

## СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ БЕССТУПЕНЧАТОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА СО СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ГУСЕНИЧНОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ТРАКТОРА

**Ю.М. Землянский, С.В. Кондаков, А.А. Дьяконов, И.А. Подживотова**

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

Управление криволинейным движением гусеничных машин осуществляется за счет рассогласования скоростей гусениц. Появление на рынке гидрообъемных передач достаточной установочной мощности по доступной цене позволило организовать бесступенчатое регулирование радиуса поворота как в транспортном режиме, так и при выполнении технологических операций бульдозирования и рыхления. Внешние помехи искажают траекторию, заданную джойстиком. Для корректировки траектории используют системы навигации, которые тоже стали доступны производителям и потребителям промышленных тракторов. Для отработки алгоритмов управления гусеничной машиной необходимо стендовое испытательное оборудование. Статья посвящена испытаниям гусеничных промышленных тракторов с современными системами навигации, в частности стендовым исследовательским испытаниям бесступенчатого дифференциального механизма поворота машин со следящей системой управления движением. Стенд, содержащий неподвижно установленный на основании остова машины с приводом и размещенный на нем испытуемый бесступенчатый дифференциальный механизм поворота (БДМП) со следящей системой управления (ССУ) движением, также снабжен направляющими устройствами для обеспечения заданного пространственного перемещения отдельно взятого гирокомпаса с акселерометром, входящего в состав ССУ движением. Технический результат – расширение функциональных возможностей стенда, позволяющих определить работоспособность и выполнить настройку ССУ движением, а также обеспечить контроль основных параметров БДМП путем имитации в стационарных стендовых условиях входных воздействий на элементы ССУ, в максимальной степени соответствующих реальным условиям движения машины в пространстве, при одновременном снижении трудоемкости и стоимости этих работ, за счет исключения необходимости использования транспортных средств.

*Ключевые слова: бесступенчатый дифференциальный механизм поворота, промышленный трактор, следящая система управления, стенд для испытаний, стационарные условия, имитация движения.*

Тенденции дальнейшего совершенствования дорожно-строительной техники предполагают повышение ее технического уровня, качества и надежности, а также сокращение сроков проектирования, испытаний и внедрения в производство.

Современные промышленные тракторы ведущих мировых производителей тяжелых промышленных тракторов (Катерпиллар, Комацу, Либхер, ДСТ-Урал, ЧЕТРА) оснащаются бесступенчатыми трансмиссиями: электрическими, гидродинамическими и гидрообъемными [1–5], что позволяет им выполнять технологические операции, например, бульдозирование, рыхление, при лучшей загрузке двигателя по мощности и по моменту; снижать утомляемость водителя, повышать качество работы. Кроме того, трансмиссии, в состав которых входят бортовая гидростатическая передача или двухпоточный дифференциальный механизм поворота, создают устойчивые предпосылки к автоматизации процесса управления трактором за счет внедрения элементов навигационных систем. Испытания и конструкторско-экспериментальная доводка таких систем на тракторах являются наиболее сложным, трудоемким, дорогостоящим и длительным этапом их создания.

Темой данной статьи является разработка предложений по созданию испытательного стенда для исследования свойств бесступенчатого дифференциального механизма поворота со следящей системой управления (ССУ) движением промышленного трактора.

Для отработки алгоритмов автоматического управления кроме математического и программного обеспечения требуется экспериментальная проверка работоспособности ССУ, это требует проведения комплекса испытаний, в том числе стендовых и полевых.

Стендовые испытания являются важнейшим этапом процесса проверки качества и доводки узлов транспортных средств. Для того чтобы их результаты были достоверными, при испытаниях должна обеспечиваться высокая точность имитации эксплуатационных режимов. Для определения работоспособности механизма поворота и настройки основных параметров следящей системы управления движением все устройство в целом должно отрабатываться на функционирование. Так, при испытании механизма поворота промышленного трактора со следящей системой управления движением необходимо иметь стенд, в котором элементы механизма поворота будут реагировать на сигналы датчиков положения транспортного средства в пространстве и отклонения органов управления.

