

**В.Б. САМОРОДОВ**, д-р. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;  
**З.Э. ЗАБЕЛЫШИНСКИЙ**, гл. инж. проекта АО «ХТЗ», Харьков;  
**С.А. ШУБА**, ст. преп. НТУ «ХПИ»;  
**О.И. ДЕРКАЧ**, ст. преп. НТУ «ХПИ»;  
**Е.А. РЯБИЧЕНКО**, ассистент НТУ «ХПИ»;  
**И.В. ЯЛОВОЛ**, ассистент НТУ «ХПИ»

## **ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ БЕССТУПЕНЧАТОЙ ГИДРООБЪЕМНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИИ ДЛЯ ТРАКТОРОВ С ДВИГАТЕЛЕМ МОЩНОСТЬЮ 220 – 240 л.с.**

Представлено оригинальную бесступенчатую гидрообъемно-механическую трансмиссию для колесного трактора с ломающейся рамой с двигателем мощностью 220-240 л.с., которая обеспечивает работу трактора на четырех скоростных диапазонах с бесступенчатым изменением скорости движения трактора в пределах каждого.

Представлено оригінальну безступінчасту двопоточну гідрооб'ємно-механічну трансмісію для колісного трактора з ламкою рамою із двигуном потужністю 220-240 к.с., що забезпечує роботу трактора на чотирьох швидкісних діапазонах з безступінчастою зміною швидкості руху трактора в межах кожного.

It is presented original continuously variable two-flow hydro-volumetric mechanical transmission for tractor with conking frame with engine by power 220-240 hp, which provides functioning the tractor on four speed ranges with continuously variable changing of velocities the tractor within each.

**Введение.** В настоящее время одним из главных направлений улучшения технико-экономических характеристик и кардинального повышения эргономичности сельскохозяйственных тракторов является применение бесступенчатых трансмиссий. Подавляющее число тракторов с бесступенчатыми трансмиссиями оснащены двухпоточными гидрообъемно-механическими трансмиссиями (ГОМТ), основными преимуществами которых являются простота конструкции, высокая эргономичность, удобство управления, возможность выбора оптимальной скорости трактора и режима работы двигателя. В связи с активным развитием этого направления в Украине [1-4] актуальным становится вопрос выбора схем и разработки конструкций ГОМТ для тракторов различных мощностей.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Фундаментальные основы моделирования работы бесступенчатых ГОМТ представлены в работах [1-4]. Критический обзор работ в этом направлении дан в статье [5], где также рассмотрены и проанализированы особенности схем и конструкций ГОМТ существующих западных образцов. В работе [6] предложен системный поэтапный подход к автоматизированному анализу, синтезу и проектированию гидрообъемно-механических трансмиссий, расчетно-теоретическая технология трансформации первоначальной кинематической

схемы ГОМТ в 2-D и 3-D эскизные проекты трансмиссии и техническую документацию для их изготовления. Об одном опытном образце бесступенчатой ГОМТ для тракторов мощностью 300-350 л.с. идет речь в работе [7]. Этот образец разработан индустриальной группой «Украинская промышленная энергетическая компания» совместно Национальным техническим университетом «Харьковский политехнический институт» и находится на стадии изготовления.

Большое количество работ посвящено разработке конкретных схем бесступенчатых трансмиссий, вопросам создания их математических моделей, анализу результатов моделирования работы тракторов, оснащенных такими трансмиссиями. Основными из них являются работы [8-11].

**Цель и постановка задачи.** Целью данной работы является расчетно-теоретическое обоснование оригинальной авторской бесступенчатой ГОМТ [12-13] для применения в колесном сельскохозяйственном тракторе, обеспечивающей все преимущества ГОМТ, подробно описанные в [5].

В настоящей работе приводится описание разработанной конструкции ГОМТ, обоснование и анализ характеристик трактора с бесступенчатой трансмиссией, конструктивные параметры которой определены на основе системного поэтапного подхода к автоматизированному анализу, синтезу и проектированию гидрообъемно-механических трансмиссий [4, 6].

