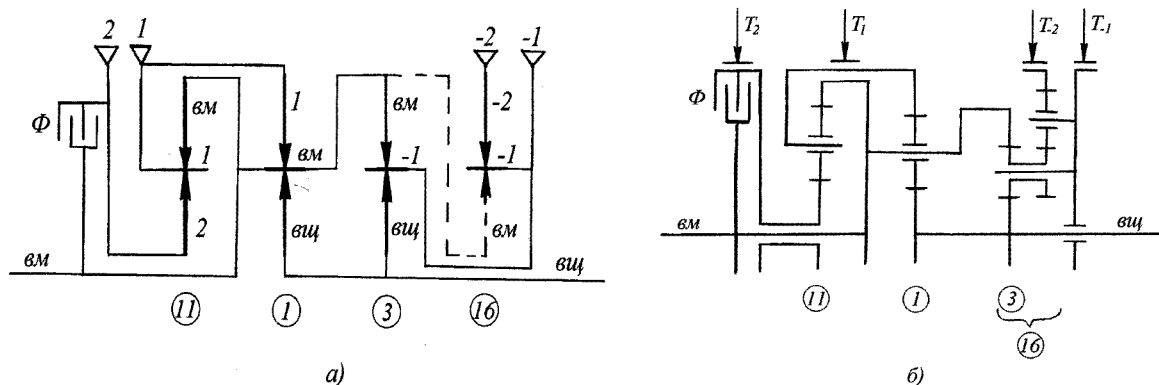


основного ряда 3 одновременно является малым эпициклом присоединяемого ряда 16 смешанного зацепления.



**Рисунок 2 – Схема ПКП с присоединенным рядом смешанного зацепления:
а – структурная; б – кинематическая**

Полученная схема ПКП с присоединенным рядом смешанного зацепления обеспечивает, как и в ранее рассмотренном примере, получение трех передач переднего хода и двух заднего.

Таким образом, мы разобрали метод построения компактных кинематических схем ПКП с использованием присоединяемых рядов.

Для принятия решения о выборе наиболее рациональной схемы ПКП необходимо выполнить все этапы ее синтеза [4].

Литература

1. Красеньков В.И., Вашец А.Д. Проектирование планетарных механизмов транспортных машин. - М.: Машиностроение, 1986. – 272 с.
2. Шарипов В.М. Построение кинематических схем планетарных КП с использованием присоединяемых рядов// Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2001, № 4.
3. Шарипов В.М., Крумбольдт Л.Н., Маринкин А.П. Планетарные коробки передач. - Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 149 с.
4. Шарипов В.М. Конструирование и расчет тракторов. – М.: Машиностроение, 2009. – 752 с.
5. Тракторы. Конструкция/ Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Машиностроение, 2012. – 790 с.
6. Балдин В. А. Планетарные передачи в общем, транспортном и специальном машиностроении. - М.: МАДИ (ТУ), 2000. – 185 с.

Буксование выравнивающего элемента синхронизатора в преселекторной коробке передач

д.т.н. проф. Шарипов В.М., к.т.н. Крючков В.А.

Университет машиностроения, ОАО «НИИ Стали»

8(495)223-05-23 (1111), trak@mami.ru, 8(916)679-44-51, Smash@list.ru

Аннотация. 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 с учётом действующего от выключенной фрикционной муфты поводкового момента.

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

В настоящее время в автомобиле- и тракторостроении постепенно внедряются преселекторные коробки передач (КП), где переключение передач осуществляется без разрыва по-

тока мощности от двигателя с помощью фрикционных муфт (ФМ) и синхронизаторов [1].

Важнейшим параметром, определяющим процесс переключения передач в КП с помощью синхронизатора, является время синхронизации, а работоспособность самого синхронизатора – работа буксования его выравнивающего элемента.

Проведенные исследования [2 - 6] показывают, что выключенная ФМ, работающая в масле, пытается передать часть мощности в трансмиссию за счёт образующихся поводковых моментов на поверхностях её дисков. Следовательно, в таких КП выравнивающий элемент включаемого синхронизатора воспринимает как инерционные нагрузки от деталей, связанных с включаемой шестерней передачи, так и поводковые моменты со стороны одной (или более) выключенных ФМ. Исследования, выполненные в НАТИ [3, 6], показали, что при некоторых условиях величина поводкового момента, создаваемого одной выключенной ФМ в КП, может достигать до 15 % от максимального расчетного момента трения синхронизатора, что может внести существенные коррективы в его работу.

