

УДК 629.113-585.23

**В. Б. САМОРОДОВ**, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;  
**О. Н. АГАПОВ**, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ»

## ГИДРООБЪЕМНО-МЕХАНИЧЕСКАЯ ТРАНСМИССИЯ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ С АВТОНОМНЫМ БЕССТУПЕНЧАТЫМ УПРАВЛЕНИЕМ В ПРЯМОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ И В ПОВОРОТЕ

Предложена и исследована гидрообъемно-механическая трансмиссия для гусеничной машины с автономным бесступенчатым регулированием прямолинейного движения и поворота, благодаря использованию отдельных гидрообъемных передач в контурах прямолинейного движения и поворота.

**Ключевые слова:** гусеничная машина, бесступенчатая трансмиссия, механизм поворота, скоростной диапазон.

Основным противоречием при внедрении бесступенчатых гидрообъемно-механических трансмиссий (ГОМТ) на гусеничных машинах (ГМ) - это противоречие между собственно непрерывным бесступенчатым регулированием и наличием двух, трех или четырех скоростных диапазонов в ГОМТ в зависимости от типа ГМ [1,2]. Особенно характерно это для тяжелых гусеничных машин - образцов бронетанковой техники. В самом деле-трансмиссия бесступенчатая, а скоростных диапазонов до четырех! И это обеспечивается четырьмя-пятью управляющими элементами – фрикционными и(или) тормозными [2]. Эффективная работа управляющих элементов достигается путем обеспечения так называемого «холодного» включения, то есть кинематической синхронизации соответствующих звеньев ГОМТ при переходе с диапазона на диапазон. Это усложняет в целом трансмиссию и в определенной степени нивелирует ее статус как бесступенчатой. По сути в этом случае ГОМТ превращается в ступенчатую трансмиссию с отдельными бесступенчато регулируемые диапазонами.

В идеале принцип непрерывного бесступенчатого регулирования лучше всего реализует однодиапазонная ГОМТ. При этом, как известно, в единственном широком скоростном диапазоне (при максимальной скорости ГМ до 20-25 м/с) невозможно добиться удовлетворительного динамического фактора и приемлемого КПД трансмиссии. Именно поэтому этот общий скоростной диапазон разбивается на два-четыре поддиапазона, на каждом из которых крутизна регулировочной характеристики ГОМТ позволяет существенно повысить тяговую динамику и КПД ГМ. Вот откуда следует указанное противоречие.

Однако в некоторых случаях при синтезе схемы ГОМТ, особенно для легких и средних по весу ГМ, прямую регулировочную характеристику – зависимость параметра регулирования  $e$  ГОМТ от скорости  $V$  движения ГМ - можно «изломать» так, что в начале движения ее наклон к оси скорости велик и обеспечивает необходимый динамический фактор при трогании и малых скоростях движения ( 1-й поддиапазон ) [1,3]. Начиная с некоторой скорости до максимальной скорости ГМ, наклон регулировочной характеристики к оси скорости мал, что дает возможность обеспечить непрерывное бесступенчатое регулирование в широком скоростном диапазоне ( 2-й поддиапазон ).

В настоящей статье предлагается оригинальная кинематическая схема (рис.1) для изделий бронетанковой техники весом до 200 КН и мощностью двигателя до 400

© В. Б. Самородов, О. Н. Агапов, 2012

л.с. Трансмиссия содержит два основных, независимо управляемых с помощью гидрообъемных передач (ГОП) контура — прямолинейного движения (ГОП GA) и поворота (ГОП GB). Имеются ввиду ГОП типа “Данфос-Зауэр”, ГСТ-90 или ГСТ-112 ОАО “Гидросила”, гидрообъемные передачи Харьковского завода ФЭД и т.п. В прямолинейном движении параметр регулирования поворотной ГОП GB  $e_2=0$ . Обеспечивается синхронизация правой конической шестерни 3 и первичного вала 1 для движения вперед ( см. рис. 1 ). Солнечные шестерни суммирующих планетарных рядов DC и DD заторможены. Начало движения ГМ соответствует сочетанию параметров управления  $e_1=1, e_2=0$ .

