

НАДЗЕЙНАСЦЬ І ДАУГАВЕЧНАСЦЬ МАШЫН

УДК 629.114.4-585.23 : 621.825.54

С. Б. САМАРЦЕВ

ДИНАМИЧЕСКАЯ И ТЕПЛОВАЯ НАГРУЖЕННОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСМИССИИ С ТРЕМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ПЕРЕДАЧ АВТОМОБИЛЯ

Нагрев фрикционных дисков муфт и динамические нагрузки в трансмиссии автомобиля обуславливаются переходными процессами, возникающими при переключении ступеней. В трансмиссиях современных большегрузных автомобилей типа БелАЗ, МоАЗ, Твин Диск получили распространение многовальные гидромеханические передачи (ГМП), в которых включение ступени осуществляется двумя фрикционными муфтами: диапазонной и переключения ступеней. Динамическая система машинного агрегата таких автомобилей имеет три степени свободы, а включение муфт ГМП производится либо одновременно [1], либо последовательно [2, 3]: вначале диапазонная, а затем муфта переключения ступени. Динамика трансмиссии при переходных процессах описывается достаточно просто, но публикации в основном посвящены исследованию последнего случая [2—5], т. е. одна из муфт предполагается замкнутой. Однако такое переключение передач приводит к увеличению времени разрыва потока мощности [6]. Кроме того, в условиях эксплуатации встречаются ситуации, в которых последовательность работы муфт нарушается вследствие нерационально выбранных параметров исполнительных цилиндров или из-за низкой производительности насосов, обеспечивающих нормальное функционирование фрикционных муфт. Возникают задержки в последовательности их включения. Изменяется стабильность работы системы управления переключением передач в зависимости от скоростного режима машинного агрегата автомобиля, падает давление в исполнительных цилиндрах диапазонной муфты, вызывая снижение усилия сжатия пакета дисков, а при значительном уменьшении запаса момента трения — ее размыкание. Таким образом, переключение передач сопровождается совместной работой обеих фрикционных муфт. При раннем замыкании муфты переключения ступеней до 30% возрастает момент инерции ведущей части динамической системы и могут существенно повыситься динамические нагрузки в трансмиссии. Более нагруженной в отношении теплового режима становится диапазонная муфта.

В связи с этим возникает необходимость оценки качества переходных процессов в трансмиссии при одновременном включении фрикционных муфт, при задержке времени включения одной из них, вызванной какой-либо неисправностью гидравлической системы, а также при жестком и плавном замыкании пакета дисков. Известны аналитическое [7] и численное [2] решения задачи совместной работы муфт. При комплексном определении динамической нагруженности трансмиссии и нагрева фрикционных дисков наиболее корректные результаты могут быть получены с использованием численных методов. Для разработки математической модели переходных процессов применялись рекомендации

сравнении с параметрами нагрева муфты переключения ступеней. Коэффициенты использования момента трения муфт K_{Φ_1} , K_{Φ_2} определены по соотношению моментов трения при замыкании муфты и в состоянии покоя. Коэффициент K_{M_T} показывает изменение момента на турбине гидротрансформатора, развиваемого при блокировке фрикционных муфт. Для оценки скоростного режима работы машинного агрегата в процессе задержки включения диапазонной муфты введен коэффициент нарастания скорости вращения ведущей части динамической системы K_{ω} , представляющий собой отношение скорости вращения турбины гидротрансформатора в момент начала буксования диапазонной муфты и начальной скорости вращения турбины в момент включения муфты переключения ступеней. Вместе с этим используется значение начальной скорости вращения турбины гидротрансформатора ω , которым является отношение начальной и максимально возможной скорости вращения турбины.

