

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ДВИЖИТЕЛЯ МОБИЛЬНОГО РОБОТА ДЛЯ УСЛОВИЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

К.Т.Н. Ципилев А.А.¹, К.Т.Н. Смирнов И.А.²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

²МВОКУ, Москва, Россия
alexts@bmstu.ru

Развитие техники и технологий дает возможность исключить непосредственную работу человека в опасных условиях, заменив ее на дистанционное управление роботизированными комплексами. При этом все большее распространение получают мобильные робототехнические комплексы (МРК) сверхлегкой весовой категории, имеющие массу до 30 кг. Ввиду их компактности и легкости переброски от одного объекта к другому они стали незаменимы в городской среде, например, при необходимости работ после техногенных аварий или терактов, для разминирования, устранения последствий выброса ядовитых веществ и т.д. Однако для сверхлегких МРК преодоление препятствий, встречающихся в городской среде и преодолеваемых с легкостью людьми или более крупной техникой, может стать непреодолимой задачей. В связи с этим актуальным вопросом является выбор рациональных конструктивных параметров движителя.

Настоящая статья посвящена исследованию МРК с изменяемой геометрией движителя в условиях преодоления типовых городских препятствий – бордюров и лестниц. В начале статьи описаны условия движения и приведена классификация городских препятствий по причинам их возникновения и сложности преодоления. Далее в статье представлены варианты движителей, применяемых в МРК сверхлегкой весовой категории, и проведен анализ движителя, наиболее подходящего для городских условий, а также приведены требования к размерам ходовой части МРК. В основной части статьи проведено исследование динамики движения МРК массой 25 кг в программном комплексе «Универсальный механизм» для условий преодоления вертикальной ступени высотой 0,11 м (как типового примера въезда на бордюр) и лестницы с числом ступеней, равным пяти, и размерами одной ступени 0,330х0,145 м. По итогам моделирования сформированы выводы и показана связь между регистрируемыми перегрузками, действующими на корпус МРК, и линейными размерами ходовой части МРК.

Ключевые слова: имитационное математическое моделирование, динамическая модель, мобильный робот, гусеничный движитель, универсальный механизм.

Введение

Развитие техники и технологий дает возможность исключить непосредственную работу человека в опасных условиях, заменив ее на дистанционное управление роботизированными комплексами. При этом все большее распространение получают МРК сверхлегкой весовой категории, имеющие массу до 30 кг. Ввиду их компактности и легкости переброски от одного объекта к другому они стали незаменимы в городской среде, например, при необходимости работ после техногенных аварий или терактов, для разминирования, устранения последствий выброса ядовитых веществ и т.д. Однако для сверхлегких МРК преодоление препятствий, встречающихся в городской

среде и преодолеваемых с легкостью людьми или более крупной техникой, может стать непреодолимой задачей. В связи с этим актуальным вопросом является выбор типа движителя и его рациональных конструктивных параметров. В настоящей статье была создана динамическая модель МРК с параметризованной ходовой частью и исследовано движение различных вариантов МРК по типовым препятствиям – ступени и лестнице.

Классификация городских препятствий

МРК сверхлегкого класса, предназначенные для работ в условиях городской среды, встречаются с двумя типами препятствий: естествен-

ными и искусственными. Под препятствием подразумевается любой статический или движущийся объект, препятствующий заданному движению [1].

Первый тип препятствий может включать в себя как естественные неровности местности (особенности ландшафта), так и элементы флоры и фауны, встречающиеся на заданной местности, как то: кустарники, деревья, высокая трава, животные, птицы и т.п.

К искусственным препятствиям можно отнести объекты техногенного происхождения: стены, ступени, столбы и опоры, разделительные барьеры, транспорт и т.д. Искусственные препятствия, встречающиеся в городской среде, можно разделить на подвижные и неподвижные. Их также можно разделить на две категории: случайные и неслучайные.

