

## **АНАЛИЗ МЕХАНИКИ ПОВОРОТА ШАССИ МОБИЛЬНОГО КОЛЕСНОГО РОБОТА В ЦЕЛЯХ ОРГАНИЗАЦИИ ЕГО УПРАВЛЕНИЯ**

**Ванройе Н.К.**

*Научный руководитель: Юдин А.В.*

МГТУ им. Н.Э.Баумана, кафедра ИУ-4, Москва, Россия

## **MECHANICS ANALYSIS OF MOBILE WHEELED ROBOT CHASSIS IN ORDER TO ORGANIZE ITS CONTROL**

**Vanroye N.K.**

*Supervisor: Yudin A.V.*

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

### **Аннотация**

Данная статья посвящена вопросу проектирования ходовой части мобильного робота. Был проведен анализ наиболее распространенных типов шасси, с целью определения наиболее рациональной конструкции и системы управления шасси для участия робота в соревнованиях Eurobot-2014. Описаны конструкция шасси и система управления приводами, отдельно описана система поворота шасси робота. Проведены исследования поведения шасси при выполнении поворотов, представлены ошибки, оказывающие влияние на точность выполнения движений.

### **Abstract**

This article is devoted to the design of the robot chassis. Analyzed the most common types of chassis, in order to determine the most efficient design and chassis control systems to participate in robot competitions Eurobot-2014. The design chassis and the drive control system are described separately turning robot chassis. Researches chassis behavior when making turns.

### **Введение**

За последние 50 лет человечество совершило огромный скачок в области робототехники. Отчасти он был ознаменован появлением все более прочных и легких, компактных устройств для создания роботов, постепенным улучшением ходовой, исполнительной части. Помимо внедрения качественно новых материалов в эту отрасль, сильно вперед шагнула электроника, обеспечив возможности для усложнения поведения робота. Последнее время сильное влияние на развитие практической робототехники оказывает повсеместное распространение так называемого «цифрового» производства [1] – технологий быстрого и точного изготовления всех базовых компонентов робототехнической системы.

Естественно возникает вопрос, а что же имеется ввиду под «техническим превосходством» одной ходовой части над другой, и в чем оно проявляется? Ответ на этот вопрос зависит от поставленных задач, которые робот с данным типом шасси должен выполнять. Например, для перемещения по неровным поверхностям, траве и каменистой местности разрабатываются шестиколесные роботы, поскольку они имеют большее сцепление, по сравнению с четырехколесными. Ещё большее сцепление обеспечивают гусеницы. Однако, в закрытых помещениях, на гладких поверхностях и коврах целесообразно использование более маневренных двухколесных дифференциальных схем движения.

Спектр решаемых задач огромен: от перевозки грузов и транспортировки людей до военных операций и исследовательских миссий на других планетах. В нашем же случае - в рамках соревнований Евробот от ходовой части робота требуется относительная прочность и простота конструкции, мобильность механизма в целом.

### **Постановка задачи**

Целью работы является разработка и техническая реализация шасси робота-участника соревнований Eurobot-2014. Шасси – важная часть мобильного робота и должно отвечать условиям соревнований и обеспечивать передвижение робота по игровому полю в условиях соревнований Евробот-2014.

Конструкция робота предполагает модульную командную разработку несколькими конструкторами: в круг задач робота Евробот помимо передвижения входят еще 5 задач по активному взаимодействию с окружающей средой. В этой связи, шасси должно быть как можно более компактным – в этом случае прочие механизмы, которые несет шасси, могут быть легче скомпонованы и размещены на борту робота.

Необходимо разработать шасси так, чтобы оно позволило роботу передвигаться с достаточной скоростью и маневренностью для выполнения заданий, поставленных Правилами соревнований. При этом система шасси должна быть проста в обслуживании и безопасна в эксплуатации.

### **Важные положения правил соревнований Eurobot-2014**

Выделены основные положения из правил, касающиеся как робота, так и шасси в частности.

