

ПОВЫШЕНИЕ МАНЕВРЕННОСТИ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА С ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫМ МЕХАНИЗМОМ ПОВОРОТА ПУТЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ ОСТАНОВОЧНОГО ТОРМОЗА ОТСТАЮЩЕГО БОРТА ПРИ РЕЗКОМ ИЗМЕНЕНИИ КРИВИЗНЫ ТРАЕКТОРИИ

С.В. Кондаков¹, А.А. Дьяконов¹, С.В. Фёдоров², Е.И. Вансович³

¹Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия,

²ООО «Челябкомтранс», г. Челябинск, Россия,

³Завод «ДСТ-Урал», г. Челябинск, Россия

В данной статье приведены результаты исследования параметров криволинейного движения промышленного гусеничного трактора класса тяги 10 тонн с дифференциальным механизмом поворота. В тяжелых грунтовых условиях и при резком маневрировании гидрообъемная передача, составляющая основу дифференциального механизма поворота, перегружается по давлению. Авторами предложен и обоснован алгоритм управления поворотом совместным действием гидрообъемной передачи и остановочного тормоза отстающего борта. При этом включение остановочного тормоза осуществляется методом широтно-импульсной модуляции при наступлении определенных условий, определенных в процессе математического имитационного моделирования. Показано, что включение остановочного тормоза в момент перегрузки гидрообъемной передачи не является результативным, так же как и включение остановочного тормоза отстающего борта на некоторое время переходного процесса изменения траектории. Смоделировано движение трактора по установившейся криволинейной траектории при включении остановочного тормоза отстающего борта. При этом установлено, что трактор не останавливается, несмотря на противоречивые, в данных условиях, усилия остановочного тормоза и гидрообъемной передачи. Дело в том, что ГОП не является абсолютно жестким звеном силовой цепи и при противодействии остановочному тормозу либо сбрасывает рабочую жидкость через предохранительный клапан, либо переходит в генераторный режим. Результаты исследования получены в рамках проекта по созданию высокотехнологичного производства «Разработка бесступенчатого дифференциального механизма поворота со следящей системой управления для внедорожных и дорожно-строительных машин нового поколения» по соглашению № 074-11-2018-006 от 31.05.2018 г. между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и Обществом с ограниченной ответственностью Производственная компания «Ходовые системы» в кооперации с Главным исполнителем НИОКТР – Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Ключевые слова: гусеничный промышленный трактор, дифференциальный механизм поворота, планетарный механизм, гидродинамический трансформатор крутящего момента, гидрообъемная передача, траектория, остановочный тормоз.

Традиционный механизм поворота (МП) гусеничного трактора – это бортовой фрикцион или двухступенчатый планетарный механизм поворота [1, 2]. На быстроходных гусеничных машинах применяют дифференциальный МП [3, 4]. Главным ограничением такого МП является установочная мощность гидрообъемной передачи (ГОП) [5].

Современные гусеничные промышленные тракторы агрегируют бесступенчатыми трансмиссиями, в том числе бортовыми гидростатическими [6], что обеспечивает тракторам качественный рост маневренности и способность выполнять технологические операции при криволинейном движении. Поэтому рынок требует аналогичного повышения маневренности и от тракторов с другими трансмиссиями, например, с гидродинамическими или механическими. Выходом является установка на такие трактора бесступенчатых дифференциальных механизмов поворота [7–9].

Однако проблема с установочной мощностью ГОП остается актуальной и для относительно тихоходных машин. Давления в 40 МПа не хватает для разворота на месте трактора класса 10 т на тяжелых грунтах. И при входе в поворот на малых скоростях давление превышает 40 МПа

Расчет и конструирование

и в ГОП открывается предохранительный клапан. Это приводит к снижению интенсивности входа в поворот, к задержке в достижении установившегося радиуса поворота.

Гипотеза: подключать штатные остановочные тормоза в помощь ГОП.

Имеются патенты, предполагающие использование остановочных тормозов (ОТ) отстающего борта для интенсификации входа в поворот, или разгружающие ГОП в повороте [10–12].

На мысль об использовании ОТ для поворота гусеничной машины с дифференциальным гидрообъемным МП подталкивает представление о поведении дифференциала автомобиля (простой дифференциал как МП гусеничных машин упоминается в литературе [11]). А именно: при замедлении вращения одной из полуосей на величину $\Delta\omega$ другая полуось ускоряется на $\Delta\omega$. Схема простого дифференциала приведена на рис. 1.

