

Анализ устойчивости шасси роботизированного комплекса аварийно-спасательного назначения

02, июнь 2019

Данилова А.И., Пузанов А.В.

УДК 62-5

Россия, ОАО "Специальное конструкторское бюро приборостроения и автоматики"

avp@oao-skbpa.ru

Аннотация: Робототехнический комплекс (РТК) аварийно-спасательного назначения предназначен для разрушения железобетонных конструкций и разбора завалов от техногенных аварий или природных катаклизмов. Устойчивость к опрокидыванию шасси исследуемого РТК определяется местоположением бойка гидромолота относительно опорной поверхности, углом наклона шасси относительно горизонта, направлением, силой и темпом ударного воздействия, свойствами сопряженных поверхностей гусеницы и грунта, а также наличием жидкости, грязи, льда. Целью проведения исследований является повышение устойчивости платформы робототехнического комплекса аварийно-спасательного назначения, для этого определяются матрицы устойчивого состояния РТК в пространстве и соответствующие им параметры ударного воздействия (сила и темп). В процессе моделирования варьировались сила, темп, точки и направления воздействий (относительно опорной поверхности и шасси РТК), материалы контактирующих поверхностей гусеницы и грунта. Полученные результаты использованы для настройки силы и темпа работы гидромолота в зависимости от поворота платформы, вылета гидромолота; для настройки демпфирования подвески; для управления продольным движением с целью компенсации поперечного смещения.

Ключевые слова: мобильный робототехнический комплекс, устойчивость к опрокидыванию, моделирование.

Analysis of the stability of the chassis of the robotic rescue complex

Puzanov A. V, Danilova A.I.

Russia, OJSC "Special Design Bureau for Instrument Engineering and Automation"

avp@oao-skbpa.ru

Abstract: The robotic complex (RC) of emergency and rescue purposes is intended for the destruction of reinforced concrete structures and removal of debris from technogenic accidents or natural cataclysms. Resistance to tipping the chassis of the investigated RC is determined by the

location of the hydrohammer relative to the basic surface, the angle of the chassis relative to the horizon, the direction, strength and rate of impact, the properties of the mating surfaces of the track and the ground, as well as the presence of liquid, mud, ice. The purpose of the research is to increase the stability of the platform of the robotic complex of emergency rescue purposes, for this purpose, the RC steady state matrices in space and the corresponding impact parameters (force and speed) are determined. In the process of modeling, the force, speed, points and directions of impacts (relative to the reference surface and the chassis of the RC), materials of the contacting surfaces of the caterpillar and the soil varied. The results obtained are used to adjust the force and rate of operation of the hydraulic hammer, depending on the rotation of the platform, the departure of the hydraulic hammer; to adjust the suspension damping; to control the longitudinal movement to compensate for lateral displacement.

Keywords: mobile robotic complex, rollover resistance, modeling.

Введение

Устойчивость при воздействии различных механических возмущений является одним из основных эксплуатационных свойств наземных транспортных средств (ТС). Устойчивостью ТС принято называть свойство, характеризующее способность сохранять параметры положения и движения после прекращения действия возмущающих сил, стремящихся изменить эти параметры. То есть под устойчивостью понимают способность транспортного средства преодолевать криволинейные участки дорог, располагаться на косогорах и двигаться по ним и пересеченной местности без опрокидывания и бокового скольжения (заноса) всех движителей или одной из осей, в том числе при действии внешних воздействий механических или климатических [1].

Повышение возможностей современных гусеничных машин и обеспечение конкурентоспособности на мировом рынке спецтехники невозможно без обеспечения основных требований к автоматическим системам машин [2, 3]:

- повышение безопасности и улучшение условий работы оператора, снижение нагрузки на него;
- диагностируемость и прогнозирование остаточного ресурса;
- упрощение операций по техническому обслуживанию и ремонту;
- снижение стоимости разработки, производства и эксплуатации.