Под случайными препятствиями следует понимать препятствия, не являющиеся продуктом целенаправленного труда человека. Например, крупный мусор, обломки зданий, образовавшиеся в результате аварии или взрыва, являются случайными препятствиями. Неслучайные препятствия сформированы целенаправленным трудом человека для обеспечения определенной функции. К ним можно отнести лестницы, пандусы, бордюры и разделительные ограждения, разделяющие части дорог, двери, столбы и опоры, стены и т.д. Часть из этих препятствий может быть преодолена, другая же (например, стена) объективно непреодолима.

Особенность случайных препятствий заключается в невозможности предсказания их характеристик, частоты появления (в особенности при движении в зданиях) и, как следствие, возможности преодоления. В свою очередь, параметры, расположение и количество неслучайных препятствий известны заранее, что позволяет оператору выбрать наиболее рациональный маршрут движения с проработкой альтернативных вариантов.

Типы и требования к движителям мобильных роботов

Робототехнические системы (РТС) могут иметь как активный (работающий в ведущем режиме), так и пассивный (работающий в ведомом режиме) движитель [2]. Вне зависимости от способа обеспечения движения, движители можно классифицировать также по внешнему облику: колесные, гусеничные, шнековые, ры-

чажные, водометные, комбинированные и т.д. Кроме этого, разделяют также симметричное и несимметричное расположение движителей относительно продольной или поперечной оси робота. Существует также деление по количеству движителей (например, двух-, трех-, четырехколесные или -гусеничные, и т.д.) Кроме этого, для колесных движителей существует классификация по схеме расположения (колесной формуле): 4Ч2, 4Ч2, 6Ч4, 6Ч6, 8Ч8 и т.д, а также по конструкции колеса (с резиновыми шинами или металлоупругими колесами).

Необходимо также учитывать и возможность адаптации движителя к опорной поверхности. На основании этой классификации движители делят на адаптируемые и неадаптируемые.

Значительное конструктивное разнообразие движителей вызвано, очевидно, различными условиями работы РТС. Например, для движения по грунтам других планет движители должны быть максимально легкими, а система подпрессоривания, по возможности, должна быть интегрирована в движитель. Для таких условий подходят металлоупругие колеса с индивидуальным приводом. Для движения под водой рациональным будет винтовой или водометный движитель, обладающий коррозионной стойкостью.

Анализируя возможные условия движения РТС, можно составить список основных требований к движителям:

- создание системы внешних сил для перемещения МР в широком диапазоне условий взаимодействия движителя с поверхностью движения;
- обеспечение высокой проходимости при преодолении искусственных и естественных препятствий;
- высокий коэффициент полезного действия;
- малый вес и габариты при необходимой прочности, долговечности и надежности;
- простота, технологичность конструкции, удобство обслуживания и ремонта в полевых условиях, минимум регулировок и эксплуатационного обслуживания;
- достаточная долговечность.

Для движения в городских условиях к движителям МРК предъявляются дополнительные требования, обусловленные особенностями окружающей среды. Наиболее часто встречающимся чисто городским препятствием являются разного рода ступени, как в виде единичных

неровностей (крышки люков, перепады высот между проезжей частью и тротуаром, между тротуаром и газоном и т.д.), так и в виде серии (лестницы, эскалаторы и т.д.). Наиболее высокой единичной неровностью является бордюр. Согласно ГОСТ Р 52767-2007 [3], высота бордюра должна составлять в любой его точке не более 10 ± 1 см. Таким образом, МРК должен иметь возможность преодоления внезапного подъема или спуска с перепадом высоты не менее 0,110 м.

Несколько сложнее сформулировать требования по преодолению лестничных пролетов, поскольку размеры ступеней и их форма могут сильно различаться: это как стандартные пролеты, так и эскалаторы, и самодельные конструкции. Очевидно, тем не менее, что МРК должен иметь возможность преодоления, по возможности, всех препятствий подобного рода. Анализ нормативной базы [4–7] по размерам лестничных пролетов и конструкции эскалаторов показывает, что определяющим фактором является ширина ступени, напрямую влияющая на предельную ширину МРК, и, как следствие, на его колею и базу из условия поворачиваемости. Номинальная ширина полотна эскалатора не должна быть меньше 0,58 м, то есть с учетом допустимых зазоров предельная ширина МРК должна быть не более 0,52 м. Существующие конструкции МРК схожих размеров и массы имеют ширину гусеницы 0,05...0,070 м. Таким образом, колея будет составлять 0,47...0,45 м.

