

УДК 629.113

В. С. Савицкий

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТРАНСМИССИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕМ ПЕРЕДАЧ ПОСРЕДСТВОМ ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫХ КЛАПАНОВ

UDC 629.113

V. S. Savitsky

EXPERIMENTAL STUDY OF TRANSIENT PROCESSES IN TRANSMISSIONS WITH GEAR CHANGE CONTROLLED BY PROPORTIONAL VALVES

Аннотация

Проведены испытания карьерного самосвала с двумя вариантами механизмов управления фрикционными гидромеханической передачи – с оптимальными и базовыми параметрами. Определены значения критериев качества процессов переключения передач. Произведено сравнение полученных результатов испытаний вариантов исполнения механизмов управления фрикционными.

Ключевые слова:

карьерный самосвал, гидромеханическая передача, механизм управления фрикционными, параметры механизма, критерии качества переходных процессов.

Abstract

A dump truck equipped with two kinds of mechanisms, with optimal and basic parameters, to control friction clutches in the hydromechanical transmission has been tested. The values of quality criteria for the processes of gear change have been determined. The results obtained in testing different mechanisms for friction clutch control have been compared.

Key words:

quarry dump truck, hydromechanical transmission, friction clutch control mechanism, mechanism parameters, quality criteria of transient processes.

На карьерных самосвалах БелАЗ грузоподъемностью 60 т применяются два типа гидромеханических передач (ГМП) – вальная и планетарная. Для них сотрудниками кафедры «Транспортные и технологические машины» Белорусско-Российского университета создана мехатронная система автоматического управления (МСАУ), компоненты которой унифицированы для вальной и планетарной ГМП [1].

Для данной МСАУ разработан механизм управления фрикционными (МУФ). Его конструкция и принципиальная схема приведены в [2–4]. МУФ выполнен в виде электрогидравлическо-

го пропорционального клапана (ЭПК), в состав которого входят регулятор давления (РД) и регулятор-распределитель (РР). Регулятор давления состоит из пропорционального электромагнита (ПЭМ) и гидравлического двухлинейного клапана с шаровым запорно-регулирующим органом. Регулятор-распределитель представляет собой трёхлинейный гидроклапан с дифференциальным золотниковым запорно-регулирующим органом и гидравлической обратной связью по выходному давлению.

Проведены теоретические исследования процессов функционирования

МУФ. Разработана его математическая модель и получены результаты моделирования процессов функционирования при переключении передач. Исследованы зависимости критериев качества функционирования от изменения параметров механизма [2, 3]. Выбраны критерии оптимальности, проведено планирование эксперимента, построены регрессионные модели зависимостей критериев от параметров механизма управления фрикционами, осуществлена оптимизация параметров [3, 4].

Для оценки эффективности выполненных теоретических исследований и принятых на их основе конструктивных решений проведены полигонные испытания карьерного самосвала, укомплектованного данными МУФ. Изложим результаты испытаний.

Испытания проходили в два этапа. На первом этапе использовались МУФ с исходными базовыми параметрами и производилась запись процесса разгона самосвала по испытательному полигону. На втором этапе испытаний на ГМП были установлены МУФ, изготовленные с параметрами, определёнными в результате оптимизации [3, 4].

Выходные сигналы датчиков моментов, давлений, а также частоты вращения входного и выходного валов ГМП регистрировались с помощью 16-канальной платы сбора данных USB 6210 производства «Нэйшонал Инструментс» (National Instruments, США) с интервалом 0,001 с. Конфигурирование платы на решаемую задачу осуществлялось в среде программирования Labview 2009 путем создания программы, обеспечивающей считывание сигналов датчиков, их фильтрацию, визуализацию и запись на жесткий диск ноутбука.

Во время испытаний регистрировались следующие параметры:

– частоты вращения валов ГМП: турбинного n_T , промежуточного $n_{пр}$, выходного $n_{вых}$;

– момент на выходном валу $M_{вых}$;

– главное давление $p_{гл}$ в системе управления ГМП;

– давления $p_{ф1}$, $p_{ф2}$, $p_{ф3}$, $p_{фн}$, $p_{фв}$, $p_{ф.гдт}$ в каналах подачи рабочей жидкости к фрикционам первой, второй, третьей передач, фрикционам понижающего и повышающего диапазонов, фрикциону блокировки гидротрансформатора соответственно.

На рис. 1 показан фрагмент записи процесса разгона гружёного самосвала. При разгоне самосвала были осуществлены переключения с первой по шестую передачу.

Оценка качества переходных процессов производилась по трём критериям:

1) коэффициенту динамичности момента на выходном валу k_d ;

2) удельной мощности буксования включаемого фрикциона $P_{ф}$;

3) удельной работе буксования включаемого фрикциона $W_{ф}$.

