

П.В. Потапов, А.А. Шведуненко

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград, Россия

**СПЕЦИАЛЬНОЕ ТРАНСПОРТНОЕ СРЕДСТВО
ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПО СТУПЕНЧАТЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ**

В работе проанализированы конструкции специальных транспортных средств, имеющих возможность перемещаться по различным поверхностям, в частности по ступенчатым. Решение проблемы создания таких транспортных средств крайне актуально в рамках обеспечения комфортной среды для маломобильных групп населения, особенно в городских условиях. На основе анализа патентных и технических источников описаны преимущества, недостатки, принципы работы, а также приведены краткие характеристики специальных транспортных средств, предназначенных для перемещения людей с ограниченными физическими возможностями. Основное внимание уделено транспортным средствам с колесно-шагающим движителем, а именно содержащих блок колес в виде трехлучевой звезды. Такой движитель обеспечивает автоматический переход между качением – по ровной поверхности, и шаганием – через препятствия или при движении по ступенчатой поверхности. На основе анализа различных конструкций специальных транспортных средств создана конструкция, способная преодолевать различные виды поверхностей, а именно поверхности с препятствиями, наклонной поверхности, ступенчатой поверхности, при помощи упомянутого блока колес и планетарного редуктора с приводом от электродвигателей. Для устойчивого движения данного средства предполагается использовать систему стабилизации, которая функционирует за счет перемещения центра масс надстройки (например, кресла оператора) относительно ходовой части транспортного средства. В программной среде Solidworks построена трехмерная модель транспортного средства, максимально соответствующая реальной, в частности, в конструкции ходовой части. В результате кинематического анализа на данной модели удалось проверить работоспособность схемы. Также приведены результаты моделирования движения транспортного средства в различных условиях движения, которые доказывают его принципиальную работоспособность.

Ключевые слова: специальное транспортное средство, преодоление ступеней, трехколесный движитель, инвалидное кресло, перемещение по ступеням, стабилизация движения, анализ движения.

P.V. Potapov, A.A. Shvedunenko

Volograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation

SPECIAL VEHICLE FOR MOVING ON STEPPED SURFACES

In the paper the designs of special vehicles are analyzed, which can move on various surfaces, in particular on stepped ones. Development of these vehicles provides creation of comfortable conditions for low-mobility groups of people in city areas. On the base of analysis of patent and technical sources advantages, disadvantages, principles of operation, as well as brief characteristics of special vehicles designed to move people with disabilities are described. The main attention was paid to vehicles with wheel-walking mover that include wheel block in the three-beam star form. This mover provides automatic shift between the moving regimes: rolling on level surface and walking on stairs. Based on the results of the analysis of various types of vehicle structures, the design that provides movement on stepped surfaces has been developed. The proposed vehicle includes a special three-wheel propeller and planetary gear driven by electric engine, as well as a motion stabilization system. For the stable movement of this vehicle, it is proposed to use a stabilization system that operates by moving the center of mass of the additional section (for example, driver seat) relative to the chassis of the vehicle. A three-dimensional model of the vehicle has been created in the Solidworks software environment. This model corresponds to the proposed design of vehicle chassis. The practical results of the analysis of the structure are also described, which prove the operability of the vehicle.

Keywords: special vehicle, overcoming steps, three-wheeled mover, wheelchair, moving on steps, motion stabilization, motion analysis.

Люди с ограниченными физическими возможностями ежедневно сталкиваются с множеством проблем с передвижением [1], так как современные специальные транспортные средства (СТС) для инвалидов не решают всех задач перемещения по ступенчатым поверхностям и грунтам с разной несущей способностью [2, 3]. Существуют разные способы решения данной

проблемы [4], предполагающие использование на транспортном средстве движителей колесно-шагающего, шагающего или гусеничного типа. В работе будут рассмотрены преимущественно конструкции колесно-шагающих движителей, поскольку, по мнению авторов, такой движитель имеет больше преимуществ по сравнению с другими типами (простота конструкции, плавность хода, универсальность).

С целью поиска путей для решения вышеописанной проблемы был проведен анализ конструкций различных ТС как отечественной, так и иностранной разработки. Одним из первопроходцев в решении данной проблемы оказался Ханс Аша Йоханнсен, который в 1956 г. создал инвалидное кресло [5] с ручным управлением для перемещения по ступенчатым поверхностям (рис. 1).

