

УДК 623.437.3.093;629.03;629.36

Р.Ю. Добрецов, И.В. Григорьев, А.М. Газизов

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОСТИ ЛЕСНЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

Ключевые слова: гусеничная машина; замкнутая система управления поворотом; буксование; широтно-импульсная модуляция; гибридные силовые установки.

Введение. Управляемость гусеничной машины существенно зависит от конструкции и параметров механизма поворота. Механизмы поворота позволяют управлять направлением движения за счет изменения сил тяги на ведущих колесах бортов (силовое управление поворотом) или за счет разницы угловых скоростей ведущих колес (кинематическое управление). На сочлененных машинах для управления направлением движения используют поворот секций относительно друг друга в плоскости плана.

Механизмы, обеспечивающее силовое управление поворотом, получили наибольшее распространение на транспортно-технологических, в том числе и лесных гусеничных маши-

нах. Основные причины – низкая стоимость, простота в изготовлении и обслуживании. На рисунке 1 приведена типичная схема трансмиссии (условно показаны также двигатель и ведущие колеса), реализованная на большинстве отечественных гусеничных машин лесохозяйственного комплекса (Онежский тракторный завод: устаревшие, хотя и до сих пор распространенные тракторы ТДТ-55, более современные – ТЛТ-100; трактор для бесчokerной трелевки ТБ-1 и его модификации; ЗАО «Транспорт» (Нижний Новгород): машина трелевочная бесчokerная ЛП-18, трактор ТТ-4; гусеничные харвестеры «Лесник» ЛТМ-6810 и ЛТМ-6820 и др. [1, 2]). При конструировании шасси специальных машин для размещения пожарного, ремонтного,

нефтегазового оборудования за основу обычно принимается шасси плавающего снегоболото-

хода [2], трансмиссия которого выполнена по близкой схеме.

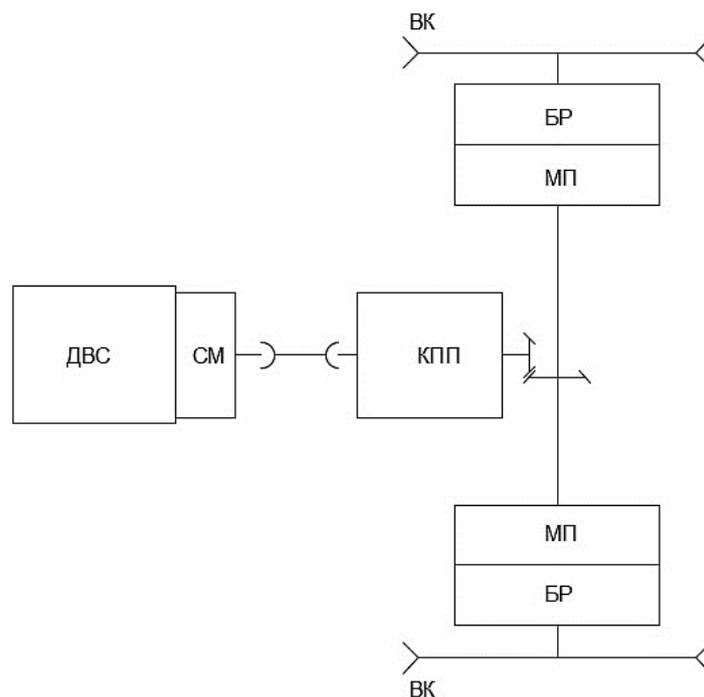


Рисунок 1

Структурная схема трансмиссии гусеничной машины с центральной коробкой передач и бортовыми механизмами поворота: ДВС – двигатель внутреннего сгорания; СМ – соединительный механизм; КПП – коробка перемены передач; МП – механизм поворота; БР – бортовой редуктор; ВК – ведущее колесо

В качестве механизма поворота используется бортовой фрикцион с тормозом (БФТ, рисунок 2а) [3, 4]. Основными достоинствами БФТ являются низкая стоимость, высокая ремонтпригодность, устойчивость прямолинейного движения машины. При этом машина в повороте движется рывками. БФТ позволяет получить значение относительного фиксированного (расчетного) радиуса поворота $\rho_{\phi} = R_{\phi} / B = 0,5$ (здесь R_{ϕ} – радиус поворота, получаемый при полном включении тормоза на отстающем борту, B – ширина колеи машины).

Плохая управляемость не позволяет машине эффективно маневрировать в том числе и при выполнении поворотов с малыми радиусами даже на небольших скоростях. Например, маневрирование на трелевочного трактора на лесосеке осуществляется часто путем поворота вокруг остановленной гусеницы (см. данные в монографии [5]). Соответственно снижается производительность труда, увеличивается утомляемость оператора, весьма затруднительно реализовать дистанционное управление машиной.

Аспекты улучшения управляемости, связанные с заменой БФТ на планетарный механизм поворота (ПМП; см., например, источники [3,

4]) и использования широтно-импульсной модуляции (ШИМ) давления в гидравлическом приводе его фрикционных элементов управления, были рассмотрены в [6]. Использование ПМП представляется наиболее простым и дешевым способом улучшения управляемости лесных гусеничных машин (в частности, трелевочных тракторов) во всем эксплуатационном диапазоне скоростей.