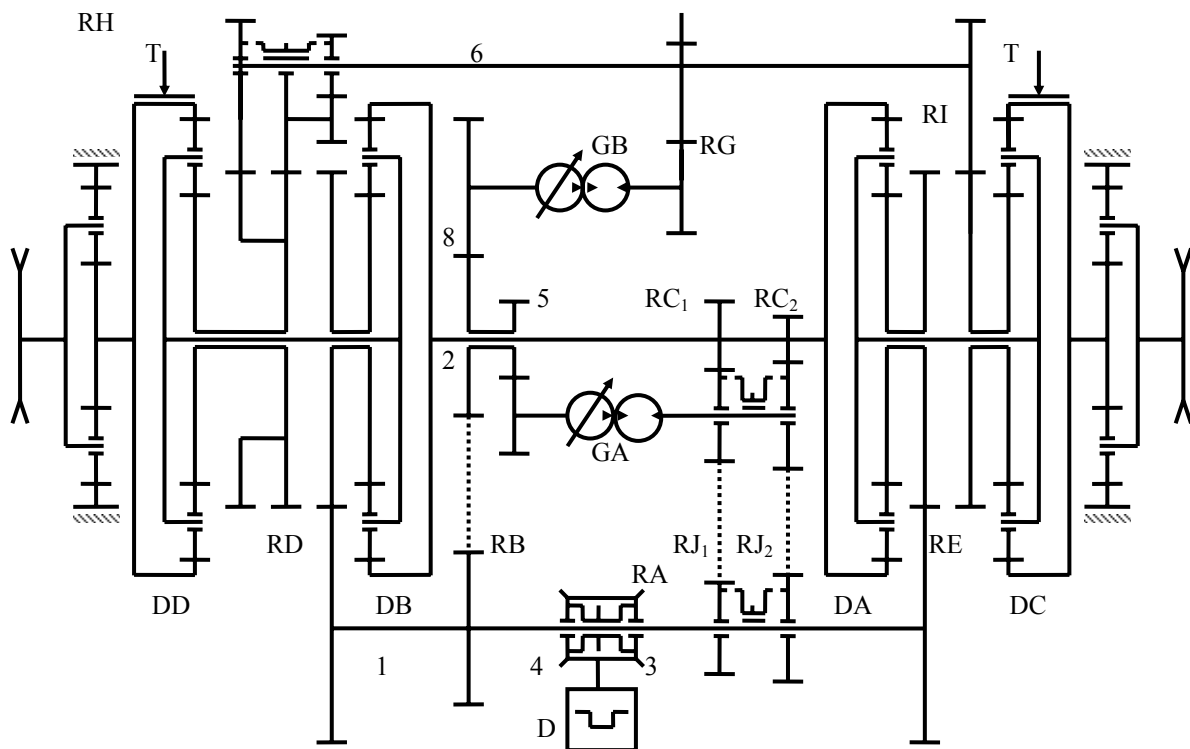


Рисунок 1 – Схема ГОМТ с автономным бесступенчатым регулированием в прямолинейном движении и в повороте

Коронные шестерни внутренних рядов DA и DB и их солнечные шестерни вращаются в противоположные стороны и при соответствующем выборе редукторов и внутреннего передаточного числа  $K$  планетарных рядов, водила внутренних и внешних суммирующих планетарных рядов остановлены. Как следствие, на суммирующих внешних рядах заторможены коронные шестерни, связанные через бортовые редукторы с ведущими колесами. Гусеничная машина покоится. С уменьшением параметра управления  $e_1$  от 1 до 0 обороты вала нерегулируемой гидромашини GA уменьшаются от максимальных до 0. Через включенную с помощью муфты редукторную пару  $RC_1$  (1-й поддиапазон) обеспечивается снижение оборотов коронных шестерен рядов DA и DB и увеличение угловой скорости общих водил за счет постоянных оборотов первичного вала 1 и солнечных шестерен DA и DB. При  $e_1 = 0$  гидронасос ГОП GA работает на холостом ходу и основная часть свободной мощности ДВС с учетом относительно небольших потерь в ГОП GA при  $e_1 = 0$  через первичный вал 1 только по

механической ветви через планетарные ряды и бортовые редукторы передается на ведущие колеса. ГМ движется прямолинейно и имеет на 1-м поддиапазоне максимальную скорость  $V_{1\max}$  (рис.2).

