

УДК 621.83.062.1

**САМОРОДОВ В.Б.** д.т.н., проф., НТУ «ХПИ»

**МИРОШНИЧЕНКО Н.В.**, инж, НТУ «ХПИ»

## **ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ БЕССТУПЕНЧАТОЙ ГИДРООБЪЕМНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ КОРОБКОЙ ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРА**

Наведено перелік та аналіз технічних умов при проектуванні системи керування двухпоточних гідрооб'ємно-механічних коробок передач сільськогосподарських колісних тракторів. Проаналізовані потенціальні аварійні стани функціонування трансмісії, розглянуті деякі аспекти побудови системи керування трансмісією для безпечної експлуатації трактора.

**Введение.** При управлении бесступенчатыми гидрообъемно-механическими коробками передач (ГОМ-КП), работающих в составе трансмиссий транспортных средств, необходимо управлять одним или несколькими гидроагрегатами. При этом необходимо обеспечивать не только требования функциональности системы управления, но и требования эргономичности и безопасности эксплуатации машины в целом, в частности колесного трактора.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Анализ модельного ряда выпускаемых тракторов ведущих производителей позволяет сделать вывод о стремительно возрастающем количестве тракторов с двухпоточными ГОМ-КП [1-3]. По состоянию на середину 2011 г. 70-75% выпускаемых тракторов мощностью 220...350 л.с. оснащаются двухпоточными ГОМ-КП. Внедрение гидроагрегатов в состав коробок передач позволило реализовать действительно плавное (бесступенчатое) регулирование скорости и тягового усилия трактора, существенно улучшить условия труда оператора (например, при переходе с механического на управление от джойстика)[4,5], запрограммировать и реализовать однообразные типовые операции управления системами трактора [4,5]. Основой бесступенчатой двухпоточной коробки передач являются объемные гидроагрегаты (гидронасос и гидромотор) и система управления, обеспечивающая возможность автоматического регулирования рабочих объемов гидроагрегатов по заданному алгоритму изменения режимов работы коробки передач, соответствующих конкретным технологическим процессам машинотракторного агрегата. В случае регулирования производительности гидронасоса и гидромотора, работающих в составе ГОМ-КП, необходимо обеспечивать пропорциональное изменение токов в обмотках управления подачей рабочей жидкости гидромашин в определенной последовательности [6]. При этом соблюдается не только совершенно определенный порядок выбора обмоток управления, а и предпринимаются защитные меры для обеспечения безопасной работы ГОМ-КП в целом. Зачастую системы управления такими гидроагрегатами контролируют только целостность цепей питания и обмоток управления, а в аварийных режимах водитель в ручном режиме отключает питающее напряжение от системы управления ГОМ-КП. Так, за 8 лет эксплуатации (1972-1980г.г.) из-за конструктивного дефекта (самопроизвольное включение задней передачи на стоянке с работающим двигателем) в системах управления гидро-механической передачей на автомобилях фирмы «Форд» погибли 130 человек и травмировано 1711 человек. Устранение дефекта обошлось фирме в 100 млн. долларов [7]. С увеличением мощности и полной

массы транспортных средств, при переходе на использование гидрообъемно-механических передач необходимо применять объективные средства контроля за работой трансмиссии и внедрять соответствующие системы защиты.

**Цель и постановка задачи.**

1. На этапе проектирования разработать идеологию и сформулировать рамочные технические условия к системе управления бесступенчатой двухпоточной гидрообъемно-механической трансмиссией. Проанализировать возможность автоматической защиты ГОМ-КП от экстренных аварийных ситуаций в элементах, а также трактора в целом в результате отказов или ошибочных управляющих действий оператора.

2. Проиллюстрировать работу предлагаемой системы на примере проектируемого отечественного трактора с оригинальной двухпоточной бесступенчатой гидрообъемно-механической трансмиссией, обеспечивающей работу трактора с мощностью двигателя 350 л.с.

**Основной текст.** Структурная схема системы управления гидроагрегатами и входящих в состав ГОМ-КП предлагается в виде, представленном на рис.1.