В процессе проектирования транспортного средства важно иметь теоретическую предварительную оценку его продольной и поперечной устойчивости. При нарушении продольной устойчивости автомобиль может опрокинуться относительно оси передних или задних колёс, а также скользить в продольном направлении. В условиях эксплуатации чаще происходит нарушение поперечной устойчивости автомобиля (занос, опрокидывание), которое более опасно, чем нарушение продольной устойчивости [4].

К фундаментальным вопросам при рассмотрении вопроса в направлении повышения устойчивости транспортных средств относятся основы статической и динамической поперечной устойчивости специальных транспортных средств (СТС) как одного из эксплуатационных свойств, необходимого при анализе и оценке качественных и количественных характеристик транспортного средства в процессе проектирования [5].

Следует отметить, что на устойчивость и плавность хода влияют качества подвески. Назначение подвески заключается в передаче и распределении веса транспортного средства между движителями, в передаче сил и моментов, действующих на привод и корпус (раму), в смягчении динамических нагрузок и в придании колебаниям корпуса желательного характера [5, 6].

Поскольку современные системы управления работой навесного оборудования позволяют подстраивать величину и характер работы в зависимости от его положения, направления и иных условий эксплуатации, определение области точек устойчивого состояния робототехнической платформы от указанных воздействий является необходимым условием ее нормального функционирования.

Робототехнический комплекс (РТК) аварийно-спасательного назначения предназначен для разрушения железобетонных конструкций и разбора завалов от техногенных аварий или природных катаклизмов. Робототехнический аварийно-спасательный комплекс оснащен гидромолотом с переменной силой и темпом ударного воздействия (рисунок 1).

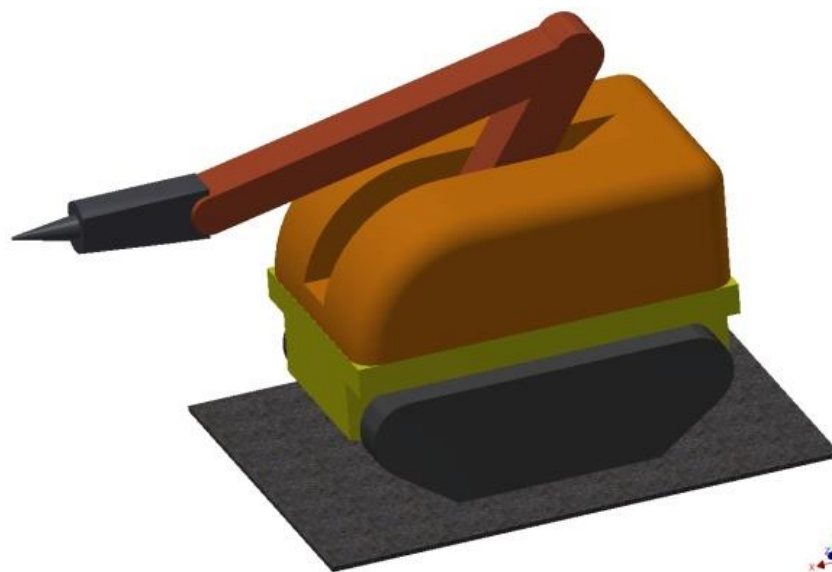


Рис. 1. Внешний вид РТК аварийно-спасательного назначения

Устойчивость к опрокидыванию шасси РТК определяется местоположением бойка гидромолота относительно опорной поверхности, углом наклона шасси относительно горизонта, направлением, силой и темпом ударного воздействия, свойствами сопряженных поверхностей гусеницы и грунта, а также наличием жидкости, грязи, льда. При нарушении устойчивости РТК может опрокинуться, так же возможно реверсивное скольжение в продольном и поперечном направлении.

Для предотвращения опрокидыванию и повышения устойчивости подобных устройств применяются выдвижные опоры [7], однако для обработки (как правило) протяженных поверхностей завалов для подобных процедур необходимо дополнительное время, а также больше места и достаточно ровная площадка. Что в условиях ликвидации аварий не всегда возможно. Кроме этого, выдвижные опоры и их сопутствующее оборудование увеличивают габариты и массу РТК, что негативно отражается на возможностях транспортировки к месту аварии и его мобильности.

