

УДК 621.33
МЕХАТРОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧИ КАРЬЕРНОГО САМОСВАЛА

В. С. САВИЦКИЙ

Научный руководитель В. П. ТАРАСИК, д-р техн. наук, проф.
Государственное учреждение высшего профессионального образования
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Могилев, Беларусь

На карьерных самосвалах БЕЛАЗ грузоподъемностью 30–60 т применяется гидромеханическая передача (ГМП). ГМП состоит из гидродинамического трансформатора и многоступенчатой коробки передач, переключение ступеней в которой осуществляется посредством многодисковых фрикционных муфт и тормозов, снабжённых гидроприводом управления.

Для управления ГМП разработана мехатронная система автоматического управления (МСАУ). Эта система управляет переключением передач, блокированием гидротрансформатора, изменением режима работы двигателя при переключении передач, обеспечивает плавное включение фрикционов ГМП.

Схема МСАУ приведена на рис. 1. МСАУ имеет распределенную структуру, состоит из множества компонентов, располагаемых в различных местах самосвала. В её состав входят следующие компоненты: контроллер управления ГМП; селектор режимов управления ГМП; электронная педаль акселератора; электронная панель приборов; механизмы управления фрикционными (МУФ) ГМП; датчики частоты вращения валов ГМП; датчики давления; датчик температуры масла.

МСАУ обеспечивает три режима управления ГМП: автоматический, командный и аварийный. В автоматическом режиме осуществляется автоматическое переключение передач и автоматическое управление блокированием гидротрансформатора. В командном режиме передачи переключает водитель вручную посредством перемещения рычага селектора, а управление блокированием гидротрансформатора автоматическое. Аварийный режим управления используется при необходимости доставки самосвала с неисправной МСАУ или ГМП на базу ремонта. На этом режиме можно включить первую передачу и передачу реверса.

При создании МСАУ для карьерных самосвалов БЕЛАЗ наиболее сложной проблемой оказалась разработка МУФ. Назначение МУФ – управление потоком энергии рабочей жидкости, подаваемой в гидроцилиндр фрикциона, и обеспечение требуемой характеристики изменения давления в нём в процессе переключения передачи.