Первоначально испытания выполнялись на стендах, которые обеспечивали возможность воспроизведения только постоянного режима работы механической части трансмиссии без элементов следящей системы управления движением [6–11].

Известны стенды для испытаний трансмиссий мобильных машин, часть которых, интересующая заявителя, содержит в общем случае стационарно закрепленную на основании раму с установленным на ней приводом, соединенным с испытуемой трансмиссией [12–14].

Недостатком известных стационарных стендов является низкая точность имитации эксплуатационных режимов из-за невозможности воспроизведения пространственного движения мобильных машин и, как следствие, практически ограниченные возможности регулировки и настройки параметров БДМП с ССУ движением.

Очевидно, что стенды данного типа не позволяют проводить настройки и проверки БДМП с ССУ мобильных машин по сигналам, получаемыми в результате движения по заданной траектории.

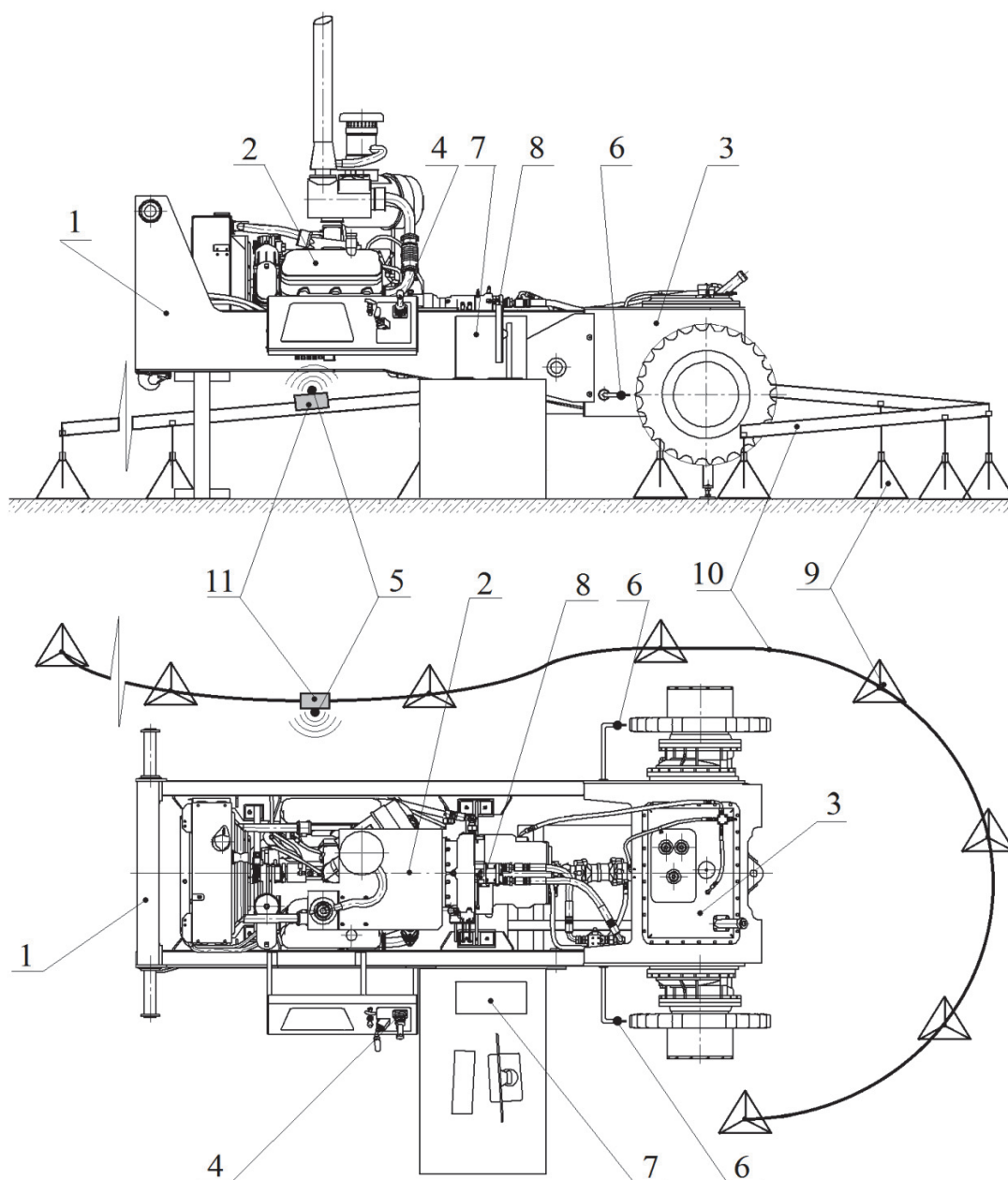
В этом случае встает задача об устройстве, имитирующем движение мобильной машины с БДМП с ССУ, решение которой может пойти по двум вариантам технического поиска: первый вариант – имитация движения для отдельных приборов из состава ССУ, не установленных на БДМП; и второй вариант – для приборов, установленных на самой мобильной машине с БДМП с ССУ. Второй вариант решения, по сути, является устройством, представляющим мобильный стенд со всеми вытекающими недостатками ходовых испытаний – высокой трудоемкостью и стоимостью таких работ.