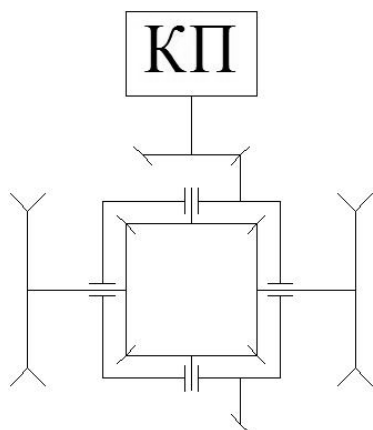


Рис. 1. Простой дифференциал автомобиля, КП – коробка передач

Дифференциальный МП (рис. 2) обладает таким же свойством. В простом дифференциале замедление отстающего борта можно достичь включением соответствующего бортового ОТ. Вроде бы и в дифференциальном МП по рис.2 можно достичь этого же эффекта. Но, в отличие от простого дифференциала по рис. 1, в дифференциальном МП по рис.2 имеется жесткая кинематическая связь бортов через ГОП – что смущает: не приведет ли включение ОТ к остановке всей машины. Ведь две силовые цепочки к СПМ от ДВС через ГОП и от ОТ подобны двум одновременно включенным передачам в КП.

Для апробации и исследования сформулированной выше гипотезы создана математическая модель движения и управления промышленного трактора с дифференциальным МП [13–19]. Введено понятие момента остановочного тормоза M_t , который начинает работать в двух уравнениях – для скорости турбины и скорости мотора, в системе дифференциальных уравнений математической модели [7]:

$$\frac{d\omega_T}{dT} = \left[M_T - \frac{(T_{x2} + T_{x1} + M_t) R_{BK} (k + 1)}{i_{оп} i_{кК}} \right] \frac{1}{J_2};$$

$$\frac{d\omega_M}{dT} = \left[M_{ГМ} - \frac{(T_{x2} - T_{x1} - M_t) R_{BK}}{i_{оп} i_{5К}} \right] \frac{1}{J_3}.$$

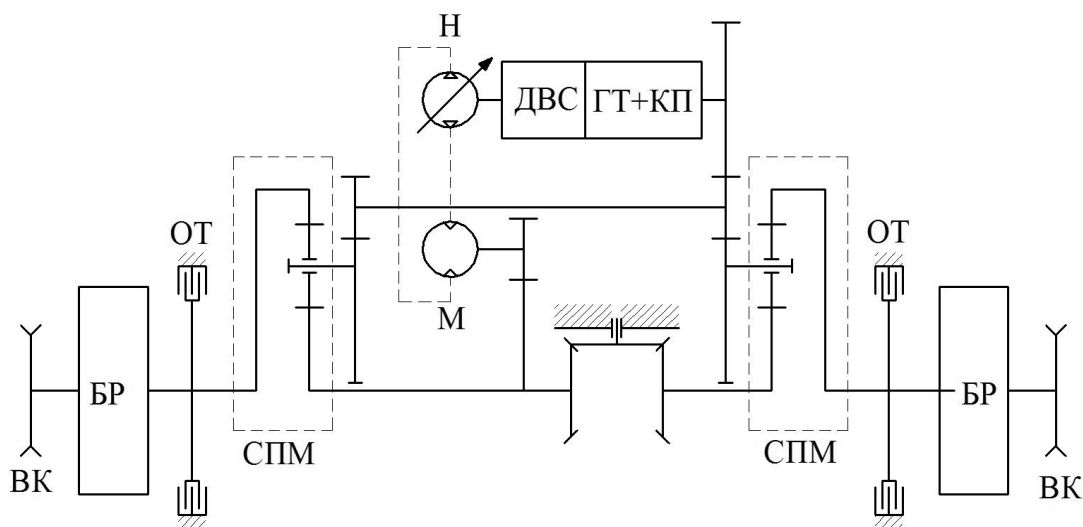


Рис. 2. Двухпоточный дифференциальный МП гусеничной машины. Н – регулируемый насос ГОП; М – нерегулируемый мотор ГОП; ДВС – двигатель внутреннего сгорания; ГТ – гидродинамический трансформатор крутящего момента; КП – коробка передач; СПМ – суммирующие планетарные механизмы; ОТ – остановочные тормоза; БР – бортовые редуктора; ВК – ведущие колеса; ВП – вал подкрутки

При входе в поворот на малых скоростях, а именно при движении на 1 передаче со скоростью 0,75 м/с появляется перегрузка ГОП по давлению (рис. 3). Перегрузка по давлению длится 2,5 с.