**Описание и обоснование выбранной конструкции.** ГОМТ устанавливается в составе силового блока с двигателем на сельскохозяйственный колесный трактор с ломающейся рамой типа ХТЗ-220. ГОМТ применяется совместно с дизельным двигателем мощностью до  $N=176$  кВт (240 л.с.) с номинальной частотой вращения коленчатого вала 2100...2300 об/мин и максимальным крутящим моментом до  $M_{\max}=1100$  Нм (110 кгм).

Входной вал ГОМТ (со стороны входного вала) вращается по часовой стрелке. Выходной вал (со стороны выходного вала) при включении диапазонов переднего хода вращается против часовой стрелки.

Конструкция ГОМТ обеспечивает:

- стабильную работу при углах продольной и поперечной устойчивости не менее  $35^\circ$ ;
- возможность замера уровня масла в баках;
- бесступенчатое управление движением трактора внутри 4 скоростных диапазонов;
- полный реверс в коробке переключения 4 скоростных диапазонов (зеркальное отражение 4 диапазонов переднего и заднего хода);
- возможность буксировки трактора без предварительной подготовки последнего;
- постоянное включение переднего моста и подключение заднего;
- возможность реализации режима торможения трактора двигателем;
- диагностику и индикацию состояния элементов систем ГОМТ.

Структурная схема ГОМТ трактора представлена на рис. 1, где приняты следующие условные обозначения: Eng – двигатель, Red – редуктор, Ahs – гидробъемная передача, Dif - дифференциальный механизм, Frc – фрикцион, Whl – колесо. Передача мощности двигателя в предлагаемой конструкции осуществляется двумя потоками – через гидравлическую и механическую ветви. Гидравлическая ветвь представляет собой аксиально-поршневые регулируемый насос и нерегулируемый мотор. Суммирование потоков мощности осуществляется планетарным механизмом. После планетарного механизма установлена коробка передач, содержащая цилиндрические шестерни постоянного зацепления, обеспечивающая четыре скоростных диапазона с бесступенчатым регулированием скорости движения в пределах каждого из них: на первом диапазоне от 0 до 10,5 км/ч, на втором – от 0 до 15,5 км/ч, на третьем – от 0 до 27 км/ч, на четвертом – от 0 до 41 км/ч. Включение передач осуществляется зубчатыми муфтами.

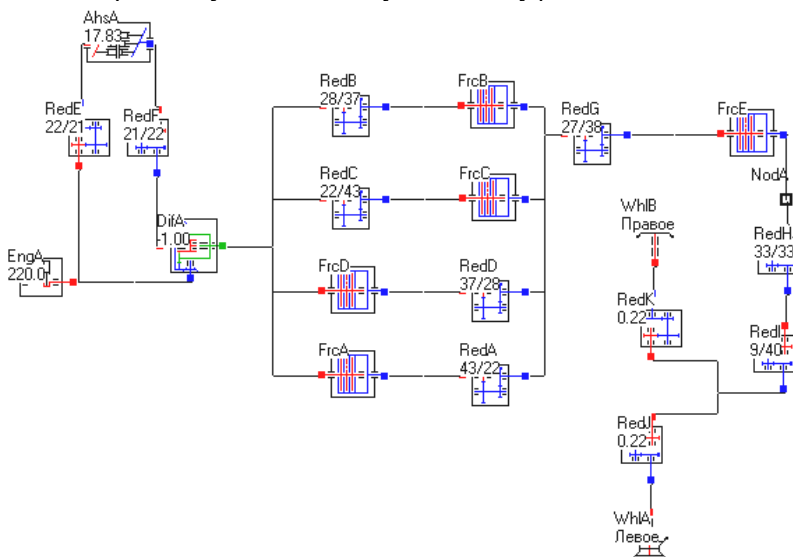


Рисунок 1 – Структурная схема ГОМТ трактора

Для эксплуатации ГОМТ характерны следующие специфические приемы и способы работы:

1. Педаль сцепления используется:
  - при запуске двигателя;
  - при переключении диапазонов;
  - при прогреве двигателя в холодное время года;
  - в режиме экстренного торможения.