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 параболической функцией вида [3, 6]:

$$M_B = f(n_{\text{отн}}) = a \cdot n_{\text{отн}}^x,$$

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 [7, 8]

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

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

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;

$J_{\text{п}}$ – 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.

$$L_c = \int_{\Delta\omega_{\text{ск}}}^{\Delta\omega_{\text{сн}}} \frac{J_{\text{п}} \cdot (\omega_{i+1} - \omega_i)}{t_c} \cdot t_c \cdot d\Delta\omega_c = \int_{\Delta\omega_{\text{ск}}}^{\Delta\omega_{\text{сн}}} J_{\text{п}} \cdot \Delta\omega_c \cdot d\Delta\omega_c, \quad (2)$$

где: $\Delta\omega_c$ – относительная угловая скорость вращения конусов синхронизатора;

$\Delta\omega_{\text{сн}}$ и $\Delta\omega_{\text{ск}}$ – соответственно начальная и конечная относительная угловая скорость вращения конусов синхронизатора;

$$M_T = J_{\text{п}} (\omega_{i+1} - \omega_i) / t_c; \quad \omega_{i+1} - \omega_i = \Delta\omega_c.$$

Так как в процессе переключения передачи в КП угловые скорости вращения дисков выключенной ФМ и конусов синхронизатора линейно связаны между собой, то с учетом по-

поводкового момента M_B от выключенной ФМ выражение (2) примет вид:

$$L_c = \int_{\Delta\omega_{ск}}^{\Delta\omega_{сн}} J_{п} \cdot \Delta\omega_c \cdot d\Delta\omega_c \mp \int_{\Delta\omega_{ск}}^{\Delta\omega_{сн}} M_B(\Delta\omega_m) \cdot t_c \cdot d\Delta\omega_c, \quad (3)$$

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 “–” 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:

$$\Delta\omega_m = \omega_d \cdot A^x - \omega_d \cdot B_1^{y1} \cdot B_2^{y2} + \Delta\omega_c \cdot C^z, \quad (4)$$

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);

$x, y1, y2, z$ – показатели степени, принимающие значения либо “+1”, либо “-1”.

В качестве примера рассмотрим упрощённую классическую схему КП с одной ФМ (рисунок 1) при моделировании переключения с низшей передачи на высшую. Для этой схемы: $B_1 = u_{i+1}/u_i$; $y1 = 1$; $C = -1$; $z = 1$. Остальные коэффициенты и показатели степени принимаются равными +1 за отсутствием обуславливающих их элементов.

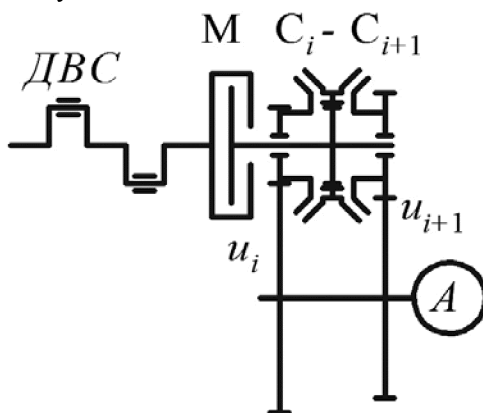


Рисунок 1 – Упрощённая кинематическая схема КП с одной ФМ: М – фрикционная муфта; C_i и C_{i+1} – синхронизаторы соответственно i и $i+1$ передач; u_i и u_{i+1} – передаточные числа КП соответственно на i и $i+1$ передачах; A – условная нагрузка

Время синхронизации для случая, когда момент M_T трения синхронизатора в рассмат-

риваемых выражениях принят постоянным, определяется по известной зависимости [7], но с учётом влияния среднефункционального значения поводкового момента \bar{M}_B в выключенной ФМ на исследуемом промежутке относительных угловых скоростей вращения её дисков.