1. Подготовка модели и порядок выполнения исследований

Целью проведения исследований является повышение устойчивости платформы робототехнического комплекса аварийно-спасательного назначения, для этого определяются матрицы устойчивого состояния РТК в пространстве и соответствующие им параметры ударного воздействия (сила и темп).

Исходные данные для расчета шасси на устойчивость:

- 3D геометрия РТК;
- положение центра масс РТК;
- усилия реакции от ударного воздействия гидромолота (сила и темп);
- точки приложения нагрузки (относительно шасси РТК);
- положение опорной поверхности относительно горизонта;
- свойства опорной поверхности: коэффициент трения, коэффициент податливости (упругости).

Модель анализа устойчивости

Расчет производился в программном комплексе MSC.visualNastran 4D.

На рисунке 2 представлена 3D геометрия платформы с положением точки приложения нагрузки и центра масс, а также направление глобальных осей координат x, y, z.

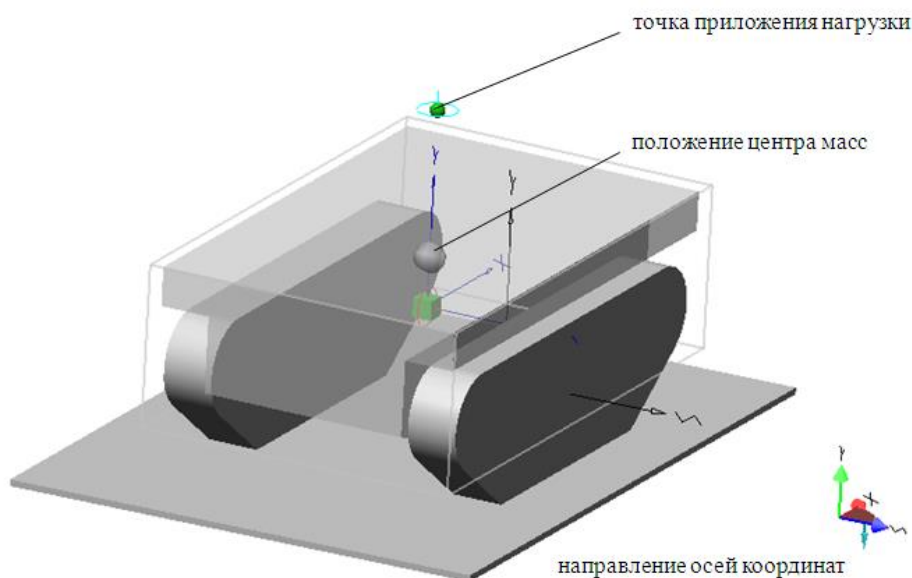


Рис. 2. 3D геометрия платформы

Допущения модели: Демпфирование в механических элементах шасси, автоколебательные процессы, а также продавливание поверхности грунта, уменьшающие степень воздействия импульсов платформу, не учитывались. Характеристика силы отдачи ударного воздействия принята абсолютно жесткой.

Порядок выполнения работы

В работе проведено моделирование устойчивости платформы при изменении точки приложения нагрузки (реакции удара) по осям x , y , z относительно штатного положения (абсолютные координаты [0;602;0]).

Общее время моделирования определяется по стабилизации (повторяемости) положения шасси – обычно около 2с. (4-7 ударов).

В данном примере (рисунок 3) усилие отдачи ударного воздействия 10 000 Н, темп 2,5 уд/сек, длительность воздействия 0,1 с.