Приведенные на рис. 2 графики иллюстрируют характер протекания переходных процессов в трансмиссии автомобиля с ГМП. Показано изменение угловых скоростей вращения турбины гидротрансформатора ω_1 , ведомых деталей муфт переключения ступеней ω_{12} и диапазонов ω_2 , скорости движения автомобиля ω_5 , относительных скоростей скольжения дисков обеих муфт $\omega_{отн1}$ и $\omega_{отн2}$, динамических моментов на карданном

Таблица 1

Связь между моментами инерции ведомых деталей муфт и временем буксования

Включаемая ступень ГМП	Безразмерные моменты инерции масс ведомых деталей муфт		Время буксования муфт ГМП	
	диапазонной	переключения ступеней	жесткое включение	плавное включение
I	0,045	0,276	$t_{\sigma_1} < t_{\sigma_2}$	$t_{\sigma_1} < t_{\sigma_2}$
II	0,105	0,515	$t_{\sigma_1} < t_{\sigma_2}$	$t_{\sigma_1} > t_{\sigma_2}$
III	0,431	0,292	$t_{\sigma_1} < t_{\sigma_2}$	$t_{\sigma_1} > t_{\sigma_2} \rightarrow 0$
IV	1,342	0,835	$t_{\sigma_1} < t_{\sigma_2}$	$t_{\sigma_1} > t_{\sigma_2} \rightarrow 0$

Таблица 2

Изменение критериев оценки качества переходных процессов при трогании автомобиля на III передаче и одновременном включении муфт ГМП с различными характеристиками усилия сжатия муфты переключения ступеней

ω	K_t	t_{σ_1}, c	t_{σ_2}, c	K_B	K_{II}	K_{M_T}	K_{Φ_1}	K_{Φ_2}	K_{θ_1}	K_{θ_2}	$K_{ст1}$	$K_{МК1}$	$K_{ст2}$	$K_{МК2}$
----------	-------	-------------------	-------------------	-------	----------	-----------	--------------	--------------	----------------	----------------	-----------	-----------	-----------	-----------

муфта с жестким включением

1,00	0,61	0,14	0,16	1,51/0,97	1,61/1,01	0,81	0,83	0,69	0,77	1,02	0,84	0,92	0,82	0,90
0,75	0,74	0,12	0,14	1,44/1,05	1,34/0,98	0,80	0,71	0,59	0,88	1,19	0,92	0,97	0,91	0,96
0,35	0,75	0,08	0,12	0,78/1,05	1,14/1,02	1,00	0,52	0,47	1,14	1,34	0,99	1,00	0,98	0,99

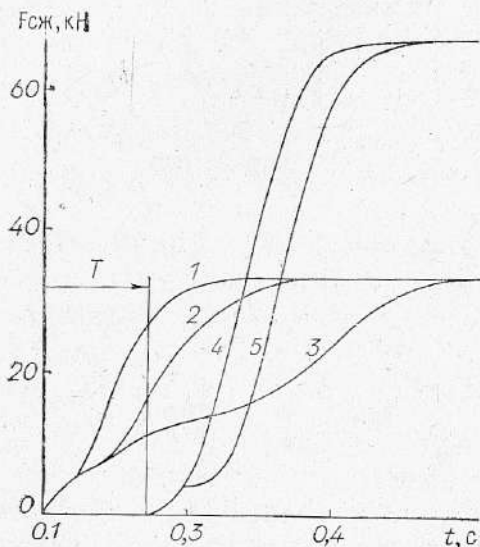
серийная муфта

1,00	0,88	0,32	0,14	1,46	1,06	1,04	1,00	0,94	0,98	0,25	0,98	1,00	0,79	0,85
0,75	0,82	0,22	0,14	1,02	1,04	0,87	0,80	0,71	0,88	0,31	0,99	1,00	0,90	0,93
0,35	1,00	0,16	0,14	1,21	1,14	1,03	0,52	0,36	0,95	1,14	0,99	1,00	1,00	1,00

муфта с устройством плавности

1,00	1,31	0,48	0,05	1,12/0,85	1,16/0,89	0,93	0,98	0,01	0,72	—	1,06	1,02	—	—
0,75	1,56	0,42	0,05	0,75/0,84	0,81/0,87	1,00	0,77	0,01	0,80	—	1,05	1,00	—	—
0,35	1,13	0,18	0,04	0,89/0,61	1,01/0,73	1,14	0,37	0,01	0,96	—	0,99	1,00	—	—