Коэффициент динамичности вычислялся по формуле

$$k_d = M_{вых.мах} / M_{вых.уст}, \quad (1)$$

где $M_{вых.мах}$ – максимальное значение момента на выходном валу в процессе переключения передач, Н·м; $M_{вых.уст}$ – установившееся значение момента на выходном валу после окончания переходного процесса, Н·м.

Удельные мощность и работа буксования в момент времени t_i определялись по формулам [5]:

$$P_{ф.уд} = P_{ф} / A_{тр}; \quad (2)$$

$$P_{ф} = M_{ф} \Delta \omega; \quad (3)$$

$$W_{ф.уд} = W_{ф} / A_{тр}; \quad (4)$$

$$W_{ф} = \int_0^{t_0} |M_{ф} \Delta \omega| dt; \quad (5)$$

$$M_{\phi} = k_z \mu z_{\mu} F_{\text{сж}} r_{\mu}; \quad (6)$$

$$F_{\text{сж}} = p_{\text{гц}} A_{\text{п}} - F_{\text{п}}, \quad (7)$$

где $\Delta\omega$ – относительная угловая скорость скольжения фрикционных дисков, рад/с; $A_{\text{тр}}$ – площадь поверхности трения, м²; $t_{\text{б}}$ – время буксования, с; k_z – коэффициент, учитывающий влияние числа дисков фрикциона на сниже-

ние нажимного усилия; μ – коэффициент трения; z_{μ} – количество пар трения; $F_{\text{сж}}$ – усилие сжатия пакета дисков фрикциона, Н; r_{μ} – радиус трения, м; $p_{\text{гц}}$ – давление в гидроцилиндре фрикциона, Па; $A_{\text{п}}$ – площадь поршня гидроцилиндра фрикциона, м²; $F_{\text{п}}$ – усилие возвратных пружин фрикциона, Н.

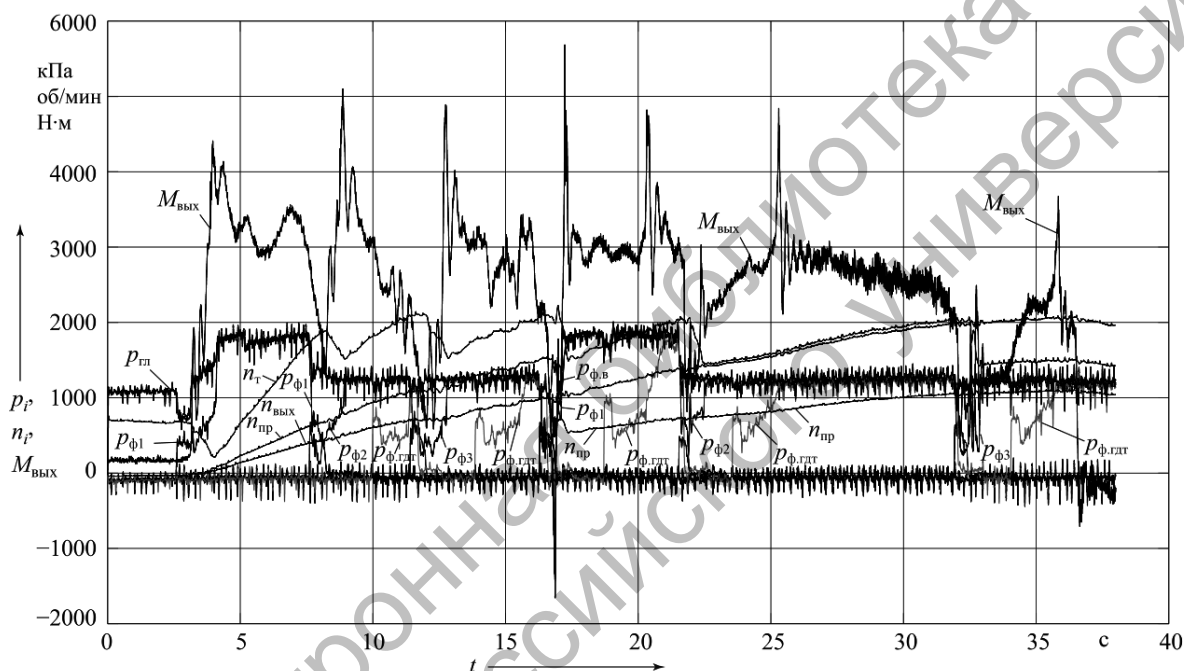


Рис. 1. Фрагмент записи процесса разгона самосвала

Для ГМП БелАЗ перечисленные параметры имели следующие значения: $A_{\text{тр}} = 16,3 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$; $k_z = 0,6$; $z_{\mu} = 18$; $r_{\mu} = 110,25 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $A_{\text{п}} = 3,738 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$. Вычисления значений выражений (2)–(7) производились на каждом шаге записи процесса, т. е. через 0,001 с.

