

УДК 629.1.02

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-514-521>

EDN: CQLDDL

Научная статья



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕУПРАВЛЯЕМОГО СДВИГА БУЛЬДОЗЕРА

И. П. Трояновская^{1,2}, А. О. Жаков¹*¹Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия²Южно-Уральский государственный аграрный университет, г. Троицк, Россия*tripav63@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2763-0515>**andrey.zhakov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4403-0776>***ответственный автор*

АННОТАЦИЯ

Введение. При выполнении технологического цикла внешние силы со стороны рабочего органа строительно-дорожной машины иногда приводят к неконтролируемому ее отклонению от заданной траектории. При этом существует явная зависимость величины сдвигающей силы от ее направления. Целью экспериментальных исследований являлось получение значений предельной сдвигающей силы при различных ее направлениях.

Материалы и методы. Испытания проводились на примере гусеничного бульдозера класса 10 т производства Челябинского тракторного завода. Сдвиг осуществлялся за счет действия внешней силы, приложенной к краю отвала в различных направлениях. Внешняя сила записывалась на осциллограмму.

Результаты. Сдвиг начинался при внешнем усилии, равном пределу сцепления при условии, когда линия действия внешней силы проходила через центр давления. При отклонении линии действия внешней силы от центра давления сдвиг начинался при значительно меньших значениях внешнего усилия. В результате эксперимента был построен годограф предельной сдвигающей силы.

Заключение. Экспериментально получено, что характер изменения внешнего усилия при поступательном и вращательном сдвиге принципиально отличались. Подтверждено, что чем больше направление сдвигающей силы отклоняется от центра давлений машины, тем меньшее значение внешней силы способно привести к неуправляемому сдвигу.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: неуправляемый сдвиг, экспериментальные исследования, предельная сдвигающая сила, бульдозерный агрегат.

Статья поступила в редакцию 13.06.2022; одобрена после рецензирования 22.06.2022; принята к публикации 27.07.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Трояновская И. П., Жаков А. О. Экспериментальные исследования неуправляемого сдвига бульдозера // Вестник СибАДИ. 2022. Т.19, № 4 (86). С. 514-521. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-514-521>

© Трояновская И. П., Жаков А. О., 2022



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-514-521>

EDN: CQLDDL

Original article

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE UNCONTROLLED SHIFT OF THE BULLDOZER

Irina P. Troyanovskaya^{1, 2*}, Andrey O. Zhakov¹

¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

²South Ural State Agrarian University, Troitsk, Russia

tripav63@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2763-0515>

andrey.zhakov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4403-0776>

*corresponding author

ABSTRACT

Introduction. External forces from the working body of a road-building machine sometimes lead to its uncontrolled deviation from a given trajectory when performing a technological cycle. In this case, there is a clear dependence of the magnitude of the shift force on its direction. The purpose of experimental studies was to determine the values of the limiting shift force for its various directions.

Materials and methods. The experimental tests were carried out on the example of a 10-ton caterpillar bulldozer manufactured by the Chelyabinsk Tractor Plant. The shift was carried out by the action of an external force applied to the edge of the dump in various directions. The external force was recorded on an oscillogram.

Results. The shift began with an external force equal to the adhesion limit, provided that the line of action of the external force passed through the center of pressure. The shift begins at much lower values of the external force when the line of action of the external force deviates from the center of pressure. The result of the experiment was the construction of a hodograph of the limiting shift force.

Conclusion. The nature of the change in the external force during translational and rotational shear was fundamentally different. It has been experimentally confirmed that the more the direction of the shear force deviates from the center of pressure of the machine, the smaller the value of the external force can lead to an uncontrolled shear.

KEYWORDS: uncontrolled displacement; experimental studies; ultimate displacement force; bulldozer unit.

The article was submitted 13.06.2022; approved after reviewing 22.06.2022; accepted for publication 27.07.2022.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation: Troyanovskaya I. P., Zhakov A. O. Experimental studies of the uncontrolled shift of the bulldozer // The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2022; 19 (4): 514-521. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-514-521>

© Troyanovskaya I. P., Zhakov A. O., 2022



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все больше внимания уделяется проектированию беспилотных наземных машин [1, 2, 3, 4]. И если относительно автомобильного транспорта [5, 6, 7] или военных роботов [8, 9] эти задачи уже во многом успешно решены, то для комплекса тракторных агрегатов [10] и строительно-дорожных машин данные вопросы находятся еще в стадии разработки. Это объясняется тем, что взаимодействие с грунтом осуществляется не только через движитель, но с и помощью рабочих орудий. Возникающие при этом усилия в значительной мере влияют на поведение машины.