В данной статье описано техническое решение стационарного стенда для исследовательских испытаний БДМП с ССУ с устройством имитации движения для отдельных приборов из состава ССУ, не установленных на БДМП.

Вопросы математического моделирования работы гидростатических передач в трансмиссиях транспортных машин освещены в работах [15–19]. Моделирование движения промышленного трактора с БДМП опубликовано в работе авторов [20]. Разработанные алгоритмы управления трактором с БДМП требуют экспериментальной проверки и могут быть реализованы на стенде, который позволяет определить работоспособность и выполнить настройку ССУ, обеспечить контроль основных параметров БДМП путем имитации в стационарных стендовых условиях входных воздействий на элементы ССУ, в максимальной степени соответствующих реальным условиям движения машины в пространстве, при одновременном снижении трудоемкости и стоимости этих работ, за счет исключения необходимости использования подвижных транспортных средств.

Стенд, содержащий неподвижно установленный на основании остов машины с приводом, размещенный на остова и кинематически связанный с приводом испытуемый БДМП с ССУ, включающей ручку управления поворотом (командоконтроллер), гироскоп с акселерометром, датчики скорости вращения ведущих колес, микропроцессорный блок управления (МБУ) и электрогидрораспределитель, дополнительно снабжен направляющей, с возможностью перемещения по ней каретки с гироскопом и акселерометром из состава ССУ, имеющего коммутацию с МБУ. Направляющая выполняется в виде гибкого монорельса, расположение и конфигурация которого в пространстве позволяют имитировать любую заранее заданную траекторию движения центра масс мобильной машины с БДМП с ССУ движением.

Стенд для испытания бесступенчатого дифференциального механизма поворота со следящей системой управления движением мобильных машин (см. рисунок) содержит неподвижно установленный на основании остов машины 1 с приводом 2, размещенный на остова и кинематически связанный с приводом испытуемый бесступенчатый дифференциальный механизм поворота 3 со следящей системой управления (ССУ) движением, включающей ручку управления поворотом (командоконтроллер) 4, гироскоп 5 с акселерометром, датчики скорости 6 вращения ведущих колес, микропроцессорный блок управления (МБУ) 7 и электрогидрораспределитель 8, а также установленную на штативах 9 направляющую 10 с подвижной кареткой 11 для размещения на ней гироскопа 5 с акселерометром из состава ССУ, имеющего коммутацию с МБУ 7. Направляющая 10 выполнена в виде гибкого монорельса, требуемое расположение и конфигурация которого в пространстве обеспечивается настройкой штативов 9. Подвижная каретка 11 снабжена автономным приводом и управлением (не обозначено), обеспечивающим ее движение по направляющей 10. Параметры движения каретки 11 по направляющей 10 согласованы с параметрами движения привода 2.