Размеры ступеней определяют требования к длине опорной поверхности (базе). Для стандартных лестничных пролетов по ГОСТ 8717.1-84 [7] размер ступени может принимать значения 330×145 мм либо 290×168 мм. Расстояние между кромками ступеней равно 360 мм и 335 мм соответственно. Размеры ступеней лестничного полотна эскалатора не должны превышать 0,24 м в высоту и 0,38 м в длину [5], что соответствует 0,45 м между кромками.

Для эффективного преодоления ступеней эскалатора, таким образом, необходимо обеспечить либо радиус ведущего колеса (в основном для колесных движителей), больший высоты ступени, либо базу, большую удвоенного расстояния между ступенями (в основном, гусеничный движитель). Для шагающих, колесно-шагающих, движителей типа террастар и прочих требования будут определяться иначе.

Увеличение радиуса ведущего колеса нецелесообразно, а зачастую и невозможно по компоновочным соображениям. Рационально применение гусеничного движителя. Для него характерен бортовой поворот, а соотношение базы и колеи, обеспечивающее устойчивое прямолинейное движение и возможность осуществления разворота и поворота, составляет 1,5...2,5 [8]. Тогда общая длина опорной поверхности МРК составит 0,675...1,175 м. Удвоенное расстояние между ступенями лестницы и полотна эскалатора находится в этом диапазоне. Поскольку МРК должен выполнять работу не только на улице, но и в помещениях, его полная длина должна определяться не только условиями поворачиваемости, но и возможностью развернуться в помещении. Согласно [9], минимальная ширина прохода к одиночному рабочему месту должна составлять не менее 0,7 м. Общая длина МРК, таким образом, не должна превышать 0,7 м.

Выбор конструкции гусеничного движителя

Наиболее распространенной конструкцией гусеничного движителя является двухгусеничная схема. По ней построено большинство современных и классических машин, как отечественных, так и зарубежных. На рис. 1 представлены примеры МРК с таким движителем.

Другой вариант, характерный для гусеничных МРК с массой до 250 кг, – гусеничный движитель изменяемой геометрии. При этом встречаются как двухгусеничные (рис. 2), так и четырех- (рис. 3, а) и шестигусеничные (рис. 3, б) варианты. Четырех- и шестигусеничные варианты наиболее интересны, поскольку дают широкие возможности по преодолению препятствий, в том числе путем изменения клиренса.

В связи с этим, а также в соответствии с вышеизложенными требованиями целесообразно выбрать шестигусеничную схему, для которой есть возможность сложить дополнительные гусеничные модули – флипперы так, чтобы они не выходили за габарит основной гусеницы.

Исследование движения МРК с различными конфигурациями движителя

Для исследования процессов взаимодействия движителя МРК с опорным основанием при преодолении единичных неровностей и лестничных маршей, а также при движении



Рис. 1. Конструкции двухгусеничных МРК:

а – самоходная мина «Голиаф» (Германия, 1942 – 1944 гг.); *б* – МРК «Уран-9» (Россия);
в – Gladiator TUDV (США); *г* – МРК SWORDS (США)