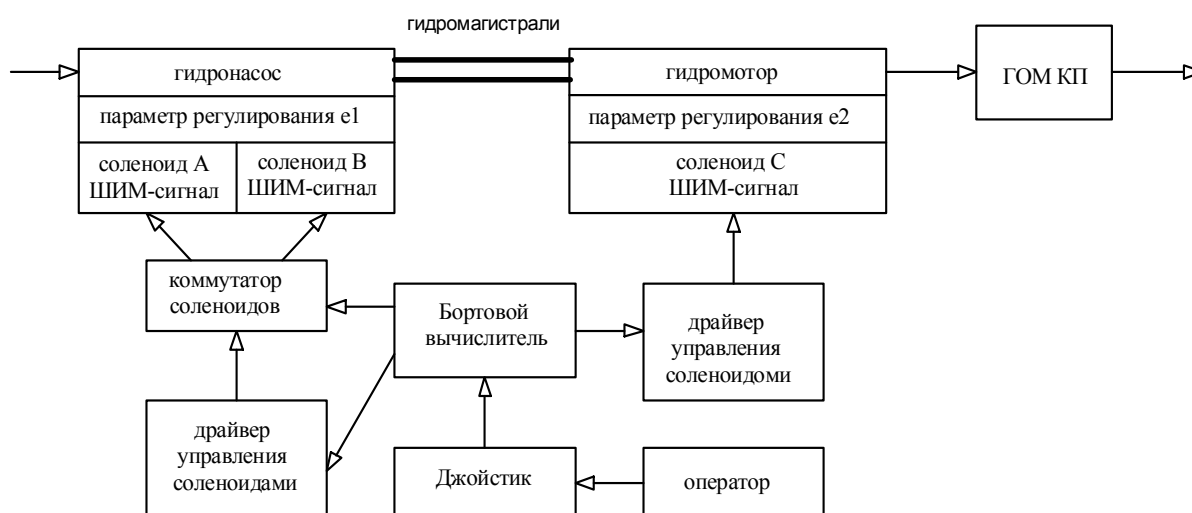


Рисунок 1 – Структурная схема системы регулирования гидроагрегатами

Управление режимами движения осуществляется с помощью ручного манипулятора (джойстика). Задача системы управления - по командам от джойстика сформировать электрические сигналы (необходимой величины и определенной очередности) для управления соленоидом. На этапе проектирования ГОМ-КП необходимо определить следующие исходные условия и требования (рамочные технические условия):

1. вид регулировочной характеристики ГОМ КП, обеспечивающей необходимые тягово-скоростные параметры машино-тракторного агрегата (МТА);
2. алгоритм управления ГОМ КП в различных состояниях МТА (остановка, стоянка, движение вперед, движение задним ходом, служебное или экстренное торможение);
3. требования к функциональности и эргономике органов управления ГОМ КП;

4. исходные (штатные) состояния органов управления ГОМ КП в различных состояниях МТА (режимах движения или стоянки);
5. система признаков (критериев) распознавания аварийной ситуации и реакция системы управления;
6. необходимый и достаточный ассортимент датчиков положения органов управления ГОМ КП и характеристики исполнительных органов ГОМ КП;
7. требования к бортовому накопителю информации работы трансмиссии – определить параметры работы трансмиссии и вид их отображения на дисплее, диагностические признаки функционирования трансмиссии.
8. возможность построения на основе системы управления ГОМ-КП систем диагностики трансмиссии и автоматического регулирования системы «двигатель - ГОМ КП - МТА»;