Стенд для испытания бесступенчатого дифференциального механизма поворота с ССУ

## Расчет и конструирование

ССУ направлена на поддержание постоянной траектории движения мобильной машины, заданной ручкой управления поворотом 4. ССУ представляет собой систему управления с обратной связью, которая осуществляет прием и обработку входных сигналов, и выработку выходного сигнала управления в соответствии с заданной передаточной функцией. Входными сигналами ССУ являются: сигнал управления – от ручки управления поворотом 4 (сигналы оператора, задающие траекторию движения Машины, и включения / отключения режима «прямого управления»), и сигналы обратной связи – от giroкомпас 5 с акселерометром (сигналы, характеризующие текущую траекторию движения Машины) и от датчиков скорости 6 вращения ведущих колес Машины.

Выходным сигналом ССУ является сигнал управления для электрогидравлического распределителя 8, генерируемый МБУ 7. При этом МБУ 7 является центральным элементом всей ССУ.

Обработка сигналов, принимаемых от периферийных устройств (ручка управления поворотом 4, giroкомпас 5, датчики скорости 6 вращения ведущих колес) ССУ, осуществляется МБУ 7 в цифровом виде.

Функция, выполняемая ручкой управления поворотом 4, в ССУ – это основное устройство ввода информации оператором Машины, осуществляющее формирование электрического сигнала, задающего траекторию движения Машины.

Giroкомпас 5 со встроенным акселерометром позволяет получать данные о текущей траектории движения Машины и служит элементом обратной связи для ССУ.

Для каждого из ведущих колес предназначен отдельный датчик 6, определяющий скорость его вращения. Датчики скорости вращения ведущих колес являются одним из элементов обратной связи ССУ и служат для измерения скорости вращения ведущих колес Машины и передачи измеренного значения по цифровому интерфейсу связи в МБУ для последующей обработки в соответствии с заданной передаточной функцией.

МБУ 7 осуществляет прием и обработку входных сигналов ССУ и выработку выходного управляющего сигнала на электрогидрораспределитель 8 в соответствии с заданной передаточной.

Управление работой электрогидрораспределителя 8 осуществляет МБУ посредством изменения мощности, подводимой к блоку катушек электрогидрораспределителя, что приводит к перемещению гидравлического распределителя, установленного на Машине.

Стенд работает следующим образом:

1. Режим прямолинейного равномерного движения.

Включить стенд и установить неизменные обороты привода 2. При этом ручка управления поворотом 4 должна находиться в нейтральном положении, а каретка 11 с giroкомпасом 5 занимать неподвижное положение на направляющей 10, что соответствует режиму прямолинейного равномерного движения Машины. БДМП с ССУ должен обеспечить равенство частот вращения ведущих колес, контролируемых датчиками скорости 6. В случае отсутствия равенства частот вращения ведущих колес, произвести настройку ССУ.

2. Режим установившегося поворота заданного радиуса.

Задать направляющей 10 дугу изгиба в горизонтальной плоскости требуемого радиуса, путем соответствующего размещения штативов 9 на основании. Включить стенд и установить неизменные обороты привода 2. Отклонить ручку управления поворотом 4 на величину соответствующую заданному радиусу поворота Машины. Одновременно привести в движение каретку 11 с giroкомпасом 5 на участке дуги изгиба направляющей 10 заданного радиуса. БДМП с ССУ должен обеспечить разность частот вращения ведущих колес, контролируемых датчиками скорости 6, соответствующую движению Машины при повороте заданного радиуса. В случае не соответствия разности частот вращения ведущих колес заданному радиусу поворота произвести настройку ССУ.

3. Режим увода Машина от устойчивого прямолинейного движения.

