

УДК 629.331

**В. П. Тарасик, д-р техн. наук, проф., К. Н. Кусков,
Н. Н. Горбатенко, канд. техн. наук, доц., С. В. Кузнецов**

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИМИ ПЕРЕДАЧАМИ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

Проведен анализ потенциальных возможностей различных типов систем автоматического управления гидромеханическими передачами. Определены перспективные направления в создании таких систем. Описаны основные функции, реализуемые в разработанных авторами системах автоматического управления, пояснены принципы работы отдельных элементов.

Гидромеханические передачи (ГМП) находят широкое применение в трансмиссиях мобильных машин различного назначения. Основные их преимущества по сравнению с обычными ступенчатыми коробками передач заключаются в повышении тягово-скоростных свойств машины, улучшении ее проходимости, повышении комфортабельности. Указанные преимущества ГМП наиболее полно проявляются при автоматизации управления переключением передач и блокированием гидротрансформатора.

Основными задачами, которые решает система автоматического управления (САУ) ГМП, являются:

1) своевременное формирование сигналов на переключение передач и блокирование гидротрансформатора исходя из условий обеспечения высоких показателей тягово-скоростных свойств и топливной экономичности машины;

2) непосредственное управление фрикционными ГМП, осуществляющими указанные переключения исходя из условий минимизации динамических нагрузок в трансмиссии и повышения плавности движения машины при соблюдении ограничений по тепловой нагруженности и работе трения фрикционных дисков.

Наиболее совершенные конструкции САУ ГМП, созданные в 70–80-х годах XX столетия, базируются на элементах электро- и гидроавтоматики. Такие САУ содержат чувствительные элементы, преобразователи, элементы сравнения, формирователи, исполнительные устройства

и т. д. Формирование сигналов на переключение передач в них осуществляется в зависимости от значений двух информационных переменных, одна из которых характеризует скоростной, а вторая – нагрузочный режим работы двигателя. Сигнал на блокирование гидротрансформатора формируется в зависимости от угловой скорости турбинного колеса. Исполнительные механизмы САУ представляют собой одно- или двухкаскадные гидрораспределители с приводом от электромагнитов. Плавность переключения передач обеспечивается автоматическими гидравлическими клапанами – механизмами плавного включения фрикционов. Эти механизмы реализуют заданные характеристики нарастания давления в исполнительных цилиндрах фрикционов включаемых передач.

САУ, построенная по указанным принципам, не в состоянии учесть всего многообразия условий работы машины при формировании сигналов на переключение и при реализации характеристик нарастания давления в исполнительных цилиндрах фрикционов, что снижает показатели ее эффективности. Для получения высоких показателей эффективности необходимо получать и оценивать большой объем информации о процессах функционирования двигателя и ГМП, условиях и режимах движения машины, воздействиях внешней среды и управляющих воздействиях водителя. Необходимо также реализовывать сложные алгоритмы адаптивного управления,

обладающие высокой приспособляемостью к изменению различных факторов.

Наиболее полного выполнения указанных требований можно достичь лишь в том случае, когда анализ потока информации и формирование сигналов управления осуществляет микропроцессор. При этом исполнительная система САУ по сигналам микропроцессора должна реализовать сложные, адаптивно изменяющиеся характеристики управления давлением в цилиндрах фрикционов. Соответственно возникает необходимость разработки новых типов устройств управления давлением в цилиндрах фрикционов, которые позволили бы реализовать такие адаптивные характеристики.

Создание исполнительной электрогидравлической системы – одна из наиболее сложных проблем автоматизации управления ГМП. Ее решение на современном этапе развития техники управления наиболее целесообразно осуществлять на основе использования электрогидравлических пропорциональных клапанов (ЭГПК). В простейшем случае ЭГПК состоит из пропорционального электромагнита и дросселирующего гидрораспределителя с обратной связью по давлению выхода. На вход пропорционального клапана (на электромагнит) микропроцессорный блок управления (МБУ) подает электрический управляющий сигнал, а выходной сигнал ЭГПК представляет собой давление рабочей жидкости. Усилие электромагнита, с одной стороны, пропорционально току в его обмотке, а с другой, – давлению рабочей жидкости. Соответственно формируемое ЭГПК давление пропорционально току. Это дает возможность сравнительно просто формировать необходимые характеристики включения фрикционов и обеспечить выполнение требований, предъявляемых к процессам переключения передач.