1. Периметр Основного Робота на старте не должен превышать 1200 мм. Это состояние называется «стартовая конфигурация». Периметр Основного Робота во время матча может увеличиться до 1500 мм. Это состояние называется «развернутая конфигурация».
2. Все системы (и робот(-ы) и маяки) должны соответствовать существующим национальным и европейским законам и стандартам. В частности, используемые системы должны соответствовать официальным нормам безопасности жизнедеятельности и быть безопасными для участников и зрителей во время и вне матчей (например, в боксах команды или в процессе ожидания/подготовки матча)
3. У роботов не должно быть никаких опасных выступающих или острых частей.
4. Все роботы должны соответствовать официальным стандартам «низкого напряжения». То есть электрические напряжения, используемые в роботах или маяках, не должны превышать 48 В

### **Разработка шасси робота**

При конструировании робота рассматривалось 3 типа шасси, имеющих как ряд преимуществ, так и ряд недостатков в условиях поставленной задачи.

Проведен анализ этих шасси, отвечающих Правилам соревнований и наиболее распространенных как в любительской, так и в промышленной робототехнике: четырехколесное шасси, гусеничное шасси, двухколесное шасси.

Рассмотрим тип 1 – четырехколесное шасси. Ходовая часть состоит из четырех колес, причем одна пара из них - ведущие, другая - направляющая, приводимая в движение механизмом управления.

Преимущества:

- Для вращения обоих колес достаточно одного двигателя.
- Простота системы управления электроприводами шасси.

Недостатки:

Для обеспечения поворота необходимо свободное место на поле, следовательно, такая система недостаточно маневренна.

На рис. 1 приведен пример четырехколесного шасси.

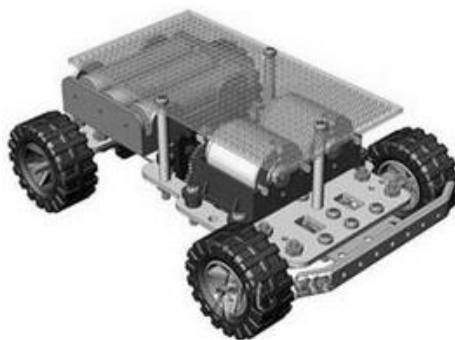


Рисунок 1 – Четырехколесное шасси

Рассмотрим тип 2 – шасси на гусеничном ходу. Ходовая часть гусеничной конструкции. Гусеницы приводятся в движение посредством зацепления их ведущим колесом. Путём изменения скорости перематывания одной или обеих гусениц танк может совершать поворот, в том числе и разворот на месте.

Преимущества:

Высокая маневренность. Возможен разворот на месте на 360 градусов.

Недостатки:

Сложность ходовой части ввиду наличия в ней большого количества деталей. Кроме того, портит поверхность при развороте на месте.

На рис. 2 приведен пример шасси на гусеничном ходу.

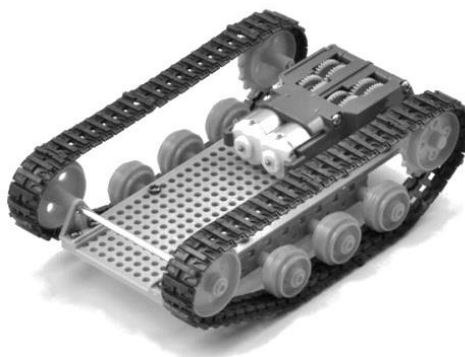


Рисунок 2 – Шасси на гусеничном ходу

Рассмотрим тип 3 – двухколесное шасси. Ходовая часть содержит в себе два колеса, одновременно являющимися ведущими, а также они представляют собой два независимых колеса, способных, вращаясь в разных направлениях, совершать поворот робота.

Преимущества:

-Высокая маневренность. Возможен разворот на месте на 360 градусов.

-Простота системы управления шасси.

Недостатки: требует дополнительных опор – скользких подпорок, конструкция которых в отдельных случаях начинает сильно влиять на динамику поворота шасси (например, подпорка типа «рояльное колесо»).

На рис. 3 приведен пример двухколесного шасси.