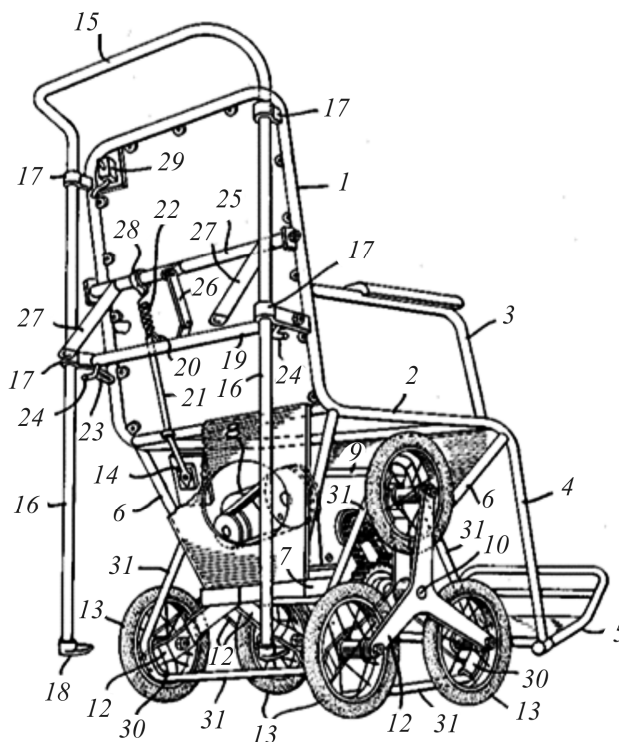


Рис. 1. Активное инвалидное кресло с ручным управлением

Принцип его работы заключается в следующем. При необходимости перемещения по ступенчатым поверхностям при помощи выдвижных ручек 15 со специальным наконечником 18 приводится во вращение механизм, состоящий из двух шарнирно соединенных специальным образом валов 19 и 25, которые, в свою очередь, при помощи стержня 21 включают электромотор 8. Электромотор 8 при помощи ременной передачи приводит во вращение вал 10, который вращает 3-колесный механизм, что приводит к перемещению транспорта вверх или вниз по ступенчатым поверхностям. Изменение направления транспортного средства вверх либо вниз происходит при помощи переключения рычага 29, который переключает вращение электродвигателя в нужную сторону, также транспортное средство оснащено гибкой лентой 31, которая увеличивает сцепление со ступенчатыми поверхностями.

У данного транспортного средства присутствуют существенные недостатки: контроль средства при подъеме и опускании, а также при обычном перемещении осуществляется при помощи помощника, средство не перемещается водителем самостоятельно, отсутствует механизм поворота транспорта.

Далее рассмотрим конструкцию инвалидной коляски с питанием от батареи (рис. 2), предложенную Кеннетом Райеном в 2002 г. [6], которая имеет способность перемещаться по ступенчатым поверхностям автоматически, без посторонней помощи.

Данная инвалидная коляска работает следующим образом. При прямолинейном движении по ровной дороге коляска опирается на 3 точки опоры: на колеса 340А, 342А и ролик 544А, в свою очередь колеса приводятся во вращение посредством планетарной передачи при помощи электродвигателей 470 и 468. Колеса 340С и 342 С находятся над дорогой, что повышает управляемость коляски. Переднее балансирующее устройство 650 находится в собранном состоянии, а заднее балансирующее устройство 650 – в выдвинутом состоянии. Управление осуществляется при помощи ролика 544А и механизма поворота 502.

При перемещении по ступенчатым поверхностям (рис. 3) коляска подъезжает к ступеням задней стороной, затем заднее балансирующее устройство 650 вместе с роликом 544А перемещается при помощи привода 521 в верхнее положение. Переднее балансирующее устройство 650 приводится в действие при помощи привода 621, опираясь на поверхность ступени, тем самым позволяя предотвратить обратный ход коляски при перемещении вверх. Колесный движитель, упираясь колесом 340А в вертикальную поверхность ступени, останавливается, и в действие приводится корпус движителя, при помощи которого коляска перекачивается по ступеням.