Вид регулировочной характеристики ГОМ КП - зависимость параметра регулирования гидрообъемной передачи от скорости движения трактора - определяется на стадии функционального анализа и структурного синтеза проектируемой ГОМ КП. Для тракторов, оснащенных двухпоточными ГОМТ одним из главных критериев является максимальный КПД проектируемой ГОМ КП на основных режимах работы трактора (пахота, культивация, транспортные режимы) при номинальных оборотах двигателя. Однако, в ряду последних работ, в области пространственно-топологического анализа основных технико-экономических характеристик колесных тракторов [8,9] доказано, что в пространстве таких параметров, как мощность двигателя и обороты его вала, масса трактора, коэффициент сопротивления движению, скорость движения трактора, буксование важнейшими критериями кроме КПД ГОМ КП являются минимум погектарного расхода топлива, стоимость обработки одного гектара, показатель технико-экономической эффективности МТА. Причем, необходимые экстремальные точки последних четырех важнейших критериев в пространстве указанных параметров не совпадают [9]. Для реализации системой управления необходимой зависимости параметров регулирования производительности гидроагрегатов достаточно графической или аналитической зависимости вида регулировочной характеристики ГОМ КП. Например, на рис. 2 показаны основные характеристики оригинальной ГОМ КП синтезированной в индустриальной группе «Украинская промышленно-энергетическая компания» (УПЭК) при участии Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» (НТУ «ХПИ»), предназначенной для работы в составе колесного трактора при максимальной мощности его двигателя 260 кВт (350 л.с.) с использованием гидроагрегатов фирмы «SAUER-DANFOSS» (регулируемый гидронасос типа N1P 165 R C A5 C1 B D8 G G2 NN K42 K42 L P 24 M5 NNN NNN, объемом 165 см<sup>3</sup>; регулируемый гидромотор типа 51V 250 RC8N L2A5 VANN ASA 050 AA E6 B2 P000, объемом 250 см<sup>3</sup>). Указанная здесь аббревиатура идентифицирует специфику комплектации гидроагрегатов [6].

Кинематическая схема, приведенная на рис.3, является классическим примером бесступенчатой двухпоточной ГОМ КП с двумя регулируемыми гидроагрегатами, обеспечивающая работу трактора на тяговом (0-21 км/ч) и транспортном (0-60 км/ч) диапазонах. Задний ход трактора обеспечивается регулированием только гидромотора. Конструктивная реализация данной схемы имеет ряд «know how», которые здесь не рассматриваются.

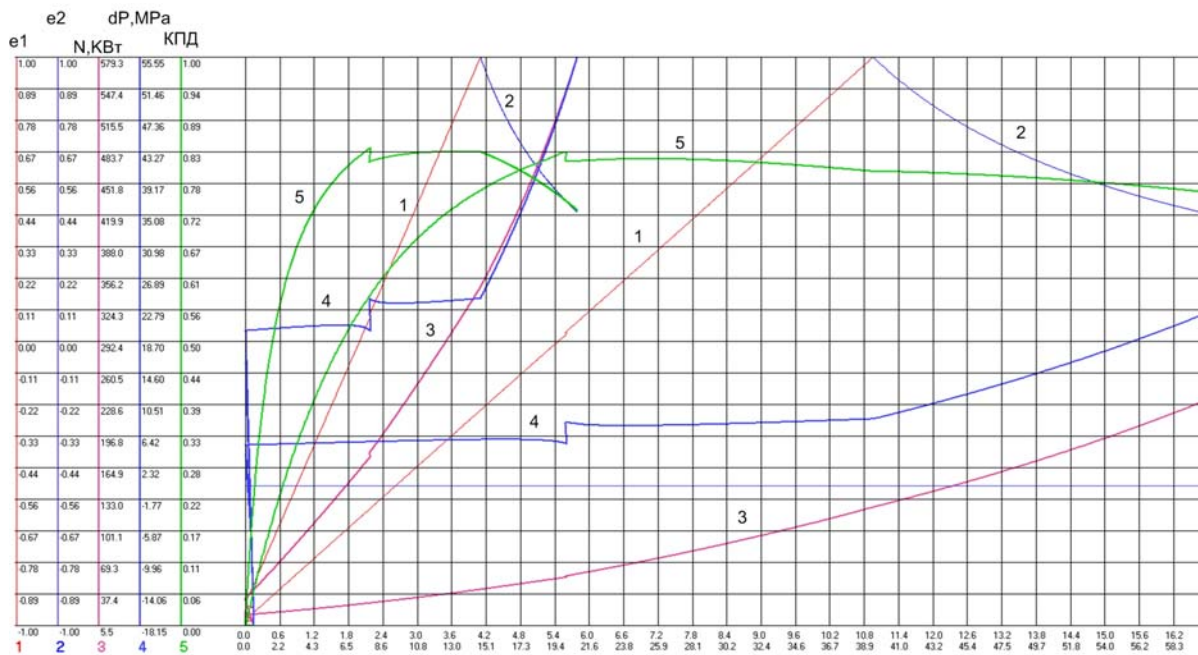


Рисунок 2 – Основные характеристики проектируемой ГОМ КП на тяговом (0-21 км/ч) и транспортном (0-60 км/ч) диапазонах: e1 – параметр регулирования гидронасосом (1); e2 – параметр регулирования гидромотором (2); N – мощность двигателя (3); dP – перепад давления в гидропередаче (4); КПД – КПД ГОМ КП (5)