Рисунок 3 – Двухколесное шасси

В результате анализа преимуществ и недостатков каждого типа шасси сделан вывод, что наиболее приемлемо в условиях заранее известных и подготовленных плоских поверхностей для езды двухколесное шасси с дифференциальным приводом в силу своей маневренности и относительно несложной технической реализации. Оно объединяет собой гусеничное шасси (независимые друг от друга приводы) и четырехколесное шасси (шасси движется на колесах).

Шасси данной конструкции обеспечивает робот достаточной маневренностью, занимая собой минимальную площадь при передвижении и повороте, так как поворот осуществляется на месте и не существует такой проблемы, как, например, парковка у автомобиля – не нужно совершать дополнительные маневры, чтобы оказаться в определенной точке выдерживая вектор направления движения. Дифференциальный привод – это два независимо управляемых электродвигателя и система, управляющая ими через пульт управления или контроллер программного управления.

В работе исследуется шасси собранное автором из имевшихся и специально изготовленных деталей. Двигатели и редукторы были взяты из фонда студенческого бюро, без специального подбора или выбора. Основные несущие элементы конструкции и колеса были изготовлены на станках с ЧПУ. В результате было разработано и собрано шасси (см. рис. 4), которое было подвергнуто исследованиям, в том числе и исследованиям исходных двигателей.

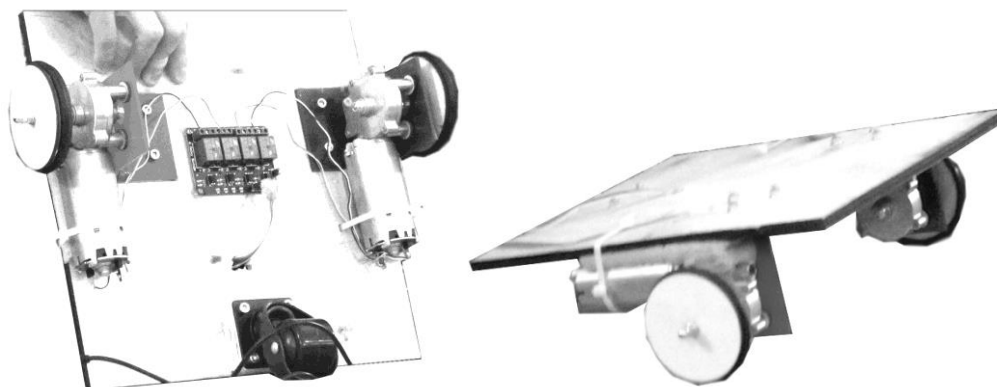


Рисунок 4 – изготовленное шасси для дальнейшего анализа

### Проектирование шасси робота

На рис. 5 изображена 3D-модель шасси, разработанная в системе трехмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования Autodesk Inventor.

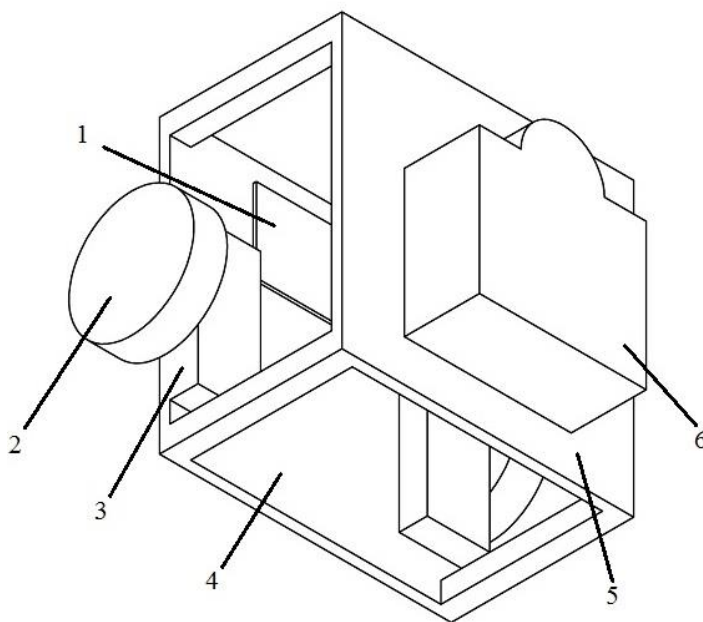


Рисунок 5 – Модель шасси робота (изометрическая проекция)