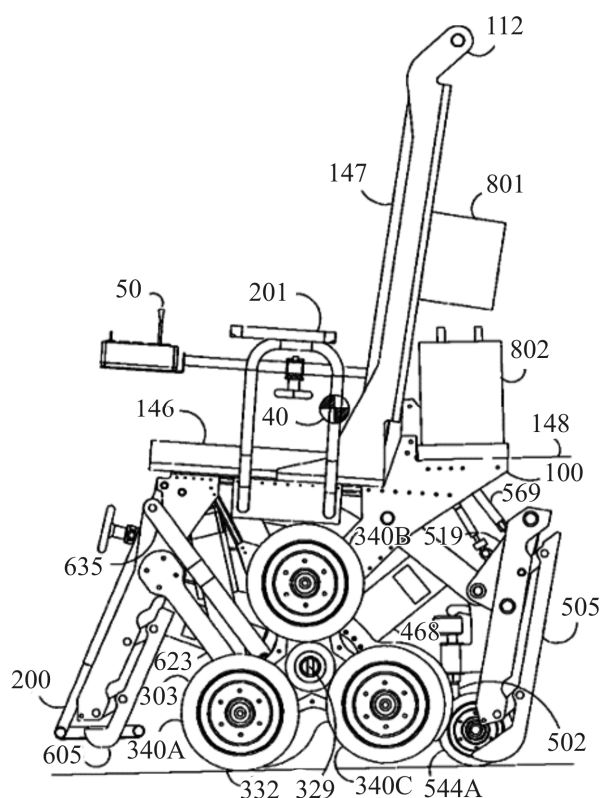


Рис. 2. Инвалидная коляска с питанием от батареи

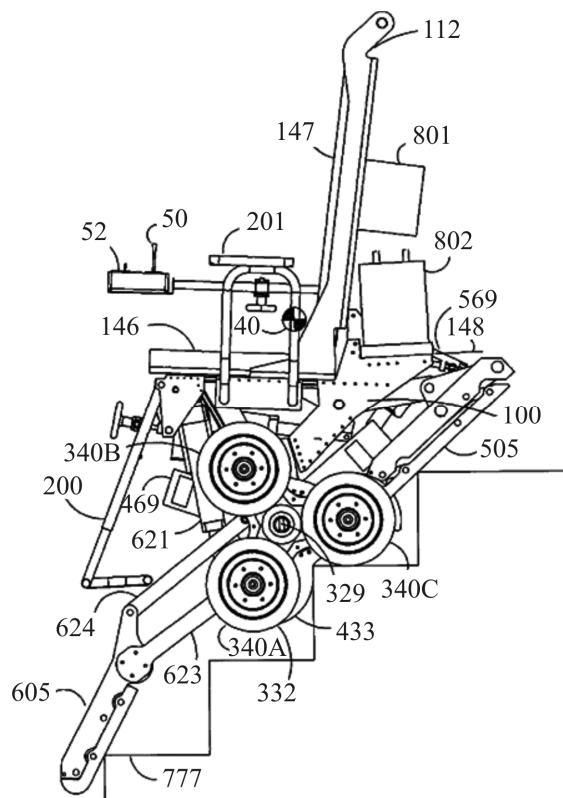


Рис. 3. Схема подъема инвалидной коляски по ступеням

Данное СТС также обладает недостатками, среди которых отметим следующие: необходимость разворота транспортного средства перед перемещением вверх по ступенчатым поверхностям; высокая конструктивная и технологическая сложность; высокие затраты энергии для перемещения.

В ходе анализа различных видов конструкций СТС для перемещения по ступенчатым поверхностям были рассмотрены и механизмы для преодоления различных препятствий. Конструкция одного из них представлена на рис. 4.

Данный узел был разработан Майклом Красовски в 2017 г. [7]. Он состоит из солнечной шестерни 110, стопорной шестерни 105, трех сателлитов 115, планетарных колес 120, корпусных деталей 130 и 125, фиксаторов сателлитов 135, электродвигателя 121 и ведущих колес 123.

Узел работает в двух режимах: нормальный режим (режим перемещения по ровным поверхностям) и режим преодоления препятствий. При нормальном режиме СТС перемещается посредством двух ведущих колес 123, третье совершает холостое прокручивание вокруг своей оси. Крутящий момент передается от двигателя через солнечную шестерню 110 на сателлиты 115, а затем на колеса 120, которые связаны с колесами 123. При режиме преодоления препятствий срабатывает тормоз шестерни 105, которая напрямую связана с шестернями 120. Вследствие этого сателлиты проворачиваются вместе с корпусными деталями, что осуществляет перемещение ТС через различного рода препятствия. Преимуществом данного узла является многофункциональность, один из недостатков – постоянное нахождение в зацеплении стопорной шестерни 105 с планетарными колесами 120, что увеличивает потери энергии на трение.