Необходимо отметить, что это воздействие носит далеко не случайный характер. Внешние силы со стороны рабочего орудия при выполнении технологического цикла могут приводить к не запланированному отклонению машины от заданной траектории¹. Такое отклонение принято называть пассивным или неуправляемым уводом [11, 12]. Он представляет собой совокупность управляемого действиями водителя движения и не управляемого водителем (пассивного) сдвига под действием внешних сил [13]. Следовательно, при разработке систем управления движением необходим обязательный учет внешних сил со стороны рабочего орудия.

Математическая модель сдвига представляет собой уравнения предельного равновесия. В работе [14] на примере работы бульдозерного агрегата краем отвала был построен годограф предельного значения сдвигающей силы для различных ее направлений. В результате доказано, что поступательный сдвиг имеет место только в случае, когда внешняя сила со стороны рабочего орудия проходит через центр давлений площадки контакта движителя с грунтом. И только в этом случае величина предельного значения внешней силы равна произведению веса машины на коэффициент сцепления с грунтом. Во всех остальных случаях сдвиг является мгновенно вращательным движе-

нием и начинается значительно раньше при меньшем значении сдвигающей силы [15]. Для оценки адекватности предложенной математической модели и годографа предельной сдвигающей силы был проведен натурный эксперимент.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Испытания проводились на полигоне испытательного центра НАТИ (г. Чебаркуль) на суглинистом грунте, плотность которого составляла 6-8 ударов по ударнику ДорНИИ на поверхности и 18-19 ударов на глубине грунтозацепов гусеницы. Температура воздуха в момент испытаний была С, влажность – 50%. В качестве объекта испытаний выбран гусеничный бульдозер Б10 производства ЧТЗ-Уралтрак².

Программа эксперимента включала в себя три этапа:

1-й этап – определение параметров самого объекта испытаний;

2-й этап – оценка взаимодействия с окружающей средой;

3-й этап – непосредственно эксперимент сдвига машины.

Первый этап – замер массово-габаритных параметров гусеничного бульдозера Б10 (рисунк 1). Вес и положение центра тяжести машины определялись путем взвешивания на весовой платформе. Вес составил 29 т, координата центра тяжести машины $x_c = 1440$ мм от оси ведущей звездочки. Основные габаритные параметры измерялись рулеткой с погрешностью ± 1 мм. Эти данные использовались в качестве исходных данных в теоретических расчетах.

На втором этапе определялись коэффициенты сцепления и сопротивления движению. Сопротивление движению замерялось с помощью тензозвена путем протаскивания бульдозера с отключенными гусеницами³. Среднее значение на осциллограмме составило 28,5 кН. Коэффициент сопротивления движению получен путем деления этого усилия на вес бульдозера и составил $f = 0,12$.

¹ Огай В. А., Довбыш В. О., Медведев Е. В. Увод от управляемого движения строительно-дорожных машин под действием внешних сил // Теплофизические и технологические аспекты повышения эффективности машиностроительного производства: труды IV Международной научно-технической конференции. 2015. С. 455–457.

² Бульдозер ЧТЗ Б10 и его модификации. <http://hard-machines.ru/buldozery/buldozer-chtz-b10-i-ego-modifikacii.html> (обращение 05.03.2022).

³ ГОСТ 23734-98 Тракторы промышленные. Методы испытаний. Москва. 1999.