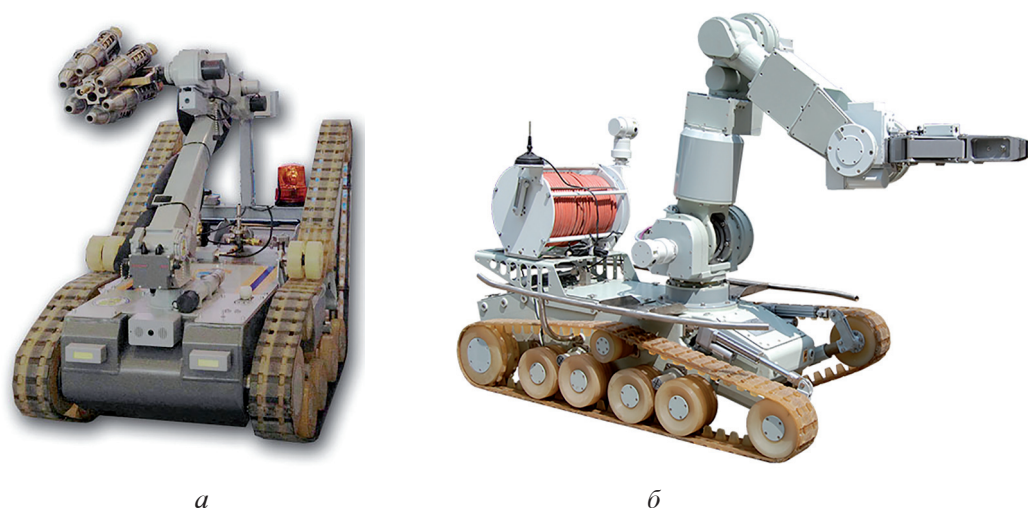


Рис. 2. Конструкции двухгусеничных МРК с изменяемой геометрией:

а – МРК-ВТ-1 (Россия); *б* – МРК-28 (Россия)



a



б

Рис. 3. МРК с изменяемой геометрией движителя:
a – iRobot Warrior (США); *б* – iRobot Flir Packbot (США)

по эскалатору была создана параметризованная динамическая модель в среде «Универсальный Механизм» версии 8.0 (академическая лицензия). Исходными данными для динамической модели послужили приблизительные массогабаритные характеристики МРК (табл. 1).

На рис. 4 представлена визуализация динамической модели МРК.

В целях увеличения скорости счета для случая преодоления единичной неровности использовалась динамическая модель МРК, включающая в себя только два передних флиппера. При моделировании движения по лестнице рассматривались все флипперы. Длины флипперов варьировались с шагом 0,05 м и составляли, таким образом, 0,20 м (МРК 1), 0,25 м (МРК 2) и 0,30 м (МРК 3).

Для этих вариантов производились следующие численные эксперименты:

– преодоление единичной неровности, передние флипперы повернуты на заданный угол, скорость движения – 1 м/с (Эксперимент 1);

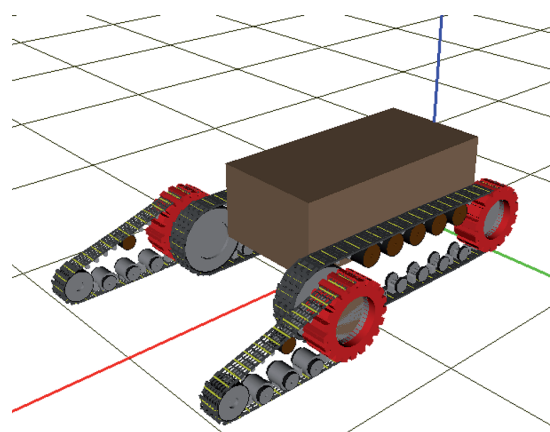


Рис. 4. Визуализация динамической модели МРК

– подъем по лестнице (лестничный пролет со ступенями 330×145 мм, пять ступеней), передние флипперы повернуты на заданный угол, скорость движения – 0,5 м/с (Эксперимент 2).

В процессе моделирования регистрировались время прохождения препятствия t

Таблица 1

Массогабаритные характеристики МРК

Наименование параметра	Значение
Масса корпуса МРК, кг	40
Размеры корпуса МРК, Длина / Ширина / Высота, м	0,5 (0,7) / 0,4 / 0,2
Длина основной опорной поверхности, м	0,5
Длина опорной поверхности флиппера, м	0,2 ... 0,3
Радиус ведущей звездочки, м	0,091
Радиус основного ленивца, м	0,091
Число опорных катков	6...7 (3 для флипперов)
Радиус опорного катка, м	0,02
Радиус ленивца флиппера, м	0,03
Ширина основной гусеницы, м	0,07
Ширина гусеницы флиппера, м	0,05

(при углах поворота флипперов α в диапазоне от 20 до 35 град) и вертикальные ускорения центра масс корпуса (предполагается, что он расположен в середине опорной поверхности) $\ddot{z}$. Время преодоления препятствия регистрировалось посредством анализа записи координаты вертикального перемещения центра масс динамической модели МРК.