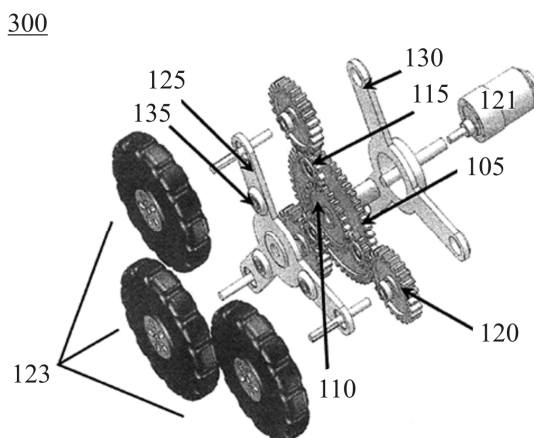


Рис. 4. Многоопорный колесный узел

Механизмы для подъема по лестнице можно разделить на две категории: СТС с одним блоком движителя на борт [8] (рис. 5) и СТС с двумя блоками движителя на борт (рис. 6). К первой категории можно отнести инвалидную коляску модели iBOT 4000 (см. рис. 5). iBOT имеет спереди два ведомых колеса малого диаметра и две пары задних колес одинакового диаметра, приводимые в движение электрическим мотором. Балансировка коляски на двух задних опорных колесах происходит благодаря технологии iBALANCE, использующей гироскопы для автоматического поддержания равновесия коляски и ее владельца в приподнятом положении. Движение iBOT по лестничному маршу осуществляется только в том случае, если лестничный пролет включает в себя перила. Во время подъема человеку необходимо прилагать усилия, чтобы ходовая часть смогла перешагнуть с одной ступеньки на другую [9]. Данная модель имеет несколько недостатков, а именно: большие габаритные размеры, обязательное наличие перил на лестничных пролетах, высокие затраты энергии для перемещения через препятствия и ступенчатые поверхности.

Механизмы для подъема по лестнице двумя блоками движителя [10, 11] используются в инвалидных колясках модели Freedom [12] (рис. 6, а) и модели под названием LCSCWC (рис. 6, б) [13]. Как правило, по сравнению с СТС на базе с одним движителем, группа с двумя движителями может уменьшить колебания скорости и улучшить как стабильность, так и безопасность. Тем не менее они имеют большой размер и более сложный метод управления, а также большой вес и сложность в изготовлении.

В результате анализа сведений о возможных способах решения проблемы по передвижению по ступенчатым поверхностям в рамках данной работы была создана конструкция СТС (рис. 7), состоящая из корпуса с трансмиссией и приводами 1, колесного движителя 2, системы адаптивной подвески 3, привода продольного перемещения 4, сиденья 5.



Рис. 5. Инвалидная коляска iBOT 4000



а

б

Рис. 6. ТС с двумя движителями колес:
а – инвалидная коляска Freedom; *б* – инвалидная коляска LCSCWC

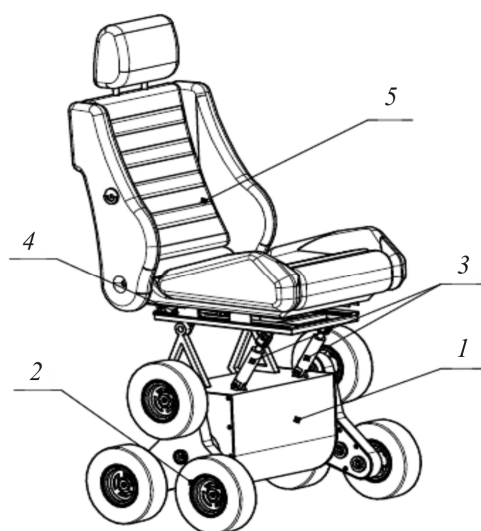


Рис. 7. Конструкция СТС для перемещения по ступенчатым поверхностям:
1 – корпус с трансмиссией и приводами; *2* – колесный движитель; *3* – система адаптивной подвески; *4* – привод продольного перемещения; *5* – сиденье

Для перемещения СТС по различным поверхностям предполагается использовать тяговую силу двух электродвигателей, расположенных в корпусе симметрично. Крутящий момент данных электродвигателей был подобран исходя из требуемой нагрузки, возникающей при перемещении СТС по ступеням и зависящей от массы элементов СТС и водителя. К электродвигателям попарно за счет зубчатого соединения подключены планетарные редукторы. За счет управления элементами редукторов СТС имеет возможность перемещаться в режиме повышенной и пониженной передач.