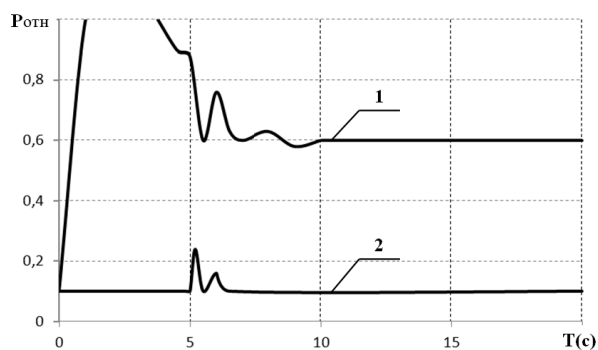


Рис. 3. Относительное давление ГОП при входе в поворот на 1 передаче: 1 – магистраль нагнетания; 2 – магистраль всасывания

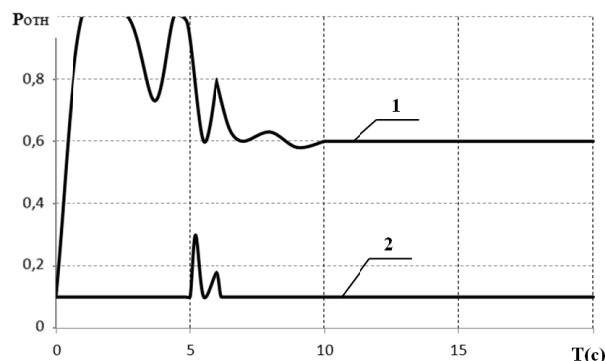


Рис. 4. Давление ГОП при входе в поворот на 1 передаче и включении ОТ во времени, между 1 и 4 с: 1 – магистраль нагнетания; 2 – магистраль всасывания

На рис. 4 показан результат включения ОТ между 1 и 4 с: давление ГОП снизилось, но поздно по времени, перегрузка по давлению в первую секунду не преодолено. Тем не менее, положительный эффект по входу в поворот конечно есть: радиус в 2 м достигается раньше на 1,5 с (рис. 5).

Следует прокомментировать повторный скачок давления после $t = 3$ с по рис. 4. ОТ продолжает быть включенным, а давление ГОП сначала уменьшается, потом растет и снова достигает предела. Получается, что включение ОТ в конкретный период времени неэффективен по двум причинам: во-первых, имеет место всплеск давления между 3 и 5 с, опять до максимума, во-вторых, в режиме реального времени контроллер не сможет определить интервал между 3 с и 5 с, примененный в математической модели, работающей в нереальном (виртуальном) времени. Для реальных условий работы трактора необходимо выявить параметр, или параметры, которые может пользоваться контроллер, формирующий команду на включение-выключение ОТ.

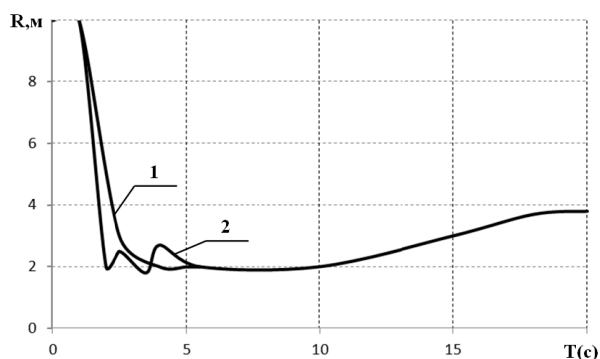


Рис. 5. Радиус поворота, м: 1 – без подключения ОТ; 2 – с подключение ОТ

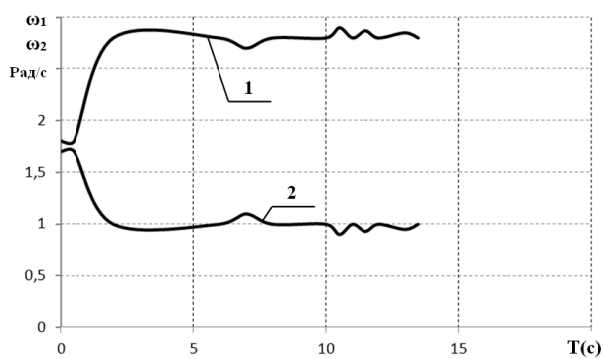


Рис. 6. Скорости по бортам, рад/с: 1 – забегающий борт; 2 – отстающий борт

На рис. 7 показана первая производная давления ГОП во времени при подключении ОТ в определенный период входа в поворот (по рис. 4). Видно, что скорость изменения давления находится в широких пределах – от 60 МПа/с до –30 МПа/с. И тогда, когда давление резко падает, необходимо ОТ отключать. Эта информация позволила определить величину управляющего параметр – скорости изменения давления ГОП. Предложен и апробирован следующий алгоритм включения ОТ: держать ОТ во включенном состоянии тогда, когда скорость изменения давления ГОП больше –0,5 МПа/с.