работ [2, 5, 8, 9] с той лишь разницей, что рассматривалась четырехмассовая неразветвленная динамическая система машинного агрегата, включающая две фрикционные муфты ГМП и учитывающая направление действия момента трения в каждой из них, а также имитирующая сцепление колес с дорогой. Средняя поверхностная температура дисков, обуславливающая тепловой режим работы муфты, рассчитывалась по методу конечных разностей [5]. Исследования производились на примере трансмиссии автомобиля МоАЗ-6401. Особенностью ГМП является расположение диапазонных муфт на выходном валу коробки передач. При этом муфта низшего диапазона имеет 8 пар трения, а высшего — 12, следовательно, характеристики усилия сжатия пакета дисков при



включении I, II и III, IV передач различны. Исходя из принципа, положенного в основу работы системы переключения передач при последовательном включении муфт, функции, выполняемые каждой из них, а также габариты отличаются. Диапазонные муфты предназначены для жесткой (при разомкнутых ведущей и ведомой

Рис. 1. Характеристики усилия сжатия пакета дисков фрикционных муфт переключения ступеней с жестким включением (1); серийной (2), с устройством плавности (3), переключения низшего (4) и высшего (5) диапазонов

частях динамической системы) блокировки. Муфты переключения ступеней должны обеспечить плавное замыкание пакета дисков для получения минимальных нагрузок в трансмиссии. С использованием методики, приведенной в работе [3], были получены характеристики усилия сжатия исследуемых муфт (рис. 1). При принятых параметрах исполнительных цилиндров время выбора зазоров между дисками T для муфт переключения ступеней составляет 0,1 с, а у диапазонных муфт — 0,25—0,3 с. Ввиду этого рассматривались возможные варианты задержки начала работы одной из муфт на 0,1; 0,2; 0,3 с, которые соответствуют, с одной стороны, значениям времени выбора зазоров между дисками, а с другой — времени нарастания до максимального усилия сжатия пакета дисков. Практически введение времени задержки, равного 0,3 с, описывает случай последовательного включения муфт, когда одна из них замкнулась.

Дифференциальные уравнения движения масс динамической системы машинного агрегата, теплопередачи во фрикционных дисках и уравнения, описывающие процессы перемещения элементов муфт, решались совместно с помощью ЭВМ по разработанным на языке Фортран программам.

В качестве оценочных критериев были приняты: время буксования муфт переключения ступеней $t_{б1}$ и диапазонов $t_{б2}$ и безразмерные коэффициенты, представляющие собой отношения параметров переходных процессов при одновременном включении муфт и при буксовании муфты переключения ступеней с заблокированной диапазонной муфтой (коэффициенты изменения полного времени буксования фрикционных муфт K_t и уровня максимальных динамических нагрузок на выходном валу ГМП K_b и полуосях автомобиля $K_{пв}$, изменения максимальных значений теплового потока, возникающего при трении дисков, и температур стальных и металлокерамических фрикционных элементов в муфтах переключения ступеней K_{θ_1} , $K_{ст_1}$, $K_{мк_1}$ и в диапазонных муфтах K_{θ_2} , $K_{ст_2}$, $K_{мк_2}$ соответственно). Отметим, что последние критерии получены в

валу ГМП M_{23} и полуосях автомобиля M_{34} , момента на турбинном валу гидротрансформатора M_T , моментов трения муфт M_{Φ_1} и M_{Φ_2} и тепловых потоков на поверхностях фрикционных элементов θ_1 и θ_2 .

В зависимости от характеристики усилия сжатия пакета дисков, коэффициента трения в функции скорости скольжения дисков, температурного режима работы муфты и удельного теплового потока, а также параметров динамической системы машинного агрегата блокировка муфт ГМП может происходить в разной последовательности. В табл. 1 устанавливается взаимосвязь между указанными факторами. Безразмерность моментов инерции масс ведомых деталей муфт ГМП получена по их отношению к моменту инерции масс ведущей части динамической системы. При включении муфты высшего диапазона (III и IV передачи) время буксования равно 0,03—0,05 с (фактически стремится к нулю), а