Задать направляющей 10 дугу изгиба в горизонтальной плоскости требуемого радиуса, путем соответствующего размещения штативов 9 на основании. Включить стенд и установить неизменные обороты привода 2. При этом ручка управления поворотом 4 должна находиться в нейтральном положении, что соответствует режиму прямолинейного равномерного движения Машины. Привести в движение каретку 11 с giroкомпасом 5 на участке дуги изгиба направляющей 10 за-

данного радиуса. Сигнал с гирокомпаса 5, поступающий в МБУ 7, позволяет выстроить фактическую траекторию движения Машины и после сравнения ее с заданной ручкой управления поворотом 4 сформировать коррекцию курса воздействием на сигнал управления электрогидрораспределителем 8. Таким образом, БДМП с ССУ должен обеспечить разность частот вращения ведущих колес, контролируемых датчиками скорости 6, соответствующую корректировке траектории движения Машины для обеспечения устойчивого прямолинейного движения. В случае не соответствия разности частот вращения ведущих колес, при корректировке заданного радиуса увода, произвести настройку ССУ.

#### 4. Режим не управляемого заноса Машины.

Включить стенд и установить неизменные обороты привода 2. Отклонить ручку управления поворотом 4 на величину, соответствующую заданному радиусу поворота Машины. При этом каретка 11 с гирокомпасом 5 должна занимать неподвижное положение на направляющей 10, что соответствует режиму прямолинейного равномерного движения Машины. БДМП с ССУ должен обеспечить остановку вращения (торможение) ведущих колес. В случае отсутствия торможения ведущих колес, произвести настройку ССУ.

Таким образом, благодаря введению направляющей, с перемещением по ней гирокомпаса с акселерометром из состава ССУ, имеющего коммутацию с МБУ, получена возможность имитировать любую заранее заданную траекторию движения центра масс мобильной машины с БДМП с ССУ. Все это позволяет выполнить настройку ССУ движением, а также обеспечить контроль основных параметров БДМП путем имитации в стационарных стендовых условиях входных воздействий на элементы ССУ, в максимальной степени соответствующих реальным условиям движения машины в пространстве, при одновременном снижении трудоемкости и стоимости этих работ, за счет исключения необходимости использования подвижных транспортных средств.

По материалам исследования подана заявка на изобретение. Уведомление о приеме и регистрации заявки от 07.11.2019, регистрационный № 2019135922.

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 Главным исполнителем НИОКТР – Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

#### **Литература**

1. *Caterpillar продемонстрировал систему удаленного управления бульдозером Cat D11T.* – [news.ati.su/news/2015/11/16/](http://news.ati.su/news/2015/11/16/) (дата обращения: 03.12.2019).
2. *Новый бульдозер D65PXi-18 от Komatsu, благодаря системе IMC, сэкономит до 10 часов в месяц на перенастройку машины.* – <http://allspectech.com/novosti/novyj-buldozer-d65pxi-18-ot-komatsu.html> (дата обращения: 03.12.2019).
3. *ТОП-5 гусеничных бульдозеров немецкого производителя Liebherr (Либхер).* – [spectahina.ru/buldozer/libherr-](http://spectahina.ru/buldozer/libherr-) (дата обращения: 03.12.2019).
4. *Завод ДСТ-УРАЛ продемонстрировал новую модель бульдозера с системой дистанционного управления.* – [sdelanounas.ru/blogs/106773](http://sdelanounas.ru/blogs/106773) (дата обращения: 03.12.2019).
5. *Характеристика бульдозера T-1101, трактора T-11.01, T-11.02, ЧЕТРА T-11.* – <http://harakteristika-buldozerov.ru/harakteristika-buldozera-t-1101/> (дата обращения: 03.12.2019).
6. *ГОСТ 25836-83 Тракторы. Виды и программы испытаний.* – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 27 с.
7. *РД 50-424-83 Методические указания. Надежность в технике. Ускоренные испытания. Основные положения.* – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 12 с.
8. *Левитанус, А.Д. Ускоренные испытания тракторов, их узлов и агрегатов / А.Д. Левитанус.* – М.: Машиностроение, 1973. – 208 с.