На рис. 8 показана реализация в среде программирования VISSIM алгоритма управления ОТ по скорости изменения давления в магистрали нагнетания ГОП. В этом алгоритме не участвует время вообще. Параметр, который управляет ОТ – скорость изменения давления ГОП. Логическая операция, формирующая команду на выключение ОТ: если скорость изменения давления меньше –0,5 МПа/с.

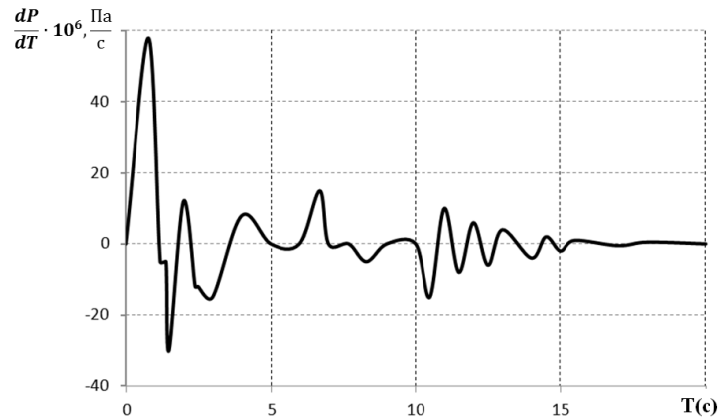


Рис. 7. Скорость изменения давления в магистрали нагнетания ГОП, соответствующий графику давления ГОП на рис. 3

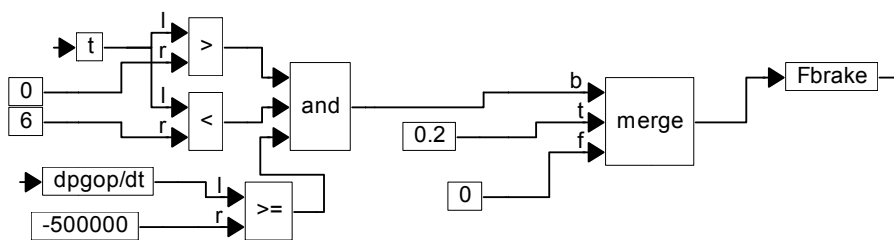


Рис. 8. Алгоритм включения-выключения ОТ по скорости изменения давления

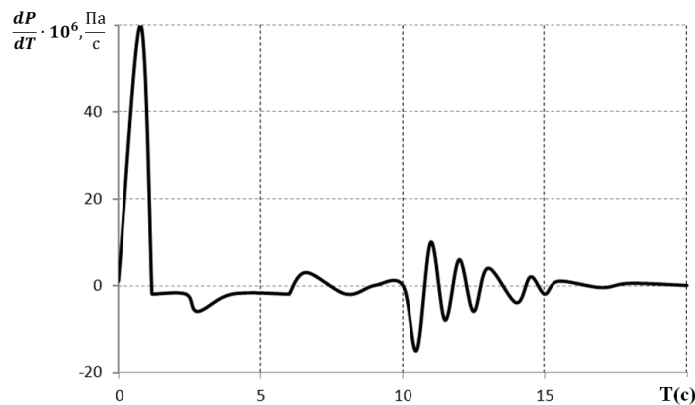


Рис. 9. Скорость изменения давления ГОП после внедрения нового алгоритма

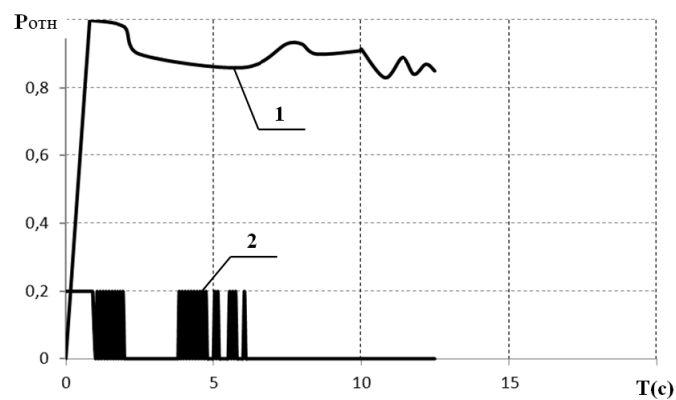


Рис. 10. График изменения во времени давления ГОП (1) и момента остановочного тормоза (2)

На рис. 9 и 10 показан результат применения алгоритма по скорости изменения давления и по результирующему давлению ГОП, а также зафиксированы эпизоды включения ОТ во времени.