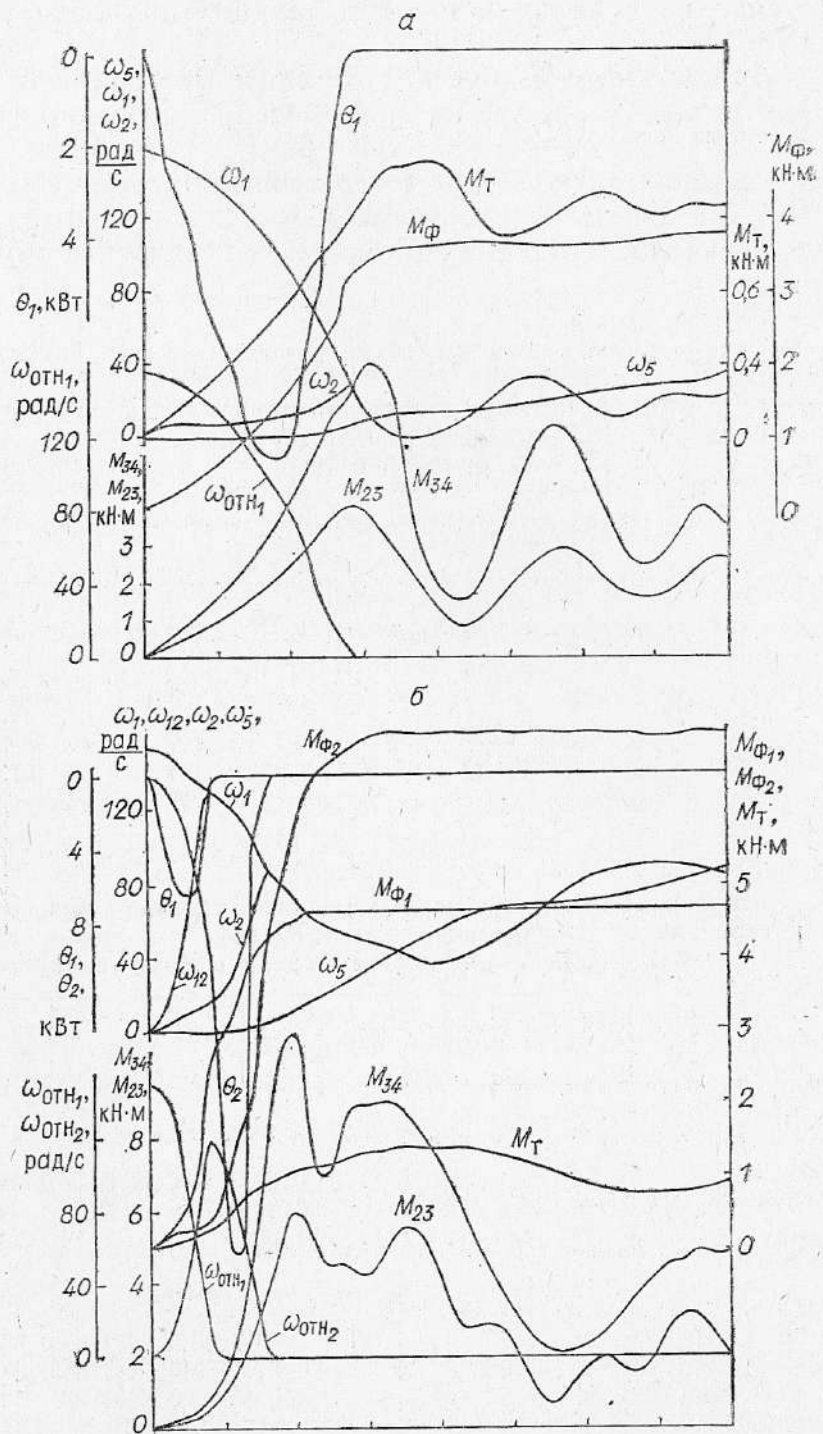
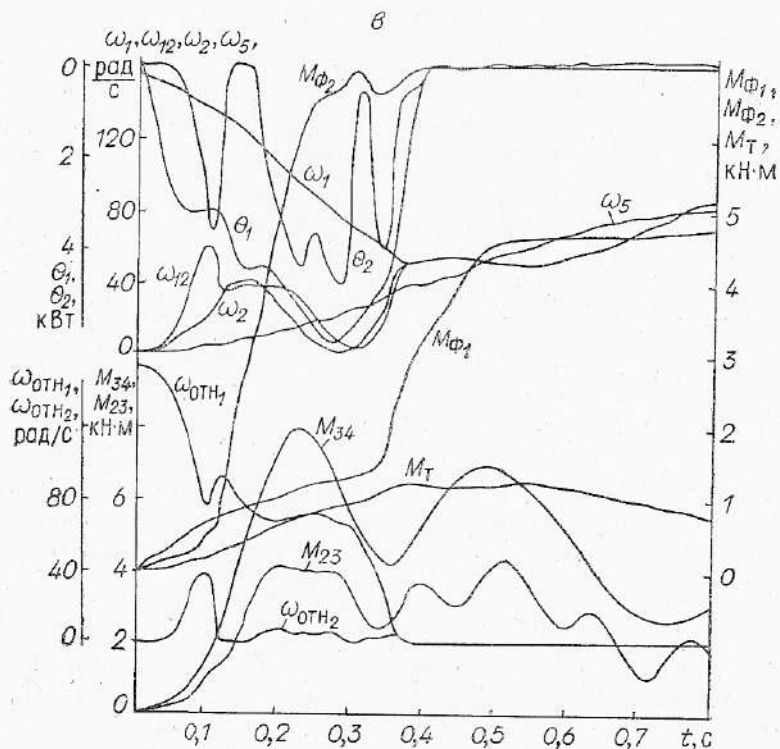