Целью данной статьи является сравнительный анализ новых технических решений, направленных на улучшение управляемости лесных и транспортных гусеничных машин и определение областей рационального использования предлагаемых конструкций.

Предлагаемый в [6] принцип позволит получить плавное изменение радиуса поворота в двух диапазонах:

- при использовании тормоза, связанного с планетарным рядом, $\rho \in (\infty, \rho_{\phi}]$;
- за счет остановочного тормоза борта радиус поворота можно продолжать уменьшать, получая $\rho \in (\rho_{\phi}, 0,5]$.

Значение ρ_{ϕ} будет определяться структурой ряда. При использовании наиболее технологичных простых (трехзвенных) планетарных рядов

съем мощности обычно организуют с водила, соединяя его с бортовой передачей. Ряд характеризуется кинематическим параметром $k < 0$ [3]. Значения k ограничены технологическими возможностями и работоспособностью механизма.

Если ведущим звеном ПМП является солнце, а с тормозом соединен эпицикл (рисунок 2б), относительный фиксированный радиус поворота вычисляется, как

$$\rho_{\Phi} = 0,5 - 1/k; \rho_{\Phi} \in [0,8; 1,0] \\ \text{при } k \in [-3,5; -2,0].$$

Если ведущим звеном ПМП является эпицикл, а с тормозом соединено солнце (рисунок 2в), получаем:

$$\rho_{\Phi} = 0,5 - k; \rho_{\Phi} \in [2,5; 4,0] \text{ при } k \in [-3,5; -2,0].$$

Таким образом, использование традиционного двухступенчатого ПМП не позволяет реализовать ρ_{Φ} в диапазоне 1,0...2,0. Перекрыть

этот диапазон можно с помощью более сложных механизмов, родственными современным механизмам распределения мощности, разработанных для автомобилей [7–9].

На рисунке 2г приведена кинематическая схема одного из таких механизмов, родственного конструкции *ZF Vector Drive* [7]. Для поворота машины включают тормоз T_{Π} на отстающем борту. Буксование тормоза можно контролировать, как в случае традиционного ПМП, путем широтно-импульсной модуляции давления в магистрали управления. При полном включении T_{Π} получаем

$$\rho_{\Phi} = 0,5 (\omega_2 + \omega_1) / (\omega_2 - \omega_1) = 0,5 / (k - 1); \\ k = (z_a / z_b) (z_c / z_d).$$

При полном включении остановочного тормоза борта происходит поворот вокруг остановленной гусеницы.

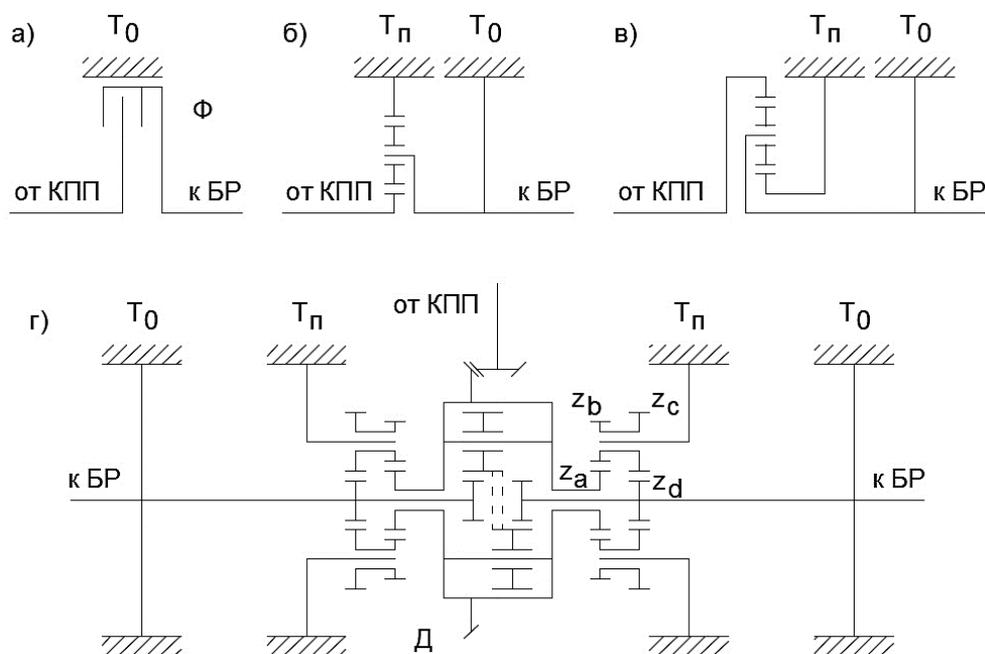


Рисунок 2

Кинематические схемы механизмов поворота: а – бортовой фрикцион с тормозом;

б, в – одноступенчатый планетарный механизм поворота; г – механизм, родственник *ZF Vector Drive* [7];

T_{Π} и T_0 – тормоза механизма поворота и остановочный; Φ – фрикцион; Д – дифференциал; $z_{a,b,c,d}$ – числа зубьев шестерен

На рисунке 3 показан характер зависимости значения фиксированного (расчетного) относительного радиуса поворота машины от кинематического параметра планетарного ряда.