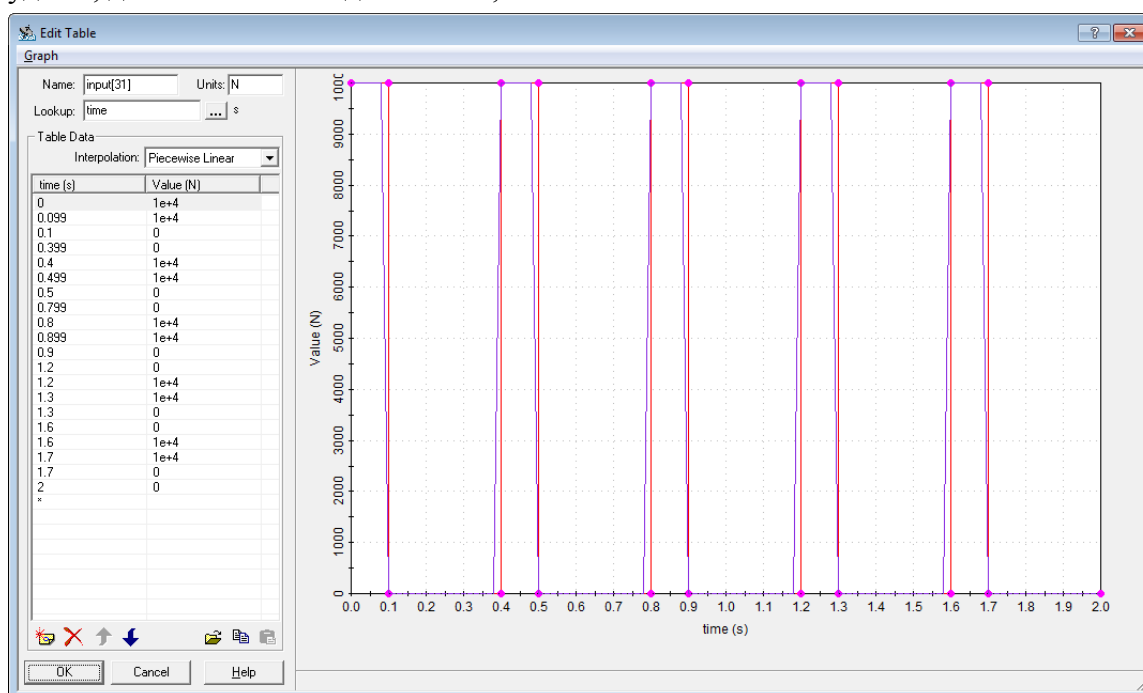


Рис. 3. График силового воздействия на шасси

2. Результаты моделирования

В процессе модельных исследований варьировались сила, темп, точки и направления воздействий (относительно опорной поверхности и шасси РТК), материалы контактирующих поверхностей гусеницы и грунта.

Графики зависимости угла опрокидывания и смещения от положения точки и направления удара бойка относительно шасси РТК приведены на рисунке 4. В данном случае проводилось моделирование устойчивости платформы при изменении точки приложения нагрузки по оси y относительно штатного положения. Рассматривались варианты опрокидывания и смещения в диапазоне значений ± 500 мм относительно штатного положения. Аналогично для воздействия при смещении точки удара по оси x .

В процессе расчетов учитывалось изменение центра масс РТК с изменением положения штанги с гидромолотом.

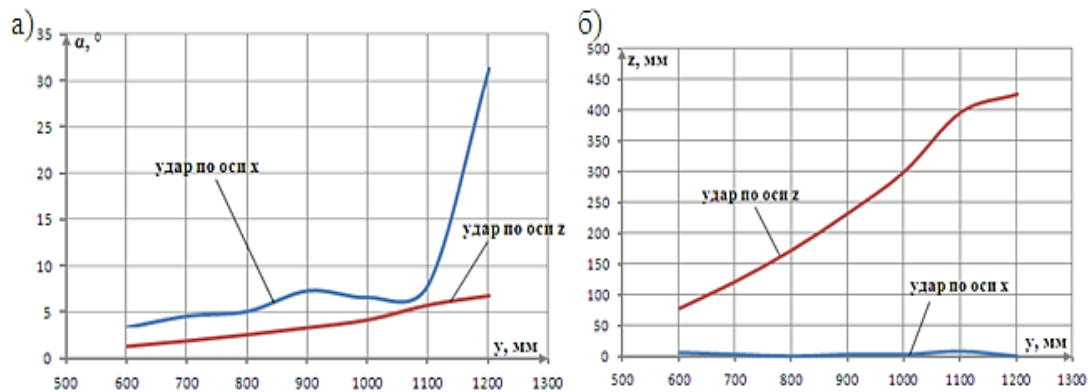


Рис. 4. Зависимость угла опрокидывания (а) и смещения (б) платформы от направления и смещения точки воздействия.