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

Здесь

$$\bar{M}_B = \frac{1}{\Delta\omega_{MK} - \Delta\omega_{MH}} \cdot \int_{\Delta\omega_{MH}}^{\Delta\omega_{MK}} M_B(\Delta\omega_M) \cdot d\Delta\omega_M,$$

где: $\Delta\omega_{MH}$ и $\Delta\omega_{MK}$ – 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:

$$\Delta\omega_c = -\frac{\omega_d \cdot A^x}{C^z} + \frac{\omega_d \cdot B_1^{y1} \cdot B_2^{y2}}{C^z} + \Delta\omega_M. \quad (5)$$

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

$$L_c = \int_{\Delta\omega_{MH}}^{\Delta\omega_{MK}} J_{II} \cdot \left(-\frac{\omega_d \cdot A^x}{C^z} + \frac{\omega_d \cdot B_1^{y1} \cdot B_2^{y2}}{C^z} + \Delta\omega_M \right) \cdot d\Delta\omega_M \mp \int_{\Delta\omega_{MH}}^{\Delta\omega_{MK}} M_B(\Delta\omega_M) \cdot t_c \cdot d\Delta\omega_M. \quad (6)$$

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

$$L_c = \left(-\frac{J_{II} \cdot \omega_d \cdot A^x}{C^z} + \frac{J_{II} \cdot \omega_d \cdot B_1^{y1} \cdot B_2^{y2}}{C^z} \right) \cdot (\Delta\omega_{MK} - \Delta\omega_{MH}) + J_{II} \cdot \left(\frac{\Delta\omega_{MK}^2}{2} - \frac{\Delta\omega_{MH}^2}{2} \right) \mp \int_{\Delta\omega_{MH}}^{\Delta\omega_{MK}} M_B(\Delta\omega_M) \cdot t_c \cdot d\Delta\omega_M.$$

Экспериментально установлено, что поводковый момент в процессе включения синхронизатора может менять направление своего воздействия [3, 6]. 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 $\Delta\omega_{cm0}$ 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 (рисунок 2).

Тогда работа буксования синхронизатора

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

где:

$$L_{c1} = \int_{\Delta\omega_{cm0}}^{\Delta\omega_{сн}} J_{II} \cdot \Delta\omega_c \cdot d\Delta\omega_c - \int_{\Delta\omega_{cm0}}^{\Delta\omega_{сн}} M_B(\Delta\omega_c) \cdot t_{c1} \cdot d\Delta\omega_c;$$

$$L_{c2} = \int_{\Delta\omega_{сн}}^{\Delta\omega_{ск}} J_{II} \cdot \Delta\omega_c \cdot d\Delta\omega_c + \int_{\Delta\omega_{сн}}^{\Delta\omega_{ск}} M_B(\Delta\omega_c) \cdot t_{c2} \cdot d\Delta\omega_c.$$

В этом случае

$$t_{c1} = \frac{J_{II} \cdot \Delta\omega_c}{M_T + \bar{M}_{B1}}, \text{ и } t_{c2} = \frac{J_{II} \cdot \Delta\omega_c}{M_T - \bar{M}_{B2}},$$

где:

$$\bar{M}_{B1} = \frac{1}{\Delta\omega_{MH} - \Delta\omega_{M0}} \cdot \int_{\Delta\omega_{M0}}^{\Delta\omega_{MH}} M_B(\Delta\omega_M) \cdot d\Delta\omega_M; \bar{M}_{B2} = \frac{1}{\Delta\omega_{MK} - \Delta\omega_{M0}} \cdot \int_{\Delta\omega_{M0}}^{\Delta\omega_{MK}} M_B(\Delta\omega_M) \cdot d\Delta\omega_M.$$

Здесь $\Delta\omega_{M0}$ – нулевое значение относительной угловой скорости вращения дисков выключенной ФМ.