Стабилизация движения СТС при передвижении как по лестничному маршруту, так и по ровной поверхности заключается в использовании принципов уравнивания обратного маятника на основе алгоритмов смещения массы над корпусом. Для стабилизации СТС при перемещении по ровной поверхности используется уравнивающий момент, возникающий от приводных электродвигателей, а также система адаптивной подвески, позволяющая контролировать угол положения центра масс системы «водитель – сиденье», а при перемещении по лестничному маршруту используется привод продольного перемещения. Конструкция механизма привода, система стабилизации являются новым техническим решением, не использовавшимся ранее.

Для проведения исследований работоспособности ходовой части (редуктор – привод и движитель) была разработана трехмерная модель конструкции в среде Solidworks [14]. Данная модель учитывает особенности компоновки транспортного средства, а также полностью соответствует его основным размерам. Исследования движения проводились в подсреде Solidworks Motion [15].

В рамках данных испытаний были сделаны следующие допущения: предполагалось, что система стабилизации была уже задействована – СТС находилось в состоянии равновесия; испытывалась работоспособность ходовой части СТС; движение системы рассматривалось как плоскопараллельное (без возможности поворота и ухода с курса). В рамках испытания СТС перемещалось по следующим основным видам поверхностей: наклонная, поверхность с единичным препятствием, ступенчатая поверхность.

Для испытаний в качестве наклонной поверхности (рис. 8) был принят уклон, равный 5° . Ходовая часть испытывалась в двух режимах: режим повышенной и пониженной передач. При данном испытании ходовая часть работала в максимально приближенных к реальным условиям. На 3-й секунде испытаний передача была переключена на повышающую. По результатам испытаний можно отметить, что по наклонной плоскости данное СТС может двигаться со скоростью 2,5 км/ч и 0,6 км/ч.



Рис. 8. Испытание СТС на наклонной поверхности

При испытании ходовой части для перемещения по препятствиям были использованы препятствия радиусом 50 мм (рис. 9). СТС преодолеvalo эти препятствия в двух режимах, после 1,7 с испытания режим был переключен с пониженной передачи на повышенную. Падение скорости на графиках соответствует преодолению ведущими колесами препятствий (рис. 10).

Исходя из полученных результатов, можно отметить, что СТС преодолело препятствие в двух режимах, но при повышенной передаче движение СТС было плавное, что говорит о том, что для перемещения по препятствиям рекомендуется использовать данную передачу, скорость движения при этом составляет 0,63 км/ч.