К недостаткам такого механизма можно отнести неустойчивость прямолинейного движения и более высокую стоимость изготовления. Механизм целесообразно применять на трелевочных тракторах и харвестерах для обеспечения малых значений относительного расчетного радиуса поворота. Следует ожидать увеличения производительности таких машин, например,

при маневрировании в процессе сбора пачки, и роста энергоэффективности шасси [10, 11].

Учитывая, что такой механизм следует применять в составе замкнутой (следящей) системы управления поворотом [6, 12], представляется необязательной блокировка дифференциала Д при прямолинейном движении. В принципе, такая блокировка осуществима, но для ее обеспечения потребуется усложнить конструкцию дифференциала.

Применение описанного механизма и его аналогов [8, 9] на транспортных машинах возм-

ожно, но не является рациональным, поскольку для них характерны большие значения радиусов поворота, а кратковременное маневрирование в ограниченном пространстве может осуществляться и за счет остановочных тормозов.

Дальнейшее улучшение управляемости гусеничных машин должно быть связано с реше-

нием проблемы уменьшения минимального радиуса поворота и оптимизации зависимости значения расчетного радиуса поворота от скорости движения. Первое положение актуально для машин любого назначения, второе в большей степени важно для относительно быстроходных машин.

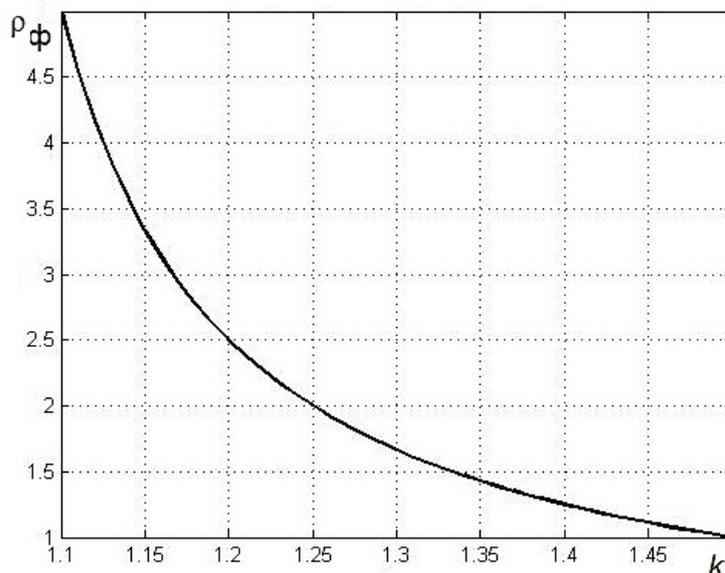


Рисунок 3

Изменение значения $\rho_\phi(k)$ – фиксированного (расчетного) относительно радиуса поворота машины в зависимости от кинематического параметра планетарного ряда

Известна группа механизмов поворота, позволяющих реализовать криволинейное движение с любым относительным радиусом поворота в диапазоне $[0, \infty)$. Наилучшее качество управления поворотом достигнуто при использовании двухпоточного дифференциального механизма поворота с гидрообъемной передачей (ГОП) в параллельном потоке мощности [13]. Такие механизмы применяются на практике, но имеют, как минимум, два недостатка: высокая стоимость (что связано в основном с применением компактной ГОП, работающей при очень больших давлениях) и отсутствие в России серийного производства ГОП.

ГОП можно заменить фрикционным механизмом поворота (ФМП) [14], снизив стоимость трансмиссии и повысив ее надежность и технологичность. При производстве ФМП могут использоваться технологии, отработанные для серийного производства планетарных коробок передач военных гусеничных машин.

В трансмиссии трактора целесообразно использовать ФМП в виде одноступенчатого планетарного редуктора с двумя степенями свободы. Редуктор имеет три элемента управления (дисковых тормоза) и реализует три режима ра-

боты: остановка выходного вала (для обеспечения устойчивости прямолинейного движения) и вращение ведомого вала в двух направлениях (по часовой стрелке и против). Скорость вращения выходного вала контролируется за счет ШИМ давления в гидроприводе соответствующих элементов управления. Описанный ФМП был изготовлен и успешно испытан. Его модификации могут быть применены в перспективных трансмиссиях тракторов и транспортных машин.

Дополнительно улучшить управляемость гусеничной машины с двухпоточной трансмиссией представляется возможным без существенного усложнения конструкции за счет использования принципа привода параллельного потока от простого планетарного механизма, объединяющего входное, выходное звенья коробки передач и приводное звено α (рисунок 4).