Использование педали сцепления в процессе движения трактора запрещено.

2. При запуске двигателя орган переключения диапазонов должен находиться в нейтральном положении.

3. Для осуществления замедления трактора рекомендуется использование следующих способов торможения:

- комбинированный – с помощью перемещения органа управления гидроагрегата ГОМТ в сторону уменьшения скорости движения трактора (система ДВС – ГОП);

- экстренный – с помощью перемещения органа управления гидроагрегата ГОМТ в сторону уменьшения скорости движения трактора с одновременным нажатием педалей тормоза и сцепления (система ДВС – ГОП – тормоз).

4. При осуществлении экстренного торможения необходимо как можно быстрее перевести орган управления гидроагрегата ГОМТ в начальное положение (соответствующее нулевой скорости движения трактора).

#### **Анализ основных характеристик разработанной ГОМТ трактора.**

Вектор конструктивных параметров ГОМ КП определен на основании методологии, предложенной в работе [6] при удовлетворении основным скоростным и нагрузочным режимам работы ГОМТ в составе трактора массой 12 т во всем диапазоне возможных эксплуатационных технологий при работе трактора. Всей совокупности этих режимов вполне удовлетворяют гидроагрегаты ГСТ-112 производства ОАО завод «Гидросила», г. Кировоград, Украина (регулируемый гидронасос и нерегулируемый гидромотор объемом 111 см<sup>3</sup> каждый). При этом производится численный и качественный мониторинг рабочей скорости трактора в зависимости от относительного параметра регулирования ГОП  $e$ , нагрузочной мощности двигателя  $N$ , перепада давления рабочей жидкости  $dP$  в магистралях высокого давления, общий КПД ГОМТ, КПД отдельных гидроагрегатов, мощностей, проходящих через них, тепловыделений в ГОП, ГОМ КП и других технических параметров.

На рис. 2-5 представлены основные результаты расчетов при работе трактора с полной массой 12 т и свободной мощностью двигателя 176 кВт (240 л.с.) с выбранной ГОМТ при коэффициенте сопротивления движению  $f=0,45$  на первом рабочем (тяговом) диапазоне (рис. 2), с  $f=0,25$  на втором рабочем (тяговом скоростном) диапазоне (рис. 3), с  $f=0,15$  на третьем транспортном (тяговом) диапазоне (рис. 4) и с  $f=0,05$  на четвертом транспортном (скоростном) диапазоне (рис. 5). Данные значения коэффициента  $f$  имитирует тяговую нагрузку соответственно 54, 30, 18, 6 кН.

Характеристики ГОМТ демонстрируют, что при работе трактора с динамическим фактором и скоростью, соответствующими основным тяговым технологиям типа вспашка ( $D=0,42...0,45$ ;  $V=5,5...8,5$  км/ч), культивация ( $D=0,2...0,25$ ;  $V=8,5...15,5$  км/ч), а также в транспортном режиме ( $D=0,05...0,1$ ;  $V=17...41$  км/ч) КПД находится в зоне максимальных значений (0,79...0,81).

В большинстве режимов работы ГОМТ перепад давления рабочей жидкости  $dP$  в магистралях высокого давления находится в диапазоне 17-23 МПа, что близко к ядру универсальных характеристик ГОП. Это является одним из факторов, обуславливающим высокий КПД ГОМТ.

