

УДК 629.119

ЛУКИЧЕВ А.В., к.т.н., доцент; САКНО О.П., к.т.н.
Донецкая академия автомобильного транспорта

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РОБОТОВ-АССИСТЕНТОВ РАЗЛИЧНОЙ КИНЕМАТИКИ В АВТОСЕРВИСЕ

Приведены данные о вариантах реализации общей системы роботов-ассистентов и их колесных движителей в современных условиях и проанализирована возможность их использования в условиях СТО, АТП и других предприятий отрасли при выполнении работ по обслуживанию и ремонту автомобилей.

Ключевые слова: транспорт, робот-ассистент, колесный движитель, базовая поверхность.

Постановка проблемы

Первые попытки создания промышленных колесных роботов были связаны с возникновением гибких производственных систем. Развитие современных технологий в техническом обслуживании и ремонте (ТОиР) автомобилей предусматривает все более активное использование роботов. Использование мобильных роботов целесообразно во многих сферах производства: в основных и вспомогательных операциях. Такое разнообразие обуславливает большое количество вариантов движителей для роботов. Самые универсальные из них – колесные и гусеничные. Колесные роботы предназначены для перемещения разнообразных объектов от одного пункта к другому в пределах неструктурированного, а потому не всегда безопасного для человека рабочего пространства. Но в условиях СТО или АТП возникает потребность в разработке свободно программируемых роботов-ассистентов, которые могут самостоятельно или под дистанционным управлением выполнять задание человека по перемещению и оперированию объектами.

Для оборудования складов и вспомогательных помещений СТО и АТП наиболее целесообразной конструкцией является мобильная платформа, построенная по модульному принципу. Модульные модели нуждаются в большем месте и более тяжелые, но при этом более эффективны в производстве и обслуживании.

Анализ последних исследований

Исследование в области робототехники широко распространены в разных отраслях использования. Наиболее глубокие исследования роботов-ассистентов, используемых в промышленных условиях, проводятся в Германии [1,2,3,4]. Особенное внимание при этом уделяется управлению колесным движителем, наиболее распространенным при работе в производственных помещениях [5].

Данная публикация имеет целью дальнейшую систематизацию конструкций подсистем колесного подрессоренного движителя робота-манипулятора и вариантов реализации их общей системы для последующего динамического анализа колесных движителей [6,7,8].

Из существующих схем роботов понятно, что одними из главных модулей являются привод движения и подвеска. Основные рабочие характеристики некоторых существующих в настоящее время модульных платформ (robuROC4, PowerBot, Scitos G5, ibot, LABO-4): тип платформы, максимальная скорость, личный вес, полезная нагрузка, средний срок действия и время зарядки батареи, максимальная высота препятствия и угол уклона. Именно по их сравнению принимается решение об использовании робота-ассистента.

Цель статьи

Целью данной работы является систематизация конструкций подсистем колесного поддресоренного движителя робота-манипулятора и вариантов реализации их общей системы для последующего динамического анализа колесных движителей.

Основной материал исследования

Прежде всего, необходимо проанализировать форму базовой поверхности движителя. В таблице 1 приведены возможные формы базовых поверхностей, пригодные для использования в условиях наличия эталонных проходов шириной 600 мм, что достаточно характерно для условий СТО, причем при движении избирается защитное расстояние от ограждений или стен по 50 мм с каждой стороны.

Анализируя данные таблицы 1, принимаем наиболее удачными формами базовой поверхности варианты G3, G6, G7. Они имеют достаточную площадь и лучшую проходимость при наличии узких поворотов, поэтому в дальнейшем детальнее рассмотрим именно их характеристики [5].

Проведем сравнительный анализ конструктивных вариантов колес, которые удовлетворяют требованию «Преодоление всех эталонных неровностей поверхности осуществляется на наименьшей средней скорости, если препятствия имеют большую площадь – на максимальной скорости» и другим требованиям. В соответствии с ними мягкие колеса диаметром от 260 мм могут не поддресориваться и использоваться в качестве приводных колес. Поддресоренные приводные колеса являются принципиально неблагоприятными и требуют, как и в случае уличного транспорта, передачи механических приводных напряжений на шасси, например, через карданный вал.