При  $e_1=0$  в ГОП GA предлагается производить переключение на 2-й поддиапазон путем введения в зацепление с помощью муфты редукторной пары  $RC_2$ . При этом на 2-м поддиапазоне с уменьшением параметра управления  $e_1$  от 0 до  $-1$  (рис. 2) угловая скорость вала нерегулируемой гидромашины ГОП GA растет по абсолютной величине от 0 до своего максимального значения, но с противоположным знаком. Направление вращения коронных шестерен внутренних рядов DA и DB совпадает на интервале  $e_1 [0, -1]$  с направлением вращения их солнечных шестерен, скорости которых постоянны. При  $e_1=-1$  общие водила планетарных рядов разгоняются до своей максимальной угловой скорости, которая соответствует максимальной угловой скорости коронных шестерен внешних суммирующих рядов DC и DD, а значит и максимальной угловой скорости вращения ведущих колес. ГМ движется прямолинейно и имеет максимальную скорость  $V_{2\max}$  (рис. 2).

Можно уменьшать  $e_1$  от 0 до  $-1$ , оставаясь на 1-м поддиапазоне, т.е. не размыкая редукторную пару  $RC_1$ . В этом случае обеспечивается суженный скоростной диапазон с непрерывным бесступенчатым регулированием и с повышенным динамическим фактором. Возможно также включение редукторной пары  $RC_2$  и движение ГМ в интервале параметра управления  $e_1 [1; -1]$ , т.е. как бы на расширенном 2-м скоростном поддиапазоне. Таким образом введением редукторных пар  $RC_1$  и  $RC_2$  обеспечивает "излом" прямой регулировочной характеристики с целью достижения необходимого динамического фактора при трогании и малых скоростях движения и достаточно широкое бесступенчатое регулирование в процессе достижения максимальной скорости.

Третий резервный скоростной диапазон предусмотрен на случай выхода ГОП GA из строя. В случае аварийной самотранспортировки машины или для преодоления больших коэффициентов сопротивления движению. В этом случае включается редукторная пара  $RJ_1$  или  $RJ_2$ . Муфта редуктора RH включается таким образом, что передаточное отношение редукторов RH и RI равны и имеют одинаковые знаки.

Для движения машины с низкими скоростями при большой нагрузке (например при коэффициенте сопротивления движению  $f=0,5—0,7$ ) авторы предлагают синхронизацию вала 6 и шестерни 7, связанной с солнечной шестерней планетарного ряда DD, путем введения редукторной связи RH. При этом передаточные числа  $i_{RI}=i_{RH}$  (по знаку и по величине равные) и обеспечивается одинаковая подкрутка солнечных шестерен рядов DC и DD в направлении движения водила, а через ГОП GB от двигателя передается часть потока мощности на суммирующие внешние ряды DC и DD, разгружая тем самым ГОП GA контура прямолинейного движения. В известных механизмах поворота редукторная связь RH отсутствует, что в тяжелых условиях движения ( $f=0,5—0,7$ ) приводит к перегрузу механической ветви трансмиссии. В предложенной схеме ГОМТ ГОП GA перегружена, а ГОП GB (при отсутствии RH) абсолютно не работает в тяжелых условиях прямолинейного движения. Включение на основе описанного приема на таких режимах ГОП GB фактически увеличивает суммарный рабочий объем гидropередач, снижает давление нагрузки в ГОП GA при давлениях в ГОП GB не превосходящих  $p_{\max}$ , повышает динамический фактор ГМ.

Поворот осуществляется по дифференциальному принципу с сохранением

скорости центра масс машины. Вывод шайбы регулируемой гидромашины ГОП GB из нулевого положения на угол  $+\gamma$  ( $e_2 > 0$ ) приводит к равным, но противоположным угловым скоростям солнечных шестерен внешних суммирующих планетарных рядов. Если для определенности при  $e_2 > 0$  солнечная шестерня ряда DC начинает вращаться в том же направлении, что и общее водило, коронная шестерня этого ряда получает приращение угловой скорости  $\Delta\omega$  (в том же направлении) и правый борт является забегающим. В то же время солнечная шестерня левого суммирующего ряда DD вращается от ГОП GB в сторону противоположную водилу, и коронная шестерня этого ряда уменьшает свою угловую скорость на такую же величину  $\Delta\omega$ . Левый борт — отстающий. Симметричный поворот получается при  $e_2 < 0$ , т.е. при выводе шайбы гидромашины ГОП GB в противоположную сторону на угол  $-\gamma$ .

Поворот гусеничной машины на месте осуществляется при остановленном общем водиле по обоим бортам за счет параметра  $e_1 = +1$ , соответствующего нулевой скорости прямолинейного движения и  $e_2 \neq 0$ . При этом солнечные шестерни внешних суммирующих рядов вращаются в разных направлениях, но с одинаковой по модулю угловой скоростью. При неподвижных водилах коронные шестерни рядов DC и DD также вращаются в разные стороны, а ведущие колеса обеспечивают своими равными, но противоположными по направлению угловыми скоростями поворот машины с радиусом  $0,5B$  вокруг собственной вертикальной оси.