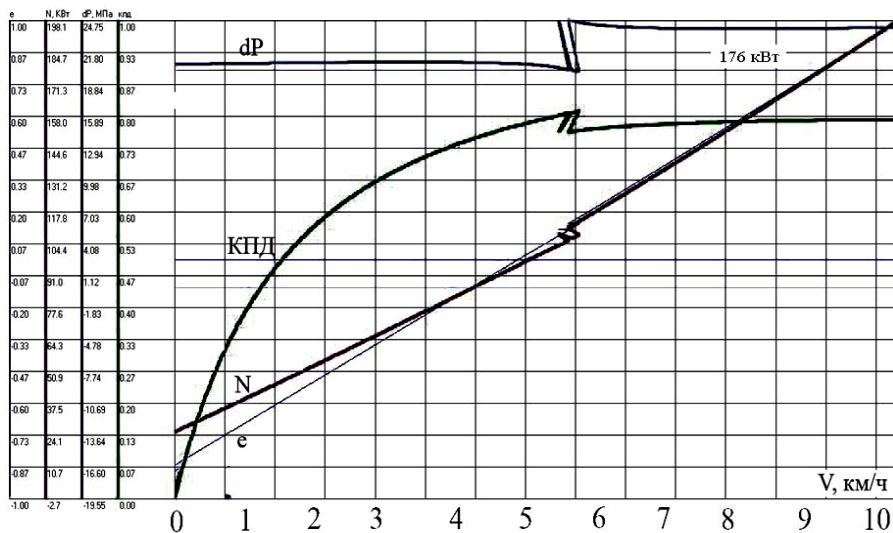


Рисунок 2 – Показатели работы трактора (240 л.с, 12 т) с выбранной ГОМТ на 1-м диапазоне при реализации тягового усилия 54 кН ( $f = 0,45$ )

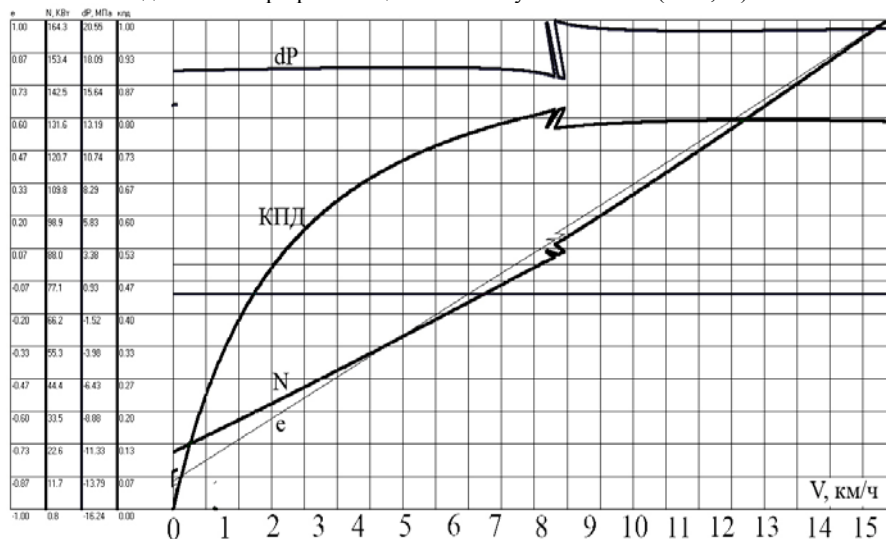


Рисунок 3 – Показатели работы трактора (240 л.с, 12 т) с выбранной ГОМТ на 2-м диапазоне при реализации тягового усилия 30 кН ( $f = 0,25$ )