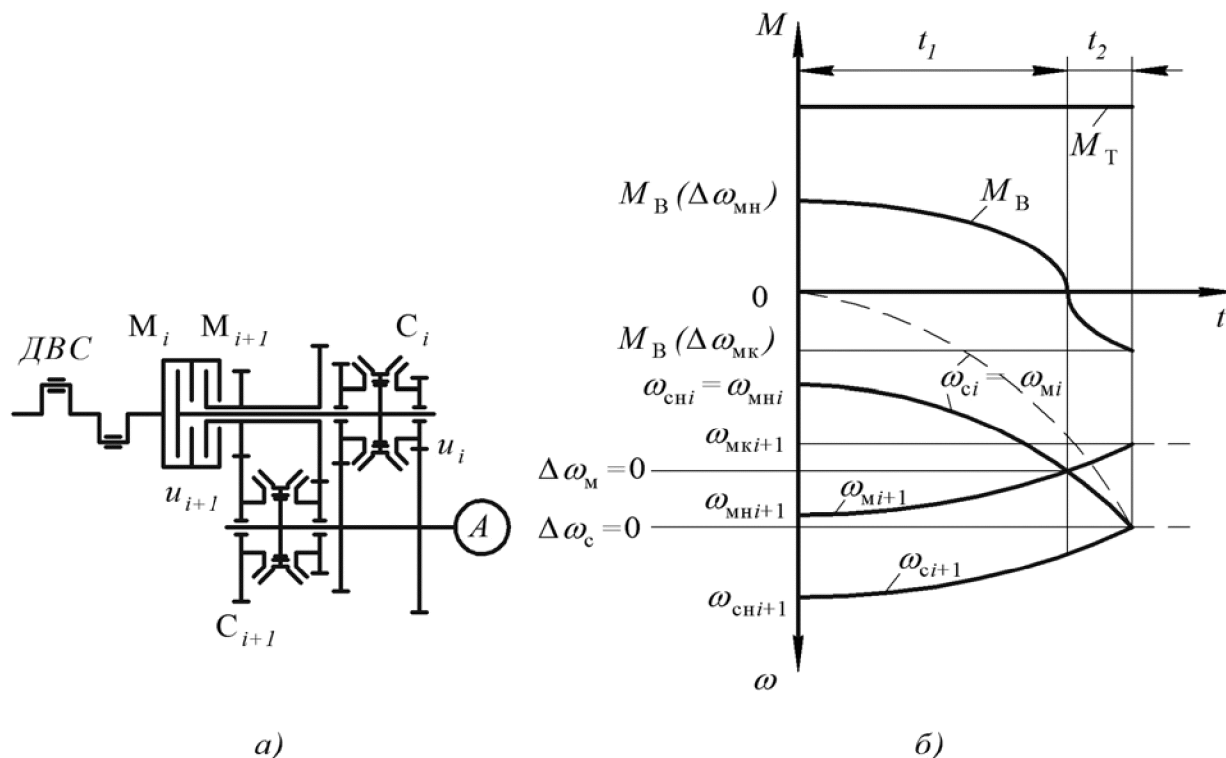


Рисунок 2 – Диаграмма процесса переключения для преселекторной КП:
***a* – упрощенная схема КП, *б* – характерная диаграмма процесса переключения с высшей передачи на низшую; $\omega_{снi}, \omega_{сi}, \omega_{снi+1}, \omega_{сi+1}$ – соответственно начальные и текущие значения угловых скоростей вращения конусов синхронизатора, связанных с *i* и *i+1* передачами; $\omega_{мнi}, \omega_{mi}$ – начальное и текущее значение угловой скорости вращения дисков выключенной ФМ, связанных с *i* передачей; $\omega_{мнi+1}, \omega_{mi+1}, \omega_{мкi+1}$ – соответственно начальное, текущее и конечное значения угловых скоростей вращения дисков выключенной ФМ, связанных с *i+1* передачей**

Для оценки достоверности полученных аналитических зависимостей для расчета работы буксования и времени синхронизации синхронизатора были поведены экспериментальные исследования. Исследования проводились на экспериментальной установке, имитирующей работу синхронизатора в КП с одной выключенной ФМ, схема которой представлена на рисунке 3.

В основе этой установки использовались серийно выпускаемые агрегаты: ФМ вала отбора мощности (ВОМ) трактора Т-150 и синхронизированная КП автобуса «Икарус». Установка разрабатывалась с учетом того, чтобы можно было имитировать условия воздействия поводкового момента M_B как при неизменном его направлении, так и при изменении направления воздействия поводкового момента 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.