Подвеска и колесо – сложная механика с большим количеством сочленений, требует много места для монтажа в шасси. Примеры для нескольких вариантов шасси продемонстрированы в таблице 3. Из-за этих характеристик вариант поддресоренных приводных колес не будет рассматриваться. В условиях закрытых помещений могут использоваться как поддресоренные, так и приводные колеса без поддресоривания.

В таблице 3 представлены выбранные варианты приводных и управляемых колес с перечислением минимальных размеров. Диагональные рычаги подвески, как на переднем колесе велосипеда, не указаны, но могут рассматриваться как вариант при пассивном управляемом ролике.

Инерционное движение – расстояние между точкой пересечения средней плоскости колеса с базовой поверхностью и точкой пересечения между направляющей осью и полом, чтобы колесо следовало по направлению движения.

В таблице 4 представлены варианты [2] расположения колес для G3, G6 и G7, с которыми возможно маневрирование через эталонный проход. Эти конструкции наиболее компактны из всех вариантов. Для G7 возможно использование только предложенного варианта, потому что при всех других вариантах для приводных и управляемых колес не хватает подвижности для маневрирования в проходе. Неподдресоренные управляемые ролики возможно использовать только в K2 из-за недостатка места. По поводу того же для G3 возможно лишь дифференциальное управление. Если управляемый одинарный или двойной поддресоренный ролик будет использоваться для K2 и K3, то можно механически соединить передний и задний ролики [3] и убрать из конструкции один привод управления.

Таблица 1

Варианты выполнения базовых поверхностей и маневров в эталонном проходе [1]

	Эскиз и эталонный проход (мм)	Описание, площадь, преимущества (+), недостатки (-)
Вариант G1		Квадратная форма – возможна лишь при использовании специальных колес. Площадь 0,250 м ² . – Необходима высокая точность траектории для прямолинейного движения и для проезда поворотов.
Вариант G2		Треугольная форма – маневрирование с поворотами и изменением направления движения. Площадь 0,125 м ² . + соблюдение точной траектории поворота не нужно; – необходима высокая точность траектории для прямолинейного движения и в процессе разворота движителя при этом движении, малая базовая поверхность.
Вариант G3		Круглая форма – вариант равностороннего n-угольника с максимальной площадью. Маневрирование с поворотами и изменением направления движения. Площадь 0,196 м ² . + сохранение точной траектории в повороте не нужно, движется без перекоса и вынужденных остановок; – необходима точность траектории прямого движения.
Вариант G4		Прямоугольная форма – примерные размеры, возможно другое соотношение длины и ширины. Площадь 0,24 м ² . + простые форма и дизайн, не нужна высокая точность сохранения траектории при движении по прямой; – нужна высокая точность траектории при преодолении поворота, риск перекоса и вынужденных остановок.
Вариант G5		Прямоугольная с округленными углами – возможно другое соотношение сторон. Площадь 0,302 м ² . + большая площадь, не нужна высокая точность сохранения траектории при движении по прямой; – нужна высокая точность при повороте, риск перекоса.
Вариант G6		Кораблеобразная – скругленная прямоугольная форма (т.е. оптимизированная форма G5 с заостренными внешними поверхностями), маневрирует движением вперед и назад. Площадь 0,306 м ² . + большая площадь, не нужна высокая точность траектории при движении по прямой; – нужна высокая точность траектории при повороте, риск перекоса и вынужденных остановок.
Вариант G7		Костеобразная – прямоугольная форма (все вершины удалены; оптимизированная форма G5); возможно другое соотношение сторон. Площадь 0,357 м ² . + большая площадь; – нужна высокая точность сохранения траектории при движении по прямой и при преодолении поворота, риск перекоса и вынужденных остановок при преодолении поворота.