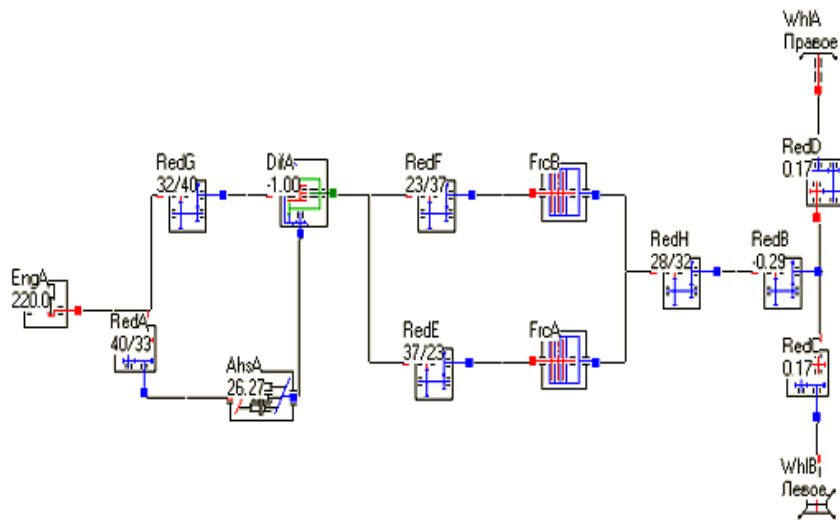


Рисунок 3- Кинематическая схема ГОМ КП с двумя регулируемыми гидроагрегатами: EngA- двигатель, Red A,B,C,D, E, F,G,H- редукторы, DifA- дифференциал, AhsA- аксиальные регулируемые гидронасос и гидромотор, FicA,B- фрикционы.

С учетом конструктивных особенностей гидроагрегатов фирмы «SAUER-DANFOSS» необходимо регулировать гидроагрегаты в определенной последовательности. Так в режиме «Движение вперед» следует изменять токи в обмотках регулирования гидроагрегатами (по команде от джойстика) в такой очередности прохождения точек:  $O \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C$  при изменении скорости трактора от  $V=0$ , до  $V=\max$  как на тяговом так и на транспортном диапазонах. На рис. 4. приведены паспортные значения комбинаций токов в обмотках гидроагрегатов в соответствии с заданной регулировочной характеристикой (рис.2). В режиме служебного торможения или снижения скорости движения трактора по команде от джойстика с помощью только ГОМ КП (без использования фрикционного торможения штатной тормозной системой) управление токами гидроагрегатов осуществляется в обратном порядке ( $C \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow O$  и соответственно  $D \rightarrow O$ ). Аналогично управление скоростью движения трактора осуществляется и на втором транспортном диапазоне.