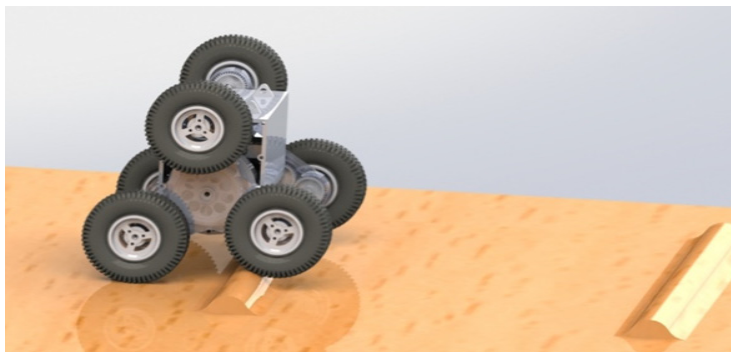


Рис. 9. Испытание СТС на поверхности с препятствиями

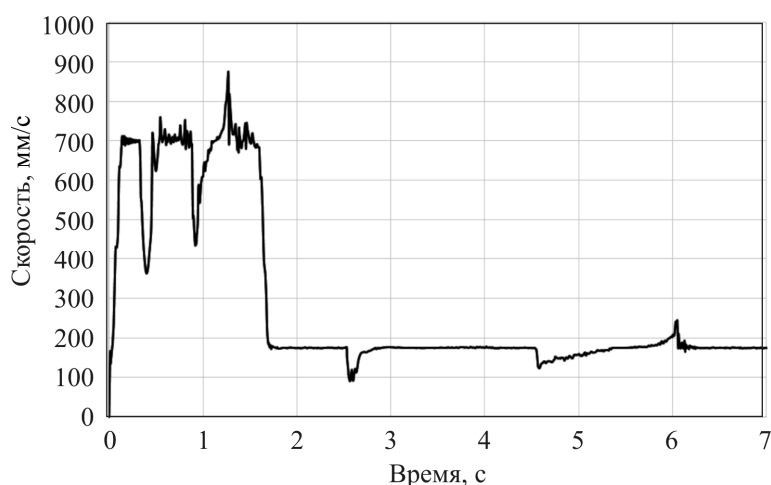


Рис. 10. Зависимость скорости движения СТС от времени при его перемещении по препятствиям

При испытании ходовой части для перемещения по ступенчатым поверхностям СТС перемещалось по ступеням, которые были смоделированы согласно ГОСТ 8717–2016 «Ступени бетонные и железобетонные. Технические условия» (рис. 11). СТС преодолевало эти ступени в режиме повышенной передачи с периодическим торможением колеса, упирающегося в ступень. На перемещение по трем ступеням было затрачено 10 с.

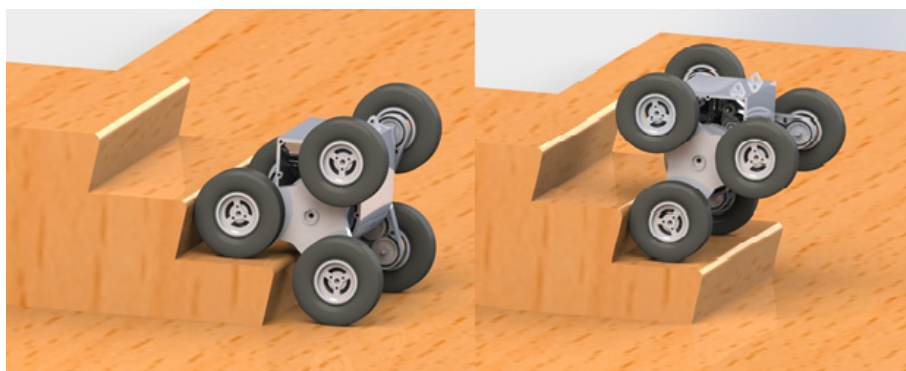


Рис. 11. Испытание СТС на ступенчатой поверхности

Стабилизация положения центра масс СТС в данном эксперименте не использовалась, по умолчанию корпус был параллелен горизонтальной поверхности пола. Средняя скорость перемещения по ступеням (рис. 12) составила 135 мм/с.

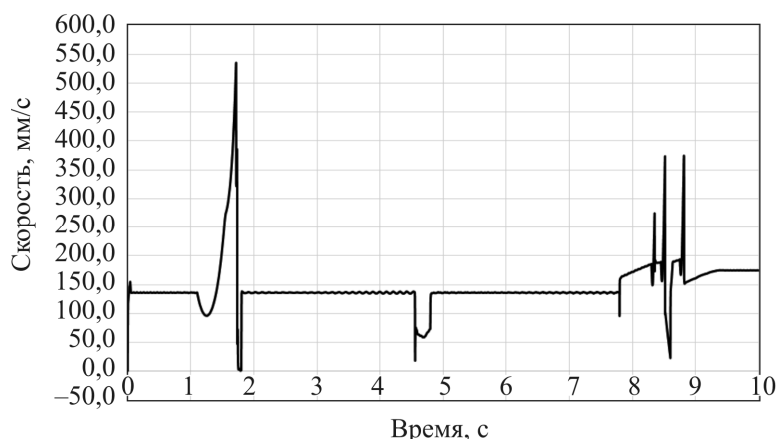


Рис. 12. Зависимость скорости движения СТС от времени при его перемещении по препятствиям

Выводы

Предлагается конструкция ходовой части транспортного средства, которая представляет собой комбинацию колесно-шагающего движителя с системой стабилизации без дополнительных опор, что позволяет повысить эффективность, уменьшить габариты и обеспечить большую универсальность.

Моделирование работы СТС в различных условиях движения подтвердило работоспособность ходовой части, в частности, возможность работы в шагающем режиме при преодолении ступеней.

Дальнейшая работа над предлагаемым СТС предполагает разработку системы стабилизации, моделирование работы СТС с системой стабилизации и возможное макетирование.