Таблица 2

Варианты шасси с поддрессированием для ведущих колес [2]

	Без подвески	Механика с продольным рычагом	Механика с поперечным рычагом	Продольный рычаг и плоская рессора	Плоская рессора
Вид сбоку					
Вид сверху					
Описание	Корпус колеса с упругим влиянием, нет сочленений и карданных валов	Винтовая пружина с телескопическим амортизатором, минимум 4 сочленения и карданный вал	Винтовая пружина с телескопическим амортизатором, минимум 4 сочленения и карданный вал	Кулиса из плоской рессоры и телескопический амортизатор, минимум 2 сочленения и карданный вал	Пакет из плоских рессор со свойствами управления колесом, минимум 2 сочленения и карданный вал
Легенда: – сочленение, – подшипник качения					

Таблица 3

Вид сверху вариантов приводных и управляемых колес

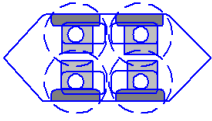
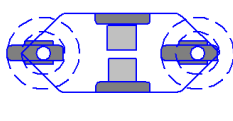
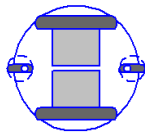
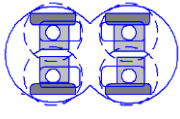
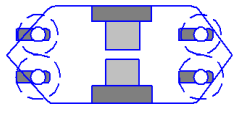
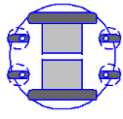
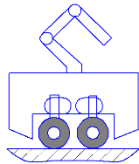
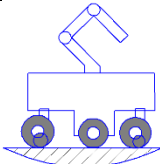
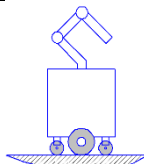
	Неподвижное приводное колесо	Управляемое приводное колесо	Управляемый одинарный или двойной ролик	Пассивный управляемый ролик	Пассивный управляемый двойной ролик	Описание
Недрессорируемые						Ø колеса/ширина: $\geq 260 \times 60$ мм
		Ø ≥ 300 мм	Ø ≥ 300 мм	Ø ≥ 340 мм	Ø ≥ 370 мм	Площадь
Поддрессорируемые						Ø колеса/ширина: $\geq 100 \times 42$ мм (140 x 45)
			Ø ≥ 180 мм	Ø ≥ 180 мм	Ø ≥ 210 мм	Площадь
Легенда: место привода ходовой части место привода вращения						

Из всех до сих пор рассмотренных вариантов более детально исследуем вариант К3, т.к. варианты К1 и К2 должны быть оснащены двойным комплектом навигационных сенсоров, потому что без них невозможным является дистанционное управление в узком месте. Оценка, приведенная в таблице 4, показывает, что для этих вариантов существуют значительно более весо-
мые проблемы, чем для варианта К3. Но совсем не исключено, что варианты кинематики К1, К2

или другие могут быть рациональным вариантом для конкретной реализации, которая удовлетворяет всем условиям.

Таблица 4

Варианты кинематики робота-ассистента

	Вариант кинематики K1	Вариант кинематики K2	Вариант кинематики K3
Вид сверху	 G6 + U2	 G6 + U1 + U3/U4/U5/F1/F2/F3)	 G3 + U1 + F1/F2/F3
	 G7 + U2	 G6 + U1 + F1/F2/F3	 G3 + U1 + F1/F2/F3
Сбоку			
Оценка	+ компенсация неровностей, нет дополнительного поддрессирования, многонаправленный; – 8 независимых приводов, сложное управление, занимает много места, очень точная траектория поворота, иначе риск столкновения или вынужденной остановки	+ простое управление кинематикой; – большие прогибы рессор для компенсации неровностей, занимает много места; точная траектория поворота, риск столкновения или остановки, неблагоприятные расстояния между колесами для дифференциального управления	+ компенсация неровностей, простое управление кинематикой, невозможна вынужденная остановка + свободное маневрирование в повороте, возможен поворот на месте без дополнительной площади, дистанционное управление в узких местах – высокий центр масс, возможное опрокидывание

Для варианта кинематики K3 (табл. 5) можно подобрать по меньшей мере 5 подвариантов с использованием разных типов управляемых колес. Заштрихованные плоскости, плоскости стойкости, возникают из-за соединения точек пересечения средней плоскости колеса с опорной поверхностью, таким образом определяется область, внутри которой результирующие силы притяжения и горизонтальной силы могут пересечься в центре масс без опрокидывания робота. Можно сказать, что управляемые вращательные ролики, угол управления которых не может быть изменен извне, являются более благоприятным вариантом. Будем рассматривать, в основном, варианты кинематики K3-IV и K3-V, но все полученные результаты можно в полной мере задействовать и для вариантов K3-I, -II и -III.

