

Работа выравнивающего элемента синхронизатора в преселекторной коробке передач автомобиля и трактора

Шарипов Валерий Мирхитович, доктор технических наук, профессор;
Крючков Виталий Алексеевич, кандидат технических наук
Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)

Рассмотрен процесс переключения передач с помощью синхронизатора в коробке передач автомобиля и трактора с учетом действующего поводкового момента от выключенной фрикционной муфты. Предложен метод расчета работы буксования и времени синхронизации для условий нагружения синхронизатора в преселекторной коробке передач с учётом действующего от выключенной фрикционной муфты поводкового момента.

Ключевые слова: синхронизатор, коробка передач, переключение передач, работа буксования, время синхронизации.

В современных конструкциях автомобилей и тракторов все большее распространение получают составные преселекторные КП типа DSG (Direct Shift Gearbox), состоящие из двух параллельных КП, выполненных в одном общем корпусе, где переключение передач осуществляется двойной фрикционной муфтой (ФМ) и синхронизаторами [1-3]. В таких КП перекрытие переключения передач выполняется двойной ФМ, работающей в сухую или в масле. При этом с увеличением мощности двигателя сухие ФМ заменяются на ФМ, работающие в масле.

Важнейшим параметром, определяющим процесс переключения передач в КП с помощью синхронизатора, является время синхронизации, а работоспособность самого синхронизатора определяется работой буксования его выравнивающего элемента [4-6].

Установлено [7-11], что в выключенной ФМ, работающей в масле, на поверхностях трения дисков создаются поводковые моменты. Следовательно, в преселекторных КП выравнивающий элемент включаемого синхронизатора воспринимает как инерционные нагрузки от деталей, связанных с включаемой шестерней передачи, так и поводковый момент со стороны выключенной ФМ. Экспериментально установлено, что величина поводкового момента, создаваемого одной выключенной ФМ, может достигать до 10% от максимального момента трения синхронизатора [8, 9].

В зависимости от схемы включения передачи в КП поводковый момент от выключенной ФМ может иметь как положительный (разгружать синхронизатор), так и отрицательный характер (догружать синхронизатор и увеличивать длительность процесса синхронизации), или же менять своё направление воздействия в процессе включения.

Величина поводкового момента, создаваемого выключенной ФМ в КП, может быть описана функцией вида [7-10]:

$$M_B = f(n_{отн}) = a n_{отн}^x,$$

где a и x соответственно постоянный коэффициент и показатель степени.

В классической методике расчета синхронизатора его работа буксования при переключении передачи в КП определяется без учета действующего на него поводкового момента со стороны выключенной ФМ по выражению [4, 5]

$$L_c = \int_0^{t_c} M_T (\omega_{i+1} - \omega_i) dt = \frac{1}{2} J_n (\omega_{i+1} - \omega_i)^2. \quad (1)$$

$$\text{Здесь } \omega_{i+1} - \omega_i = M_T t_c / J_n,$$

где M_T – момент трения в синхронизаторе; ω_{i+1} и ω_i – угловые скорости вращения конусов синхронизатора, связанных с ведомым валом соответственно на $i+1$ и i передаче; J_n – момент инерции всех деталей, связанных с включаемой шестерней передачи; t_c – время синхронизации.

Учет влияния поводкового момента M_B на процесс включения синхронизатора в уравнении (1) требует трудоёмких преобразований, исключает принцип универсализации выражения, а с учётом вероятной необходимости работы с выражением поводкового момента, как со степенной функцией, многократно усложняет конечный вид получаемого выражения. Однако возможно использовать другое свойство выражения (1), основанное на том, что при постоянном значении величины созданного момента M_T трения и заданном (однозначно определённом) времени включения, эта же работа может определяться уже как интеграл от скоростной характеристики процесса.

$$L_c = \int_{\Delta\omega_{ок}}^{\Delta\omega_{он}} \frac{J_n (\omega_{i+1} - \omega_i)}{t_c} t_c d\Delta\omega_c = \int_{\Delta\omega_{ок}}^{\Delta\omega_{он}} J_n \Delta\omega_c d\Delta\omega_c, \quad (2)$$

где $\Delta\omega_c$ – относительная угловая скорость вращения конусов синхронизатора; $\Delta\omega_{он}$ и $\Delta\omega_{ок}$ – соответственно начальная и конечная относительная угловая скорость вращения конусов синхронизатора; $M_T = J_n (\omega_{i+1} - \omega_i) / t_c$; $\omega_{i+1} - \omega_i = \Delta\omega_c$.