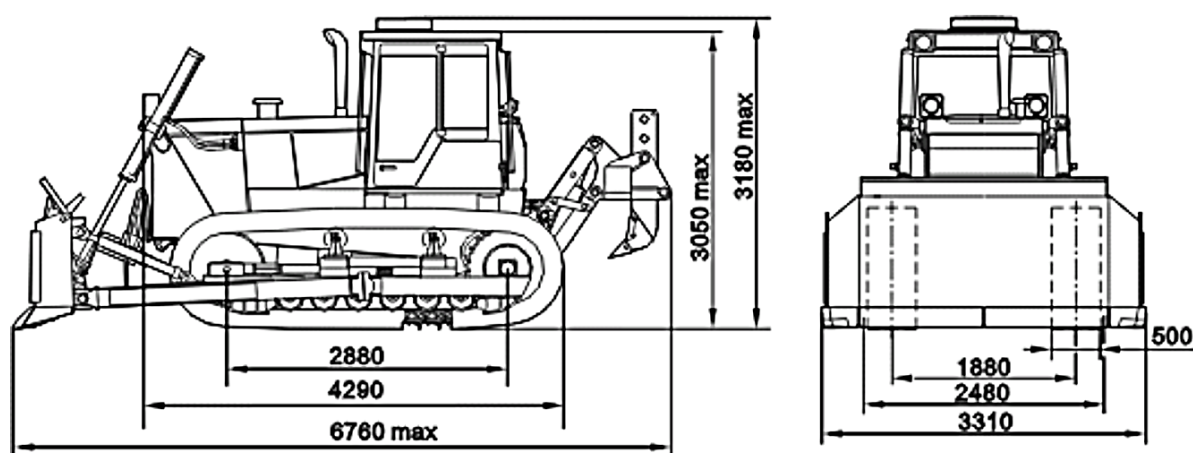


Рисунок 1 – Бульдозер Б10
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – B10 bulldozer.
Source: compiled by the authors.

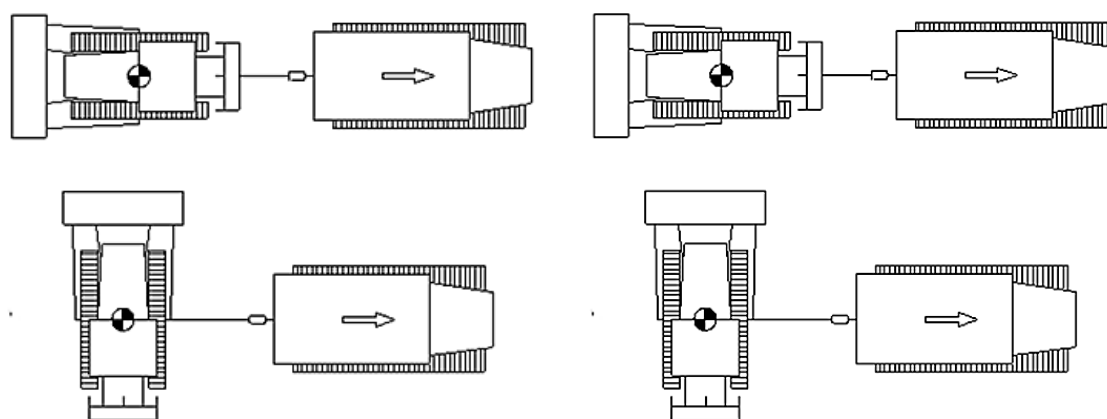


Рисунок 2 – Схема по замеру сил сцепления с грунтом
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Scheme for measuring adhesion forces with the ground.
Source: compiled by the authors.

Гусеницы бульдозера Б10 оснащены трехребневым башмаком с поперечным расположением грунтозацепов. Это обуславливает анизотропию его взаимодействия с грунтом, что отражается в различных коэффициентах сцепления в продольном и поперечном направлении [16, 17]. Экспериментально сцепление заторможенного движителя с грунтом замерялось в продольном и поперечном направлении (рисунок 2).

При трехкратном повторении средние значения коэффициентов сцепления составили: в

продольном направлении $\mu_y=0,95$ и в поперечном направлении $\mu_x=0,85$.

На третьем этапе осуществлялся пассивный сдвиг машины под действием внешней силы. Для этого к краю отвала через динамометр цеплялся трос, закрепленный другим концом к тензометрической лаборатории СДЛ-30 на базе трактора ДЭТ. Значение внешней силы P записывалось на осциллограмму. Под действием внешней силы P в контакте гусеницы с грунтом возникают силы сопротивления T (продольная составляющая T_y и поперечная

составляющая T_x). В случае, когда внешняя сила P не проходит через центр давлений, в контакте дополнительно возникает момент трения M (рисунок 3).

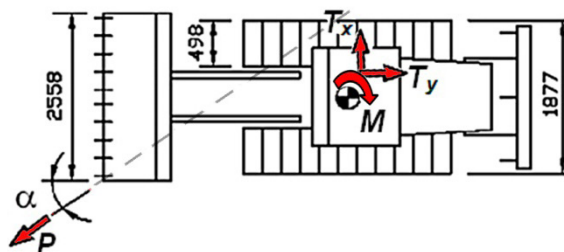


Рисунок 3 – Схема сдвига бульдозера под действием внешней силы P
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Scheme of bulldozer shift under the action of P external force
Source: compiled by the authors.