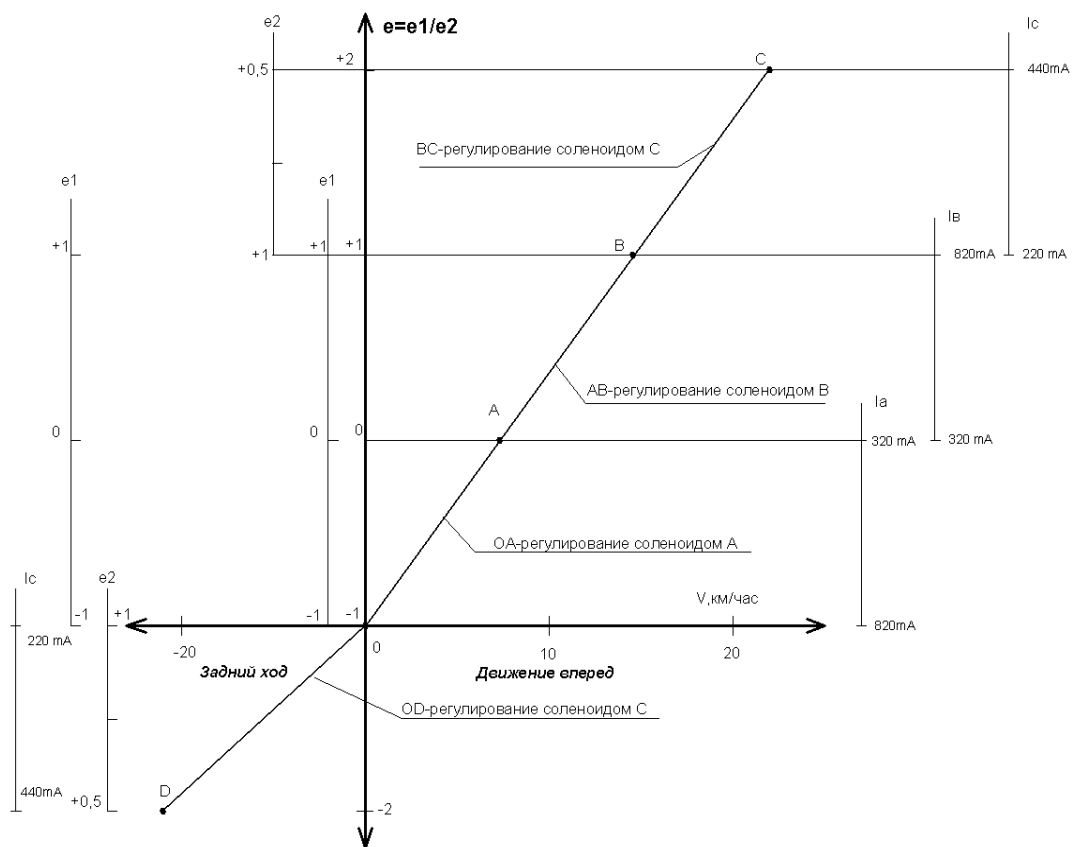


Рисунок 4 – Зависимость скорости трактора на первом тяговом диапазоне от токов в обмотках регулирования гидроагрегатами

Очередность подключения и величины токов в обмотках регулирования соленоидами гидроагрегатов в различных режимах движения трактора приведены в Таблице 1. При эксплуатации трактора необходимо постоянно контролировать цепи управления гидроагрегатами и предпринимать экстренные меры по предотвращению аварийных состояний (табл.1). Необходимая очередность переключения обмоток гидроагрегатов обеспечивается за счет схемотехнических решений.

Таблица 1 – Управление гидроагрегатами ГОМ КП трактора в режимах «Движение вперед» и «Задний ход»

Обмотки соленоидов гидроагрегатов	Значения токов в обмотках регулирования			
	Движение вперед			Задний ход
	0→А	А→В	В→С	О →D
Гидронасос, Ia	820...320mA	0 mA	0 mA	820 mA
Гидронасос, Ib	0 mA	320...820 mA	820 mA	0 mA
Гидромотор, Ic	0 mA	0 mA	220...440 mA	220...440mA
Аварийные состояния	Опасен обрыв Ia	Опасен пробой управляющего ключа Ib	Опасен пробой управляющего ключа Ic	Опасен обрыв Ia

Режим «ЭКСТРЕННОЕ ТОРМОЖЕНИЕ» при движении трактора вперед, или задним ходом определяется как одновременное нажатие педалей «ТОРМОЗ» и «СЦЕПЛЕНИЕ». В этом случае происходит снижение скорости трактора за счет действия штатной тормозной системы. В этом случае в системе управления задатчиком сигналов управления токами соленоидов выступает датчик оборотов выходного вала трансмиссии. Очередность прохождения участков характеристики управления при этом меняет свое направление :С→ В, В→А, А→О, D→О. Происходит отслеживание текущих оборотов вала трансмиссии (собственно скорости движения трактора) и выдача сигналов управления на гидроагрегаты в соответствии с Табл.1, так же как и при снижении скорости трактора по командам от джойстика. Такое переключение необходимо для исключения рывков по оборотам выходного вала трансмиссии и давления в системе гидропривода. Происходит эффект подхвата текущей скорости движения при отмене сигналов «ТОРМОЗ» и «СЦЕПЛЕНИЕ» и соответственно реализуется плавное движение трактора. В случае экстренного торможения до полной остановки изменение угловой скорости ведущего колеса от текущей до нулевой сопровождается изменением параметра регулирования гидрообъемной передачей от текущего значения до значения равного «-1». Это соответствует началу движения трактора (рис.2, рис.4).