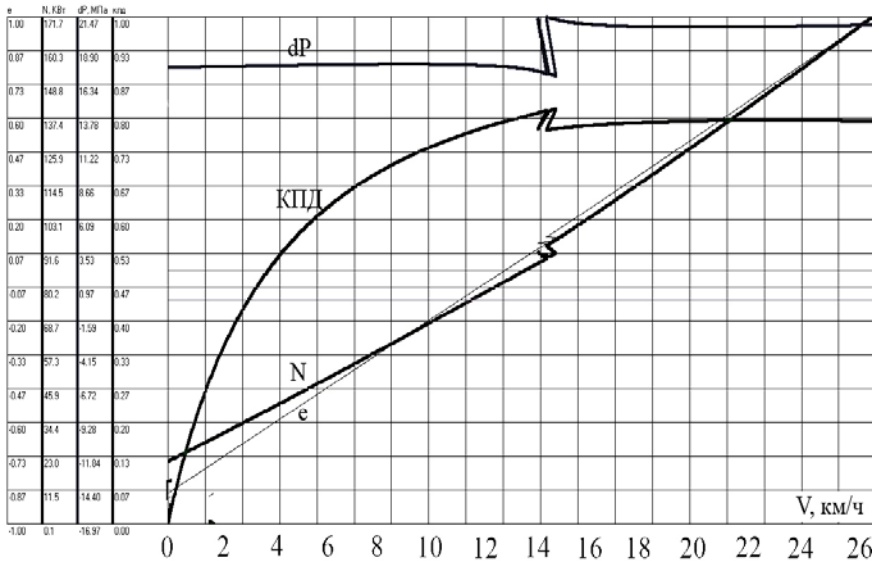


Рисунок 4 – Показатели работы трактора (240 л.с, 12 т) с выбранной ГОМТ на 3-м диапазоне при реализации тягового усилия 18 кН ( $f = 0,15$ )

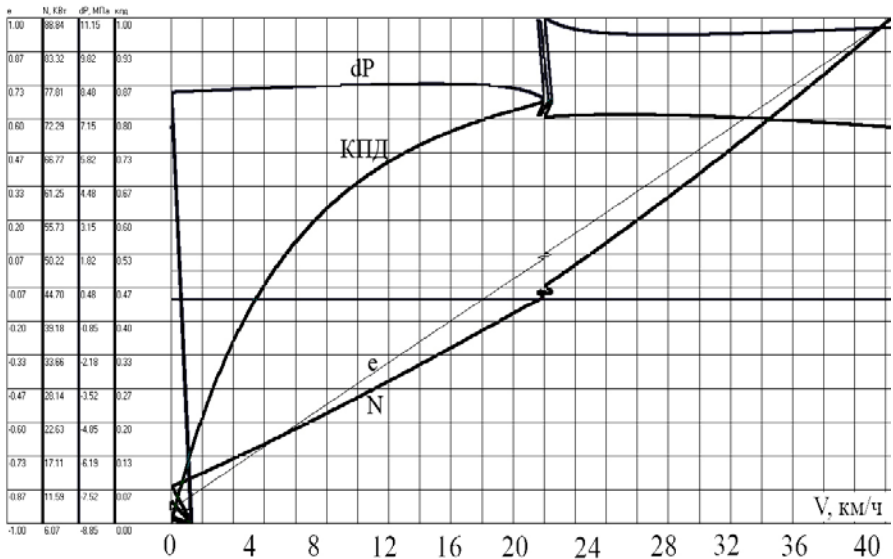


Рисунок 5 – Показатели работы трактора (240 л.с, 12 т) с выбранной ГОМТ на 4-м диапазоне при реализации тягового усилия 6 кН ( $f = 0,05$ )

## Выводы

1. Разработана и теоретически обоснована оригинальная ГОМТ с регулируемым гидронасосом и нерегулируемым гидромотором для колесного трактора с двигателем мощностью 220-240 л.с., с четырьмя скоростными диапазонами: тяговым (0-10,5 км/ч), тяговым скоростным (0-15,5 км/ч), транспортным тяговым (0-27 км/ч) и транспортным (0-41 км/ч), вектор конструктивных параметров которой определен на основе системного подхода к автоматизированному анализу, синтезу и проектированию гидрообъемно-механических трансмиссий [5].

2. Характеристики ГОМТ демонстрируют, что при работе трактора с динамическим фактором и скоростью, соответствующими основным тяговым технологиям типа вспашка ( $D=0,42...0,45$ ;  $V=5,5...8,5$  км/ч), культивация ( $D=0,2...0,25$ ;  $V=8,5...15,5$  км/ч), а также в транспортном режиме ( $D=0,05...0,1$ ;  $V=17...41$  км/ч) КПД находится в зоне максимальных значений (0,79...0,81).