Направление силы фиксировалось углом α к продольной оси трактора. Эксперимент проводился для семи различных значений углов $\alpha = 0^\circ; 10^\circ; 21^\circ; 26^\circ; 53^\circ; 60^\circ$ и 80° . Для каждого значения опыты повторялись трехкратно.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

В результате определено, что характер изменения внешнего усилия при поступательном и вращательном сдвиге принципиально отличаются.

При поступательном сдвиге (линия действия внешней силы проходит через центр давлений трактора $\alpha = 21^\circ$) внешнее усилие нарастает до своего предельного по сцеплению значения и далее сохраняет свое значение (рисунок 4).

При вращательном сдвиге (линия действия внешней силы не проходит через центр давлений трактора) [18] на осциллограммах наблюдаются три характерных участка (рисунок 5):

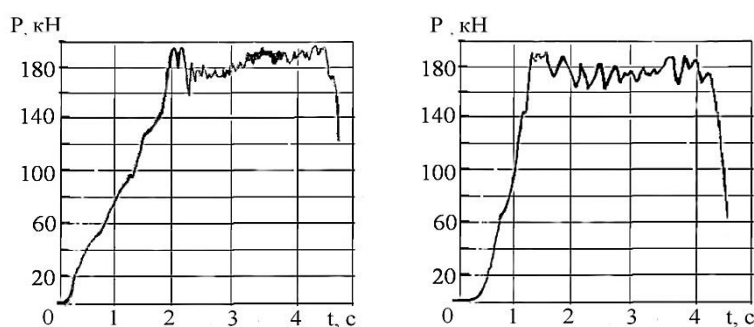


Рисунок 4 – Осциллограммы внешней силы при поступательном сдвиге $\alpha = 21^\circ$
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Oscillograms of an external force in $\alpha = 21^\circ$ translational shear.
Source: compiled by the authors.

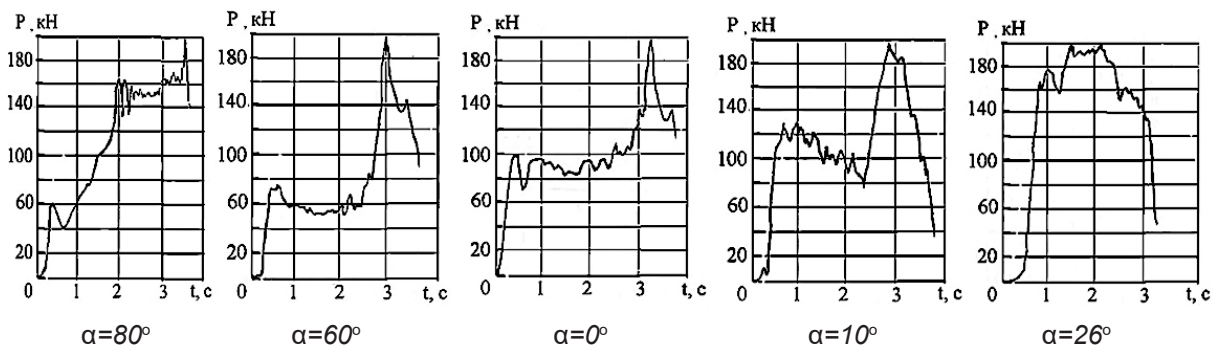


Рисунок 5 – Осциллограммы внешней силы при вращательном сдвиге
Источник: составлено авторами.

Figure 5 – Oscillograms of an external force during rotational shear.
Source: compiled by the authors.

Таблица
Экспериментальные значения сдвигающей силы
Источник: составлено авторами.

Table
Experimental values of the shear force
Source: compiled by the authors.

Угол α	Экспериментальные значения предельной сдвигающей силы, кН			
	опыт 1	опыт 2	опыт 3	среднее
0°	99	105	100	101,3
10°	119	121	135	125
21°	190	198		194
26°	170	173	179	174
53°	72	73	72	72,3
60°	66	68	67	67
80°	60	60	65	61,7

1. Нарастание внешнего усилия до максимального значения.
2. Снижение значения внешней силы.
3. Последующее нарастание внешнего усилия.