Залогом безопасной работы проектируемой ГОМ КП является отслеживание системой управления положения таких органов управления трактором, как:

- ключ подачи питания;
- рычаг выбора диапазона (-нов) движения трактора;
- рычаг «стояночный тормоз»;
- рычаг «задний ход»;
- успешный пуск двигателя и выход его на номинальные обороты.

Одним из возможных критериев некорректной работы системы управления ГОМ КП, или ее составных элементов может быть значительное несоответствие параметров управления трансмиссией, задающих скорость и реальной скоростью движения трактора. Пороговое значение рассогласования необходимо иметь возможность регулировать (задавать), например, для автоматической остановки двигателя (кроме режима «ЭКСТРЕННОЕ ТОРМОЖЕНИЕ»). В рамках данной статьи не рассматриваются особые режимы движения «Накат вперед», «Откат назад» и т.п. Систему управления необходимо проектировать на технических решениях, направленных на предотвращение возникновения опасных ситуаций, способных

привести к повреждению трансмиссии или связанных с нею агрегатов, а также трактора в целом в результате отказов или ошибочных управляющих действий.

Поскольку современные системы управления ГОМ КП строятся с применением микропроцессорной техники (иногда это мультипроцессорные системы), то технически уже есть все предпосылки для создания различных по назначению систем автоматического управления (САУ) движением трактора и оптимизации по требуемым критериям (минимальный расход топлива, максимальная производительность, минимум затрат в гривнах на обработку одного гектара).

### Выводы

1. Сформулированы рамочные технические условия к системе управления бесступенчатой двухпоточной гидрообъемно-механической трансмиссией.

2. Показана адаптация конкретных гидроагрегатов фирмы «SAUER-DANFOSS» к заданным регулировочным характеристикам на примере проектируемого отечественного трактора с мощностью двигателя 350 л.с с оригинальной двухпоточной бесступенчатой гидрообъемно-механической трансмиссией.

3. Проанализированы потенциально аварийные состояния элементов ГОМ-КП, а также трактора в целом. Обоснована автоматическая защита трактора от экстренных аварийных состояний. Повысить безопасность эксплуатации можно за счет применения отдельного высоконадежного арбитра функционирования трансмиссии с возможностью автоматического глушения двигателя в аварийных ситуациях.

**Список литературы:** 1. Самородов В.Б., Рогов А.В., Бурлыга М.Б., Самородов Б.В. Критический обзор работ в области тракторных гидрообъемно-механических трансмиссий //Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Автомобиле-и тракторостроение». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2003. – №4. – С.3-19. 2. Каталог международной выставки сельхозтехники «Агросалон-2010» г.Москва. 3. Каталог международной выставки сельхозтехники «Золотая осень-2010» г.Москва. 4. Трактора «БЕЛАРУС-2522В/2522ДВ/2822ДЦ/ 3022В/3022ДВ» и их модификации. Руководство по эксплуатации. РУП «Минский тракторный завод», 2008г. 5. Инструкция по эксплуатации тракторов FENDT VARIO 931.000.000.175 Russisch. 6. Каталог продукции фирмы «SAUER-DANFOSS» 2010г. 7. Солдатов В. Бойтесь автомобиля //Изв. 1981. 27 янв. 8. Коваль А.А., Самородов В.Б./ Пространственно-топологический подход при определении основных технико - экономических показателей сельскохозяйственных колесных тракторов. Тракторы и сельскохозяйственные машины. №2 М.:2008.-С.23-25. 9. Самородов В.Б.,Ребров А.Ю. Энергонасыщенность и технико-экономические показатели колесных сельскохозяйственных тракторов//Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Автомобиле-и тракторостроение». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2010. - № 33.-С.33-41.