Так как в процессе переключения передачи в КП угловые скорости вращения дисков выключенной ФМ и конусов синхронизатора линейно связаны между собой, то с учетом поводкового момента M_B от выключенной ФМ выражение (2) примет вид:

$$L_c = \int_{\Delta\omega_{\text{ок}}}^{\Delta\omega_{\text{он}}} J_{\text{п}} \Delta\omega_c d\Delta\omega_c \mp \int_{\Delta\omega_{\text{ок}}}^{\Delta\omega_{\text{он}}} M_B(\Delta\omega_m) t_c d\Delta\omega_c, \quad (3)$$

где $M_B(\Delta\omega_m)$ – величина поводкового момента в выключенной ФМ, зависящая от относительной угловой скорости вращения ее дисков и приведенная к конусам синхронизатора; $\Delta\omega_m$ – относительная угловая скорость вращения дисков выключенной ФМ.

Здесь и далее верхний знак « \mp » для случая, когда поводковый момент в выключенной ФМ помогает процессу синхронизации, и знак « $+$ » – когда дополнительно догружает синхронизатор.

Из анализа выражения (3) следует, что учет влияния поводкового момента в выключенной ФМ сделал зависимой величину работы буксования синхронизатора от времени t_c синхронизации.

Относительная угловая скорость вращения дисков выключенной ФМ определяется при помощи универсального уравнения, коэффициенты которого определяются для каждой схемы отдельно:

$$\Delta\omega_m = \omega_d A^x - \omega_d B_1^{y_1} B_2^{y_2} + \Delta\omega_c C^z, \quad (4)$$

где ω_d – угловая скорость вращения вала двигателя; A – коэффициент влияния выходного передаточного числа (устанавливает взаимосвязь между скоростями вала двигателя и дисков выключенной ФМ в конце переключения); B_1 – коэффициент влияния перехода между передачами (устанавливает взаимосвязь между выходными поверхностями синхронизаторов); B_2 – коэффициент влияния входного передаточного числа (устанавливает взаимосвязь между скоростью вращения вала двигателя и дисков выключенной ФМ до начала процесса переключения); C – коэффициент влияния промежуточного передаточного числа (учитывает передаточное число между конусом и ФМ включаемой передачи); x, y_1, y_2, z – показатели степени, принимающие значения либо « $+1$ », либо « -1 ».

В качестве примера рассмотрим упрощенную классическую схему КП с одной ФМ при моделировании переключения с нижней передачи на высшую (рис. 1). Для этой схемы: $B_1 = u_{i+1}/u_i$, $y_1 = 1$; $C = -1$; $z = 1$. Остальные коэффициенты и показатели степени принимаются равными $+1$ за отсутствием обуславливающих их элементов.

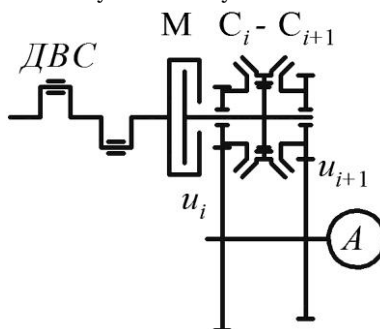


Рис. 1. Упрощенная кинематическая схема КП с одной ФМ:

M – фрикционная муфта; C_i и C_{i+1} – синхронизаторы соответственно i и $i+1$ передач; u_i и u_{i+1} – передаточные числа исследуемых передач; A – условная нагрузка.