Основные элементы шасси:

1. Блок реле
2. Колесо
3. Двигатели
4. 1-ый ярус (тележка)
5. 2-ой ярус
6. Другие элементы робота

### Процесс сборки шасси робота

Процесс сборки шасси робота можно разбить на 9 основных пунктов, каждый из которых представляет собой отдельный технологический этап.

1. Выбор размеров шасси в соответствии с Правилами соревнований. Периметр шасси составляет 1200 mm.
2. Выбор приводов колес шасси. Ими стали электродвигатели, рассчитанные на напряжение в 36 В.
3. Вырезка основания шасси из фанеры (1-ого яруса робота) на станке лазерной резки.
4. Вырезка стоек под двигатели, соединяющих последние с основанием шасси, на станке лазерной резки.
5. Разработка и сборка колес из фанеры. В качестве шин выбраны резиновые кольца, применяемые в сантехнике.
6. Крепление колес к приводам.
7. Установка опорного колеса на основании шасси для сохранения равновесия робота на игровой площадке.
8. Установка блока реле «4-Channel 5V Relay Module for Arduino» – системы управления приводами.
9. Сборка панели управления приводами шасси.

### Система управления шасси робота

Шасси включает в себя два колеса на независимых двигателях и блок реле, с помощью которого производится их управление.

Поворот шасси на месте осуществляется двигателями при движении их в противоположных направлениях (схема дифференциального привода). Для поворота направо левый привод вращается вперед, а правый - назад. Для поворота налево, наоборот, правый привод вращается вперед, а правый - назад. Технически данная задача реализуется посредством переполюсовки токов приводов с помощью панели реле, установленной на шасси и управляемой кнопочными переключателями с главного пульта управления.

На рис. 6 схематически изображен поворот робота на  $90^0$  вправо.

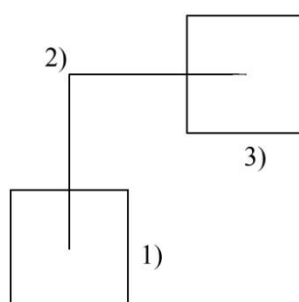


Рисунок 6 – Схема поворота шасси

Схема поворота шасси:

1. Движение робота до поворота.
2. Точка поворота на месте.
3. Движение робота после поворота.

Система проста в технической реализации и не требует программирования микроконтроллеров, так как оператор напрямую воздействует на токи, включая и выключая необходимые для совершения поворота управляющие реле.

Имеются входы 1 и 3, на которые подается напряжение 24V для питания приводов и вывод 2, подключаемый к выводам 1 и 3 в зависимости от включения входа IN 1, который управляет этим реле. В начальном положении вывод 2 подключен к входу 1, при включении входа IN 1 вывод 2 встает в положение 3.

На рис. 7 изображена схема включения одного из четырех реле, составляющих блок реле.

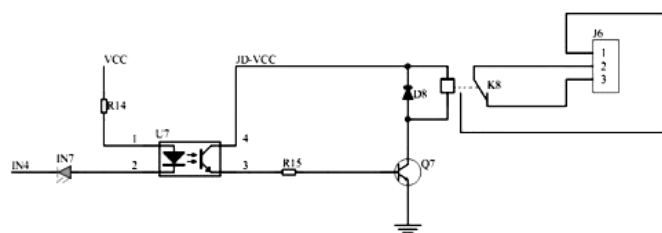


Рисунок 7 – Схема элемента блока реле

На рис. 8 изображена упрощенная схема пары реле, управляющих одним приводом.