Используя данный принцип, можно получить семейство механизмов, условно названных «гиперболические механизмы поворота» [15, 16]. Название обусловлено гиперболическим характером зависимости между скоростью движения машины и значениями фиксированных (расчетных) относительных радиусов поворота,

обеспечиваемых кинематикой трансмиссии [16]:

$$\rho_{\phi} = \frac{u_{\text{ФМП}} k |u_p| v}{2(1,6v_{\text{max}} - v)}$$

Здесь $u_{\text{ФМП}}$, u_0 и u_p – передаточные отношения редукторной части, v и v_{max} – расчетная и

максимальная скорости движения (принимаются для центра масс машины), k – кинематический параметр суммирующего планетарного ряда (СПР). Варьированием значения u_0 получают необходимое согласование угловых скоростей валов.



Рисунок 4
Схема дифференциала привода ветви механизма поворота и вид плана угловых скоростей такого дифференциала

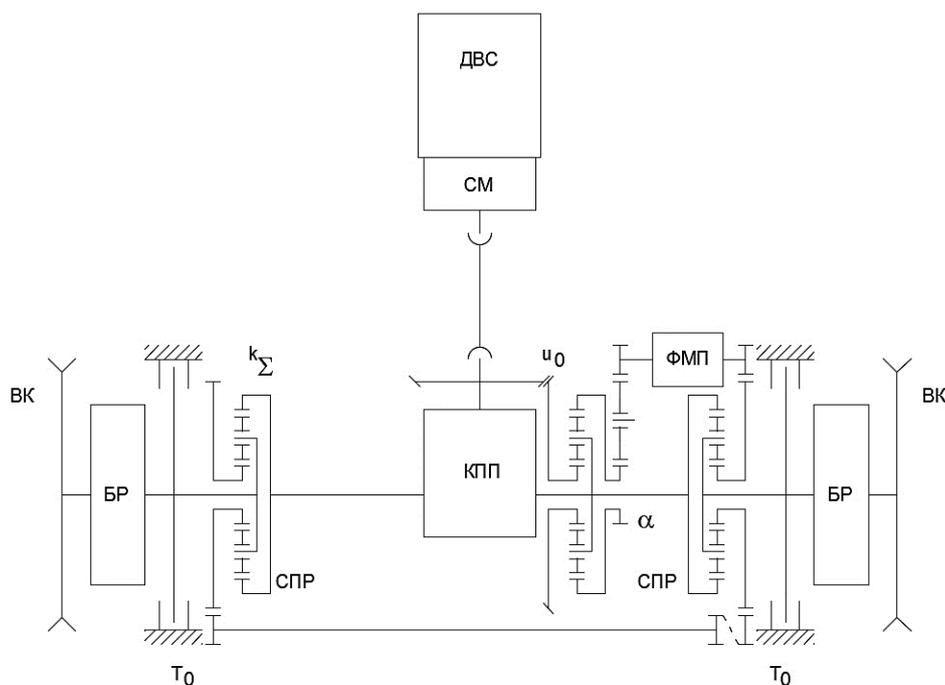


Рисунок 5
Кинематическая схема двухпоточной трансмиссии:
ДВС – двигатель, КПП – центральная коробка перемены передач, СПР – суммирующий планетарный ряд, ФМП – фрикционный механизм поворота; x – выходной вал ЦКП, α – входное звено ФМП, u_0 и u_p – передаточные отношения редукторной части, k – кинематический параметр СПР

На рисунке 5 показан частный случай гиперболического механизма поворота, когда в параллельной ветви трансмиссии установлен ФМП.

Механизмы поворота такого типа относятся к дифференциальным (зависимым) и позволяют осуществлять кинематическое управление поворотом. Рассмотренный механизм и его аналоги следует рекомендовать к использованию в первую очередь на транспортных машинах или

специальных шасси, передвигающихся с высокими скоростями (например, пожарная машина).

Кинематическая схема трансмиссии с гиперболическим механизмом поворота оказывается довольно сложной. Упростить кинематическую схему и одновременно получить трансмиссию с новыми возможностями позволяет введение в параллельную ветвь тягового электродвигателя (ТЭД).