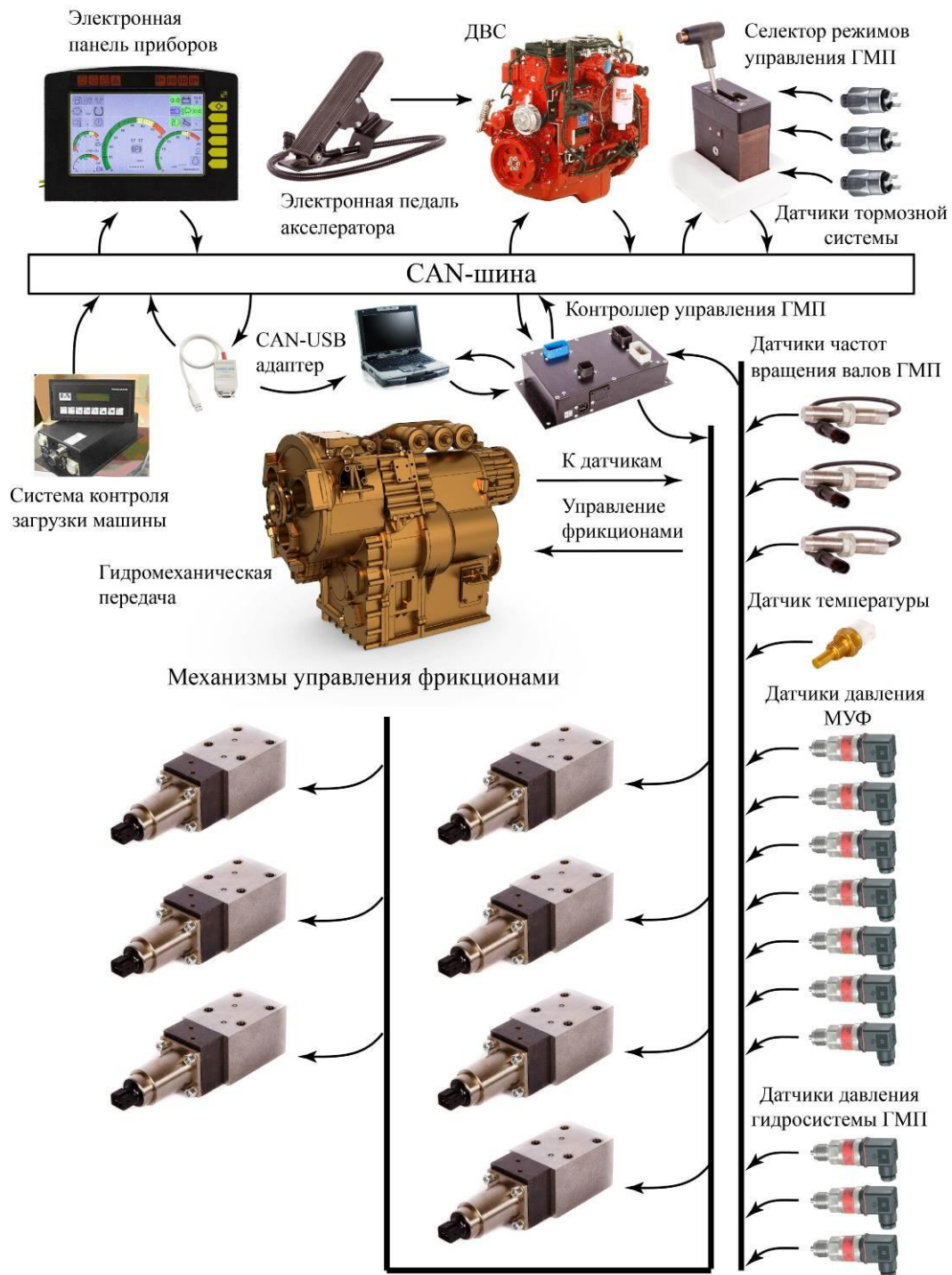


Рис. 1. Схема МСАУ

На рис. 2 представлена конструкция МУФ после её доработки, выполненной на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований.

МУФ выполнен в виде двухступенчатого электрогидравлического пропорционального клапана, состоящего из регулятора давления (РД) с шаровым запорно-регулирующим органом и золотникового регулятора-распределителя (РР). РД состоит из пропорционального электромагнита 1, шарикового затвора 4, седла клапана 5 и камеры регулирования 6, соединённой через дроссель 20 с полостью управления 7 регулятором-

распределителем. Эта полость через дроссели 8, 13 и 20 постоянно соединена с каналом 14 подвода рабочей жидкости от гидронасоса. Основными элементами РР являются золотник 10 и пружина 12. Канал 14 РР соединён с гидронасосом системы управления, канал 15 – с гидроцилиндром фрикциона, а канал 16 – с гидробаком.