Характеристическими свойствами пассивной подвески является прогиб и характеристика рессоры, характеристика затухания. Минимальный прогиб можно установить путем анализа неровностей поверхности. В таблице 6 приведены данные для варианта расположения колес K3-V. Обеспечивается распределение нагрузки на колеса. Все случаи принимаются статическими, а центр масс – расположенным посередине над ведущей осью.

Таблица 5

Варианты кинематики КЗ и сравнение плоскостей стойкости вариантов с пассивными и управляемыми вращательными роликами

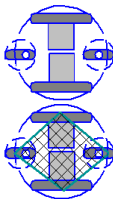
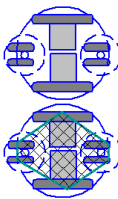
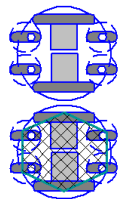
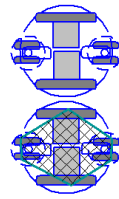
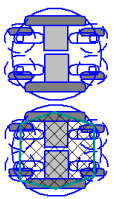

I	II	III	IV	V
				
Пассивно управляемые ролики			Управляемые ролики	
<ul style="list-style-type: none">– пассивно управляемые ролики не воспринимают поперечные усилия;– плоскости стойкости в направлении движения небольшие => высокая возможность опрокидывания вперед при торможении, при столкновении передних колес с порогом и при объезде порога или посторонней ramпы;– высокая возможность опрокидывания при проезде поворотов и одновременном ускорении или торможении, из-за того, что ролики не воспринимают поперечные усилия; плохая стойкость при движении через препятствие на наклоненной поверхности			<ul style="list-style-type: none">+ вращательные ролики воспринимают поперечные усилия, малая возможность опрокидывания при проезде поворотов и одновременном ускорении или торможении;+ хорошая стойкость при движении через препятствие на уклоне, когда угол управления не может быть изменен из вне;+ вращение роликов может заменить стояночный тормоз	
 – Плоскости стойкости между точками пересечения средней плоскости колеса с опорной поверхностью				

Таблица 6

Нужные прогибы рессоры при условиях неровностей поверхности и приблизительных распределениях нагрузок на колеса [4]

А	Б	В	Г	Д	Е
Двигатель на ровной поверхности	2 управляемых колеса на порогах	Двигатель на вершине ramпы	Приводные колеса на пороге	Въезд на порог, колебание	1 приводное колесо на пороге
Расстояние между осями $s_s \approx 400 \text{ mm}$, нагрузка на колесо: F_{Za}, F_{Zf} $F_{Zw} = F_{Zl} + F_{Zr}$	Прогиб рессоры по 20 мм, F_{Zw} значительно больше при буксовании	Изгиб – 24 мм, F_{Za} и F_{Zf} большие, для предотвращения колебаний	Изгиб рессоры по 20 мм, меньше, чем в случае В	Нужен меньший прогиб, чем слева $F_{Za} > F_{Zf}$	Нужен меньший прогиб, чем слева

Если поддрессирование управляемых колес составляет 24 мм (В), должна добавляться противодействующая сила, для того чтобы вернуть робот в вертикальное положение. Поэтому из-

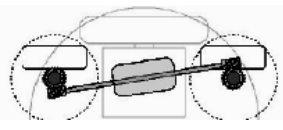
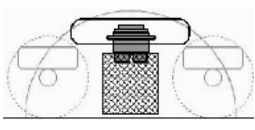
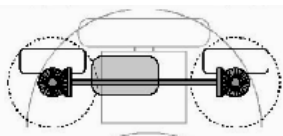
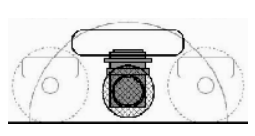
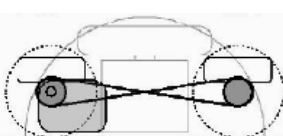
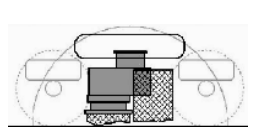
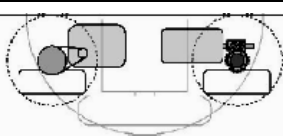
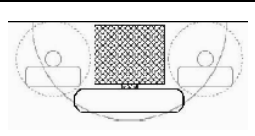
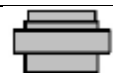
гиб рессоры должен быть больше, чем 24 мм. При подрессоривании в механическом исполнении должен быть конечный упор, который контролирует прогиб на уровне минимум 20 мм (Б). В случаях Г, Д, Е необходимые прогибы меньше.