9. Гинзбург, Ю.В. *Промышленные тракторы* / Ю.В. Гинзбург, А.И. Швед, А.П. Парфенов. – М.: Машиностроение, 1986. – 296 с.
10. Финченко, Н.И. *Испытание автомобилей и тракторов: учеб.-метод. пособие* / Н.И. Финченко, А.В. Давыдов, Д.В. Халтурин. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2017. – 172 с.
11. *Автомобили: Испытания: учеб. пособие для вузов* / В.М. Беляев, М.С. Высоцкий, Л.Х. Гилелес; под ред. А.И. Гришкевича, М.С. Высоцкого. – Минск: Высш. шк., 1991.
12. А.с. СССР № 1478067 *Стенд для испытания трансмиссий* / А.А. Бунос, А.В. Вовк, В.В. Герщенко, А.Г. Миронов – № 4309424/25-28; заявл. 28.09.1987; опубл. 07.05.89, Бюл. №17.
13. А.с. 1605149 СССР. *Стенд для испытания ведущих мостов транспортных средств* / Ю.Н. Филин. – № 4615267, заявл. 05.12.1988; опубл. 07.11.90 Бюл. № 41.
14. Патент 2207535 РФ. *Стенд для испытания трансмиссий машин* / А.Н. Лукьянчиков, И.К. Морозихина, В.Е. Харламов. – № 2002104512/28; заявл. 19.02.2002; опубл. 27.06.2003.
15. Zhao, L. *Research on Travel Control System of Hydrostatic Transmission Chassis* / Liang Zhao, Jin Wang, Zhengwu Zhang // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 139 (5). – Article number 00212. DOI: 10.1051/mateconf/201713900212
16. Zhao, L. *Research on vehicle speed control strategy of multi-axis hydrostatic transmission* / Liang Zhao, Jin Wang, Zhengwu Zhang // Atlantis Press in Proceedings of the 2018 3rd International Workshop on Materials Engineering and Computer Sciences (IWMECS 2018). – 2018. DOI: 10.2991/iwmeecs-18.2018.88
17. Zhang, J. *Research on straight driving strategy of tracked vehicle equipped with hydrostatic transmission* / Jinle Zhang, Feihong Mao, Jing Guo // Computer Science Published in 2nd International Conference. – 2017. DOI: 10.1109/icrae.2017.8291375
18. Comellas, M. *Efficiency analysis of a multiple axle vehicle with hydrostatic transmission overcoming obstacles* / M. Comellas, Jordi Pijuan, J. Roca // Engineering. Published. – 2018. – Vol. 56 (3). – C. 1–23. DOI: 10.1080/00423114.2017.1343954
19. *Hydrostatic Transmissions | Dana Off-Highway*. – <http://www.dana.com/off-highway/products/transmission-and-electronic-controls> (дата обращения: 03.12.2019).
20. Kondakov, S.V. *Simulation modeling of the curvilinear motion of an industrial tractor with a differential rotation mechanism and tracking trajectory stabilization system* / S.V. Kondakov, A.A. Dyakonov, N.V. Dubrovskiy // MATEC Web of Conferences. – 2018. – Vol. 224. – Article number 02098. DOI: 10.1051/mateconf/201822402098

**Землянский Юрий Матвеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Колесные и гусеничные машины», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, zem.yuriy4612@mail.ru.

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

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

**Подживотова Ирина Александровна**, младший научный сотрудник УНИД, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, lavina.l@mail.ru.