На рис. 5–7 представлены совмещенные результаты преодоления МРК единичной неровности (вертикальные координаты центра масс), а в табл. 2 – числовые значения ускорений и времени преодоления.

В табл. 3 представлены результаты преодоления лестничного пролета.

Их анализ позволяет сделать следующие выводы:

1) При длине опорной поверхности с передним флиппером более 0,63 м задние флипперы не играют существенной роли при преодолении лестничного марша.

2) Время преодоления лестничного пролета напрямую зависит от качества контакта переднего флиппера с первой ступенью лестницы.

3) С целью минимизации вертикальных ускорений угол наклона флипперов при подъезде к первой ступени желательно выбирать такой, чтобы контакт с ребром происходил близко к нижней части ленивца.

4) Преодоление единичной неровности высотой 0,1 м осуществляется МРК всех конфигураций приблизительно с одинаковой скоростью.

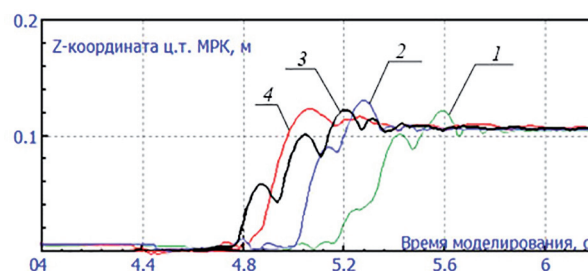


Рис. 5. Записи вертикальной координаты центра масс МРК 1:

1 – $\alpha = 20^\circ$; 2 – $\alpha = 30^\circ$; 3 – $\alpha = 35^\circ$; 4 – $\alpha = 25^\circ$

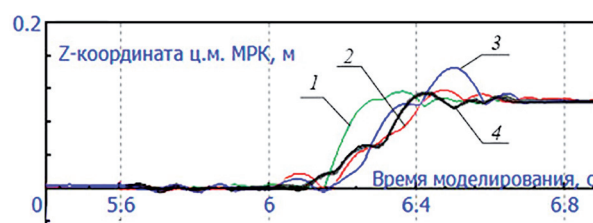


Рис. 6. Записи вертикальной координаты центра масс МРК 2:

1 – $\alpha = 20^\circ$; 2 – $\alpha = 25^\circ$; 3 – $\alpha = 30^\circ$; 4 – $\alpha = 35^\circ$

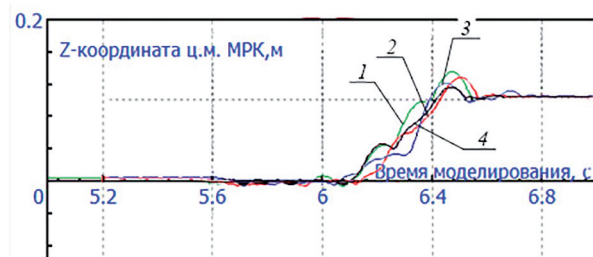


Рис. 7. Записи вертикальной координаты центра масс МРК 3:

1 – $\alpha = 20^\circ$; 2 – $\alpha = 25^\circ$; 3 – $\alpha = 30^\circ$; 4 – $\alpha = 35^\circ$

Таблица 2

Результаты преодоления единичной неровности

α , град	МРК 1		МРК 2		МРК 3	
	t , с	$\ddot{z}$, м/с ²	t , с	$\ddot{z}$, м/с ²	t , с	$\ddot{z}$, м/с ²
20	1,28	96	0,80	135	0,96	200
25	0,80	140	0,92	80	0,96	120
30	0,96	150	0,96	190	0,96	120
35	0,84	105	0,90	140		95

Таблица 3

Результаты преодоления лестничного пролета

α , град	МРК 1		МРК 2		МРК 3	
	t , с	$\ddot{z}$, м/с ²	t , с	$\ddot{z}$, м/с ²	t , с	$\ddot{z}$, м/с ²
30	5,4	50 / 105	6,0	45 / 76	5,0	50 / 140
35	5,2	35 / 55	6,0	45 / 135	5,2	60 / 200

Примечание: в числителе общий уровень ускорений, в знаменателе – пиковое значение.