Механика вращения, приводы поворота и движения могут быть сконструированы из компонентов промышленной механики приводов. Они и их параметры должны выбираться в соответствии с общим весом робота, параметрами рабочего пространства и требованиями: «максимальная скорость 2 м/с»; «преодоление всех эталонных неровностей поверхности осуществляется на наименьшей средней скорости, если препятствия имеют большую площадь – на максимальной скорости»; «принципиальная возможность для защиты от воспламенения для зоны 1, оценка опасности воспламенения как для неэлектрического оборудования».

В таблице 7 приведены возможные концепции вариантов реализации. Привод вращения имеет самоторможение, что может быть достигнуто путем использования шнековой передачи с большим передаточным числом.

Таблица 7

Варианты механики вращения, приводы вращения (слева) и приводы движения [2]

	Шнековая передача на направляющей оси, двигатель приводит в движение шатун		Планетарная передача + сервомотор, симметричный
	Конические колеса на направляющей оси, двигатель вращения приводит в движение шатун		Планетарная или коническая передача + сервомотор установлен сверху
	Перекрещенные, двусторонние, укрепленные цепи, двигатель приводит в движение шатун		Цилиндрическая зубчатая передача, установленная сверху + сервомотор
	Раздельные приводы: слева ременная или цепная передача, справа шнековая		Сервомотор с несколькими выходами (прямой привод)
Легенда			
 Привод вращения (например, двигатель с редуктором)	 Редуктор (передача)	 Вращающееся колесо, направляющая ось, место поворота	 Привод движения

В правой части таблицы 7 рассмотрены варианты привода движения, которые выполнены в виде комбинации двигателя и редуктора или как прямой привод. Приводы с цепными и ременными передачами не будут рассматриваться, хотя они в целом могут быть использованы, потому что являются удобными в техническом обслуживании. Передачи могут быть вмонтированы в ступицу колеса. Кроме электродвигателей допустимо использование гидравлических двигателей, но, как правило, они не приспособлены для точной работы на малых оборотах и вместе с системой гидравлики имеют низший общий КПД. Поэтому для использования в качестве привода может быть избрана любая схема с сервомотором.

Важным также является выбор шин. Шины из пластичного материала или твердого эластомера ($> 80^\circ$ Шор А) могут быть повреждены даже при медленном столкновении с острым порогом и не смогут использоваться. При условиях движения по неровностям пола со средней скоростью колеса могут быть легко повреждены, но для монтажа соответственно больших колес не хватает места. Мягкие шины ($< 70^\circ$ Шор А) могут быть получены из эластичной резины. Резиновые шины стойкие к ультрафиолету, но вовсе не стойки к загрязнениям маслом, бензином или парафином. Требования сведены в табл. 8.

Таблица 8

Требования к шинам и колесам

Колеса и шины	Оттиск шины, опорная площадь $> 42 \text{ мм}^2$, для мягких шин – большая
	Диаметр $> 100 \text{ мм}$, преимущественно больший, но как можно меньший из-за небольшого количества рабочего пространства
	Дополнительно подрессоренные, если диаметр $< 260 \text{ мм}$
	Твердость шин $< 80^\circ$ Шор А, если это возможно
	Легкосменные

На основе проведенного исследования существующих моделей роботов-ассистентов были сформулированы основные требования к роботам такого типа, их составным частям и общим характеристикам. Соблюдение этих требований является необходимым для повышения конкурентоспособности новых моделей роботов-ассистентов на рынке, потому что они являются оптимизированным отображением всего спектра предложений, которые на сегодняшний день существуют на этом рынке. Критериями постановки требований были динамические характеристики, высокая проходимость и маневренность, широкий спектр возможных областей применения, достаточная защищенность робота при условиях работы рядом с опасными объектами.