*Поступила в редакцию 4 декабря 2019 г.*

## STEPLESS DIFFERENTIAL ROTATION MECHANISM TEST BENCH WITH TRACKING MOTION CONTROL SYSTEM OF TRACKED INDUSTRIAL TRACTOR

**Yu.M. Zemlyansky**, zem.yuriy4612@mail.ru,

**S.V. Kondakov**, tanksv@mail.ru,

**A.A. Dyakonov**, diakonovaa@susu.ru,

**I.A. Podzhivotova**, lavina.l@mail.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The curvilinear movement of tracked vehicles is controlled by the mismatch of track speeds. Appearance of sufficient installation power at an affordable price on the market of hydrostatic transmissions made it possible to organize stepless control of the turning radius both in the transport mode and when performing technological operations of bulldozing and loosening. External interference distorts the path defined by the joystick. To correct the trajectory, navigation systems are used, which also became available to manufacturers and consumers of industrial tractors. To test control algorithms for a tracked vehicle, bench test equipment is required. The article is devoted to the testing of tracked industrial tractors with modern navigation systems, in particular bench research tests of a stepless differential mechanism for turning machines with a tracking motion control system. The stand, which contains the test drive stepless differential rotation mechanism (BDM) with a motion tracking control system (CCM) motionlessly mounted on the base of a car frame with a drive, and is also equipped with guiding devices to provide a given spatial movement of a single gyrocompass with an accelerometer, entering -which is part of the SSU movement. The technical result is the expansion of the functionality of the stand, which allows to determine the operability and configure the control system by the motion, as well as to control the main parameters of the BDM by simulating in stationary bench conditions the input effects on the elements of the control system, which to the maximum extent correspond to the actual conditions of movement of the machine in the space, while reducing the complexity and cost of these works, by eliminating the need to use vehicles.

*Keywords: stepless differential rotation mechanism, industrial tractor, tracking control system, test bench, stationary conditions, motion simulation.*

The work has been performed with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as a part of complex project to create a high-tech production “Development of a stepless differential steering mechanism with tracking control system for new generation off-road and road-building machines” under the agreement No. 074-11-2018-006 d.d. May, 31, 2018 between the Ministry of Education and Science of the Russian Federation and Manufacturing company “Khodovye systemy” in cooperation with the head executor “NIOKTR” – Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “South Ural State University (National Research University)”.

### References

1. *Caterpillar Prodemonstriroval Sistemu Udalennogo Upravleniya Bul'dozerom Cat D11T* [Caterpillar Demonstrates Cat D11T Bulldozer Remote Control]. Available at: [news.ati.su/news/2015/11/16/](http://news.ati.su/news/2015/11/16/) (accessed 12.03.2019).
2. *Novyy bul'dozer D65PXi-18 ot Komatsu, blagodarya sisteme IMC, sekonomit do 10 chasov v mesyats na perenastroyku mashiny* [The New Komatsu D65PXi-18 Bulldozer, Thanks to the IMC System, Will Save Up to 10 Hours Per Month on Reconfiguring the Machine]. Available at: <http://allspectech.com/novosti/novyj-buldozer-d65pxi-18-ot-komatsu.html> (accessed 03.12.2019).
3. *TOP-5 gusenichnykh bul'dozerov nemetskogo proizvoditelya* [TOP-5 Caterpillar Bulldozers of the German Manufacturer] Liebherr. Available at: [specmahina.ru/buldozer/liebherr-](http://specmahina.ru/buldozer/liebherr-) (accessed 03.12.2019).
4. *Zavod DST-URAL prodemonstriroval novuyu model' bul'dozera s sistemoy dstantsi-onnogo upravleniya* [The DST-URAL Plant Demonstrated a New Model of a Bulldozer with a Remote Control System]. Available at: [sdelanounas.ru/blogs/106773](http://sdelanounas.ru/blogs/106773) (accessed 03.12.2019).