5) При контакте ленивца со «стенкой» неровности время преодоления увеличивается, так как возникает значительное буксование при попытке взобраться на препятствие.

6) Скорость перемотки флипперов ниже, чем у основной гусеницы, так как они приводятся в движение за счет гусеницы, вращающей ленивец основного движителя.

7) Из-за отсутствия системы поддрессовывания значения вертикальных ускорений при преодолении единичной неровности достигают весьма высоких значений – до 15g при неблагоприятно повернутых флипперах.

8) Наименьшие ускорения при приемлемой скорости показывает конфигурация МРК 2 – преодоление ступени при $\alpha = 25^\circ$ сопровождается вертикальными ускорениями 8g, преодоление лестницы с $\alpha = 30^\circ$ – не более 7,6g, а общим уровнем в пределах 4,5g.

Таким образом, наиболее рациональной является конфигурация движителя у МРК 2.

Выводы

По результатам проведенного исследования получены основные требования к движителю МРК с изменяемой геометрией, представлено обоснование выбора его конструктивных параметров. Путем проведенного динамического моделирования показано, что наиболее рациональными размерами движителя являются следующие: длина основной опорной поверхности – 0,5 м, длина опорной поверхности одного флиппера – 0,25 м. Наиболее рациональный угол наклона флиппера для преодоления порогового препятствия – 25° , для преодоления лестничного марша – 30° . В этом случае вертикальные ускорения, действующие на корпус, минимальны, а время преодоления препятствия остается практически неизменным.

Литература

- ГОСТ Р ИСО 8373-2014 Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200118297> (дата обращения: 20.12.2019).
- Корсунский В.А., Машков К.Ю., Наумов В.Н. Выбор критериев и классификация мобильных робототехнических систем на колесном и гусеничном ходу. Учеб. пособие. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 45 с. ISBN 978-5-7038-3881-5. URL: <http://www.studentlibrary.ru/>

book/ISBN9785703838815.html (дата обращения: 20.12.2019). Режим доступа: по подписке.

- ГОСТ Р 52767-2007 Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Методы определения параметров // Библиотека ГОСТов и нормативных документов. URL: http://libgost.ru/gost/gost_r/59697-Tekst_GOST_R_52767_2007_Dorogi_avtomobil_nye_obshego_pol_zovaniya_Elementy_obustroystva_Metody_opredeleniya_parametrov.html (дата обращения: 20.12.2019).
- ГОСТ 9818-2015 Марши и площадки лестниц железобетонные. Общие технические условия // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200122888> (дата обращения: 20.12.2019).
- ГОСТ 33966.1-2016 Эскалаторы и пассажирские конвейеры. Требования безопасности к устройству и установке // Юридическая фирма «Интернет и право». URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/64121/> (дата обращения: 20.12.2019).
- EN 115-1:2008+A1:2010. CEN/TC 10 – Lifts, escalators and moving walks // European Committee for Standardization. URL: https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204%3A110%3A0%3A%3A%3A%3AFSP_PROJECT%2CFSP_ORG_ID%3A34762%2C5994&cs=17FD8C-FAC13255EC74B943CFF597E2467 (дата обращения: 20.12.2019).
- ГОСТ 8717.1-84 Ступени железобетонные и бетонные // Юридическая фирма «Интернет и право». URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/12796/> (дата обращения: 20.12.2019).
- Забавников Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин. М., «Машиностроение», 1975. 448 с.
- СП 1.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы (с Изменением № 1). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071143> (дата обращения: 18.03.2020).