ОБРАБОТКА ОСЦИЛЛОГРАММ

Первый этап (нарастание усилия) соответствует равновесному состоянию машины. Максимальное значение достигается в условиях предельного равновесия и соответствует начальному сдвигу при замеренном направлении внешней силы. Поэтому первый выраженный максимум на осциллограмме принимался в качестве значения сдвигающей силы.

Второй этап (снижение усилия) характеризовался мгновенно вращательным скольжением машины. Снижение внешнего усилия в этот момент подтверждает положение, что коэффициент трения скольжения всегда меньше коэффициента трения покоя. Положение троса относительно машины при этом изменялось. В процессе вращательного сдвига машина старалась занять положение, чтобы направление троса (внешней силы) проходило через давление машины. В конце второго этапа скольжение машины прекращалось.

Третий этап (повторное нарастание усилия) опять характеризовался состоянием равновесия уже при новом направлении внешней силы. Однако поскольку направление внешней силы повторно не фиксировалось, то второй максимум на осциллограмме не учитывался.

Все экспериментальные значения предельной сдвигающей силы представлены в таблице.

СРАВНЕНИЕ С ТЕОРЕТИЧЕСКИМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ

В работе [14] представлена математическая модель пассивного сдвига гусеничной машины под действием внешней силы. В результате исследования была получена зависимость модуля предельного значения сдвигающей силы от ее направления, представленная в виде годографа.

Все экспериментальные точки нанесены на теоретический годограф предельной сдвигающей силы (рисунок 6), где хорошо видно их сосредоточение в 7 компактных областях, соответствующих углам направления внешней силы.



----- theoretical curve, o o o o o experimental values
Figure 6 – Hodograph of ultimate shear force
Source: compiled by the authors.

Относительное отклонение экспериментальных и расчетной кривой годографа, полученного по математической модели [14], определялось по формуле

$$\frac{P_э - P_т}{P_э} 100\%,$$

где $P_э$, $P_т$ – экспериментальное и расчетное значение предельной сдвигающей силы.

Расхождение составило не более 4%, что подтверждает адекватность математической модели [14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально подтверждено, что для каждого направления сдвигающая сила имеет свое предельное значение, соответствующее началу неуправляемого движения.

В зависимости от линии действия активной внешней силы меняется характер сдвига (поступательный или мгновенно вращательный) и предельное значение силы.

Экспериментально подтверждено, что чем больше направление сдвигающей силы отклоняется от центра давлений машины, тем меньшее значение внешней силы способно привести к неуправляемому сдвигу.

Данные результаты могут быть использованы при разработке систем управления беспилотными транспортными средствами применительно к строительно-дорожным машинам и другим тракторным агрегатам, когда в качестве внешнего сигнала выступает сила на рабочем орудии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Zhao J., Li H., Yang C., Wang W. A novel path planning method for wheel-legged unmanned vehicles based on improved ant colony algorithm // 60th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan. 2021. pp. 696-701. doi:10.1109/TRO.2021.3053649
2. Бакенов А. Ж. Система управления движением мобильного робота с использованием компьютерного зрения // Наука настоящего и будущего. 2020. № 2. С. 111–114.
3. Zhang P., Chen K., Yang T. Tracking the trajectory of autonomous ground vehicles with dead zones of actuators // International Computer Games Magazine. 2021. no. 2914190. doi:10.1155/2021/2914190
4. Пестриков С. А. Актуальные вопросы экономической эффективности наземных беспилотных транспортных средств // Финансовая экономика. 2019. № 12. С. 375–378.
5. Du J., Zhou H., Jin X. Vehicle motion simulation method in urban traffic scene // Lecture notes in computer science (including subseries lecture notes in artificial intelligence and lecture notes in bioinformatics). 2020. Vol. 12341 LNCS. pp. 312-321. doi:10.1007/978-3-030-60816-3_34.