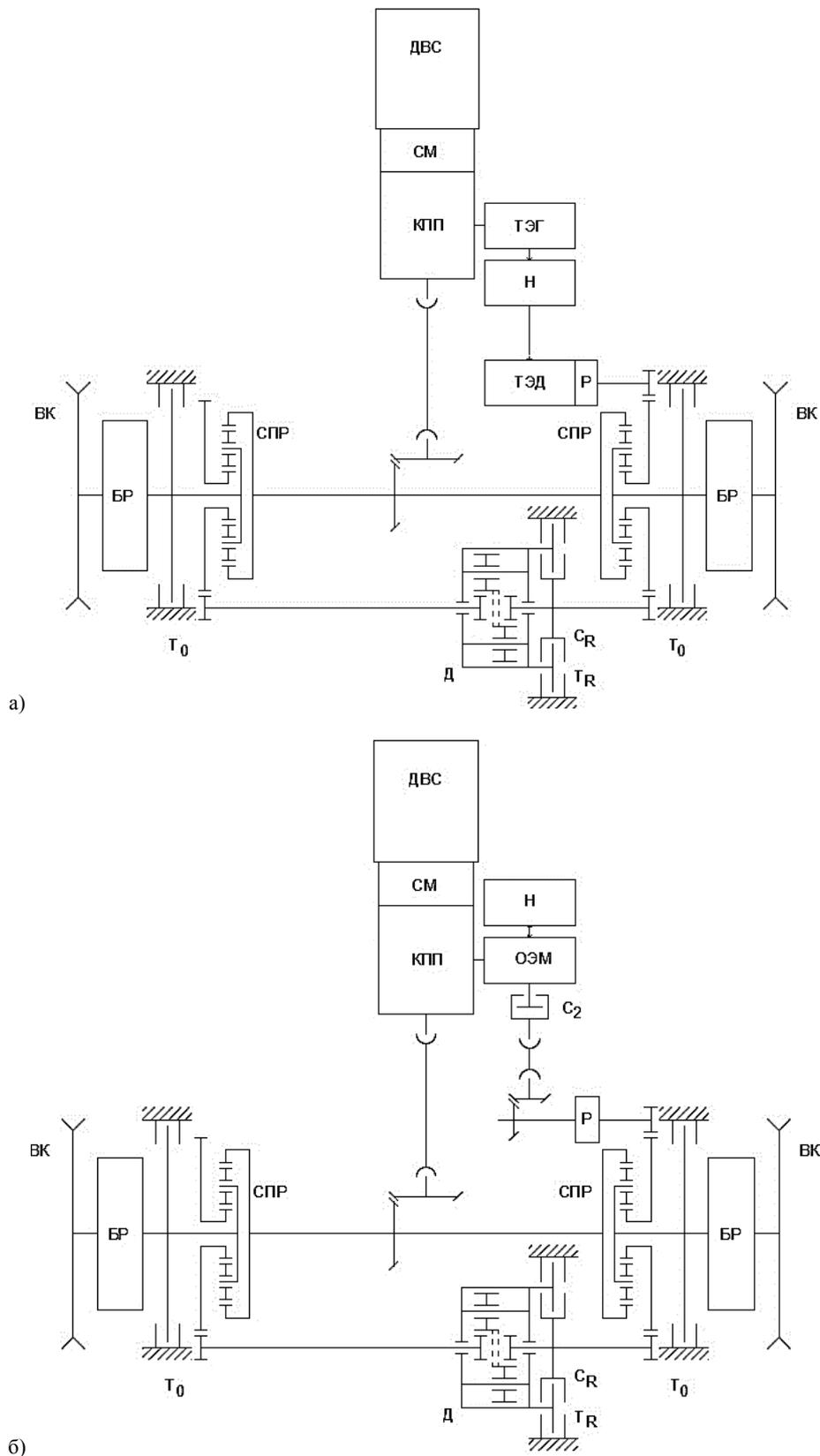


Рисунок 6

Кинематическая схема двухпоточной трансмиссии:

а – с традиционными электрическими машинами; б – с обратной электромашинной; ДВС – двигатель внутреннего сгорания, КПП – центральная коробка перемены передач, СПР – суммирующий планетарный ряд, БР – бортовой редуктор, ВК – ведущее колесо, Д – дифференциал с элементами управления C_R и T_R , T_0 – остановочный тормоз, ТЭГ и ТЭД – тяговые электрические генератор и двигатель, Н – накопитель, ОЭМ – обратимая электрическая машина, Р – реверс-редуктор параллельного потока, C_2 – муфта подключения ОЭМ

Поскольку для обеспечения работы ТЭД предусматривается наличие мощного генератора (из практики конструирования электромеханических силовых передач заимствован термин «тяговый электрический генератор» (ТЭГ)), целесообразно предусмотреть в схеме и накопитель (Н) электрической энергии, и получить схему (рисунок 6а), которую можно классифицировать, как параллельно-последовательный гибрид. В настоящее время уровень развития отечественной электротехники позволяет изготовить компактные и легкие электрические машины и накопители энергии [17]. Принципиально на современном техническом уровне возможен и следующий шаг – замена двух электромашин одной обратимой (ОЭМ; рисунок 6б). Такое решение приведет к усложнению кинематической схемы и алгоритмов управления, потребуются установка накопителя большей емкости.

Приведенная на рисунке 6а схема трансмиссии позволяет реализовать следующие режимы работы.

Прямолинейное движение с использованием только ДВС. ДВС связан с ведущим валом основной ветви трансмиссии и ТЭГ. Предпочтительна работа ДВС в режиме максимальной экономичности. Механическая связь между двигателем и параллельной ветвью трансмиссии отсутствует. ТЭД связан с параллельной ветвью трансмиссии через редуктор Р. Передаточное отношение редуктора выбирается для конкретного ТЭД из условия обеспечения диапазона радиусов поворота. В параллельной ветви установлен симметричный цилиндрический дифференциал Д с двумя элементами управления: тормозом T_R и блокирующей муфтой C_R . При прямолинейном движении машины ТЭД отключен, параллельная ветвь не используется: включены тормоз T_R и муфта C_R . Прямолинейное движение устойчиво. Вырабатываемая ТЭГ электрическая энергия аккумулируется в накопителе, а также может использоваться для питания других потребителей.