Рис. 2. Изменение параметров переходного процесса в трансдиапазонная муфта заблокирована, включается серийная новременной работе муфт переключения диапазонов и ступе плав.

скорость скольжения ее дисков увеличивается не более чем на 10 рад/с. Причиной этого наряду с большими значениями момента инерции масс следует считать высокую интенсивность нарастания до максимальной величины усилия сжатия пакета дисков диапазонной муфты, тогда как муфта переключения ступеней (особенно с устройством плавности) создает в это время минимальный момент трения, почти не меняя скорости вращения ведомой части, которая является ведущей для диапазонной муфты. При жестком включении обеих муфт интенсивность нарастания усилий сжатия становится соизмеримой, что обуславливает сравнимое время буксования.

В целом при одновременном включении муфт время буксования $t_{б1}$, $t_{б2}$ и коэффициент K_t за исключением рабочих процессов устройства плавности снижаются (табл. 2). Тогда нагрев дисков несколько уменьшается, а коэффициенты изменения температуры показывают, что тепловой режим работы фрикционных элементов диапазонной муфты ниже, чем в муфте переключения ступеней. Коэффициенты использования момента трения меньше единицы, а значения $K_{Ф1}$ всегда выше, чем $K_{Ф2}$. Анализ данных (табл. 2) говорит о том, что в связи с уменьшением коэффициента изменения полного времени буксования K_t снижается величина K_{M_T} . Исследуемым переходным процессам свойственны более высокие динамические нагрузки в трансмиссии на большинстве режимов и при всех характеристиках усилия сжатия пакета дисков. Об этом также свидетельствуют результаты, представленные для сравнения в знаменателях табл. 2 для коэффициентов уровня нагрузок K_B и K_P , полученные при включении муфты переключения ступеней с заблокированной диапазонной муфтой. Несмотря на это, применение устройства плавности приводит к уменьшению нагруженности трансмиссии в 1,1—1,4 раза, но поверхностная температура дисков не превышает установленной для охлаждающей жидкости максимальной величины (160—180 °С).

Задержка времени включения диапазонной муфты вызывает увеличение нагрузок на выходном валу ГМП и полуосях в 1,1—1,5 раза (табл. 3). При этом время буксования ее повышается, обуславливая



миссии с ГМП при трогании автомобиля: а — на III передаче, муфта переключения ступеней; б, в — на II передаче при одной соответственно с жестким включением и с устройством плавности

Изменение критериев оценки качества переходных процессов при трогании автомобиля на III передаче и включении муфт ГМП с задержкой времени 0,1 с