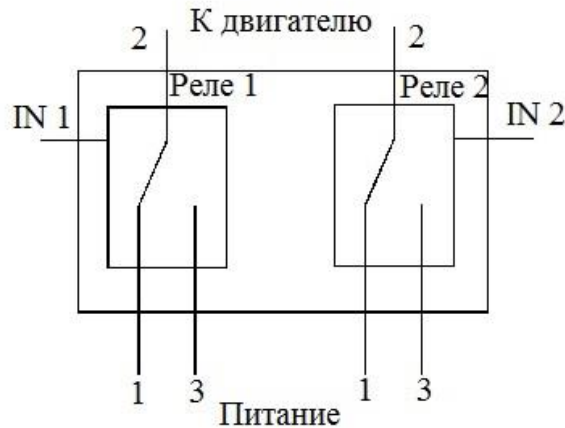


Рисунок 8 - Схема пары реле

Для управления одним двигателем задействуются 2 реле. На выходы 1 и 3 первого реле подается постоянный ток питания. На выход 1 подается «+», на выход 2 - «-», на выходы 1 и 3 второго реле «-» и «+» соответственно. При подаче питания таким образом на выходах 2 реле 1 и выходе 2 реле 2 идут токи «+» и «-» соответственно, что позволяет вращать приводу колесо в направлении «по часовой стрелке». При подключении выводов IN 1 и IN 2 произойдет переключение реле с положения 1 в положение 3. На выходах 3 реле подведена противоположная полярность, что дает ток противоположного направления на выходах 2 реле. Ток течет в обратном направлении и, соответственно, привод вращается в направлении «против часовой стрелки». По такой же схеме работает питание второго привода. В совокупности, управляя четырьмя реле, составляющих блок реле, появляется возможность реализовать движение робота вперед-назад и поворот на месте на любой угол, относительно начального положения.

В пунктах а и б рис. 9 схематически изображена пара реле в двух рабочих положениях: исходное (полярность + -) и состояние пары реле при включенных входах IN1 и IN 2.

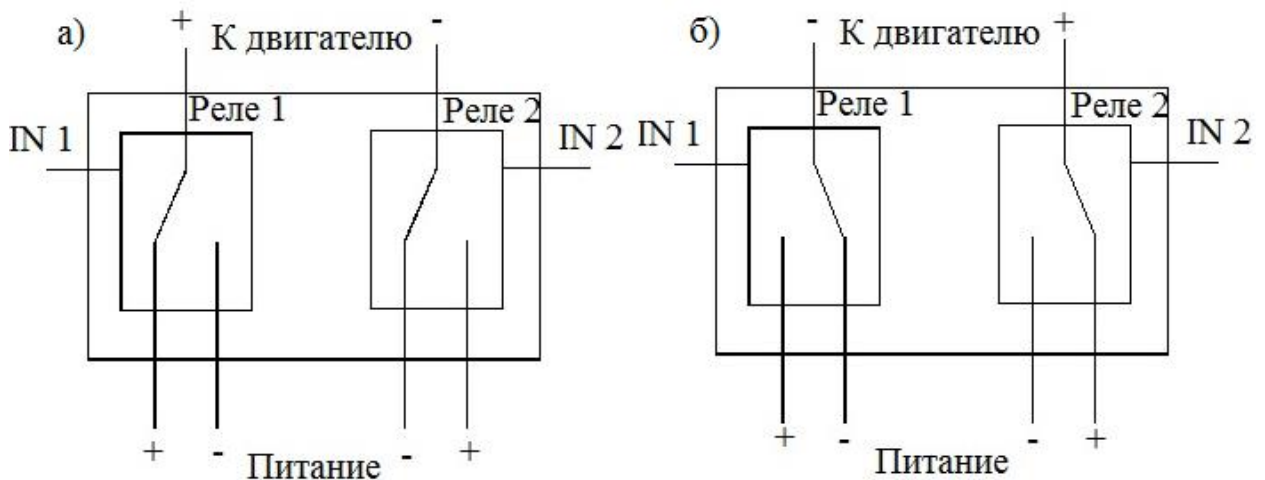


Рисунок 9 – а) исходная полярность;  
б) полярность тока при включенных входах IN1 и IN 2

Таким образом, разработана схема управления каждым двигателем шасси в отдельности. Каждый двигатель приводится в движение с помощью своей кнопки на пульте управления.