Задний ход обеспечивается синхронизацией левой конической шестерни при  $e_1 = +1$ . При этом ГОМТ обеспечивает симметричный скоростной диапазон на заднем ходу. Задний ход легко обеспечить соответствующим выбором передаточных отношений путем сдвига регулировочной характеристики  $e_1(V)$  в область  $V < 0$ . В этом случае синхронизатор и левая коническая шестерня не нужны. Так предложен рациональный набор всех передаточных чисел, при котором движение вперед происходит при  $e_1$  от  $+0,81$  до  $-1$ , до максимальной скорости  $18,8$  м/с и назад при  $e_1$  от  $+0,81$  до  $+1$  с максимальной скоростью  $3,8$  м/с.

Результаты исследования ГОМТ в прямолинейном движении для ГМ типа МТЛБ/ХТЗ показаны на рис. 2. При этом вес ГМ –  $200$  кН, мощность ДВС –  $400$  л.с. радиус ведущего колеса –  $0,292$  м, база машины  $B = 2,75$  м, коэффициент сопротивления движению  $f = 0,065$ , ГОП GA и GB на базе гидромашин типа “Зауэр” №24; максимальная угловая скорость двигателя –  $220$  рад/с. Расчеты проводились на основе метода автоматизированного матричного анализа трансмиссии, подробно изложенного в работах [1,2].

Как видно, ГОМТ имеет удовлетворительный КПД в широком скоростном диапазоне. Базовый поворот выбран авторами для скорости  $30$  км/ч при радиусе поворота  $R=20$  м и ограничен максимальным давлением в ГОП, равным  $40$  МПа. Все множество передаточных отношений ГОМТ выбрано так, что удовлетворяется а) разгон ГМ до максимальной скорости  $V_{2max}=72$  км/ч; б) на 1-м поддиапазоне обеспечивается динамический фактор  $D=0,55$ ; в) обеспечивается заданный базовый поворот; г) обеспечивается поворот на месте со скоростью  $0,67$  рад/с ( $38$  град/с); д) параметры планетарных рядов удовлетворяют условию существования планетарных рядов, а скорости сателлитов не превышают  $400$  рад/с.