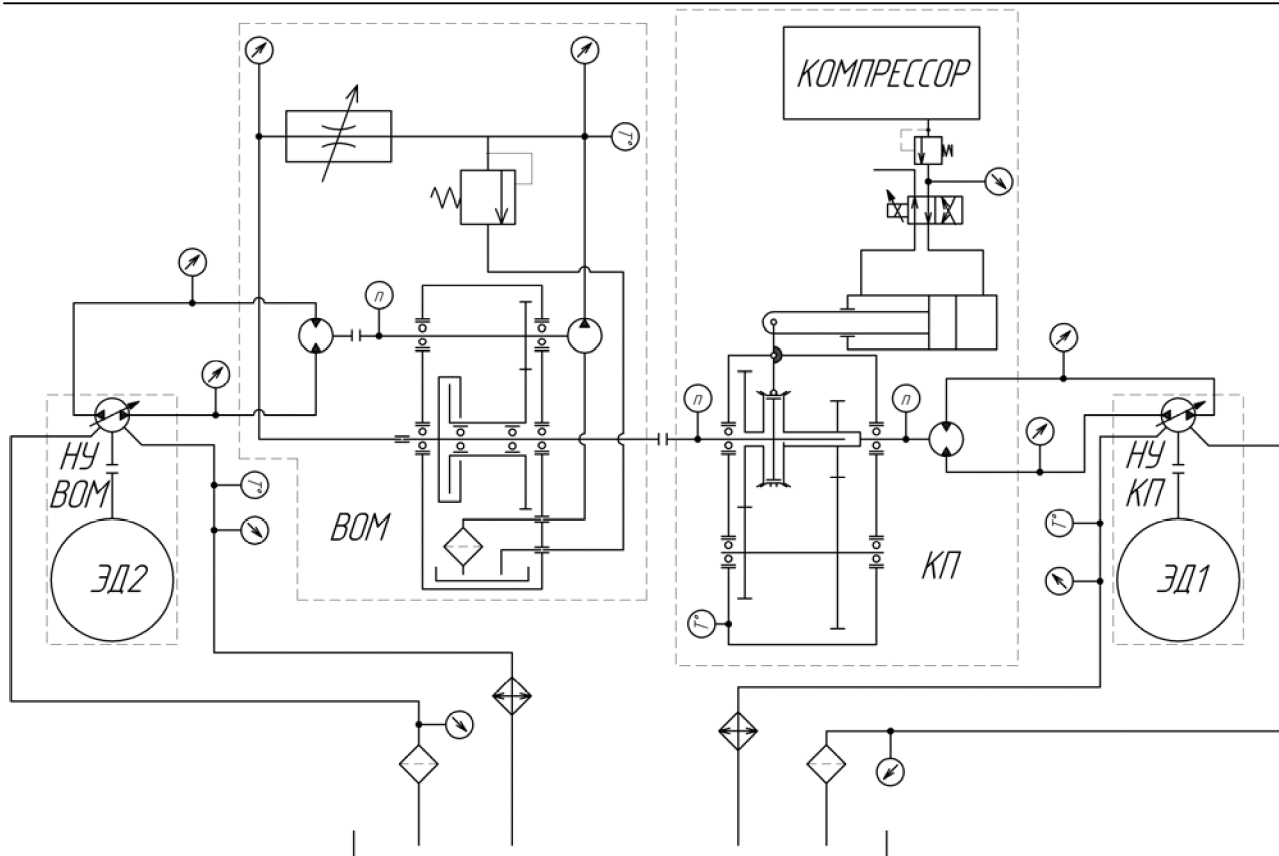


Рисунок 3 – Схема экспериментальной установки: НУ ВОМ - насосная установка привода входного вала агрегата ВОМ; НУ КП - насосная установка привода входного вала КП; ЭД1 и ЭД2 - соответственно электродвигатели приводов насосов ГОП ВОМ и ГОП КП

В ходе испытаний выставлялась различная частота вращения входного вала редуктора ВОМ и входного вала КП таким образом, чтобы после включения синхронизатора относительная частота вращения дисков муфты составляла 600 мин^{-1} .