Из приведенных графиков видно, что при увеличении смещения координаты расположения точки приложения силы (y , мм), увеличивается угол опрокидывания (α , град.) платформы для обоих случаев изменения направления удара. При ударе по оси x существует критическая точка положения, при которой возможно переворачивание платформы. Критическое значение угла опрокидывания в этом случае составит 30° . Так же можно сделать вывод о том, что изменение точки приложения силы в большей степени влияет на смещение платформы (z , мм) при ударе вдоль оси z .

На рисунке 5 приведены примеры устойчивого состояния (а) и опрокидывания (б).

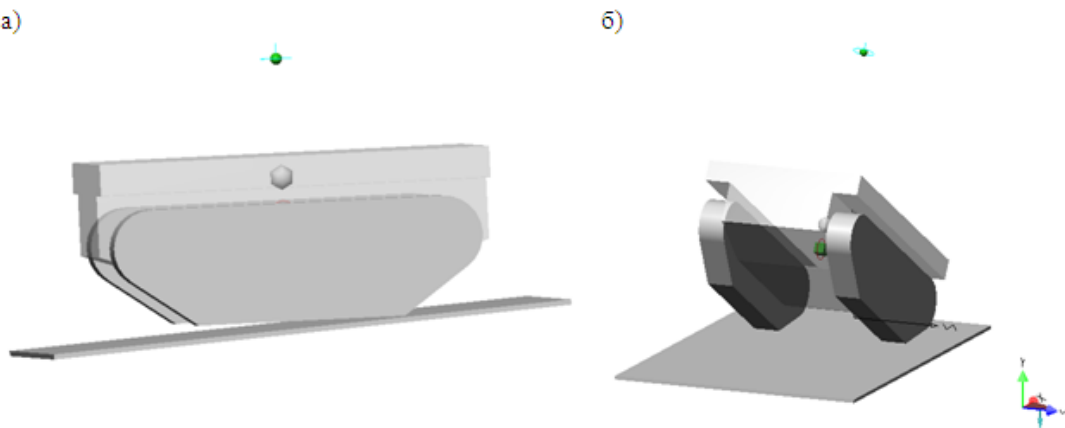


Рис. 5. Изменение положения шасси от воздействия силы удара при изменении координаты воздействия по оси y : а) устойчивое положение, б) опрокидывание

Поскольку превалирующим является критерий недопущения опрокидывания, все вышеприведенные результаты были получены для материалов сопряженных опорных поверхностей с максимальным коэффициентом трения (резиновая гусеница – асфальт). Для полной картины были исследованы и другие возможные сочетания материалов гусеницы и грунта.

Тип и структуру сопряженных поверхностей определяются коэффициентами трения и упругости (таблица 1).

Поскольку при моделировании пока не учитываем демпфирующие свойства деталей и механизмов шасси, то ограничимся исследованием влияния сил трения.

Таблица 1. Коэффициенты трения для различных материалов гусениц и поверхности

поверхность / материал гусеницы	лед	снег	сухой асфальт	сухая грунтовая дорога	песок
резина	0,2	0,52	0,75	0,4	-
железо	0,020	0,6	-	0,9	0,45

В качестве результатов моделирования на рисунке 6 приведены графики угла опрокидывания и смещения. Результаты использовались для оценки величин реверсивного сдвига.

