Usually, reduction of said effort implies one of the following approaches: choosing a friction cone as large as possible, or using a multi-cone design. However, according to practical experience and investigations of shifting process, engaging effort may not be the decisive factor in shifting quality assessment. One can observe that during shifting the force exertion process often has two stages. The first stage is a result of the synchronization process itself. The existing second stage, effort amount, and instability of force observed at this stage while repeating shifts, require a thorough investigation. Therefore, the subject of the work was the shifting process stages that affect the engaging effort. The paper gives the certain characteristics of shifting process to demonstrate that there is the second stage in force exertion. The paper describes a technique for calculating the force acting on synchronizing sleeve and presents results of such calculations for several types of synchronizers.

These results showed that in the case when tooth rims of a synchronizing sleeve and a gearwheel situated against each other in an adverse way, simultaneous sleeve movement and gearwheel rotation exert the second peak of the force comparable with synchronization effort ($\approx 53\ldots 71\%$). The remainder of the paper shows the ways to decrease said second force peak. Recommendations for synchronizers design improvement are given as well. The conclusion has been made that technical requirements for modern synchronizer design, apart from the maximum synchronization effort, must provide relative maximum value of the second peak of at most 1/3 of synchronization effort. This will ensure improved perception of the shifting process.

References

1. Shift System Components in Manual Transmissions. Automotive Product Information API. INA-Schaeffler KG, 2009.
2. Polungyan A.A., ed. *Proektirovaniya polnoprivodnykh kolesnykh mashin. V 3 t.* [Design of all-wheel-drive vehicles. In 3 vols]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2008. (in Russian).

3. Sharipov V.M. *Konstruirovaniye i raschet traktorov* [Design and calculation of a tractor]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2009. 751 p. (in Russian).
4. Nedyalkov A.P. Mechanical synchronized gearboxes. *Sovershenstvovaniye tekhniko-ekonomicheskikh pokazateley avtomobil'noy tekhniki: sb. nauch. tr. NAMI. Vyp. 214* [An enhancement of technical and economical characteristics of automotive vehicles: works of NAMI. Iss. 214]. Moscow, NAMI Publ., 1993, pp. 73-85. (in Russian).