6. Kuwata Y., Teo J., Fiore G., Karaman S., Frazzoli E., How J.P. Real-time motion planning with applications to autonomous urban driving // IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2009. Vol. 17(5), pp. 1105-1118. doi:10.1109/TCST.2008.2012116.
7. Zhang H., Yang X., Liang J., Xu X., Sun X. Gps path tracking control of military unmanned vehicle based on preview variable universe fuzzy sliding mode control // Machines. 2021. Vol. 9 (12), no. 304. doi:10.3390/machines9120304
8. Hu Y., Wang X., Hu J., Gong J., Wang K., Li G., Mei C. An Overview on Unmanned Vehicle Technology in Off-Road Environment // Beijing Ligong Daxue Xuebao/Transaction of Beijing Institute of Technology. 2021. Vol. 41(11), pp. 1137-1144 doi:10.15918/j.tbit1001-0645.2020.144.
9. Колтуков А. А., Шестаков В. А., Голубенко Е. А. Зарубежный опыт создания беспилотных наземных транспортных средств для решения задач материально-технического обеспечения войск в условиях боевых действий // Военная мысль. 2019. № 8. С. 136–142.
10. Thamrin N. M., Arshad N.H.M., Adnan R., Sam R. Forward Navigation for Autonomous Unmanned Vehicle in Inter-Row Planted Agriculture Field // Studies in Systems, Decision and Control. 2022. Vol. 371, pp. 183-198. doi:10.1007/978-3-030-74540-0_7.
11. Troyanovskaya I. P., Pozin B. M., Noskov N. K Ploughing Tractor Lateral Withdrawal Model // Procedia Engineering. 2017. Vol. 206. pp. 1540-1545. doi: 10.1016/j.proeng.2017.10.674.
12. Troyanovskaya I. P., Zhakov A. O., Starunova I. N. Mathematical model of passive withdrawal of a tractor unit // IOP Conference series: Earth and environmental Science. 2021. Vol. 659(1), no. 012081. doi:10.1088/1755-1315/659/1/012081.
13. Казаченко Г. В., Басалай Г. А., Тройнич В. А. Уравнения равновесия при уводе гусеничной машины и их исследование // Горная механика и машиностроение. 2020. № 1. С. 17–22.
14. Трояновская И. П., Жаков А. О. Модель неуправляемого сдвига на примере строительно-дорожной техники // Вестник СИБАДИ. 2021. Т.18, № 6(82). С. 678–687. doi:10.26518/2071-7296-2021-18-6-678-687
15. Трояновская И. П. Страгивание при пассивном повороте строительно-дорожных машин // Строительные и дорожные машины. 2011. № 1. С. 49–52.
16. Economou J. T., Colyer R.E. Modeling of skid steering and fuzzy logic vehicle ground interaction // Proceedings of the American Control Conference. 2000. Vol. 1, pp. 100-104. doi:10.1109/acc.2000.878781
17. Жаков А. О., Трояновская И. П. Влияние анизотропии на силовое взаимодействие гусеничного движителя с грунтом при повороте машины // Тракторы и сельхозмашины. 2020. № 2. С. 43–49. doi:10.31992/0321-4443-2020-2-43-49
18. Вязников М. В. Использование теории комбинированного трения при составлении математической модели криволинейного движения гусеничных машин // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2014. № 12. С. 279–290.