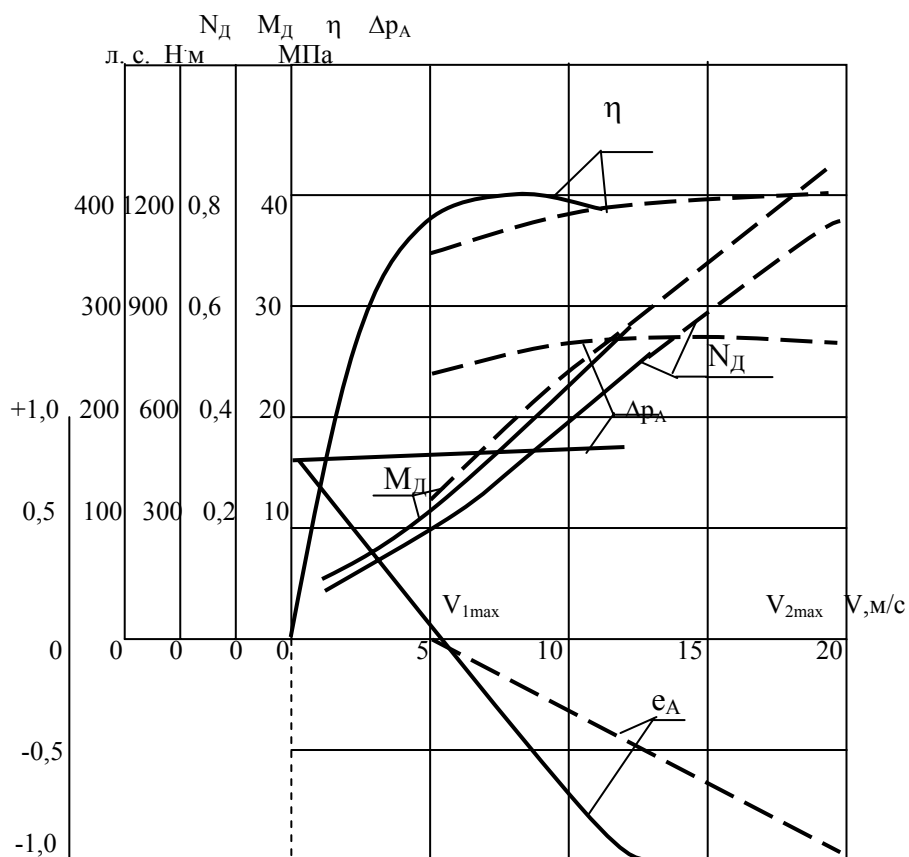


Рисунок 2 – Результаты исследования ГОМТ в прямолинейном движении

В целом схема требует тщательного исследования и оптимизации места расположения точки излома регулировочной характеристики по критерию наилучшей тяговой динамики и КПД при удовлетворении всех перечисленных выше условий. Чем круче регулировочная характеристика на 1-м поддиапазоне, тем ниже давление в ГОП GA, выше динамический фактор. Однако, большая пологость характеристики на 2-м диапазоне приводит к скачку давления при переключении с 1-го на 2-й диапазон, а главное – к ухудшению параметров базового поворота с точки зрения давления в ГОП. При этом для улучшения параметров поворота необходимо проводить оптимизацию редукторов RC, RG, RH, RI, внутренних передаточных отношений планетарных рядов.

К преимуществам предлагаемой трансмиссии ГМ относятся следующие:

1. Полностью бесступенчатое однодиапазонное регулирование при движении вперед и назад от 0 до максимальной скорости. Отсутствие фрикционных и тормозных элементов (за исключением горного тормоза Т, рис.1). Простота и симметричность схемы трансмиссии.
2. Использование в контурах прямолинейного движения и поворота по одной гидropередаче, конструктивное размещение которых исключает увод машины с заданного курса. Введение в схему простого синхронизатора и редуктора в контуре поворота, позволяющих увеличить тяговое усилие в тяжелых условиях прямолинейного движения, включить в работу ГОП GB и разгрузить при этом ГОП GA.
3. Одинаковое конструктивное и технологическое исполнение всех четырех планетарных рядов, имеющих одинаковое внутреннее передаточное число К.
4. Возможность расположения обеих одинаковых ГОП в одном картере и

обеспечение их работы единой гидравлической системой.

Представленная ГОМТ всесторонне исследована в режимах прямолинейного движения и поворота методом автоматизированного матричного анализа [1,4]. Имеются все основные технические параметры для проектирования предложенной трансмиссии. Рассмотренная ГОМТ считается перспективной и представляется целесообразным ее внедрение на легких и средних ГМ, а также в области транспортного машиностроения Украины (дорожно-строительные машины, инженерные и пожарные машины, гусеничные транспортные средства специального назначения).

**Список литературы:** 1. Самородов В.Б. Проблемы и направления теоретических исследований в области гидрообъемно-механических трансмиссий в Украине. – Механика и машиностроение. - №1, 1998. – с. 105-109. 2. Самородов В.Б. Вывод общего закона управления гидрообъемно-механических трансмиссий транспортных машин в процессе прямолинейного разгона и способ его технической реализации.- Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2001. – №. 4. С 112-120. 3. Самородов В.Б. Общая постановка задачи параметрического синтеза гидрообъемно-механических трансмиссий.- Механика и машиностроение. – 2002 г. – №1.- С 102-109. 4. Самородов В.Б. Системный подход к генерации математических матричных моделей для планетарных механических и гидрообъемно-механических трансмиссий произвольного вида.- Вестник ХГПУ.– 1999.– Вып.46.

*Поступила в редколлегию 12.12.2012*

УДК 629.113-585.23

**Гидрообъемно-механическая трансмиссия гусеничной машины с автономным бесступенчатым управлением в прямолинейном движении и в повороте / В. Б. Самородов, О. Н. Агапов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2012. – № 64 (970). – С. 3–8. – Бібліогр.: 4 назв.**

Запропонована і досліджена гідрооб'ємно-механічна трансмісія задля гусеничної машини з автономним безступінчастим регулюванням прямолінійного руху та повороту, завдяки використанню окремих гідрооб'ємних передач у контурах прямолінійного руху та повороту.

**Ключові слова:** гусенична машина, безступінчаста трансмісія, механізм повороту, швидкісний діапазон.

It is offered and explored hydro-volumetric mechanical transmission for caterpillar machine with autonomous continuously variable regulation of the rectilinear motion and tumbling, due to use separate hydro-volumetric issues in sidebar of the rectilinear motion and tumbling.

**Key words:** caterpillar machine, continuously variable transmission, mechanism of the tumbling, speed range.