Время t_c синхронизации в рассматриваемых выражениях определяется по известной зависимости [4], но с учётом влияния среднефункционального значения поводкового момента \bar{M}_B в выключенной ФМ на исследуемом промежутке относительных угловых скоростей вращения её дисков:

$$t_c = \frac{J_{\text{п}} \Delta\omega_c}{M_T \pm \bar{M}_B}.$$

$$\text{Здесь } \bar{M}_B = \frac{1}{\Delta\omega_{\text{ок}} - \Delta\omega_{\text{он}}} \int_{\Delta\omega_{\text{он}}}^{\Delta\omega_{\text{ок}}} M_B(\Delta\omega_m) d\Delta\omega_m,$$

где $\Delta\omega_{\text{он}}$ и $\Delta\omega_{\text{ок}}$ – соответственно начальная и конечная относительная угловая скорость вращения дисков выключенной ФМ.

Интегрирование по относительной угловой скорости вращения конусов синхронизатора не всегда удобно, если функция поводкового момента имеет дробную степенную зависимость или вид полинома. В таком случае желательно преобразовать выражение (4), выразив относительную угловую скорость вращения конусов синхронизатора через относительную угловую скорость вращения дисков выключенной ФМ.

В результате получим

$$\Delta\omega_c = -\frac{\omega_d A^x}{C^z} + \frac{\omega_d B_1^{y_1} B_2^{y_2}}{C^z} + \Delta\omega_m. \quad (5)$$

После подстановки выражения (5) в выражение (3) работа буксования синхронизатора

$$L_c = \int_{\Delta\omega_{\text{MH}}}^{\Delta\omega_{\text{MK}}} J_{\Pi} \left(-\frac{\omega_{\text{д}} A^x}{C^z} + \frac{\omega_{\text{д}} B_1^{y1} B_2^{y2}}{C^z} + \Delta\omega_{\text{М}} \right) d\Delta\omega_{\text{М}} \mp \int_{\Delta\omega_{\text{MH}}}^{\Delta\omega_{\text{MK}}} M_{\text{B}}(\Delta\omega_{\text{М}}) t_{\text{с}} d\Delta\omega_{\text{М}}. \quad (6)$$

Несмотря на кажущуюся сложность, выражение (6) в конечном итоге можно представить в виде простых слагаемых:

$$L_c = \left(-\frac{J_{\Pi} \omega_{\text{д}} A^x}{C^z} + \frac{J_{\Pi} \omega_{\text{д}} B_1^{y1} B_2^{y2}}{C^z} \right) (\Delta\omega_{\text{МК}} - \Delta\omega_{\text{МН}}) + J_{\Pi} \left(\frac{\Delta\omega_{\text{МК}}^2}{2} - \frac{\Delta\omega_{\text{МН}}^2}{2} \right) \mp \int_{\Delta\omega_{\text{MH}}}^{\Delta\omega_{\text{MK}}} M_{\text{B}}(\Delta\omega_{\text{М}}) t_{\text{с}} d\Delta\omega_{\text{М}}.$$

Экспериментально установлено, что поводковый момент в процессе включения синхронизатора может менять направление своего воздействия [7, 9, 10]. Это характерно для схем КП, использующих преселекторный принцип переключения. Учесть это свойство в рамках рассматриваемых выражений невозможно. Однако в этом случае можно разбить выражение (3) на любые его две производные части, предел интегрирования каждой из которых ограничивается с одной стороны нулевым значением относительной угловой скорости $\Delta\omega_{\text{сМ}0}$ вращения дисков выключенной ФМ, приведенной к соответствующему значению относительной угловой скорости вращения конусов синхронизатора. Каждая из двух частей подобного выражения имеет собственную зависимость от времени в рамках исследуемых скоростных промежутков (см. рис. 2).