REFERENCES

1. Zhao J., Li H., Yang C., Wang W. A novel path planning method for wheel-legged unmanned vehicles based on improved ant colony algorithm. *60th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan*. 2021. pp. 696-701. doi:10.1109/TRO.2021.3053649
2. Bakenov A. Zh. Motion control system for a mobile robot using computer vision [Sistema upravleniya dvizheniyem mobil'nogo robota s ispol'zovaniyem komp'yuternogo zreniya]. *Science of the present and future*. 2020; 2: 111-114. (in Russ.)
3. Zhang P., Chen K., Yang T. Tracking the trajectory of autonomous ground vehicles with dead zones of actuators // *International Computer Games Magazine*. 2021. no. 2914190. doi:10.1155/2021/2914190
4. Pestrikov S. A. Current issues of economic efficiency of land unmanned vehicles [Aktual'nyye voprosy ekonomicheskoy effektivnosti nazemnykh bespilotnykh transportnykh sredstv]. *Financial economics*. 2019; 12: 375-378. (in Russ.)
5. Du J., Zhou H., Jin X. Vehicle motion simulation method in urban traffic scene // *Lecture notes in computer science (including subseries lecture notes in artificial intelligence and lecture notes in bio-informatics)*. 2020. Vol. 12341 LNCS. pp. 312-321. doi:10.1007/978-3-030-60816-3_34.
6. Kuwata Y., Teo J., Fiore G., Karaman S., Frazzoli E., How J.P. Real-time motion planning with applications to autonomous urban driving. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2009; 17(5): 1105-1118. doi:10.1109/TCST.2008.2012116.
7. Zhang H., Yang X., Liang J., Xu X., Sun X. Gps path tracking control of military unmanned vehicle based on preview variable universe fuzzy sliding mode control. *Machines*. 2021. Vol. 9(12), no. 304. doi:10.3390/machines9120304
8. Hu Y., Wang X., Hu J., Gong J., Wang K., Li G., Mei C. An Overview on Unmanned Vehicle Technology in Off-Road Environment. *Beijing Ligong Daxue Xuebao/Transaction of Beijing Institute of Technology*. 2021. Vol. 41(11), pp. 1137-1144 doi:10.15918/j.tbit1001-0645.2020.144.
9. Koltukov A. A., Shestakov V. A., Golubenko Y. A. Foreign experience in making unmanned ground transport means to solving the problems of troops logistic support in combat conditions [Zarubezhnyy opyt sozdaniya bespilotnykh nazemnykh transportnykh sredstv dlya resheniya zadach material'no-tekhnicheskogo obespecheniya voysk v usloviyakh boyevykh deystviy]. *Military Thought*. 2019; 8: 136-142. (in Russ.)
10. Thamrin N. M., Arshad N.H.M., Adnan R., Sam R. Forward Navigation for Autonomous Unmanned Vehicle in Inter-Row Planted Agriculture Field. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2022; 371: 183-198. doi:10.1007/978-3-030-74540-0_7.
11. Troyanovskaya I. P., Pozin B. M., Noskov N. K Ploughing Tractor Lateral Withdrawal Model. *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 206. pp. 1540-1545. doi: 10.1016/j.proeng.2017.10.674.
12. Troyanovskaya I. P., Zhakov A. O., Starunova I. N. Mathematical model of passive withdrawal of a tractor unit // *IOP Conference series: Earth and environmental Science*. 2021. Vol. 659(1), no. 012081. doi:10.1088/1755-1315/659/1/012081.
13. Kazachenko G. V., Basalai R. A., Troinich V. A. Equations of equilibrium at slipping a track machine and their study. [Uravneniya ravnovesiya pri uvode gusenichnoy mashiny i ikh issledovaniye]. *Mining mechanics and mechanical engineering*. 2020; 1: 17-22. (in Russ.)
14. Troyanovskaya I. P., Zhakov A. O. Model of uncontrolled displacement on the example of road construction machines. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021. Vol.8 (6). pp. 678-687. doi:10.26518/2071-7296-2021-18-6-678-687 (in Russ.)
15. Troyanovskaya I. P. Breakaway during passive turning of road construction machines [Stragivaniye pri passivnom povorote stroitel'no-dorozhnykh mashin]. *Construction and road machines*. 2011; 1: 49-52. (in Russ.)
16. Economou J.T., Colyer R.E. Modeling of skid steering and fuzzy logic vehicle ground interaction // *Proceedings of the American Control Conference*. 2000. Vol. 1, pp. 100-104. doi:10.1109/acc.2000.878781
17. Zhakov A. O., Troyanovskaya I. P. The effect of anisotropy on the interaction of the caterpillar propeller with the soil during the vehicle turn. [Vliyaniye anizotropii na vzaimodeystviye gusenichnogo dvizhitelya s gruntom pri povorote mashiny]. *Tractors and agricultural machines*. 2020; 2: 43-49. doi:10.31992/0321-4443-2020-2-43-49 (in Russ.)
18. Vyaznikov M. V. Using the theory of combined friction when making mathematical models of curvilinear motion of tracked vehicles. [Ispol'zovaniye teorii kombinirovannogo treniya pri sostavlenii matematicheskoy modeli krivolineynogo dvizheniya gusenichnykh mashin]. *Science and education of the Bauman MSTU*. 2014; 12: 279-290. (in Russ.)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Трояновская И. П. – 50%.

Жаков А. О. – 50%.

COAUTORS' CONTRIBUTION

Irina P. Troyanovskaya – 50%

Andrey O. Zhakov – 50%

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Трояновская Ирина Павловна – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры «Колесные и гусеничные машины»; проф. кафедры «Тракторы, сельскохозяйственные и земледелие».

Жаков Андрей Олегович – аспирант кафедры «Колесные и гусеничные машины».

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Irina P. Troyanovskaya – Dr. of Sci., Professor, the Wheeled and Tracked Vehicles Department; the Tractors, Agricultural Machinery and Agriculture Department.

Andrey O. Zhakov – Postgraduate student, the Wheeled and Tracked Vehicles Department.