В настоящее время ведущие мировые производители мобильной техники активно внедряют микропроцессорные САУ ГМП с исполнительным приводом на основе ЭГПК. Проблема создания

микропроцессорных САУ ГМП актуальна и для белорусских производителей мобильных машин: Белорусского автомобильного завода, Минского завода колесных тягачей, Минского тракторного завода.

При разработке такой системы применительно к каждой конкретной машине необходимо научное обоснование задач синтеза алгоритмов управления переключением передач и управления давлением в цилиндрах фрикционов. Решение данных задач требует проведения широкого комплекса исследований режимов движения машины и переходных процессов в трансмиссии, что наиболее целесообразно осуществлять на основе математического моделирования с последующим уточнением результатов при натурных испытаниях машины.

На кафедре «Автомобили» Белорусско-Российского университета разработаны микропроцессорные САУ ГМП для двух мобильных машин: карьерного самосвала БелАЗ–7516 грузоподъемностью 135 т и гусеничной машины двойного назначения производства Минского тракторного завода. Разработанные системы аналогичны по набору реализуемых функций, но, ввиду существенных различий в объектах управления, имеют отличия в алгоритмах функционирования и в конструктивной реализации отдельных элементов.

Разработанные САУ ГМП выполняют следующие функции:

1) сбор информации с датчиков о текущих значениях параметров, характеризующих процессы функционирования механизмов и систем машины, и формирование вектора информационных переменных;

2) обработка полученной информации и формирование оптимальных характеристик переключения передач и блокирования гидротрансформатора с учетом изменяющихся условий движения машины;

3) формирование сигналов управления, соответствующих оптимальным

характеристикам переключения;

4) усиление сигналов управления и формирование управляющих воздействий на фрикционы ГМП;

5) обеспечение оптимальных характеристик нарастания давления в цилиндрах фрикционов ГМП;

6) исключение аварийных режимов в работе ГМП при возникновении нештатных ситуаций.

САУ ГМП состоят из следующих основных частей:

1) системы датчиков для сбора информации;

2) микропроцессорного блока управления (МБУ);

3) исполнительных механизмов САУ ГМП;

4) гидравлических цилиндров включения фрикционов;

5) источника энергии (насоса) системы гидропривода включения фрикционов и регуляторов давления в этой системе.

Сигналы управления, формируемые в МБУ, представляют собой электрические широтно-импульсные сигналы, несущие информацию о необходимых характеристиках изменения давлений в цилиндрах фрикционов. Исполнительные механизмы САУ выполнены в виде двухкаскадных ЭГПК. Число таких клапанов в САУ равно количеству фрикционов в ГМП.

Предусмотрено два режима управления ГМП: режим полностью автоматического управления и режим автоматизированного командного управления. Командный режим отличается от автоматического тем, что выбор номера передачи осуществляется водителем, в то время как формирование сигналов на блокирование гидротрансформатора и управление давлением в цилиндрах фрикционов осуществляется автоматически.

Процесс переключения передач как при автоматическом, так и при командном управлении ГМП происходит без разрыва потока мощности, передаваемой от двигателя к ведущим колесам машины. Диаграмма изменения во времени основных параметров переходного процесса при пе-

реключении с низшей передачи на высшую представлена на рис. 1. Процесс включает в себя фазу заполнения (интервал времени $t_1 - t_2$), в течение которой гидроцилиндр включаемого фрикциона заполняется рабочей жидкостью, фазу перекрытия (интервал времени $t_2 - t_3$), в течение которой вращающий момент двигателя передается на выходной вал коробки передач через выключаемый и включаемый фрикционы, и фазу замыкания (интервал времени $t_3 - t_4$), в течение которой МБУ отслеживает угловые скорости турбинного колеса гидротрансформатора и выходного вала ГМП и обеспечивает реализацию алгоритма плавного замыкания включаемого фрикциона.

Переключение без разрыва потока мощности улучшает динамику разгона машины, так как в этом случае отсутствует падение скорости во время переходного процесса. Это особенно важно для мобильных машин, процесс функционирования которых связан с преодолением значительных дорожных сопротивлений: внедорожных автомобилей, карьерных самосвалов, тракторов. Переключения без разрыва потока мощности отличаются также более низким уровнем динамических нагрузок на валах трансмиссии, поскольку перекрытие передач позволяет сохранить нагрузку двигателя и предотвратить изменение его угловой скорости во время выбора зазоров включаемого фрикциона.

