

СТРУКТУРА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ СТУПЕНЧАТОЙ ТРАНСМИССИЕЙ ГОРНОЙ МАШИНЫ

Таяновский Г. А., к.т.н., доцент, *Басалай Г. А.*, ст. преп.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Беларусь, e-mail: *tge52@mail.ru*

STRUCTURE OF ALGORITHM FOR CONTROLLING STEPS TRANSMISSION OF MINING MACHINE

G. Tayanousky, Ph.D. in Engineering, Associate Professor,
G. Basalay, Associate Professor
Belarusian national technical University, Minsk, Belarus,
e-mail: *tge52@mail.ru*

Актуальной остается задача обоснования алгоритмов автоматизированного управления трансмиссиями машин с дизельным двигателем, для обеспечения высокой экономичности и производительности машинных транспортно-технологических агрегатов на базе таких машин, в частности, предназначенных для условий автономной эксплуатации в беспилотном варианте в горнодобывающей отрасли, в карьерах и шахтах.

Рассмотрена вариативность существующих систем алгоритмов управления ступенчатыми трансмиссиями горных машин с переключением передач с помощью гидроподжимных фрикционных муфт бустерного типа и предложена принципиальная схема варианта структуры алгоритма переключения.

Ключевые слова: мобильные горные машины, ступенчатые трансмиссии, структура алгоритмов переключения передач.

The task of substantiating algorithms for automated control of transmissions of car with diesel engines remains urgent in order to ensure high

efficiency and productivity of such machines in autonomous operation in an unmanned version in the mining industry in quarries and mines.

Variation of existing systems of algorithms of control of stepped transmissions of mining machines with shift of gears with the help of hydraulic compression friction couplings of booster type is considered, as well as a schematic diagram of a variant of the shift algorithm structure.

Key words: mobile mining machines, step-by-step transmissions, structure of the gearshift algorithms.

Введение

Описание электронной системы управления (ЭСУ) ступенчатыми трансмиссиями горных колесных машин включает характеристики ее аппаратной и алгоритмической структуры.

Цель данной статьи – на основе анализа таких структур у ведущих производителей колесной техники [1–4] выделить типовые их элементы и для распределенной структуры системы автоматизированного управления горной машиной описать блок-схему рационального алгоритма управления переключением передач КП такой машины с CAN-сетью и с каналами с широтно-импульсной модуляцией сигналов.

1. Проблематика управления трансмиссией горной колесной машины

В развитых странах на горных колесных погрузочно-доставочных и других специальных машинах доминируют ступенчатые трансмиссии с переключением механических передач под нагрузкой фрикционными гидropоджимными муфтами бустерного типа. Получают развитие двухпоточные гидромеханические приводы, а также машины с бесступенчатыми гибридными дизель-электро-механическими трансмиссиями. Ведутся изыскания и опытно-конструкторские работы по созданию машин с электропитанием от накопителей в виде мощных аккумуляторов или супер-конденсаторов с сохранением, по требованиям безопасности эксплуатации в специфических горных условиях, отработанных конечных редукторных частей привода колес машины.

Актуальной остается задача обоснования алгоритмов автоматизированного управления трансмиссиями машин с дизельным двигателем, для обеспечения высокой экономичности и производительности машинных транспортно-технологических агрегатов на базе таких машин, в частности, предназначенных для условий автономной эксплуатации в беспилотном варианте в горнодобывающей отрасли, в карьерах и шахтах.

Представляет практический интерес очерчивание актуальных задач управления трансмиссией рассматриваемых горных машин для выбора направления построения процедурной модели адаптивного многозадачного ситуационного управления их трансмиссией.

Изыскания включали:

1. Формулирование энергетически и технологически рациональных целей управления горной машиной, для спектра выполняемых ею технологических операций, в агрегате с комплектом быстросменного агрегируемого рабочего оборудования, и характерных ситуаций или эпизодов-обстановок движения, с учетом требований безопасности;

2. Составление описания наилучших, для достижения целей, режимов работы горной машины в составе машинного транспортно-технологического агрегата (МТТА) по тяге, скорости и расходу энергоносителей;

3. Выбор стратегии удержания ДВС гибридной силовой установки в области наименьших расходов топлива, а в случае электропривода от электро-накопителей – выбор способа использования привода в зоне наибольших значений КПД электрической части, обоснование вида критерия оценки эффективности управления для гибридных и электро-трансмиссий;

4. Определение необходимой внешней механической характеристики частотно-управляемого мотор-генератора и тягового электрического двигателя;

5. Определение рационального поля рабочих точек для принятой структурной схемы моторно-трансмиссионно-двигательной установки (МТДУ) горной машины;

6. Выбор информационных переменных для создания ситуационной системы управления и идентификации-мониторинга режимов работы горной машины и системы управления, в том числе в случае беспилотного варианта;

7. Описание логики управления МТДУ, разработка структурной функциональной и алгоритмической схем системы управления трансмиссией.