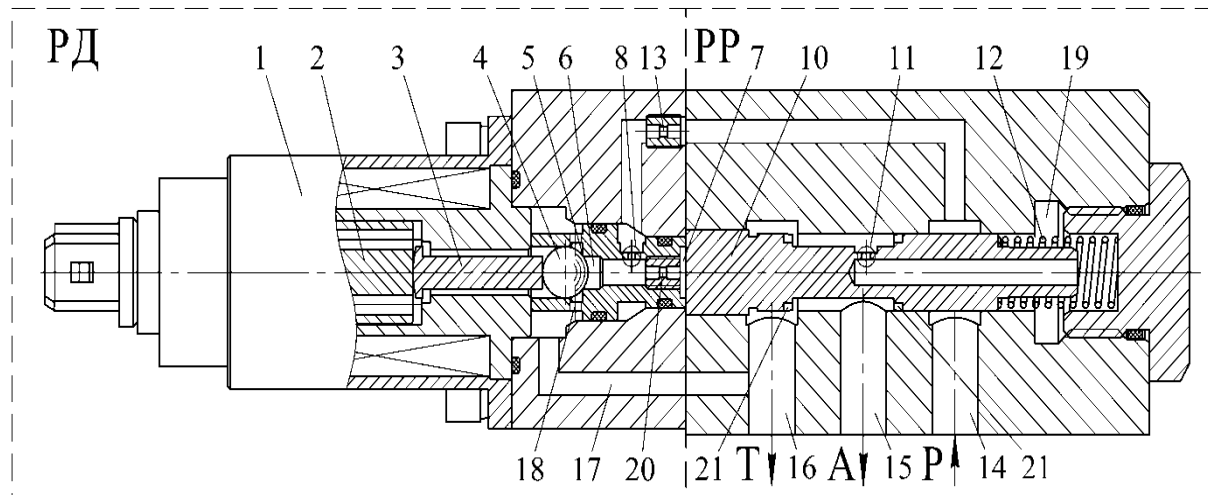


Рис. 2. Конструкция МУФ

При разработке конструкции МУФ, для обоснования его характеристик и параметров возникла необходимость математического моделирования процессов функционирования.

На основе метода сосредоточенных масс разработана динамическая модель системы гидропривода управления фрикционом, представленная на рис. 3. Она учитывает инерционные, упругие и диссипативные свойства всех компонентов системы гидропривода и её гидромагистралей, а также изменение дросселирующих щелей регулятора давления, регулятора-распределителя и переливного клапана.

По динамической модели системы управления фрикционом составлена математическая модель, представляющая собой систему нелинейных дифференциальных уравнений в нормальной форме Коши 25-го порядка. Система дифференциальных уравнений дополнена системой нелинейных алгебраических уравнений, которая описывает расходы жидкости через постоянные дроссели и дроссели переменного сечения, образованные запорно-регулирующими органами переливного клапана, регулятора давления и регулятора-распределителя.