Алгоритм плавного замыкания включаемого фрикциона предусматривает использование обратной связи по угловым скоростям синхронизируемых элементов ГМП в процессе управления давлением в цилиндре фрикциона. Это позволяет компенсировать влияние на динамику переходных процессов в трансмиссии изменений нагрузочного режима работы двигателя и степени загрузки автомобиля, а также изменений коэффициента трения фрикционных дисков в процессе их буксования и обеспечить минимальные динамические на-

грузки в трансмиссии при заданном времени замыкания фрикциона.

Для получения информации о моменте заполнения цилиндра включаемого фрикциона в рассматриваемых системах используются индикаторы оригинальной

конструкции. Они представляют собой электрогидравлические клапаны, реагирующие на изменение параметров потока жидкости в магистрали фрикциона (давления и расхода). Схема одного из таких индикаторов показана на рис. 2.

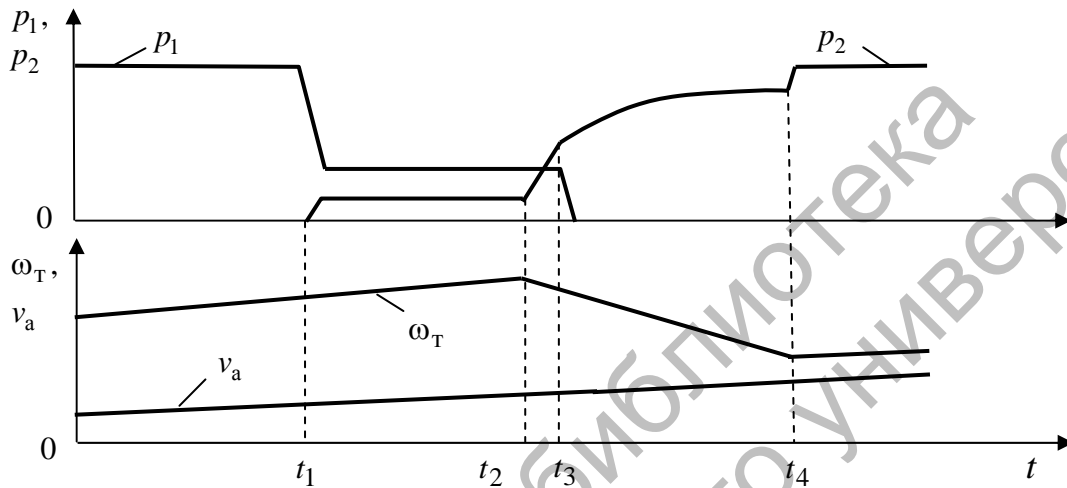


Рис. 1. Диаграмма изменения во времени основных параметров переходного процесса при переключении с низшей передачи на высшую без разрыва потока мощности: p_1, p_2 – характеристики изменения давлений в гидроцилиндрах выключаемого и включаемого фрикционов соответственно; ω_T – угловая скорость турбинного колеса гидротрансформатора; v_a – скорость автомобиля