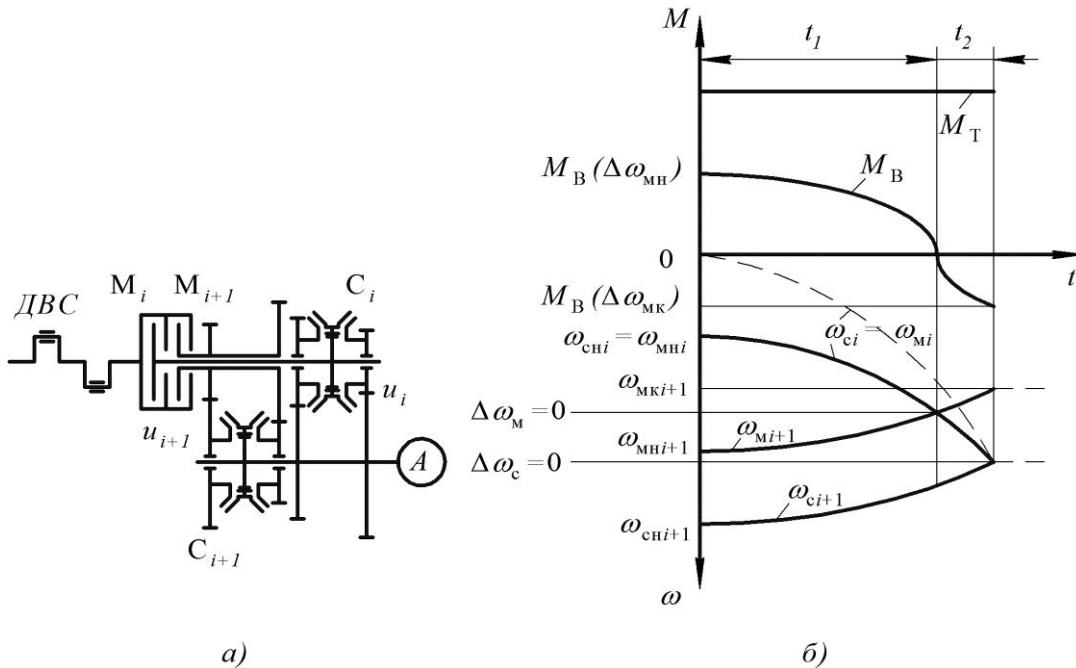


Рис. 2. Упрощенная схема преселекторной КП и диаграмма процесса переключения с высшей передачи на низшую:

a – схема; *б* – диаграмма процесса переключения передач; $\omega_{\text{сн}i}$, $\omega_{\text{сн}i+1}$, $\omega_{\text{сн}i}$, $\omega_{\text{сн}i+1}$ – начальные и текущие значения угловых скоростей вращения конусов синхронизатора, связанных соответственно с *i* и *i+1* передачами; $\omega_{\text{MH}i}$, $\omega_{\text{MH}i+1}$ – начальное и текущее значение угловой скорости вращения дисков выключенной ФМ, связанных с *i* передачей; $\omega_{\text{MH}i+1}$, $\omega_{\text{MK}i+1}$ – начальное, текущее и конечное значения угловых скоростей вращения дисков выключенной ФМ, связанных с *i+1* передачей.

Тогда работа буксования синхронизатора

$$L_c = L_{c1} + L_{c2},$$

$$\text{где } L_{c1} = \int_{\Delta\omega_{\text{сМ}0}}^{\Delta\omega_{\text{сн}}} J_{\Pi} \Delta\omega_{\text{с}} d\Delta\omega_{\text{с}} - \int_{\Delta\omega_{\text{сМ}0}}^{\Delta\omega_{\text{сн}}} M_{\text{B}}(\Delta\omega_{\text{с}}) t_{\text{с}1} d\Delta\omega_{\text{с}};$$

$$L_{c2} = \int_{\Delta\omega_{\text{сн}}}^{\Delta\omega_{\text{сМ}0}} J_{\Pi} \Delta\omega_{\text{с}} d\Delta\omega_{\text{с}} + \int_{\Delta\omega_{\text{сн}}}^{\Delta\omega_{\text{сМ}0}} M_{\text{B}}(\Delta\omega_{\text{с}}) t_{\text{с}2} d\Delta\omega_{\text{с}}.$$