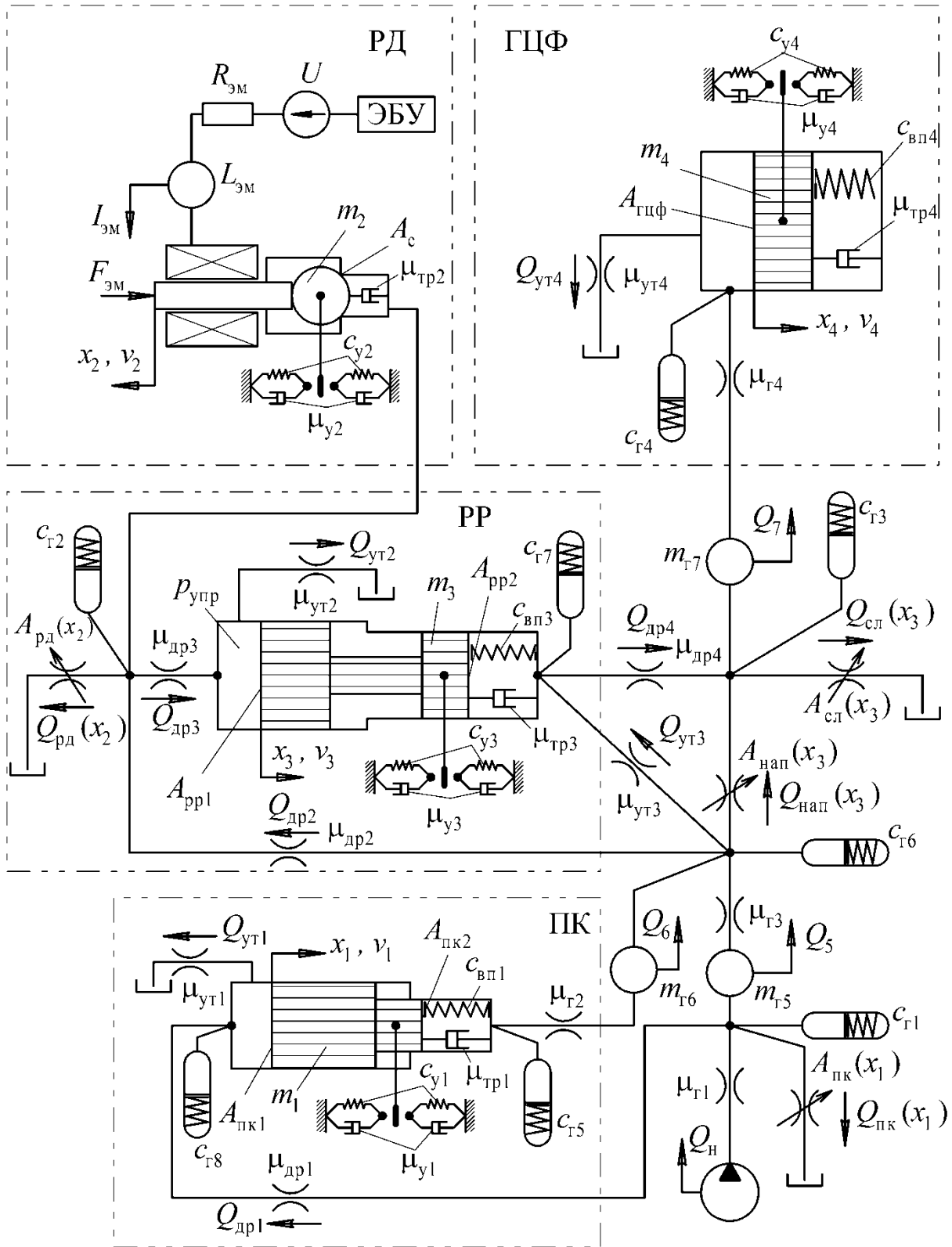


Рис. 3. Динамическая модель системы управления фрикционом: ПК – переливной клапан; РД – регулятор давления; РР – регулятор-распределитель; ГЦФ – гидроцилиндр фрикциона

Для оценки качества процесса функционирования МУФ приняты шесть критериев: время перемещения золотника РР до полного открытия напорной щели при включении МУФ t_{pp} ; время заполнения гидроцилиндра $t_{зап}$; время переходного процесса $t_{п}$ на этапе регулирования; коэффициент динамичности давления при переходе к этапу регулирования $k_{др}$; гистерезис характеристики включения t_{on} ; гистерезис характеристики выключения t_{off} . Приведена методика определения показателей качества.

На разработанной математической модели проведены исследования влияния семи основных конструктивных параметров МУФ на показатели качества его функционирования при включении фрикциона. На рис. 4 и 5 в качестве примера показаны графики отображающие зависимости критериев качества от двух параметров МУФ – коэффициента жёсткости пружины $c_{вп3}$ и диаметра дросселя обратной связи золотника $d_{др4}$.