Поворот с использованием ДВС и ТЭД. При повороте муфта C_R отключается, включен тормоз T_R (передаточное отношение планетарного ряда Д равно (-1)). Включается ТЭД (в зависимости от направления поворота выбирается направление вращения ротора). В соответствии с кинематикой двухпоточного механизма поворота забегающий борт ускоряется, а отстающий – замедляется (реализована дифференциальная связь между бортами). Питание ТЭД осуществляется от накопителя энергии и ТЭГ, поэтому суммарная мощность на ведущих колесах ВК кратковременно может быть выше, чем мощность ДВС.

Поворот на месте с использованием только ТЭД. При нормальной эксплуатации трансмиссии этому режиму соответствует поворот на месте (с нулевым радиусом). Максимальную мощность ТЭД следует выбирать, исходя из возможности обеспечения этого режима.

Прямолинейное движение с использованием ДВС и ТЭД (форсированный режим). В этом случае используются обе ветви трансмиссии, режим применяется для достижения максимальной скорости. В параллельной ветви включается муфта C_R .

Прямолинейное движение с использованием только ТЭД (резервный режим). При отказе основной ветви (валы основной ветви остановлены, например, динамическим торможением ТЭГ) возможно кратковременное движение машины за счет использования ТЭД. В параллельной ветви включается муфта C_R , для управления направлением движения используются остановочные тормоза бортов, так как движение будет осуществляться только с малыми скоростями. При движении используется энергия накопителя.

Поворот с использованием только ДВС (резервный режим). При отказе параллельной ветви трансмиссии можно управлять машиной, используя остановочные тормоза бортов T_0 . В параллельной ветви должны быть включены тормоз T_R и муфта C_R (солнца СПР остановлены). Машина может с малой скоростью передвигаться к месту ремонта.

Вариант схемы по рисунку 6б позволяет реализовать те же режимы работы. Обратимая электрическая машина при работе в режиме ТЭД подключается к параллельному потоку муфтой C_2 . В остальное время она работает в генераторном режиме (подключение осуществляется за счет элемента управления в корпусе коробки передач).

Для оценки мощности ТЭД рассмотрим поворот вокруг центра тяжести [18].

Потребную мощность электродвигателя на этом режиме можно оценить как

$$N|_{\rho=0} = M\omega/\eta_{зп}.$$

Здесь $\rho = R/B$ – относительный радиус поворота (R – радиус поворота); $M = \mu GL/4$ – момент сопротивления повороту (G – вес машины, L – длина опорной поверхности); $\omega = (V_2 - V_1)/B$ – угловая скорость поворота (V_2 и V_1 – линейные скорости забегающего и отстающего бортов); $\eta_{зп}$ – к.п.д. зубчатых передач.

Зависимость $\mu(\rho)$ описывается эмпирической формулой, полученной на основании опытов А.О. Никитина:

$$\mu = \mu_{\max} / (0,925 + 0,15\rho).$$

Проблема заключается в том, что значение коэффициента максимального сопротивления повороту определялось опытным путем при развороте гусеничной машины вокруг остановленного борта [4, 19]:

$$\mu_{\max} = \mu|_{\rho=0,5}.$$

Для оценочного расчета используем эту зависимость, приняв гиперболический характер изменения $\mu(\rho)$, $\rho \in [0; 0,5]$, и проведя экстраполяцию.

Для шасси массой 11 600 кг при значениях $L = 2,3$ м и $B = 1,7$ м, при $\eta_{\text{зп}} = 0,85$ и угловой скорости поворота $\omega = 0,2$ рад/с на сухом дернистом суглинке получаем мощность ТЭД около 26,6 кВт. Это значение составляет примерно 1/3 мощности двигателя, устанавливаемого на современном гусеничном тракторе третьего тягового класса. Можно предполагать, что масса ТЭД такой мощности, выполненного по бесколлекторной схеме и произведенного в России, укладывается в диапазон 40–70 кг в зависимости от значений напряжения питания и номинальной частоты вращения ротора.

Таким образом, использование схемы по рисунку ба можно рекомендовать для лесных и транспортных машин любого назначения. Вместе с улучшением качества управления поворотом получают интеграцию гибридной силовой установки в шасси серийной машины при минимуме доработок. Рациональное применение гибридной силовой установки позволит улучшить показатели экономичности, вместе с тем дав возможность кратковременно существенно увеличивать силу тяги. В перспективе развития ги-

бридных систем такая схема трансмиссии имеет, как нам представляется, большой потенциал.

Схема по рисунку бб на современном этапе кажется менее перспективной: преимущества, достигаемые за счет замены двух электромашин одной, компенсируются сложностью трансмиссии. Данная схема может быть адаптирована для военной или военно-транспортной машины [18], что открывает и для нее перспективы применения.

Выводы.

1. Для лесных гусеничных машин, выполняющих работы на лесосеке, улучшение управляемости целесообразно за счет замены типичных на сегодня механизмов поворота типа «бортовой фрикцион» на бортовые планетарные механизмы с тормозами, для управления которыми используется гидравлический привод, реализующий принцип широтно-импульсной модуляции давления. Данное решение является наиболее простым и дешевым, но в то же время эффективным и универсальным.