5. *Kharakteristika bul'dozera T-1101, traktora T-11.01, T-11.02, CHETRA T-11* [Characteristics of the T-1101 Bulldozer, T-11.01 Tractor, T-11.02, CHETRA T-11]. Available at: <http://harakteristika-buldozerov.ru/harakteristika-buldozera-t-1101/> (accessed 03.12.2019).
6. *GOST 25836-83 Traktory. Vidy i programmy ispytaniy*. [GOST 25836-83 Tractors. Types and Test Programs]. Moscow, IPK Publishing house of standards 2003. 27 p.
7. *RD 50-424-83 Metodicheskiye ukazaniya. Nadezhnost' v tekhnike. Uskorennyye ispytaniya. Osnovnyye polozheniya* [RD 50-424-83 Guidelines. Reliability in Technology. Accelerated Testing. The Main Provisions]. Moscow, Publishing House of Standards, 1984. 12 p.
8. Levitanus A.D. *Uskorennyye ispytaniya traktorov, ikh uzlov i agregatov*. [Accelerated Testing of Tractors, Their Components and Assemblies]. Moscow, Machinery Engineering Publ., 1973. 208 p.
9. Ginzburg Yu.V., Shved A.I., Parfenov A.P. *Promyshlennyye traktory* [Industrial Tractors]. Moscow, Machinery Engineering Publ., 1986. 296 p.
10. Finchenko. N.I., Davydov A.V., Khalturin D.V. *Ispytaniye avtomobiley i traktorov: uchebno-metodicheskoye posobiye* [Testing of Cars and Tractors: a Training Manual]. Tomsk, Publishing House Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering, 2017. 172 p.
11. Belyaev V.M., Vysotsky M.S., Gileles L.Kh. *Avtomobili: Ispytaniya: Ucheb. Posobiye dlya vuzov* [Cars: Tests: Textbook. Manual for Universities]. Minsk, High School, 1991.
12. Bunos A.A., Vovk A.V., Gerashchenko V.V., Mironov A.G. *Stend dlya ispytaniya transmissiy* [Test Bench for Transmissions]. Copyright Certificate SU, no. 1478067, 07.05.89.
13. Filin Yu.N. *Stend dlya ispytaniya vedushchikh mostov transportnykh sredstv* [Test Bench for Driving Axles of Vehicles]. Copyright Certificate SU, no. 1605149, 07.11.90.
14. Lukyanchikov A.N., Morozikhina I.K., Kharlamov V.E. *Stend dlya ispytaniya transmissiy mashin* [Test Bench for Machine Transmissions]. Patent RU, no. 2207535, 27.06.2003.
15. Zhao Liang, Wang Jin, Zhang Zhengwu Research on Travel Control System of Hydrostatic Transmission Chassis. *MATEC Web of Conferences*, 2017, vol. 139 (5), number article 00212. DOI: 10.1051/mateconf/201713900212
16. Zhao Liang, Wang Jin, Zhang Zhengwu. Research on Vehicle Speed Control Strategy of Multi-Axis Hydrostatic Transmission. *Atlantis Press in Proceedings of the 2018 3rd International Workshop on Materials Engineering and Computer Sciences (IWMECS 2018)*, 2018, vol. 56 (3), pp. 1–23. DOI: 10.2991/iwmeecs-18.2018.88
17. Zhang Jinle, Mao Feihong, Guo Jing. Research on Straight Driving Strategy of Tracked Vehicle Equipped with Hydrostatic Transmission. *Computer Science Published in 2nd International Conference*, 2017. DOI: 10.1109/icrae.2017.8291375
18. Comellas M., Pijuan Jordi, Roca J. Efficiency Analysis of a Multiple Axle Vehicle with Hydrostatic Transmission Overcoming Obstacles. *Engineering. Published*, 2018, vol. 56 (3), pp. 1–23. DOI: 10.1080/00423114.2017.1343954
19. Hydrostatic Transmissions | Dana Off-Highway. Available at: <http://www.dana.com/off-highway/products/transmission-and-electronic-controls> (accessed 03.12.2019).
20. 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, number article 02098. DOI: 10.1051/mateconf/201822402098

Received 4 December 2019

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Стенд для испытания бесступенчатого дифференциального механизма поворота со следящей системой управления движением гусеничного промышленного трактора / Ю.М. Землянский, С.В. Кондаков, А.А. Дьяконов, И.А. Подживотова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 13–20. DOI: 10.14529/engin190402

### FOR CITATION

Zemlyansky Yu.M., Kondakov S.V., Dyakonov A.A., Podzhivotova I.A. Stepless Differential Rotation Mechanism Test Bench with Tracking Motion Control System of Tracked Industrial Tractor. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2019, vol. 19, no. 4, pp. 13–20. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin190402