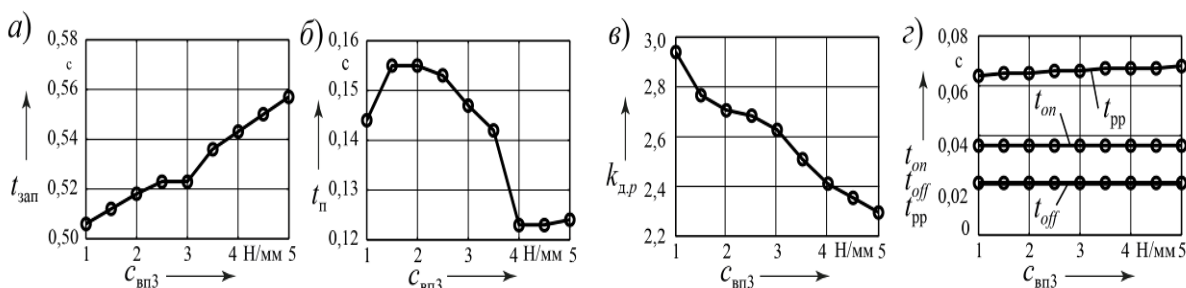


Рис. 4. Зависимости критериев качества от $c_{вп3}$

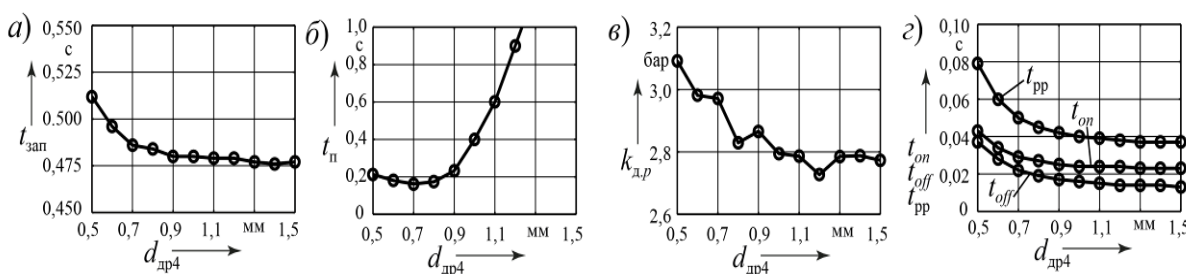


Рис. 5. Зависимости критериев качества от $d_{др4}$

Можно отметить, что критерии качества процесса функционирования МУФ являются конфликтными, что потребовало проведения оптимизации параметров МУФ.

Решение задачи оптимизации произведено на основе использования уравнений регрессий, связывающих между собой критерии и оптимизируемые параметры объекта. Уравнения регрессий получены на основе проведения планируемого вычислительного эксперимента на исходной математической модели.

Для построения регрессионной модели принят квадратный полином вида:

$$y_j = b_{0j} + b_{1j}x_1 + b_{2j}x_2 + b_{3j}x_3 + b_{4j}x_4 + b_{5j}x_1x_2 + b_{6j}x_1x_3 + b_{7j}x_1x_4 + b_{8j}x_2x_3 + b_{9j}x_2x_4 + b_{10j}x_3x_4 + b_{11j}x_1^2 + b_{12j}x_2^2 + b_{13j}x_3^2 + b_{14j}x_4^2; \quad j = \overline{1,4}, \quad (1)$$





где x_1, x_2, x_3, x_4 – нормированные значения факторов; y_j – j -я функция отклика; $b_{0j}, b_{1j}, \dots, b_{14j}$ – коэффициенты j -го уравнения регрессии.

Факторы x_i являются параметрами МУФ, подлежащими оптимизации, а функции отклика y_j – критерии качества функционирования МУФ.

Целевая функция минимакса $F(\vec{X})$ при наличии регрессионной математической модели объекта соответствует выражению

$$F(\vec{X}) = \sum_{j=1}^m c_j \left(\frac{y_j(\vec{X}) - y_{jextr}}{y_{jmax} - y_{jmin}} \right)^2, \quad (2)$$

где $y_j(\vec{X})$ – зависимость j -го критерия от вектора оптимизируемых параметров $\vec{X} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$; n – количество оптимизируемых параметров; y_{jextr} – экстремальное значение j -го критерия; y_{jmin}, y_{jmax} – минимальное и максимальное значения j -го критерия, достигаемые в области варьирования факторов \vec{X} ; c_j – коэффициент веса, оценивающий значимость j -го критерия; m – количество критериев.

Оптимальные значения параметров соответствуют минимуму целевой функции. В результате проведенных исследований получены искомые оптимальные значения параметров.

Произведено моделирование процесса включения фрикциона с оптимальными параметрами МУФ. В результате улучшение критериев качества составило: $t_{зап} - 2\%$; $t_{п} - 34,2\%$; $k_{др} - 20\%$; $t_{он} - 8,5\%$; $t_{off} - 10,5\%$; $t_3 - 18,3\%$. Таким образом, применение разработанной методики выбора параметров МУФ обеспечивает получение характеристики управления с высокими показателями качества.

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

Испытания проходили в два этапа. На первом этапе использовались МУФ с исходными 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.

Оценка качества переходных процессов производилась для включения первой передачи с нейтрали ($N \rightarrow 1$) и переключения со второй на третью передачу ($2 \rightarrow 3$). Критериями качества являлись: коэффициент динамичности момента на выходном валу k_d , удельная мощность $P_{ф.уд}$ и удельная работа буксования включаемого фрикциона $W_{ф.уд}$.

На рис. 6 представлены графики процессов переключения $2 \rightarrow 3$, при этом графики на рис. 6, а, б соответствуют МУФ с исходными параметрами, а на рис. 6, в, г – МУФ с оптимальными параметрами.