Оценка качества переходных процессов осуществлялась для включения первой передачи с нейтрالي ($N \rightarrow 1$) и переключения со второй на третью передачу ($2 \rightarrow 3$).

На рис. 2 представлены графики процессов переключения $N \rightarrow 1$. При этом на рис. 2, а, б изображены графи-

ки, полученные при использовании МУФ с базовыми параметрами, а на рис. 2, в, г – с оптимальными. Аналогично на рис. 3 приведены графики процессов переключения $2 \rightarrow 3$.

Можно отметить, что процессы переключения передач, полученные при использовании МУФ с оптимальными параметрами (рис. 2, в, г и рис. 3, в, г), характеризуются меньшими колебаниями давления в гидроцилиндре фрикциона, а также момента и частоты вращения турбинного вала ГМП. В табл. 1 приведены значения показателей качества процессов переключения передач, представленных на рис. 2 и 3.

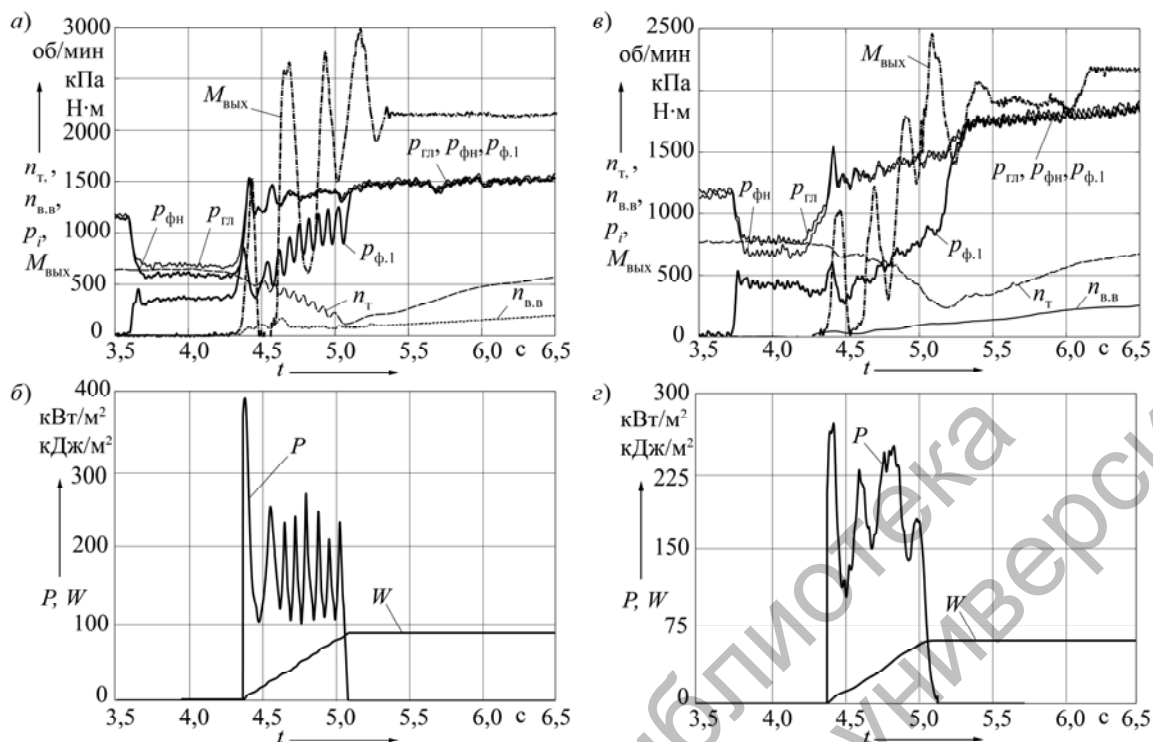


Рис. 2. Графики переходных процессов при включении первой передачи с нейтрали ($N \rightarrow 1$):
 а, б – МУФ с базовыми параметрами; в, г – МУФ с оптимальными параметрами