2. Структура системы управления трансмиссии горной колесной машины

Структура аппаратного обеспечения управления объектами – современными горными машинами и МТТА на их базе минимально включает, как правило, пять модулей-блоков, объединенных последовательной CAN-шиной для связи цифровыми кодами по специальному протоколу. Это модули, которые у разных производителей называют по-разному, но по функциональному признаку их можно условно обозначить как: модуль датчиков, модуль исполнительных элементов, модуль отображения информации, модуль выбора режимов управления, модуль генерирования команд управления. Для упрощения, удешевления и повышения быстродействия и надежности модули параллельно подключены к источнику питания, а в систему CAN-сети соединены электропроводкой в виде витой пары. ЭСУ использует сигналы от датчиков на двигателе, сцеплении, коробке передач (КП), ведущих мостах, валах отбора мощности (ВОМ).

CAN-сеть работает путем реализации алгоритмического обеспечения, которое делится на несколько иерархических уровней, чаще всего на два:

а) алгоритмы выбора, либо по виду рабочей операции, либо по критериям стабилизации, диапазона передач КП, на которых выбранный аспект будет осуществляться во время работы;

б) алгоритмы управления гидроподжимными фрикционными муфтами (ГПФМ) фрикционов КП в переходных процессах переключения передач без разрыва потока мощности, без рывков остова машины, с минимально возможной тепловой и динамической нагруженностью трансмиссии и учетом выполнения других требований [1, 16].

В системах автоматики, как правило, во всех микроконтроллерах встроены один или несколько формирователей каналов с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ-каналы), которые при передаче сигналов по линиям связи используют способ кодирования аналогового

сигнала изменением ширины (длительности) прямоугольных импульсов несущей частоты. При передаче нескольких сигналов в CAN-шине они различаются принимающими модулями по двоичным кодам-меткам.

До начала работы мобильной горной машины водитель-оператор задает с помощью модуля выбора вид рабочей технологической операции. Из анализа зарубежных систем автоматического управления (САУ) моторно-трансмиссионно-двигательной установкой (МТДУ) следует, что различные алгоритмы управления используют для 3–4 групп операций. Это обычно следующие группы операций:

- 1) транспорт на высшем скоростном диапазоне;
- 2) работа с энергоемким технологическим оборудованием на особо низких скоростях перемещения;
- 3) работы по предписанному циклическому маршруту на малых скоростях с большим числом маневров и строгими ограничениями на габаритную полосу движения;
- 4) обеспечение наибольшей проходимости.

Для обеспечения рациональности перечисленных задаваемых видов работ машины с ними, как правило, коррелируют и целесообразные критерии стабилизации, которые также выбираются в ЭСУ. При этом большинство критериев оптимизации, для которых предлагаются алгоритмы управления, можно отнести к обеспечению режимов стабилизации:

- а) мощности в заданных пределах;
- б) загрузки двигательной установки (ДУ) по крутящему моменту;
- в) скорости движения без изменения положения педали и рычага «газа» ДУ;
- г) нахождения ДУ в зоне наиболее экономичного расходования энергии по многопараметровой характеристике;
- д) частоты вращения вала отбора мощности и другие.

3. Рациональный алгоритм управления переключением передач горной колесной машины

Обзор используемых в мире алгоритмов управления переключением передач показывает их разнообразие, что определяется во многом выбранными разработчиками логикой и признаками достижения наилучших показателей качества переключения передач. Так как

у разных разработчиков свои отличающиеся представления о номенклатуре и удовлетворяющих значениях измерителей качества, то это находит отражение в многообразии патентов на способы управления ступенчатыми трансмиссиями [1–10].

В качестве элементов переключения передач в вальных КП традиционных колесных горных машин используются:

- передвижные каретки зубчатых муфт;
- синхронизированные зубчатые муфты;
- гидродожимные фрикционные муфты бустерного типа в составе фрикционов;
- в планетарно-вальных КП используют фрикционные тормоза элементов планетарных передач или управляемую объемно-гидромеханическую передачу (ОГМП).

Если условно разделить КП горной машины на диапазонную часть и на часть режимов движения, то режимы движения обычно переключают либо передвижными каретками, либо синхронизированными муфтами. В случае беспилотного управления и необходимости особо низких скоростей перемещения горной машины предпочтительно использование двухпоточных гидроходоуменьшителей или многопоточных ОГМП.