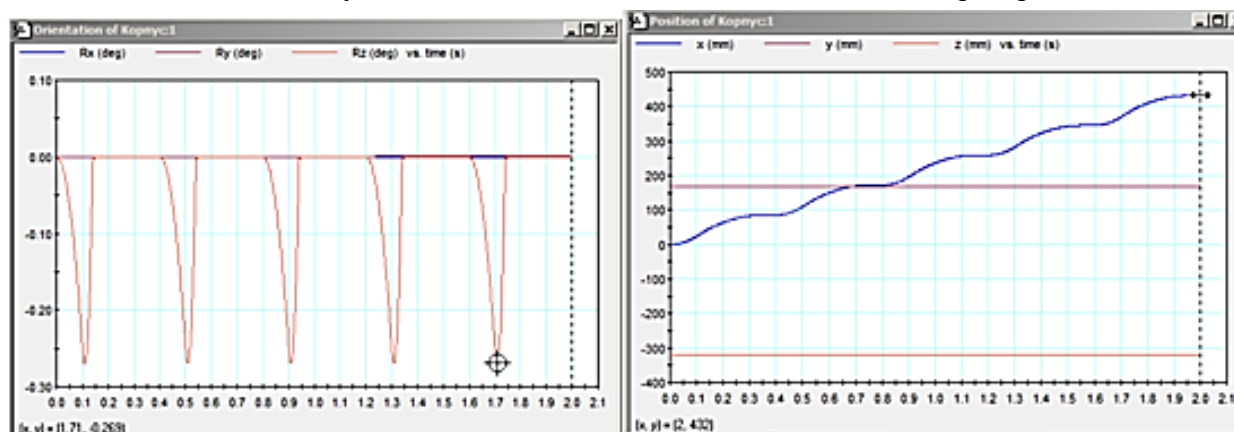


Рис. 6. График угла опрокидывания и смещения при коэффициенте трения $k=0,2$

Полученные результаты обобщены в таблице 2 и отражены на графиках зависимости угла опрокидывания и величины смещения от коэффициентов трения (рисунок 7).

Таблица 2. Данные моделирования при изменении коэффициентов трения

поверхность / материал гусеницы		гладкий лед		сухая грунтовая дорога		заснеженная дорога		сухой асфальт		песок	
		$\alpha, ^\circ$	$\varepsilon, \text{мм}$	$\alpha, ^\circ$	$\varepsilon, \text{мм}$	$\alpha, ^\circ$	$\varepsilon, \text{мм}$	$\alpha, ^\circ$	$\varepsilon, \text{мм}$	$\alpha, ^\circ$	$\varepsilon, \text{мм}$
резина	x	-	432	-	175	-	20	-	20	X	X
	y	-	-	-	15	-	20	0,2	20		
	z	0,269	-	1,47	-	2,19	-	3,21	6		
железо	x	-	1120	-	20	-	30	X	X	-	100
	y	-	-	0,1	20	0,1	20			0,1	20
	z	1,21	-	3,3	6	2,25	0			1,9	-

Примечание: параметры, имеющие периодический характер, отражаются закрашенными ячейками:

α – угол опрокидывания

ε – максимальное смещение

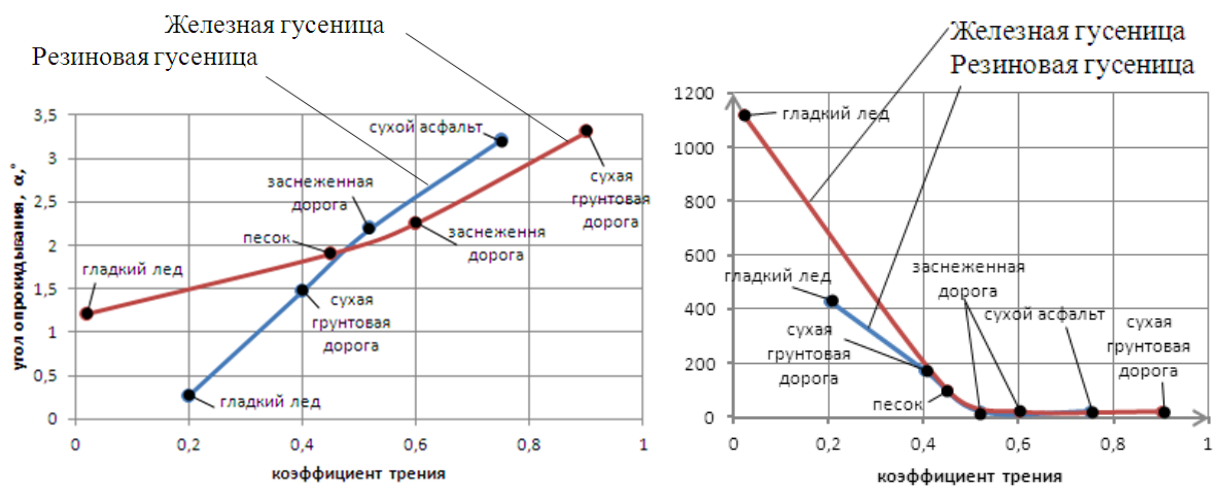


Рис. 7. Зависимость угла опрокидывания и смещения платформы от коэффициентов трения

Заключение

Проведенные исследования изменения положения и ориентации шасси в зависимости от сочетания сопряженных контактных поверхностей грунта и гусеницы показывает, что чем больше коэффициент трения о поверхность, тем больше вероятность опрокидывания и меньше смещение. Так на льду вероятность опрокидывания платформы с резиновой гусеницей меньше, чем с железной, а на сухой грунтовой дороге вероятность опрокидывания шасси с железной гусеницей выше, а смещения меньше. Платформа с железной гусеницей более устойчива к опрокидыванию на сухом грунте и заснеженной дороге, чем с резиновой, на заснеженной дороге они имеют одинаковое максимальное смещение.

Полученные результаты использованы:

- для настройки силы и темпа работы гидромолота в зависимости от поворота платформы, вылета гидромолота;
- для настройки демпфирования подвески;
- для управления продольным движением с целью компенсации поперечного смещения.

Список литературы

- [1]. Устойчивость специальных транспортных средств: учеб. пособие /А.М. Петренко; МАДИ. – М., 2013. – 41 с.
- [2]. Молодцов В. А. Безопасность транспортных средств: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Технология транспортных процессов» (профили подготовки: «Организация и безопасность движения», «Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий») / В. А. Молодцов. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 236 с.
- [3]. Мельник С.В. Научные основы обеспечения надежности и долговечности ходовых систем гусеничных машин: монография. / С.В. Мельник, В.П. Расщупкин, А.И. Громовик, Г.А. Голощапов. – Омск: СибАДИ, 2009.– 91 с.

- [4]. Аврамов В.П. Динамика гусеничной машины при установившемся движении по неровностям. / В.П. Аврамов, Н.Б. Калейчев. – Харьков: Вища школа, 1989. – 112 с.
- [5]. Гаврин Н.О. Прогнозирование режимов движения робототизированной гусеничной машины: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. / Н.О. Гаврин. – М.: МГТУ, 2001. – 180 с.
- [6]. Савочкин В.А. Статистическая динамика транспортных и тяговых гусеничных машин / В.А. Савочкин, А.А. Дмитриев– М.: Машиностроение, 1993. – 320с.
- [7]. Робот для демонтажных работ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://robotatlant.ru>, свободный.
- [8]. Антонов А.С. Силовые передачи колесных и гусеничных машин / А.С. Антонов. – М.: Машиностроение. –1967 – 440 с.
- [9]. Маслов О. Проектирование и изготовление высокопроходимых мобильных роботов специального назначения с использованием современных САПР (часть I) / О. Маслов, А. Пузанов, К. Куванов, О. Платов // CAD/CAM/CAE Observer, 2005. №2 - С. 61-64.
- [10]. Пузанов А.В. Обзорный анализ программных комплексов моделирования динамики / А.В. Пузанов // Конструктор. Машиностроитель. 2017, №3. –С. 41-45.
- [11]. Пересыпкин К. В. Моделирование конструкций ракетно-космической техники методом конечных элементов в среде MSC.Nastran [Электронный ресурс]: электрон.учеб. пособие / Пересыпкин К. В., Пересыпкин В. П., Иванова Е. А.; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т).