2. Для лесных и транспортных машин, обладающих достаточной мощностью двигателя для обеспечения поворота с радиусом менее половины ширины колеи или двигающихся с относительно большими скоростями, может быть рекомендован принцип гиперболического механизма поворота.

3. Для перспективных лесных и транспортных гусеничных машин максимум возможностей по управлению движением даст гибридный механизм поворота, в котором в параллельном потоке мощности установлен электродвигатель. Такое техническое решение имеет смысл применять в проекте трактора или транспортера с гибридной силовой установкой.

Библиографический список

1. Пятакин, В.И. Технология и машины лесосечных работ [Текст]: учебник для вузов / В.И. Пятакин, И.В. Григорьев, А.К. Редькин, В.А. Иванов, Ф.В. Пошарников, И.Р. Шегельман, Ю.А. Ширнин, В.А. Кацадзе, В.Д. Валяжонков, Ю.А. Бит, А.В. Матросов, О.А. Куницкая; под ред. В.И. Пятакина. СПб.: СПбГПУ, 2012. 362 с.

2. Веселов, Н.Б. Вездеходные транспортно-технологические машины. Конструкции. Конструирование и расчет [Текст] / Н.Б. Веселов. Нижний Новгород: Бегемот, 2010. 320 с.

3. Носов, Н.А. Расчет и конструирование гусеничных машин [Текст] / Н.А. Носов, В.Д. Галышев, Ю.П. Волков, А.П. Харченко; под ред. Н.А. Носова. Л.: Машиностроение, 1972. 559 с.

4. Забавников, Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин [Текст] / Н.А. Забавников. М.: Машиностроение, 1975. 448 с.

5. Анисимов, Г.М. Основные направления повышения эксплуатационной эффективности гусеничных трелевочных тракторов [Текст] / Г.М. Анисимов, А.М. Кочнев. СПб.: Политехн. ун-т, 2007. 456 с.

6. Добрецов, Р.Ю. Увеличение подвижности гусеничных вездеходов для вахтовых лесозаготовок [Текст] / Р.Ю. Добрецов, И.В. Григорьев, В.А. Иванов // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 2 (30). С. 114–119.

7. http://www.irs.kit.edu/download/131213_G_C_TorqueVectoring_ZF_Handout.pdf [Электронный ресурс] (дата обращения: 25.12.2016).

8. Ushiroda Y., Sawase K., Takahashi N., Suzuki K., Manabe K. Development of Super AYC. Technical review. 2003. № 15. Pp. 73–76.

9. Дидиков, Р.А. К вопросу о выборе кинематических схем шестеренчатых МРМ [Текст] / Р.А. Дидиков, Р.Ю. Добрецов // Автомобильная промышленность. Министерство образования и науки РФ; ОАО «Автосельхозмаш-холдинг». М., 2014. № 9. С. 12–14.

10. Добрецов, Р.Ю. Комплексная оценка потерь мощности в шасси гусеничной машины на этапе проектирования [Текст] / Р.Ю. Добрецов // Научно-технические ведомости СПбГПУ, серия Наука и образование. 2009. № 3. С. 163–168.

11. Добрецов, Р.Ю. Учет энергетических параметров механизмов поворота при комплексной оценке потерь мощности в шасси транспортных гусеничных машин [Текст] / Р.Ю. Добрецов // Научно-технические ведомости СПбГПУ, серия «Наука и образование». 2011. № 1. С. 122–128.

12. Галышев, Ю.В. Замкнутые системы управления поворотом гусеничных машин [Текст] / Ю.В. Галышев [и др.] // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2014. № 3, т. 2. С. 201–209.

13. Добрецов, Р.Ю. Поворот быстроходной гусеничной машины: определение параметров энергоэффективности шасси [Текст] / Р.Ю. Добрецов // Актуальные проблемы защиты и безопасности. Бронетанковая техника и вооружение. Труды XLIII научно-практической конференции. Том 3; под ред. В.А. Петрова, М.В. Сильникова, А.М. Сазыкина. М.: Российская академия ракетных и артиллерийских наук, 2015. С. 103–111.

14. Добрецов, Р.Ю. Фрикционный механизм поворота двухпоточных трансмиссий гусеничных машин [Текст] / Р.Ю. Добрецов // Изобретатели в инновационном процессе России: матери-

алы Всероссийский (с Международным участием) научно-практической конференции; под ред. Ю.Г. Попова и А.Г. Семенова. СПб.: Политехн. ун-т, 2014. С. 121–124.

15. Демидов, Н.Н. О выборе рациональной схемы отбора мощности в двухпоточной трансмиссии транспортной гусеничной машины [Текст] / Н.Н. Демидов [и др.] // Актуальные проблемы защиты и безопасности. Бронетанковая техника и вооружение. Труды XLII научно-практической конференции. Том 3; под ред. В.А. Петрова, М.В. Сильникова, А.М. Сазыкина. М.: Российская академия ракетных и артиллерийских наук, 2014. С. 111–116.