Выводы

Результат анализа вариантов реализации общей системы роботов-манипуляторов определил наиболее рациональный вариант компоновки робота-ассистента для использования в условиях СТО, а именно: выбор базовой поверхности, кинематики движителя и варианты пассивных и управляемых вращательных роликов. Рассматривались варианты реализации подсистем и принципы построения конструкции. Они могут быть скомпонованы с любой нужной функциональной надстройкой к общему варианту системы робота-ассистента, которая удовлетворяет всем требованиям, то есть чтобы робот-ассистент с подрессоренным движителем мог в любых условиях поверхности и окружающей среды, которые существуют в условиях систем обслуживания автомобилей и рабочем окружении человека, работать без ограничений его мобильности. Как сфера деятельности этого робота в данном случае принимается транспортировка запасных частей и инструмента в условиях производственных участков и зон ТО и ПР и складов, при этом учитывается возможность узких проходов и наличие ступенчатых препятствий на пути робота-ассистента.

Определены пути дальнейшего исследования оптимальной компоновочной схемы робота-ассистента, изучения динамических характеристик.

Список литературы

1. Elbl, H.; Foll, W.; Schuler, W.: Tabellenbuch Fahrzeugtechnik. 21. Aufl. Stuttgart: Holland + Josenhans Verlag, 2001.
2. Diegel, O.; Potgieter, J.; Badve, A.; Bright, G.; Tlale, S.: Improved Mecanum Wheel Design for Omni-Directional Robots, 2002.

3. Mandow, A.; Gomez-de-Gabriel, J. M.; Martinez, J. L.; Munoz, V. F.; Ollero, A.; Garcia-Cerezo, A.: The autonomous mobile robot AURORA for greenhouse operation, 1996.
4. Graf, B.; Hans, M.; Schraft, R. D.: Mobile robot assistants, 2004.
5. Hans, Matthias: Eine modulare Kontrollarchitektur für den Hol- und Bringdienst von Roboterasistenten. Heimsheim: Jost Jetter Verlag, 2005. Stuttgart, Univ., Fak. Maschinenbau, Diss., 2005.
6. Лукічов О.В. Аналіз варіантів реалізації загальної системи роботів-маніпуляторів та підсистеми підресореного колісного рушія / Лукічов О.В., Лукічова О.О., Сакно О.П. // Вісник СХУ ім. Володимира Даля. – Луганськ, 2010. – №6 (148). – С.130-134.
7. Сакно О.П. Вибір оптимальної конструкції підресореного колісного рушія та загальної системи робота-маніпулятора / Сакно О.П., Лукічов О.В., Легкий С.А., Лукічова О.А. // Вісник СХУ ім. Володимира Даля. – Луганськ, 2011. – №5 (159). – С.285-290.
8. Сакно О.П., Лукичев А.В. Структура и кинематика колесного движителя робота-ассистента в условиях СТО и АТП // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта [Текст]: материалы X междунар. заочн. науч.-техн. конф. 15 мая 2015 г., Пенза / [редкол.: Э.Р. Домке (отв. ред.) и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2015. – С. 261-270.

Лукічов О.В., Сакно О.П. Перспективи використання роботів-асистентів різної кінематики в автосервісі

***Анотація.** Приведено дані про варіанти реалізації загальної системи роботів-асистентів і їх колісних рушіїв в сучасних умовах і проаналізовано можливість їх використання в умовах СТО, АТП і інших підприємств галузі при виконанні робіт з обслуговування і ремонту автомобілів.*

***Ключові слова:** транспорт, робот-асистент, колісний рушій, базова поверхня*

Lukichov O.V., Sakno O.P. Prospects of the use of robots-assistants of different kinematics are in motor-car service

***Annotation.** The realization of the general system of robots-assistants and their wheeled engines given about variants is resulted in modern terms. Possibility of the use of robots is analysed in the conditions of enterprises of motor-car service for implementation of works on service and repair of cars.*

***Keywords:** transport, robot-assistant, wheeled engines, base surface*

Стаття надійшла до редакції 27.10.2015 р.