ω	K_I	t_{δ_1}, c	t_{δ_2}, c	K_B	K_{II}	K_{Φ_1}	K_{Φ_2}	K_{θ_1}	K_{θ_2}	K_0	K_{CT1}	K_{MK1}	K_{CT2}	K_{MK2}
<i>задержка включения диапазонной муфты</i>														
1,00	0,60	0,18	0,22	1,86	1,68	0,17	—	0,40	1,31	0,82	0,82	0,88	0,84	0,93
0,75	0,74	0,14	0,20	1,57	1,37	0,16	—	0,44	1,46	0,87	0,91	0,94	0,92	0,97
0,35	1,00	0,10	0,16	0,97	1,21	0,16	—	0,57	1,72	0,76	0,98	0,99	0,99	1,00
<i>задержка включения муфты переключения ступеней</i>														
1,00	0,88	0,32	0,06	1,13	1,08	—	0,98	1,01	0,21	—	0,98	1,00	0,78	0,85
0,75	0,96	0,26	0,04	1,13	1,03	—	0,96	1,01	0,42	—	0,99	1,00	0,90	0,92
0,35	1,00	0,16	0,04	0,88	1,09	—	0,86	0,95	1,00	—	1,00	1,00	0,98	0,99

тем самым более высокий нагрев фрикционных элементов, чем у дисков муфты переключения ступеней. Коэффициент нарастания скорости K_ω на всех режимах меньше единицы. Однако в процессе буксования муфты скорость вращения турбины гидротрансформатора всегда становилась ниже значения, при котором включалась диапазонная муфта. Увеличение задержки до 0,3 с привело к дальнейшему росту динамической нагруженности трансмиссии на 5—16% и незначительному повышению температуры дисков. Коэффициенты K_{Φ_1} и K_{Φ_2} показывают (табл. 3), что включение обеих муфт происходило по достижении некоторого момента трения буксующей муфты. При этом при задержке времени включения муфты переключения ступеней момент трения диапазонной муфты определялся максимальным усилием сжатия пакета дисков. В этом случае по причинам, рассмотренным выше (табл. 1), сокращается процесс буксования последней и на 5—38% уменьшаются нагрузки на валах трансмиссии. Тепловая нагруженность дисков по сравнению со случаем одновременного включения муфт почти не изменилась. Повышение времени задержки более 0,1 с влияния на оценочные критерии не оказывает.

Таким образом, установлено, что одновременное включение муфт переключения диапазонов и ступеней в трансмиссии с тремя степенями свободы приводит к существенному нарастанию динамических нагрузок в передаче даже при использовании устройств плавности. Тепловой режим работы фрикционных дисков обеих муфт находится в допустимых пределах. Динамика трансмиссии резко ухудшается при задержке включения муфт 0,04—0,1 с. При задержке включения одной из муфт свыше 0,3 с процесс их переключения осуществляется последовательно, не оказывая влияния на качество переходных процессов.

Summary

Consideration is given to transmission dynamics and thermal tension of friction elements with simultaneous operation of engagement clutches of ranges and stages in a hydromechanical gearbox of a hauler obeying to different laws of the compression development effort of the disc pack.

Литература

1. Мазалов Н. Д., Трусов С. М. Гидромеханические коробки передач.— М.: Машиностроение, 1971.—296 с.
2. Тарасик В. П. Фрикционные муфты автомобильных гидромеханических передач.— Мн.: Наука и техника, 1973.—320 с.
3. Филиппова Н. Н. Исследование сдвоенных многодисковых фрикционных муфт гидромеханических передач большегрузных автомобилей и тягачей: Автореф. канд. дис.— Мн., 1979.—21 с.

4. Филиппова Н. Н., Самарцев С. Б., Тарасик В. П., Казюк О. Н.— Автомобильная промышленность, 1982, № 7, с. 15—17.
5. Самарцев С. Б., Тарасик В. П., Гурленя В. Н., Митяев А. Ф.— Машиноведение, 1982, № 3, с. 86—90.
6. Сидоров Н. А., Самарцев С. Б., Филиппова Н. Н.— ЭИ. Конструкции автомобилей / НИИ Навтопром. М., 1982, № 2, с. 30—32.
7. Беренгард Ю. Г.— Машиноведение, 1983, № 2, с. 36—41.
8. Цитович И. С., Альгин В. Б. Динамика автомобиля.— Мн.: Наука и техника, 1981.—191 с.
9. Применение ЭВМ при конструировании и расчете автомобиля.— Мн.: Вышэйш. школа, 1978.—264 с.

Могилевский машиностроительный институт

*Поступила в редакцию
10.10.83*