Анализ графиков на рис. 10 показывает, что ОТ включен не постоянно. Но положительный результат достигнут – давление ГОП выходит на предельное значение всего на 0,5 с и не возвращается на клапан снова, как было на рис. 4.

Исследование поведения гусеничной машины при включении ОТ при установившемся повороте. Попытка проверить поведение ГОП и машины в целом при включении ОТ с большим моментом показала переброс давления между магистралями (рис. 11), а вот остановки машины не получается – скорости по бортам на рис. 12.

Далее приведены результаты моделирования включения ОТ в установившемся повороте. Воспользуемся уравнением кинематических связей (УКС) планетарного механизма [20]:

$$(1 - i_{c3})\omega_B = \omega_c - i_{c3}\omega_3,$$

где i_{c3} – внутреннее передаточное число планетарного механизма, $\omega_B, \omega_c, \omega_3$ – угловые скорости водела, солнца и эпицикла.

Если тормозом остановить, например, правый борт (см. рис. 2) ($\omega_3 = 0$), то при $i_{c3} = -2,3$ $3,3\omega_B = \omega_c$. Водела и солнце вращаются в одну сторону, обкатываясь по неподвижному эпициклу. Возможно ли это при заданном положении наклонной шайбы ГОП? Да, возможны три варианта:

- 1) если подача насоса как раз обеспечивает $\omega_c = 3,3\omega_B$, тогда ГОП работает в обычном режиме: насос качает ровно столько, сколько потребляет мотор;
- 2) если подача насоса больше, чем $\omega_c = 3,3\omega_B$, то давление ГОП превышает 400 атм и лишняя рабочая жидкость сбрасывается через предохранительный клапан;
- 3) если подача насоса меньше, чем $\omega_c = 3,3\omega_B$, то мотор переходит в генераторный режим, а насос становится по сути дела мотором.

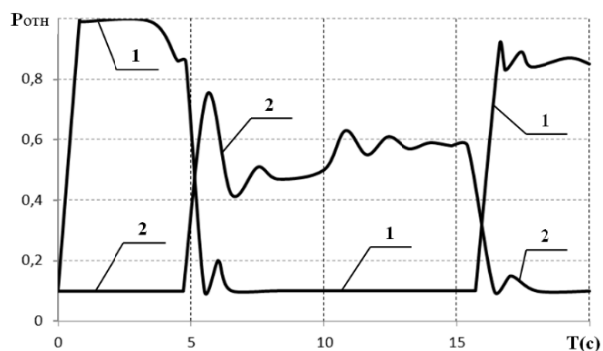


Рис. 11. Давление ГОП при большом моменте ОТ:
1 и 2 – магистрали ГОП

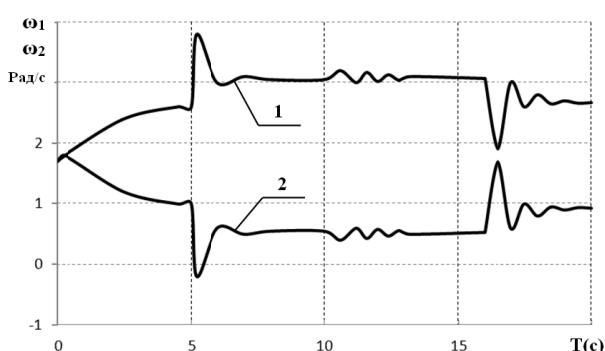


Рис. 12. Скорости по бортам

Важно осознать, что все три варианта – штатные режимы для ГОП, передача не ломается не выходит из строя. Поэтому применять слова «жесткая кинематическая связь» не совсем верно. штатном режиме. Можно провести аналогии второму и третьему вариантам, в которых остановочный тормоз противостоит гидрообъемной передаче. Аналогия такая – в коробке передач включены сразу две передачи. Результата может быть только два: либо заглухнет двигатель, либо сломается одна из шестерен. Так вот с гидropередачей этого случится не может. Поэтому гусеничная машина с дифференциальным МП по рис. 2 не остановится при включении ОТ одного из бортов.

Оценим скорость левого борта при остановленном тормозом правом.