Применительно к динамике горной машины в режиме стабилизации загрузки двигателя по крутящему моменту, при использовании в ЭСУ переключением передач КП только информационных переменных: сигнала от датчика частоты вращения, сигналов от датчиков положения педали «газа» и рычага ручной установки подачи топлива в ДУ, возможная блок-схема алгоритма управления переключением передач представлена на рисунке 1.

Этот алгоритм реализован как программное приложение (ПП), моделирующее динамические процессы трансмиссии, двигателя и системы управления. ПП включает ряд модулей, описывающих механико-математическую модель горной машины и скомпилированных в один исполнимый файл.

Программа с помощью экранного иерархического интерфейса позволяет задать:

- все параметры динамической системы горной несущей машины и МТГА на ее основе;
- виды технологических операций;

- базовые законы изменения давления во включаемой и выключаемой ГПФМ фрикционов КП;
- параметры агрегируемого технологического оборудования (или рабочей машины) и крюкового усилия;
- параметры дизельного двигателя и его скоростную внешнюю характеристику.

Программа позволяет выбрать номера базовых законов включения и выключения муфт, номера диапазона и передачи, с которых начинается трогание и разгон МТТА, задать времена перекрытия и запаздывания в работе фрикционных муфт, длительности процесса переключения.

Заключение

Выполнен анализ распределенных структур аппаратного и программного обеспечений СУ трансмиссиями горных машин.

Разработана блок-схема рационального алгоритма автоматизированного управления переключением передач с ГПФМ в трансмиссии горной машины, которая реализована в математической модели горной машины с ЭСУ на ЭВМ.

Литература

1. https://www.vost-tech.ru/produkcija/katalog_produkcii/samosvaly/ka-rernyj_samosval/785d/.
2. https://www.cat.com/ru_RU/products/new/equipment/off-highway-trucks/off-highway-trucks/18256812.html.
3. https://www.volvoce.com/-/media/volvoce/global/products/rigid-haulers/brochure_s/brochure_r45d_r60d_r70d_t2_t3_ru_1_20055970_b.pdf?v=LY1APw.
4. <https://www.ritchiespecs.com/model/volvo-170d-wheel-loader>.
5. <http://www.belaz.by/catalog/products/dumptrucks/>.
6. <https://www.volvoce.com/belarus/ru-by/specurotech/products/rigid-haulers/>.
7. <http://istk.ru/tech/kar-erny-j-avtosamosval-komatsu-hd-1500-5/>.
8. Диагностирование гидромеханических передач мобильных машин / Н. Н. Горбатенко, А. Н. Егоров, В. В. Региня, С. А. Рынкевич,

В. П. Тарасик, Г. Л. Антипенко; под общ. ред. В. П. Тарасика. – Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2010. – 511 с.

9. Гируцкий, О. И., Тарасик В. П. Создание электронных систем управления и диагностирования гидромеханических передач мобильных машин: этапы, пути и перспективы // Журнал ААИ. 2013. – № 4. –С. 18–23.

10. Terano, T., Asai, K., Sugeno, V. Applied Fuzzy Systems. – New York : APProfessional, 1994. – 302 p.

11. Дентон, Т. Автомобильная электроника / пер. с англ. В. М. Александрова. – М. : НТ Пресс, 2008. – 586 с.

12. Косенков, А. А. Диагностика автоматических коробок передач и трансмиссий. – Ростов н/Д : Феникс, 2003. – 224 с.

13. Fransman, M. Japan Computer and Communications Industry. The Evolution of Industrial Giants and Global Competitiveness. Oxford University Press, 2005. – 540 p.

14. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Теория систем автоматического управления / В. П. Автушко [и др.]; под ред. Н. В. Богдана, Н. Ф.Метлюка. – Минск : НП ООО «ПИОН», 2001. – 396с.

15.Тарасик, В. П. Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами/ В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Мн. : УП «Технопринт», 2014. – 512 с.

16. Таяновский, Г. А. Имитационная модель сельскохозяйственного тракторного агрегата для исследования динамических нагрузок в трансмиссии и плавности хода / Г. А. Таяновский, Ю. Е. Атаманов, В. Танась. – Журнал Комиссии по моторизации и энергетике в сельском хозяйстве Люблинского отделения Польской Академии наук, VII/2007. – с. 225–235. (Georgij Tajanowskij, Atamanov Jurij, Wojciech Tanas. Imitating model of the agricultural tractor unit for research of dynamic loadings in transmission and smoothness of a motion. TeKa Komisji Motoryzacji I Energetyki Rolnictwa LO PAN, VII/2007. – P. 225–235).

Статья поступила 15.11.2021