3. Разработанная бесступенчатая ГОМТ рекомендуется для применения в колесных тракторах массой 10-12 т, с мощностью двигателя 220-240 л.с.

**Список литературы:** 1. Петров В.А. Гидрообъемные трансмиссии самоходных машин. - М.: Машиностроение, 1988. - 248 с. 2. Объемные гидромеханические передачи: Расчет и конструирование / О.М. Бабаев, Л.И. Игнатов, Е.С. Кисточкин и др. -Л.: Машиностроение, 1987. -256 с. 3. Александров Е.Е., Самородов В.Б., Волонцевич Д.О., Палащенко А.С. Колесные и гусеничные машины высокой проходимости. В 10-ти томах. Том 3: Бесступенчатые трансмиссии: расчет и основы конструирования. -Харьков, ХГПУ, 1997. -185с. 4. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин / Александров Е.Е., Самородов В.Б., Лебедев А.Т., и др. - Харьков: ХГАДТУ, 2001.-642 с. 5. Самородов В.Б., Рогов А.В., Бурлыга М.Б. Самородов Б.В. Критический обзор работ в области тракторных гидрообъемно-механических трансмиссий // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск «Автомобиле- и тракторостроение». - 2003. -№ 4, с. 3-19. 6. Самородов В.Б., Рогов А.В., Науменко А.В., Постный В.А. и др. Комплексный подход к автоматизированному анализу, синтезу и проектированию гидрообъемно-механических трансмиссий // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск «Автомобиле- и тракторостроение». - 2002. - №10. - Т.1. - С. 3-16. 7. Самородов В.Б., Шуба С.А., Деркач О.И. Бесступенчатая двухпоточная гидрообъемно-механическая коробка передач для трактора с двигателем мощностью 300-350 л.с. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2012. -№3, с. 10-13. 8. Самородов В.Б., Рогов А.В., Науменко А.В., Постный В.А. и др. Комплексный подход к автоматизированному анализу, синтезу и проектированию гидрообъемно-механических трансмиссий // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск «Автомобиле- и тракторостроение». - 2002. - №10. - Т.1. - С. 3-16. 9. Самородов В.Б., Рогов А.В. Обоснование оптимальных конструктивных параметров бесступенчатой трансмиссии трактора // Вестник НТУ «ХПИ». Тематический выпуск «Автомобиле- и тракторостроение». - 2010. -№ 1, с. 8-14. 10. Самородов В.Б., Шуба С.А. Двухпоточная тракторная гидрообъемно-механическая трансмиссия: математическое моделирование и эскиз конструкции // Тематический выпуск «Автомобиле- и тракторостроение». - 2005. -№ 10, с. 18-24. 11. Самородов В.Б., Деркач О.И., Шуба С.А., Колодяжный А.В. Выбор кинематических схем ГОМТ разных типов для сельскохозяйственного трактора класса 1,4 // Тематический выпуск «Автомобиле- и тракторостроение». - 2011. -№ 56, с. 3-8. 12. Патент Украины на полезную модель №66540, МПК F16H 47/00 Гидрообъемно-механическая трансмиссия транспортного средства / Калинин С.В., Самородов В.Б., Деркач О.И., Забелышинский З.Э., Шуба С.А., Шаповалов Ю.К.; дата подачи заявки 06.06.2011; дата публикации 10.01.2012, Бюл. №1. 13. Патент Украины на полезную модель №66541, МПК F16H 47/00 Гидрообъемно-механическая трансмиссия транспортного средства / Калинин С.В., Самородов В.Б., Деркач О.И., Забелышинский З.Э., Шуба С.А., Аврунин Г.А.; дата подачи заявки 06.06.2011; дата публикации 10.01.2012, Бюл. №1.

Поступила в редакцию 10.04.2012