Вал подкрутки жестко соединяет солнца правого и левого СПМ, изменяя только направление вращения солнц. Поэтому решая УКС для левого СПМ получаем, что $\omega_3 = 6,6\omega_B$, а скорость центра тяжести трактора – это полусумма скоростей левого и правого эпициклов, то есть $3,3\omega_B$. Это скорость прямолинейного движения трактора. То есть при повороте при любых обстоятельствах (с включенным ОТ, или нет) скорость центра тяжести сохраняется как в прямолинейном движении. Нет остановки машины.

Выводы

1. Развита математическая модель движения промышленного гусеничного трактора с дифференциальным механизмом поворота путем включения в модель остановочных тормозов.
2. Определён алгоритм управления остановочным тормозом отстающего борта, заключающийся в широтно-импульсной модуляции регулирования тормозного момента на основе постоянно регистрируемого параметра – скорости изменения давления в гидрообъемном механизме поворота.
3. Показано, что включение остановочного тормоза в установившемся повороте не приводит к остановке всего трактора. Гидрообъемная передача является сдающим элементом, который не позволяет заклинить всю трансмиссию при одновременном кинематически противоречивом управлении остановочным тормозом и гидрообъемным механизмом поворота.

Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Разработка бесступенчатого дифференциального механизма поворота со следящей системой управления для внедорожных и дорожно-строительных машин нового поколения» по соглашению №074-11-2018-006 от 31.05.2018 г. между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и Обществом с ограниченной ответственностью Производственная компания «Ходовые системы» в кооперации с Головинным исполнителем НИОКТР – Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Литература

1. Злотник, М.И. Трансмиссии современных промышленных тракторов / М.И. Злотник, И.С. Кавьяров. – М.: Машиностроение, 1971. – 248 с.
2. Гинзбург Ю.В. Промышленные тракторы / Ю.В. Гинзбург, А.И. Швед, А.П. Парфенов. – М.: Машиностроение, 1986. – 293 с.
3. Военные гусеничные машины: учеб.: в 4 т. Т. 1: Устройство. Кн. 2. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1990. – 336 с.
4. Теория движения танков и БМП: учеб. – М.: Военное изд-во, 1984. – 263 с.
5. Кондаков, С.В. Повышение подвижности быстроходной гусеничной машины путём автоматизации системы управления криволинейным движением: моногр. / С.В. Кондаков. – Челябинск. Издат. центр ЮУрГУ, 2009. – 108 с.
6. <https://www.tm10.ru>.
7. Никитин, А.О. Теория танка / А.О. Никитин, Л.В. Сергеев. – М.: Издание Академии Бронетанковых войск, 1962. – 584 с.
8. Объемные гидромеханические трансмиссии / под ред. Е.С. Кисточкина. – Л.: Машиностроение, 1987. – 256 с.
9. Петров, В.А. Гидрообъемные трансмиссии транспортных машин / В.А. Петров. – М.: Машиностроение, 1988. – 248 с.
10. Патент № 2031808 С1 В 62 D 11/18, D60 R 17/10 Российская Федерация. Трансмиссия гусеничной машины / В.Б. Бескупский, Г.В. Мазена, А.А. Морозов, В.И. Поткин, В.М. Дудаков; заявитель и патентообладатель Конструкторское бюро транспортного машиностроения. – № 5019529/27; заявл. 29.12.1991; опубл. 27.03.1995.
11. А.с. 1602791 А1 кл. В 62 D 11/18 Трансмиссия гусеничной машины / В.М. Балдаев, В.В. Кудрявцев.
12. Патент № 2258623 С1 кл. В 62 D 11/18, 55/00. Российская Федерация. Трансмиссия гусеничной машины / С.В. Надеждин, В.Ф. Васильченко, В.С. Гоняев; заявитель и патентообладатель Рязанский автомобильный институт. – № 2003133307/11, заявл. 14.11.2003; опубл. 20.08.2005, Бюл. № 23.
13. Конструкция и расчет танков и БМП: учеб. – М.: Военное изд-во, 1984. – 375 с.
14. Kondakov, S.V. Models of the Turn Resistance for High-Speed Caterpillar Vehicles / S.V. Kondakov, D.V. Kharlapanov, E.I. Vansovich // Russian Engineering Research. – 2016. – Vol. 36, No. 1. – P. 1–5.

15. Kondakov, S.V. Turn Behavior of Energy-Efficient High-Speed Tracked Vehicle with a Smart Electrical Transmission / S.V. Kondakov, O.O. Pavlovskaya, N.K. Goryaev // *Russian Engineering Research*. – 2015. – Vol. 35, No. 2. – P. 97–101.

16. Кондаков, С.В. Автоматическое управление движением гусеничной машины с интеллектуальной гидростатической трансмиссией при целеуказании в координатах GPS / С.В. Кондаков, Н.В. Дубровский // *Тракторы и сельхозмашины*. – 2018. – № 2. – С. 34–40.