References

- GOST R ISO 8373-2014 Robots and robotic devices. Terms and definitions.* Electronic Fund of Legal and Technical Documentation. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200118297> (accessed: 20.12.2019).
- Korsunskiy V.A., Mashkov K.Yu., Naumov V.N. *Vybor kriteriyev i klassifikatsiya mobil'nykh robototekhnicheskikh sistem na kolesnom i gusenichnom khodu. Ucheb. posobiye* [Choice of criteria and classification of wheeled and tracked mobile

- robotic systems. Textbook]. Moscow: Izdatel'stvo MGTU im. N. E. Bauman Publ., 2014. 45 p. ISBN 978-5-7038-3881-5. URL: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703838815.html> (accessed: 20.12.2019). Rezhim dostupa : po podpiske.
3. *GOST R 52767-2007* Automobile roads. Elements of arrangement. Parameter definition methods. Biblioteka GOSTov i normativnykh dokumentov. URL: http://libgost.ru/gost/gost_r/59697-Tekst_GOST_R_52767_2007_Dorogi_avtomobil_nye_obshego_pol_zovaniya_Elementy_obustroystva_Metody_opredeleniya_parametrov.html (accessed: 20.12.2019).
 4. *GOST 9818-2015* Reinforced-concrete staircases and landings. General specifications. Elektronnyy fond pravovoy i normativno-tekhnicheskoy dokumentatsii. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200122888> (accessed: 20.12.2019).
 5. *GOST 33966.1-2016* Escalators and passenger conveyors. Security requirements for the device and installation. Yuridicheskaya firma «Internet i pravO». URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/64121/> (accessed: 20.12.2019).
 6. EN 115-1:2008+A1:2010. CEN/TC 10 – Lifts, escalators and moving walks. European Committee for Standardization. URL: https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204%3A110%3A0%3A%3A%3AF-SP_PROJECT%2CFSP_ORG_ID%3A34762%2C5994&cs=17FD8CFAC13255EC74B-943CFF597E2467 (accessed: 20.12.2019).
 7. *GOST 8717.1-84* Reinforced concrete and concrete steps. Yuridicheskaya firma «Internet i pravO». URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/12796/> (accessed: 20.12.2019).
 8. Zabavnikov N.A. *Osnovy teorii transportnykh gusenichnykh mashin* [Fundamentals of the theory of transport tracked vehicles]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1975. 448 p.
 9. *SP 1.13130.2009* Fire protection systems. Evacuation routes and exits (s Izmeneniyem № 1). URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071143> (accessed: 18.03.2020).

THE CHOICE OF THE RATIONAL DESIGN OF THE MOBILE ROBOT MOVER FOR URBAN ENVIRONMENT

PhD in Engineering **A.A. Tsipilev**¹, PhD in Engineering **I.A. Smirnov**²

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

²Moscow Higher Combined Arms Command School (MVOKU), Moscow, Russia
alexts@bmstu.ru

The development of engineering and technology makes it possible to exclude direct human work in hazardous conditions, replacing it with remote control of robotic complexes. Moreover, mobile robotic systems (MRS) of the ultralight weight category, weighing up to 30 kg, are becoming more widespread. Due to their compactness and ease of transfer from one facility to another, they have become indispensable in the urban environment, for example, when it is necessary to work after man-made accidents or terrorist attacks, for mine clearance, to eliminate the consequences of the release of toxic substances, etc. However, for ultralight MRS the process of overcoming obstacles, encountered in an urban environment and easily overcome by people or larger machinery, can be an insurmountable task. In this regard, an urgent issue is the choice of rational design parameters of the mover.

This article is devoted to the study of MRS with variable mover geometry in overcoming typical urban obstacles – curbs and stairs. At the beginning of the article, traffic conditions are described and a classification of city obstacles is given for the reasons for their occurrence and the difficulty to overcome. Further, the article presents the options for mover used in super-light weight category of MRS. The analysis of mover, that is more suitable for urban conditions and requirements for the dimensions of the chassis of MRS are given. In the main part of the article, a study of the dynamics of the movement of MRS weighing 25 kg in the “Universal Mechanism” software for overcoming a vertical step of 0,11 m high (as a typical example of entering a curb) and a staircase with five steps and dimensions for one step are 0,330x0,145 m is presented. Based on the results of the simulation, the conclusions were drawn and the relationship between the recorded overloads acting on the MRS body and the linear dimensions of MRS chassis were shown.

Keywords: simulation mathematical modeling, dynamic model, mobile robot, caterpillar mover, universal mechanism.