16. Демидов, Н.Н. Транспортные гусеничные машины: механизмы поворота с нелинейной характеристикой [Текст] / Н.Н. Демидов [и др.] // Современное машиностроение: Наука и образование: материалы 5-й Международной научно-практической конференции; под ред. А.Н. Евграфова и А.А. Поповича. СПб.: Политехн. ун-т, 2016. С. 898–912.

17. http://www.elecond.ru/kondensatory_ionistogu.php [Электронный ресурс] (дата обращения 25.12.2016).

18. Добрецов, Р.Ю. Выбор схемного варианта построения трансмиссий военных машин с гибридной силовой установкой [Текст] / Р.Ю. Добрецов [и др.] // Разработка и использование электрических трансмиссий для образцов вооружения и военной техники (ОАО «ВНИИТрансмаш») 20 октября 2016 г. Сборник статей научно-практической конференции. СПб.: ВНИИТрансмаш, 2016. С. 87–100.

19. Шеломов, В.Б. Мощности двигателя и буксования фрикционного элемента управления поворотом гусеничной машины [Текст] / В.Б. Шеломов, Р.Ю. Добрецов // Научно-технические ведомости СПбГПУ, серия «Наука и образование». 2010. № 2, т. 2. С. 87–91.

Сведения об авторах

1. **Добрецов Роман Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Инжиниринг силовых установок и транспортных средств», ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29, e-mail: dr-idpo@yandex.ru.

2. **Григорьев Игорь Владиславович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии лесозаготовительных производств, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», г. Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5, e-mail: silver73@inbox.ru.

3. **Газизов Асгат Мазхатович**, доктор технических наук, профессор кафедры инновационных технологий и оборудования деревообработки, ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 620100, Россия, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, e-mail: ashatzgaz@mail.ru.

В статье рассмотрены мероприятия, позволяющие улучшить управляемость лесных и

транспортных гусеничных машин за счет как уменьшения значения минимального радиуса

поворота, так и улучшения плавности изменения текущего значения радиуса. Помимо фрикционных механизмов поворота с улучшенными характеристиками предложены варианты интеграции в трансмиссию гибридных систем, подразумевающих применение электрических двигателей.

Установлено, что для лесных гусеничных машин, выполняющих работы на лесосеке, улучшение управляемости целесообразно за счет замены типичных на сегодня механизмов поворота типа «бортовой фрикцион» на бортовые планетарные механизмы с тормозами, для управления которыми используется гидравлический привод, реализующий принцип широтно-импульсной модуляции давления. Данное реше-

ние является наиболее простым и дешевым, но в то же время эффективным и универсальным. Для лесных и транспортных машин, обладающих достаточной мощностью двигателя для обеспечения поворота с радиусом менее половины ширины колеи или двигающихся с относительно большими скоростями, может быть рекомендован принцип гиперболического механизма поворота. Для перспективных лесных и транспортных гусеничных машин максимум возможностей по управлению движением даст гибридный механизм поворота, в котором в параллельном потоке мощности установлен электродвигатель. Такое техническое решение имеет смысл применять в проекте трактора или транспортера с гибридной силовой установкой.

R. Dobretsov, I. Grigorev, A. Gazizov

WAYS TO IMPROVE HANDLING OF FOREST AND TRANSPORT TRACKS

Key words: track vehicle; closed-loop steering control system; slipping; pulse width modulation; hybrid power unit.

Authors' personal details

1. **Dobretsov Roman**, Candidate of technical sciences, associate professor, professor of the «Engineering of power plants and vehicles» chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education St.-Petersburg Polytechnic University named after Peter the Great, 195251, St.-Petersburg, Politekhnikeskaya st., 29, e-mail: dr-idpo@yandex.ru.

2. **Grigorev Igor**, Doctor of technical sciences, professor, head of the Logging Technology chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint-Petersburg state forest technical University named after S.M. Kirov», Saint-Petersburg, Institutskiy per., 5, e-mail: silver73@inbox.ru.

3. **Gazizov Asgat**, Doctor of technical sciences, professor of the Woodworking innovation technology and equipment chair, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ural state forestry engineering university», 620100, Russia, Yekaterinburg, Sibirskiy tract st., 37, e-mail: ashatgaz@mail.ru.

The paper discusses measures enable to improve handling of forest and transport track vehicles by reducing the value of minimum turn radius as well as improving change smoothness of the current radius value. Besides frictional rotation mechanisms with improved performance we offer integration of hybrid systems into the power unit train that involve using electric engines.

It is found that forest track vehicles operating on the cutting area need to replace common «steering clutch» rotation mechanisms to planetary mechanisms with brakes controlled by a hydraulic drive using the principle of pulse width modulation pres-

sure. This solution is the simplest and cheapest as well as the most effective and universal. For forest and transport vehicles with sufficient engine power to ensure turn with a radius less than half the width of the rut or moving at relatively high speeds the principle of hyperbolic rotation mechanism can be recommended. For promising forest and transport track vehicles maximum opportunities for traffic control will be given by a hybrid rotation mechanism having an electric engine installed in the parallel power flow. This engineering solution makes sense to be used for tractors or carriers with a hybrid power unit.

© Добрецов Р.Ю., Григорьев И.В., Газизов А.М.