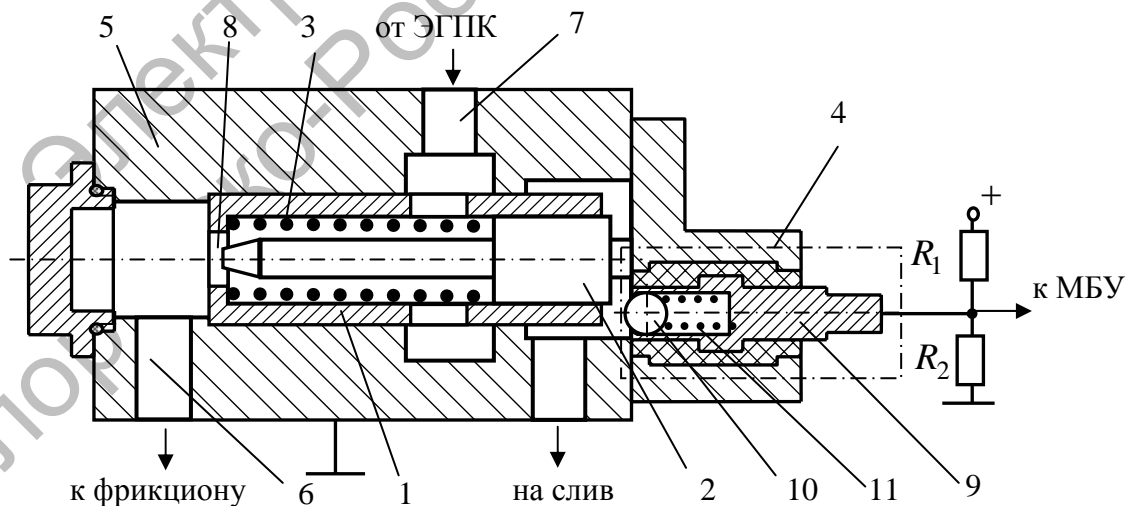


Рис. 2. Схема индикатора заполнения цилиндра фрикциона

Индикатор содержит золотник 1, плунжер 2, возвратную пружину 3 и электрический контакт 4, расположенные в корпусе 5. Выходной канал 6 индикатора связан с цилиндром фрикциона, а входной канал 7 с ЭГПК. Указанные каналы постоянно сообщаются между собой через отверстие 8 в днище золотника 1. Электрический контакт 4 содержит стержень 9, шарик 10 и пружину 11, выполненные из токопроводящего материала и образующие единую электрическую цепь, связанную с МБУ и изолированную от корпуса 2. Золотник 1 и корпус 2 также выполнены из токопроводящего материала и образуют электрическую цепь, связанную с «массой». Золотник может перемещаться внутри корпуса индикатора и при переходе его в крайнее правое положение (см. рис. 2) он касается шарика 10 и замыкает цепь контакта 4 на «массу».

Работает данный индикатор следующим образом.

В исходном состоянии при отсутствии давления в каналах 6 и 7 золотник 1 под действием пружины 3 находится в крайнем левом положении. При этом цепь контакта 4 изолирована от корпуса и между резисторами R_1 и R_2 действует повышенное напряжение.

При появлении давления в каналах 6 и 7 во время фазы заполнения цилиндра фрикциона золотник 1 преодолевает усилие пружины 3 и перемещается на некоторое расстояние вправо (днище золотника с левой стороны имеет большую площадь, чем с правой и, соответственно, сила давления жидкости слева будет большей). По мере перемещения золотника 1 вправо коническая часть плунжера 2 постепенно прикрывает отверстие 8, что приводит к падению давления в канале 6 и ограничивает дальнейшее перемещение указанного золотника.

После заполнения цилиндра фрикциона расход жидкости в канале 6 резко снижается и давление в данном канале возрастает (перепад давлений на отвер-

стии 8 уменьшается до нуля). Золотник индикатора под действием возросшего усилия на его днище с левой стороны перемещается вправо и касается шарика 10 контакта. Электрическая цепь контакта замыкается на «массу» и напряжение между резисторами R_1 и R_2 падает до нуля. МБУ воспринимает это как сигнал о завершении фазы заполнения цилиндра фрикциона.

Сигналы индикаторов заполнения цилиндров фрикционов используются также для организации защиты от одновременного включения двух передач ГМП при заклинивании во включенном состоянии какого-либо из ЭГПК.

В настоящее время разработанные САУ ГМП прошли стендовые испытания на базе Белорусского автомобильного и Минского тракторного заводов, результаты которых подтверждают высокую эффективность работы алгоритмов плавного замыкания фрикционов. Ведется подготовка к ходовым испытаниям машин, которые позволят окончательно уточнить параметры алгоритмов переключений передач с целью получения оптимальных показателей тягово-скоростных свойств и топливной экономичности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тарасик, В. П.** Исследование процессов функционирования механизмов управления фрикционами гидромеханических передач / В. П. Тарасик, К. Н. Кусков // Теория и практика машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 61–64.
2. **Тарасик, В. П.** Выбор основных параметров механизмов управления фрикционами гидромеханических передач / В. П. Тарасик, К. Н. Кусков // Перспективные технологии, материалы и системы : сб. науч. тр. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2005. – С. 368–374.
3. **Кузнецов, С. В.** Экспериментальные исследования механизма плавного включения фрикционов гидромеханической передачи / С. В. Кузнецов, В. П. Тарасик, Н. Н. Горбатенко // Вестн. Могилевского государственного технического университета. Транспортные и строительные машины. – 2005. – № 2. – С. 74–79.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 29.09.2006

**V. P. Tarasik, K. N. Kuskov,
N. N. Gorbatenko, S. V. Kusnetsov**
**Elaboration of perspective automatic
control systems for hydromechanical
transmissions of vehicles**
Belarusian-Russian University

The analysis of potential capabilities of different types of automatic control systems for hydromechanical transmissions is conducted. Perspective tendencies in creation of such systems are determined. Basic functions executed in automatic control systems developed by their authors are described and principles of operation of single system elements are explained.