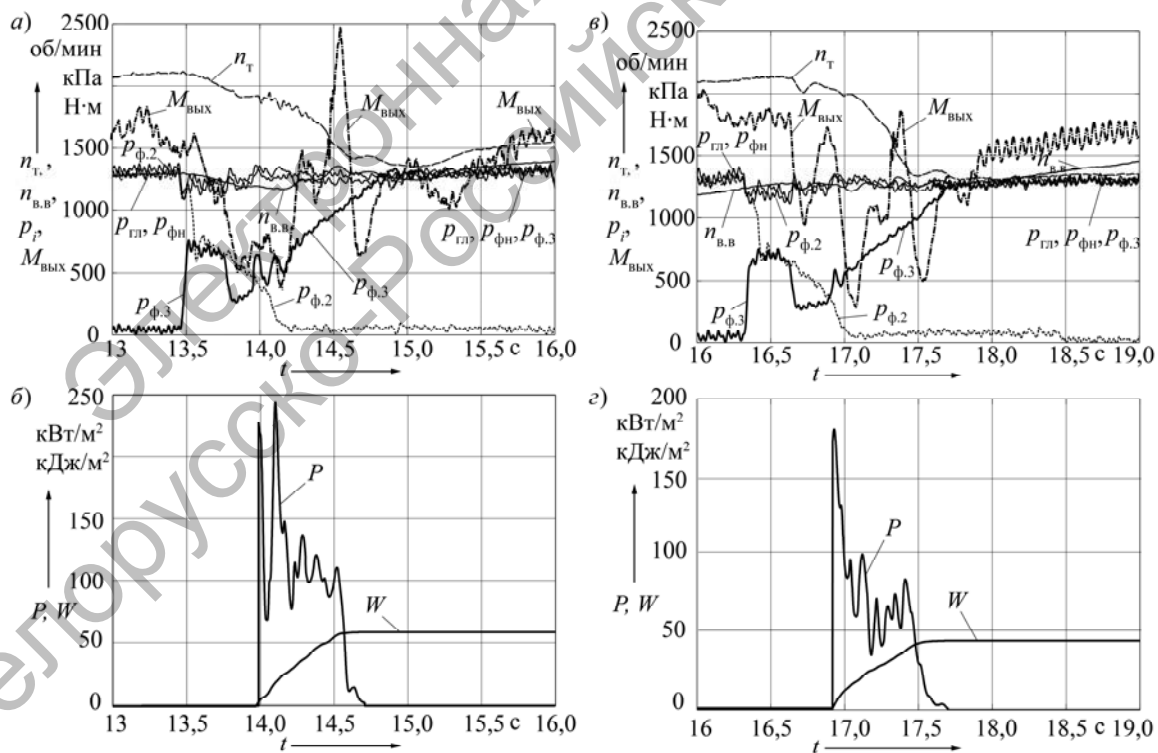


Рис. 3. Графики переходных процессов при переключении со второй на третью передачу ($2 \rightarrow 3$):
 а, б – МУФ с базовыми параметрами; в, г – МУФ с оптимальными параметрами

Табл. 1. Значения показателей качества процессов переключения передач

Показатель качества	Переключение $N \rightarrow 1$		Процент улучшения показателя	Переключение $2 \rightarrow 3$		Процент улучшения показателя
	МУФ с базовыми параметрами	МУФ с оптимальными параметрами		МУФ с базовыми параметрами	МУФ с оптимальными параметрами	
k_d	1,390	1,136	18,3	1,555	1,109	28,7
P_ϕ , кВт/м ²	390,0	271,5	30,4	245	180,8	26,2
W_ϕ , кДж/м ²	88,3	60,6	31,4	58	43,0	25,9

На основании полученных результатов можно заключить, что методика, изложенная в [3, 4], позволила определить оптимальные параметры МУФ, при которых происходит значительное

снижение динамических нагрузок в трансмиссии при переключении передач по сравнению с переключениями, осуществляемыми посредством МУФ с базовыми параметрами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мехатронная система автоматического управления гидромеханической передачей мобильных машин / В. П. Тарасик [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2015. – № 2 (47). – С. 68–80.
2. Савицкий, В. С. Математическая модель механализма управления фрикционами гидромеханической передачи карьерного самосвала / В. С. Савицкий, В. П. Тарасик // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2016. – № 2 (51). – С. 71–82.
3. Тарасик, В. П. Методика проектирования механизма управления фрикционами гидромеханической передачи на основе математического моделирования процесса его функционирования / В. П. Тарасик // Грузовик. – 2016. – № 6. – С. 10–18.
4. Тарасик, В. П. Оптимизация параметров механизма управления фрикционами гидромеханической передачи / В. П. Тарасик, В. С. Савицкий // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2015. – № 2 (51). – С. 102–111.
5. Конструкция, конструирование и расчёт. Трансмиссия / Под ред. А. И. Гришкевича. – Минск : Выш. шк., 1985. – 240 с. : ил.

Статья сдана в редакцию 16 января 2017 года

Виктор Сергеевич Савицкий, ассистент, Белорусско-Российский университет. Тел.: 8-0222-79-80-85.

Viktor Sergeyevich Savitsky, assistant lecturer, Belarusian-Russian University. Phone: 8-0222-79-80-85.