$$\text{В этом случае } t_{\text{с}1} = \frac{J_{\Pi} \Delta\omega_{\text{с}}}{M_{\text{T}} + \bar{M}_{\text{B}1}} \text{ и } t_{\text{с}2} = \frac{J_{\Pi} \Delta\omega_{\text{с}}}{M_{\text{T}} - \bar{M}_{\text{B}2}},$$

$$\text{где } \bar{M}_{\text{B}1} = \frac{1}{\Delta\omega_{\text{MH}} - \Delta\omega_{\text{M}0}} \int_{\Delta\omega_{\text{MH}}}^{\Delta\omega_{\text{сн}}} M_{\text{B}}(\Delta\omega_{\text{М}}) d\Delta\omega_{\text{М}}; \bar{M}_{\text{B}2} = \frac{1}{\Delta\omega_{\text{МК}} - \Delta\omega_{\text{M}0}} \int_{\Delta\omega_{\text{сн}}}^{\Delta\omega_{\text{МК}}} M_{\text{B}}(\Delta\omega_{\text{М}}) d\Delta\omega_{\text{М}}.$$

Здесь $\Delta\omega_{\text{м0}}$ – нулевое значение относительной угловой скорости вращения дисков выключенной ФМ.

Для оценки достоверности полученных зависимостей для расчета работы буксования и времени синхронизации синхронизатора были проведены исследования на экспериментальной установке [7, 9], имитирующей работу синхронизатора в КП с одной выключенной ФМ (рис. 3).

В основе этой установки использовались серийно выпускаемые агрегаты: ФМ вала отбора мощности (ВОМ) трактора Т-150 и синхронизированная КП автобуса «Икарус». Установка позволяет имитировать условия воздействия поводкового момента M_B как при неизменном его направлении, так и при изменении направления его воздействия в процессе переключения передачи в преселекторной КП. Для этого входной и выходной валы ФМ приводились в движение при помощи гидрообъемных передач (ГОП) с регулируемыми гидравлическими насосами с приводом от электродвигателей ЭД1 и ЭД2.

На основе данных, полученных в результате эксперимента, был проведен перерасчет контролируемых параметров в величины работы буксования синхронизатора.

Установлено, что расхождение результатов расчетов с результатами экспериментальных исследований по величине работы L_c буксования синхронизатора не превышает 10,81 %, а по величине времени t_c синхронизации 14,78 %.