Список литературы

1. Проблемы инвалидов при передвижении на креслах-колясках в жилом помещении и объектах социальной инфраструктуры / О.Н. Владимирова, Т.Н. Шеломанова, И.Е. Македонова, М.В. Рохманова, О.А. Назаркина // Вестник Всероссийской гильдии протезистов-ортопедов. – 2012. – № 1–2 (47–48). – С. 54–57.
2. Способ самостоятельного перемещения человека на самоходной коляске по лестнице с поручнями / А.А. Красильщиков, А.Д. Самойлов, А.Г. Семенов, А.Д. Элизов // Безопасность жизнедеятельности. – 2010. – № 12. – С. 12–16.
3. Конева Т.Н. Окружающая среда в структуре качества жизни инвалидов-колясочников // Среднерусский вестник общественных наук. – 2018. – Т. 13, № 2. – С. 50–60.
4. Семикин С.Н. Современные малогабаритные транспортные средства реабилитации граждан с ограниченными физическими возможностями // Технология колесных и гусеничных машин. – 2012. – № 4. – С. 16–21.
5. Johannesen H.A.I. Patent U.S. 2,742,973. – 1956.
6. Cox K.R., Marquis C. Patent U.S. 6,484,289. – 2000.
7. Krasowski M., Greer L. Patent U.S. 9,726,268. – 2017.
8. Семенов А.Г., Элизов А.Д. Индивидуальный транспорт для лиц с нарушением опорно-двигательного аппарата: некоторые российские национальные особенности // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2015. – № 2. – С. 106–118.
9. Design and development of multi-purpose wheelchair for differently-abled person / S. Ganapathy, J. Charles, D. Magesh, M.M. Ashik, D. Monishraam, S. Anandan // Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR). – 2019. – Vol. 6. – P. 78–82. DOI: 10.6084/m9.jetir.JETIRDF06016
10. Муздыбаева А.С., Мырзабекова Д.М., Бтмбаев Э.Т. Разработка усовершенствованной конструкции колесного механизма транспортных колясок // Сб. науч. тр. № 8 кафедры «Орга-

низация перевозок и управление на транспорте» / ООО «Полиграфический центр КАН». – Омск, 2015. – С. 119–126.

11. Головин М.А., Жавнер В.Л. Вариант компоновки инвалидного кресла-коляски для перемещения по неровным поверхностям // Неделя науки СПбПУ: материалы науч. конф. с междунар. участием / С.-Петербург. политехн. ун-т Петра Великого. – СПб., 2017. – С. 11–14.

12. Tao W., Xu J., Liu T. Electric-powered wheelchair with stair-climbing ability // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. – 2017. – Vol. 1, no. 13. – P. 1–13. DOI: doi.org/10.1177/1729881417721436

13. Eduardo N., Rodriguez N. Advanced mechanics in robotic systems. – London: Springer-Verlag London Limited, 2011. – 110 p. DOI: 10.1007/978-0-85729-588-0

14. Ханов Г.В., Тодоров А.Н., Дятлов М.Н. Подготовка моделей механизмов в SolidWorks и их анализ средствами SolidWorks Motion. – Волгоград: Изд-во ВолГТУ, 2014. – 47 с.

15. Гузненков В.Н., Журбенко П.А., Бондарева Т.П. SolidWorks 2016. Трехмерное моделирование деталей и выполнение электронных чертежей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 128 с.

References

1. Vladimirova O.N., Shelomanova T.N., Makedonova I.E., Rokhmanova M.V., Nazarkina O.A. Problemy invalidov pri peredvizhenii na kreslakh-koliaskakh v zhilom pomeshchenii i ob'ektakh sotsial'noi infrastruktury [Problems invalid when moving on easy chair-sidercar in house and object of the social infrastructure]. *Vestnik Vserossiiskoi Gil'dii Protezistov-ortopedov*, 2012, no. 1–2 (47–48), pp. 54–57.

2. Krasilnikov A.A., Samoylov A.D., Semenov A.G., Elisov A.D. Sposob samostoiatel'nogo peremeshcheniia cheloveka na samokhodnoi koliaske po lestnitse s poruchnikami [Independent person moving by self-propelled carriage on hand-rail stair]. *Bezopasnost' Zhiznediel'nosti*, 2010, no. 12, pp. 12–16.