17. Kondakov, S.V. Mathematic Modeling of Self-Propelled Unmanned Tracked Platform with Hydrostatic Transmission / S.V. Kondakov, E.A. Gorely, A.G. Savinovsky // *PROENG397584. Procide Engineering*. – 2017. – Vol. 206. – P. 1546–1551.

18. Pavlovskaya, O.O. Modelling Human Operator Driving High-Speed Tracked Vehicle / O.O. Pavlovskaya, S.V. Kondakov, A.A. Andreeva // *IEEE Xplore Digital Library*, 2017. – P. 1–6. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076151

19. Kondakov S.V., Dyakonov A.A., Dubrovskiy N.V. Simulation modeling of the curvilinear motion of an industrial tractor with a differential rotation mechanism and tracking trajectory stabilization system. *MATEC Web of Conferences*. – 2018. – Vol. 224. – 02098. DOI: 10.1051/mateconf/201822402098

20. Филичкин, Н.В. Анализ планетарных коробок передач транспортных и тяговых машин: учеб. пособие / Н.В. Филичкин. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2005. – 175 с.

Кондаков Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры «Колёсные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, tanksv@mail.ru.

Дьяконов Александр Анатольевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии автоматизированного машиностроения», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, diakonovaa@susu.ru.

Фёдоров Сергей Владимирович, инженер ООО «Челябкомтранс», г. Челябинск, fm-comtrans@mail.ru.

Вансович Егор Иванович, ведущий конструктор завода «ДСТ-Урал», г. Челябинск, vansovich@tm10.ru.

Поступила в редакцию 26 ноября 2018 г.

DOI: 10.14529/engin180403

INCREASING MANEUVERABILITY OF CATERPILLAR TRACTORS WITH DIFFERENTIAL STEERING MECHANISMS BY ACTIVATING STOPPING BRAKES OF LAGGING SIDES WITH AN ABRUPT CHANGE IN THE TRAJECTORY CURVATURE

S.V. Kondakov¹, tanksv@mail.ru,
A.A. Dyakonov¹, diakonovaa@susu.ru,
S.V. Fedorov², fm-comtrans@mail.ru,
E.I. Vansovich³, vansovich@tm10.ru

¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,

²LLC “Chelyabkomtrans”, Chelyabinsk, Russian Federation,

³Plant “DST-Ural”, Chelyabinsk, Russian Federation

The paper presents a study of curvilinear motion of 10-ton industrial caterpillar tractors with differential steering mechanisms. Hard ground conditions and abrupt maneuvering lead to overpressure of hydrostatic drives, which form the basis of differential steering mechanisms. We proposed and verified an algorithm for steering control by the joint action of the hydrostatic drive and the stopping brake of the lagging side. In this case, the stopping brake is activated by the method of pulse-width modulation under certain conditions determined by mathematical simulation.

It was shown that activation of the stopping brake under overloading of the hydrostatic drive is not effective. The same is characteristic of the stopping brake of the lagging side during the transition of trajectory change. We modeled tractor motion along a steady curved trajectory when the stopping brake of the lagging side activates. It was found that the tractor does not stop, despite the conflicting efforts of the stopping brake and hydrostatic drive under these conditions. The problem is that a hydrostatic drive is not an absolutely rigid link in a power circuit and, counteracting to the stopping brake, it either dumps the working fluid through a safety valve or transitions to a generating mode.

Keywords: industrial caterpillar tractor, differential steering mechanism, planetary gear, hydrodynamic torque transformer, hydrostatic drive, trajectory, stopping brake.

The research was conducted in the framework of the high-tech production project “Development of a stepless differential steering mechanism with a tracking control system for off-road and road-building machines of the new generation” under agreement No. 074-11-2018-006 of 05/31/2018 between the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation and the Limited Liability Production Company “Khodovye sistemy” in cooperation with the R&D Head – Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “South Ural State University (National Research University)”.