Ранее для ФМ, используемой на установке, было получено математическое описание характеристики поводкового момента в зависимости от абсолютной и относительной частоты вращения её дисков. Эта зависимость использовалась в ходе обработки данных о величине поводкового момента.

Как можно заметить, в конструкции установки промежуточный вал находится в свободном состоянии и связывается с входным валом КП только при помощи синхронизатора. В этом случае до включения синхронизатора относительная угловая скорость вращения дисков ФМ максимальна (поводковый момент максимальный), а с течением процесса синхронизации она уменьшается, при этом уменьшается и поводковый момент. При проверке зависимостей это обстоятельство было учтено. Кроме этого также учитывалось, что под действием поводкового момента свободный промежуточный вал ещё до процесса включения был разогнан до определённого установившегося значения частоты вращения.

Экспериментальные исследования включали в себя 5 серий, а каждая серия – 3 опыта (таблица 1).

На основе данных, полученных в результате эксперимента, был проведён перерасчёт контролируемых параметров в величины работы буксования.

Сопоставление результатов расчетов работы буксования синхронизатора при переключении передач в КП и времени синхронизации по предложенной методике с результатами экспериментальных исследований приведено в таблице 1. Расхождение результатов расчетов с результатами экспериментальных исследований по величине работы L_c буксования не превышает 10,81 %, а по величине времени t_c синхронизации 14,78 %.

Сравнение результатов расчетов с результатами экспериментальных исследований

№ серии	1			2			3			4			5		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
№ опыта															
пара- метр															
Результаты экспериментальных исследований															
L_c , Дж	534,5	548,4	549,8	575,2	563,7	574,3	591,4	595,8	589,7	579,2	587,5	585	595,4	563	523,3
t_c , с	0,40	0,38	0,40	0,42	0,40	0,42	0,424	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,38	0,44	0,46
Результаты расчетов															
L_c , Дж	535,76	534,5	531	534	535,8	530,3	537,6	533,7	534,2	535	524	542,2	536	533,6	533,8
γ_L , %	0,23	2,53	3,42	7,16	4,95	7,66	9,1	10,42	9,41	7,63	10,81	7,32	9,98	5,22	1,97
t_c , с	0,40	0,399	0,398	0,394	0,393	0,391	0,395	0,393	0,393	0,392	0,388	0,395	0,393	0,39	0,392
γ_t , %	0,0	4,76	0,5	6,19	1,75	6,9	6,84	1,75	1,75	2,0	3,0	1,25	3,31	11,36	14,78
γ_L и γ_t - погрешность соответственно при определении работы буксования синхронизатора и времени его синхронизации															

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

Литература

- Новое направление в развитии конструкций коробок передач автомобилей и тракторов. / В.М. Шарипов, М.И. Дмитриев, А.С. Шевелев и др. // Сборник материалов VI Всероссийской научно-технической конференции «Проблемы и достижения автотранспортного комплекса». - Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. - с. 214-216.
- Исследование потерь мощности в выключенных работающих в масле фрикционных муфтах. / К.Я. Львовский, В.Э. Малаховский, Т.Н. Рыбакова и др. // Труды НАТИ, вып. 264. Исследование трансмиссий с переключением передач под нагрузкой и их узлов. - М.: НАТИ, 1979. - с. 8-16.
- Оценка потерь на трение в фрикционных муфтах с гидроподжатием в коробках передач. / Н.А. Щельцын, В.М. Шарипов, И.В. Иванов и др. // Материалы 65-ой международной научно-технической конференции АИИ «Приоритеты развития 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.
- Шарипов В.М., Крючков В.А. Особенности расчёта инерционного синхронизатора в преселекторной коробке передач. // Тракторы и сельхозмашины, 2011, № 9. с. 24-26.
- Шарипов В.М., Крючков В.А. Учёт воздействия поводкового момента в классической методике расчета работы буксования синхронизатора в коробке передач. // Справочник. Инженерный журнал, 2011, № 10. с. 6-11.
- Шарипов В.М., Дмитриев М.И., Крючков В.А. Нагруженность фрикционных муфт и синхронизаторов в коробке передач. - Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. - 122 с.
- Лукин П.П., Гаспарянц Г.А., Родионов В.Ф. Конструирование и расчёт автомобиля. - М.: Машиностроение, 1984. - 376 с.