3. Koneva T.N. Okruzhaiushchaia sreda v strukture kachestva zhizni invalidov–koliasochnikov [Environment in the structure of life quality of disabled people]. *Srednerusskii Vestnik Obshchestvennykh Nauk*, 2018, vol. 13, no. 2, pp. 50–60.

4. Semikin S.N. Sovremennye malogabaritnye transportnye sredstva reabilitatsii grazhdan s ogranichenymi fizicheskimi vozmozhnostiami [Modern compact vehicles for rehabilitation of physically challenged citizens] *Tekhnologiya Kolesnykh i Gusenichnykh Mashin*, 2012, no. 4, pp. 16–21.

5. Johannesen H. A. I. Patent U.S. 2,742,973 (1956).

6. Cox K.R., Marquis C. Patent U.S. 6,484,289 (2000).

7. Krasowski M., Greer L. Patent U.S. 9,726,268. (2017).

8. Semenov A.G., Elizov A.D. Individual'nyi transport dlia lits s narusheniem oporno-dvigatel'nogo apparata: nekotorye rossiiskie natsional'nye osobennosti [Individual transport for persons with breach supporting-motor device: some russian national particularities]. *Transport. Transportnyye Sooruzheniya. Ekologiya*, 2015, no. 2, pp. 106–118.

9. Ganapathy S., Charles J., Magesh D., Ashik M.M., Monishraam D., Anandan S. Design and development of multi-purpose wheelchair for differently-abled person. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 2019, vol. 6, pp. 78–82. DOI: 10.6084/m9.jetir.JETIRDF06016

10. Muzdybaeva A.S., Myrzabekova D.M., Btmbaev E.T. Razrabotka usovershenstvovannoi konstruktssii kolesnogo mekhanizma transportnykh koliasok [Development of the improved design of the wheel mechanism of transport wheels]. *Sbornik Nauchnykh Trudov № 8 Kafedry "Organizatsiia Perevozok i Upravlenie na Transporte"*. ООО "Poligraficheskii tsentr KAN", Omsk, 2015, pp. 119–126.

11. Golovin M.A., Zhavner V.L. Variant kompanovki invalidnogo kresla-koliaski dlia peremeshcheniia po nerovnym poverkhnostiam [Wheelchair arrangement option for moving on urgent surfaces]. *Nedelia Nauki SPBPU: Materialy Nauchnoi Konferentsii s Mezhdunarodnym Uchastiem*. / FGAOUVO "Sankt-Peterburgskii politekhnicheskii universitet Petra Velikogo", Saint Petersburg, 2017, pp. 11–14.

12. Tao W., Xu J., Liu T. Electric-powered wheelchair with stair-climbing ability. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2017, vol. 1, no. 13, pp. 1–13. DOI: doi.org/10.1177/1729881417721436

13. Eduardo N., Rodriguez N. Advanced mechanics in robotic systems. London, Springer-Verlag London Limited, 2011, 110 p. DOI: 10.1007/978-0-85729-588-0

14. Khanov G.V., Todorev A.N., Diatlov M.N. Podgotovka modelei mekhanizmov v SolidWorks i ikh analiz sredstvami SolidWorks Motion. [Preparation of models of mechanisms in SolidWorks and their analysis of SolidWorks Motion tools]. Volgograd, VSTU, 2014, 47 p.

15. Guzenkov V.N., Zhurbenko P.A., Bondareva T.P., Solidworks 2016. Trekhmernoe modelirovanie detalei i vypolnenie elektronnykh chertezhei. [Solidworks 2016. 3D modeling of parts and execution of electronic drawings]. Moscow, Bauman Moscow State Technical University, 2017, 128 p.

Получено 04.10.2020

Об авторах

Потапов Павел Викторович (Волгоград, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортные машины и двигатели» Волгоградского государственного технического университета (400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, e-mail: paulflinx@gmail.com).

Шведуненко Александр Александрович (Волгоград, Россия) – студент кафедры «Транспортные машины и двигатели» Волгоградского государственного технического университета (400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, e-mail: sanya9105@list.ru).

About the authors

Pavel V. Potapov (Volgograd, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Vehicles and Engines, Volgograd State Technical University (28, Lenin av., Volgograd, 400005, Russian Federation, e-mail: paulflinx@gmail.com).

Aleksandr A. Shvedunenko (Volgograd, Russian Federation) – Student, Department of Vehicles and Engines, Volgograd State Technical University (28, Lenin av., Volgograd, 400005, Russian Federation, e-mail: sanya9105@list.ru).