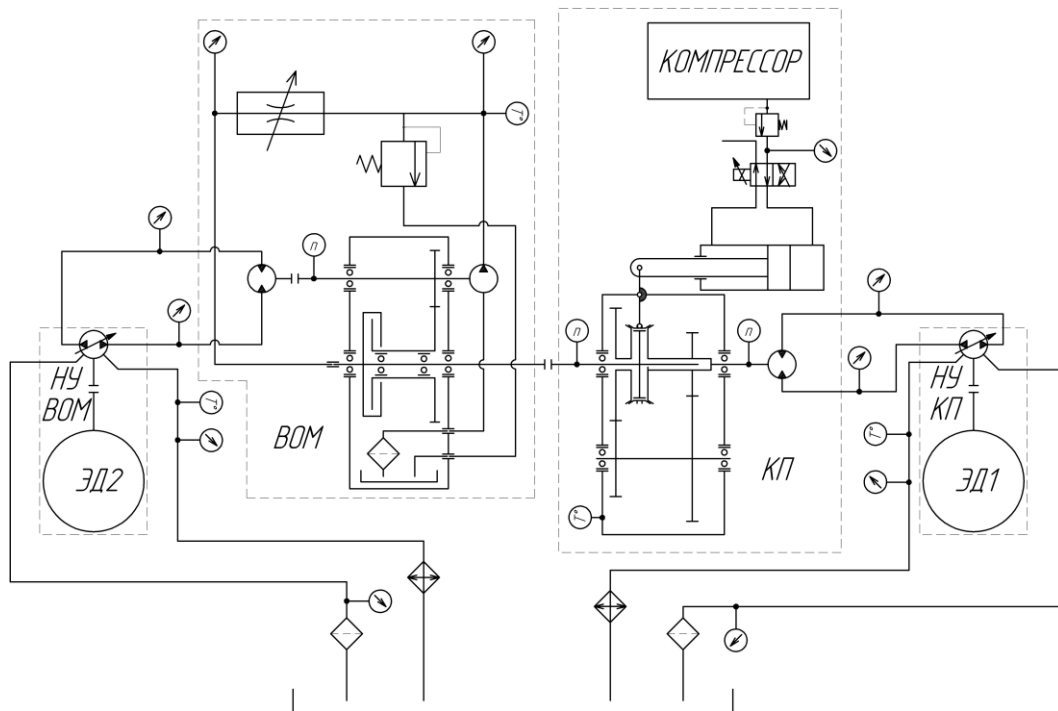


Рис. 3. Схема экспериментальной установки.

НУ ВОМ - насосная установка привода входного вала агрегата ВОМ; *НУ КП* - насосная установка привода входного вала КП; *ЭД1* и *ЭД2* - электродвигатели приводов соответственно насосов ГОП ВОМ и ГОП КП

Таким образом, предложенный метод расчета синхронизатора в преселекторной КП позволяет на этапе проектирования определять его работу буксования и время синхронизации при переключении передач с учётом действующего в выключенной ФМ поводкового момента.

Литература:

1. Шарипов В.М., Апельинский Д.В., Арустамов Л.Х. и др. Тракторы. Конструкция/ Под общ. ред. В.М. Шарипова. М.: Машиностроение, 2012. 790 с.
2. Шарипов В.М., Бирюков М.К., Дементьев Ю.В. и др. Тракторы и автомобили / Под общ. ред. В.М. Шарипова. М.: Издательский дом «Спектр», 2010. 351 с.
3. Щельцын Н.А., Крючков В.А., Шарипов В.М. и др. Выбор места установки фрикционных муфт и синхронизаторов в коробке передач// Тракторы и сельхозмашины. 2013. №2. С. 20-24.
4. Лукин П.П., Гаспарянц Г.А., Родионов В.Ф. Конструирование и расчёт автомобиля. М.: Машиностроение, 1984. 376 с.
5. Шарипов В.М. Конструирование и расчёт тракторов. М.: Машиностроение, 2009. 752 с.
6. Шарипов В.М. Проектирование механических, гидромеханических и гидрообъемных передач тракторов. М.: МГТУ «МАМИ», 2001. 162 с.
7. Шарипов В.М., Дмитриев М.И., Крючков В.А. Нагруженность фрикционных муфт и синхронизаторов в коробке передач. Методы расчета параметров буксования фрикционных муфт и выравнивающего элемента синхронизаторов при переключении передач. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. 122 с.
8. Щельцын Н.А., Шарипов В.М., Иванов И.В. и др. Оценка потерь на трение в фрикционных муфтах с гидropоджатием в коробках передач// Материалы 65-ой международной научно-технической конференции АИИ «Приоритеты раз-



вития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров». Секция 1. «Автомобили, тракторы, их агрегаты и системы». Подсекция «Тракторы». М.: МГТУ «МАМИ». 2009. С. 190-200.

9. Шарипов В.М., Крючков В.А. Особенности расчета инерционного синхронизатора в преселекторной коробке передач // Тракторы и сельхозмашины. 2011. №9. С. 24-26.

10. Шарипов В.М., Крючков В.А. Учет воздействия поводкового момента в классической методике расчета работы буксования синхронизатора в коробке передач // Справочник. Инженерный журнал. 2011. №10. С. 6-11.

11. Барский И.Б., Борисов С.Г., Галягин В.А. и др. Сцепления транспортных и тяговых машин / Под ред. Ф.Р. Геккера, В.М. Шарипова, Г.М. Щеренкова. М.: Машиностроение, 1989. 344 с.