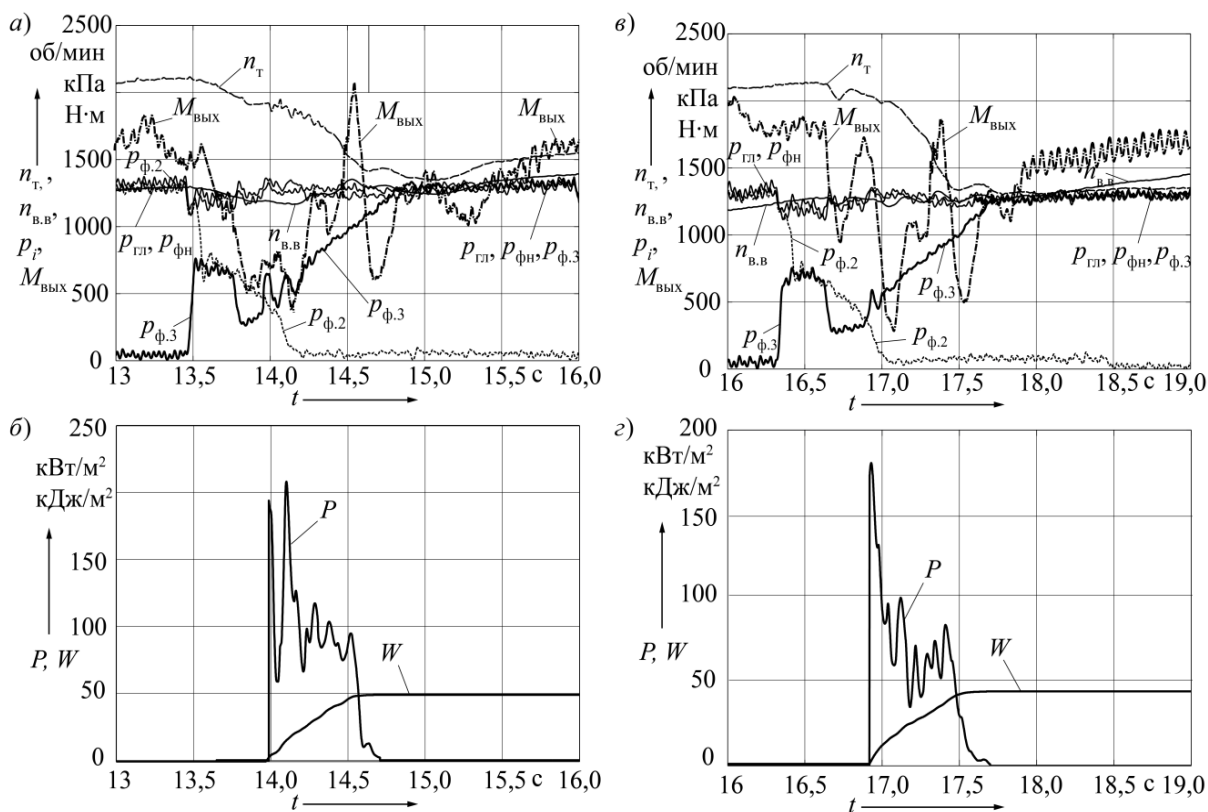


Рис. 6. Графики переходных процессов при переключении со второй на третью передачу (2 → 3): а, б – МУФ с исходными параметрами; в, г – МУФ с оптимальными параметрами

Можно отметить, что процессы переключения передач, полученные при использовании МУФ с оптимальными параметрами (рис. 6, в, г), характеризуются меньшими колебаниями давления в гидроцилиндре фрикциона, а также момента и частоты вращения турбинного вала ГМП.

По результатам проведенных испытаний установлено, что при оптимальных параметрах на режиме трогания с места снижение коэффициента динамичности момента на выходном валу: гидромеханической передачи k_d составило – 13,1 %; удельной мощности буксования включаемого фрикциона $P_{ф.уд}$ – 16,1 %; удельной работы буксования $W_{ф.уд}$ – 15,2 %. Для переключения со второй на третью передачу снижение показателей составило: k_d – 9,8 %; $P_{ф.уд}$ – 14,0 %; $W_{ф.уд}$ – 13,1 %.

Таким образом, созданная методика проектирования механизма управления фрикционами гидромеханической передачи с мехатронной системой автоматического управления, позволяет определить параметры и характеристики механизма, обеспечивающие высокие показатели качества процесса автоматического переключения передач