References

1. Zlotnik M.I., Kaviyarov I.S. *Transmissii sovremennykh promyshlennykh traktorov* [Transmission Modern Industrial Tractors]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1971. 248 p.
2. Ginzburg Yu.V., Shved A.I., Parfenov A.P. *Promyshlennye traktory* [Industrial Tractors]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986. 293 p.
3. *Voennye gusenichnye mashiny: uchebnik* [Military Tracked Vehicles: Textbook]. Vol. 1. Device. Moscow, MSTU N.E. Bauman, 1990. 336 p.
4. *Teoriya dvizheniya tankov i BMP: Uchebnik* [The Theory of the Movement of Tanks and Infantry Fighting Vehicles: Textbook]. Moscow, Military Publishing, 1984. 263 p.
5. Kondakov S.V. *Povyshenie podvizhnosti bystrohodnoj gusenichnoj mashiny putyom av-tomatizatsii sistemy upravleniya krivolinyeynym dvizheniem* [Increasing the Mobility of High-Speed Tracked Vehicles by Automating the Control System of Curvilinear Motion]. Chelyabinsk, 2009. 108 p.
6. <https://www.tm10.ru>.
7. Nikitin A.O., Sergeev L.V. *Teoriya tanka* [Tank Theory]. Moscow, Izdaniye Akademii Bronetankovykh voysk Publ., 1962. 584 p.
8. Kistochkina E.S. (Ed.) *Ob'yemnyye gidromekhanicheskiye transmissii* [Volumetric hydromechanical transmissions]. L., Mashinostroenie Publ., 1987. 256 p.
9. Petrov V.A. *Gidroob'yemnyye transmissii transportnykh mashin* [Hydraulic volume transmissions of transport cars]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988. 248 p.
10. Beskupsky V.B., Mazepa G.V., Morov A.A., Potkin V.I., Dudakov V.M. *Transmissiya gusenichnoy mashiny* [Transmission Tracked Vehicles]. Patent RU, no. 2031808, 1991.
11. Baldaev V.M., Kudryavtsev V.V. *Transmissiya gusenichnoy mashiny* [Transmission Tracked Vehicles]. Patent SU, no. 1602791, 1988.
12. Nadezhdin S.V., Vasilchenkov V.F., Gonyaev V.S. *Transmissiya gusenichnoy mashiny* [Transmission Tracked Vehicles]. Ryazan Automobile Institute. Patent RU, no. 2258623, 2005.
13. *The Design and Calculation of Tanks and Infantry Fighting Vehicles: Textbook*. Moscow, Military Publishing, 1984. 375 p.
14. Kondakov S.V., Kharlapanov D.V., Vansovich E.I. Models of the Turn Resistance for High-Speed Caterpillar Vehicles. *Russian Engineering Research*, 2016, vol. 36, no. 1, pp. 1–5.
15. Kondakov S.V., Pavlovskaya O.O., Goryaev N.K. Turn Behavior of Energy-Efficient High-Speed Tracked Vehicle with a Smart Electrical Transmission. *Russian Engineering Research*, 2015, vol. 35, no. 2, pp. 97–101.
16. Kondakov S.V., Dubrovsky N.V. [Automatic control of the movement of the tracked vehicle with intelligent hydrostatic transmission with target designation in GPS coordinates]. *Tractors and agricultural machinery*, 2018, no. 2, pp. 34–40. (in Russ.)
17. Kondakov S.V., Gorely E.A., Savinovsky A.G. Mathematic Modeling of Self-Propelled Unmanned Tracked Platform with Hydrostatic Transmission PROENG397584. *Proceed Engineering*, 2017, vol. 206, pp. 1546–1551.

18. Pavlovskaya O.O., Kondakov S.V., Andreeva A.A. Modelling Human Operator Driving High-Speed Tracked Vehicle. *IEEE Xplore Digital Library*, 2017, pp. 1–6. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076151
19. Kondakov S.V., Dyakonov A.A., Dubrovskiy N.V. Simulation Modeling of the Curvilinear Motion of an Industrial Tractor with a Differential Rotation Mechanism and Tracking Trajectory Stabilization System. *MATEC Web of Conferences*, 2018, vol. 224, 02098. DOI: 10.1051/mateconf/201822402098
20. Filichkin N.V. *Analiz planetarnykh korobok peredach transportnykh i tyagovykh mashin* [Analysis of Planetary Gearboxes of Transport and Traction Machines]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2005. 175 p.

Received 26 November 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Повышение маневренности гусеничного трактора с дифференциальным механизмом поворота путем включения остановочного тормоза отстающего борта при резком изменении кривизны траектории / С.В. Кондаков, А.А. Дьяконов, С.В. Фёдоров, Е.И. Вансович // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2018. – Т. 18, № 4. – С. 29–37. DOI: 10.14529/engin180403

FOR CITATION

Kondakov S.V., Dyakonov A.A., Fedorov S.V., Vansovich E.I. Increasing Maneuverability of Caterpillar Tractors with Differential Steering Mechanisms by Activating Stopping Brakes of Lagging Sides with an Abrupt Change in the Trajectory Curvature. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2018, vol. 18, no. 4, pp. 29–37. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin180403