Такая система управления позволяет совершать более удобный поворот – поворот на месте, в отличие от поворота на колесах, управляемых с помощью рулевой системы. При повороте занимает наименьшая площадь – площадь самого шасси. Это позволяет свести к минимуму вероятность столкновения робота с элементами игровой площадки для случая, когда проекция контура робота на плоскость – окружность.

### **Исследование точности угла требуемого поворота при люфте колеса**

В процессе сборки шасси возможны некоторые неточности, которые в результате приводят к ошибкам в точности езды. Такие неточности обусловлены низким качеством сборки или устанавливаемых деталей. Таким образом, необходимо свести минимуму эти факторы, а если они все же имеются, то необходимо рассчитать, насколько результат не удовлетворяет заданию. В ходе прохождения задания робот производит множество поворотов, и даже малая неточность в результате может привести к большим отклонениям от предполагаемого результата.

Так, в ходе испытаний был замечен небольшой люфт редуктора двигателя, приводящий к заметному люфту колеса. Были проведены исследования зависимости неточности поворота робота на заданный угол от наличия этого люфта колеса. При неполной затяжке гайки крепления колеса к оси возникает небольшой холостой люфт колеса, который в ходе испытаний шасси привел к отличиям расчетного угла поворота от полученного

Данные шасси, необходимые для расчетов:

1. Расстояние между колесами шасси:  $L=300\text{mm}$
2. Требуемый угол поворота:  $\alpha=120^{\circ}$
3. Диаметр колеса:  $d=80\text{mm}$
4. Угол люфта:  $\alpha = 2^{\circ}$

Запрограммируем робота, чтобы он совершил поворот на угол  $\alpha=120^{\circ}$ . То есть колеса шасси совершат количество оборотов, необходимых, чтобы робот повернулся на угол  $\alpha=120^{\circ}$ .

А. Рассчитаем путь, пройденный колесом при хорошо затянутой гайке.

1. Радиус поворота

$$r = \frac{L}{2} = \frac{300}{2} = 150 \text{ mm}, (1)$$

где  $L$  - расстояние между колесами шасси.

2. При требуемом угле  $\alpha=120^{\circ}$  траекторией движения колеса вокруг центра шасси будет дуга окружности. Рассчитаем путь, пройденный колесом:

$$S = \frac{\pi r \alpha}{180}, (2)$$

где  $\alpha$  – величина угла в градусах,  $\alpha = 120^{\circ}$ .

$$S = \frac{\pi * 150 * 120}{180} \approx 314 \text{ mm} (3)$$



Б. Рассчитаем ход люфта в *mm*.

1. Длина окружности колеса:

$$l = 2\pi R \approx 251.2 \text{ mm}, (4)$$

где  $\pi=3.14$ .

2. Ход люфта:

$$S = \frac{\pi r \alpha}{180}, (5)$$

где  $\alpha$  – величина угла в градусах,  $\alpha = 2^\circ$ .

$$S = \frac{\pi * 40 * 2}{180} \approx 1.41 \text{ mm} (6)$$

При выполнении поворота робот не доезжает  $S = 1.41 \text{ mm}$ , то есть колесо проходит

$$314 - 1.41 = 312.59 \text{ mm} (7)$$

Что в угловой мере составляет

$$\beta = \frac{312.59 * 180}{\pi r} = \frac{56266.2}{472} = 119.2^\circ, (8)$$

где  $\pi=3.14$ .

Таким образом, колесо не доезжает поворот на угол  $\varphi=0.8^\circ$ .

В результате проведенных расчетов выявлена неточность выполнения действий, заданных условием: повернуть робота на угол  $\alpha=120^\circ$ . Эта неточность получается в результате неполной затяжки крепежной гайки. Такой брак приводит к тому, что, по программе, привод производит необходимое количество оборотов, необходимых для достижения цели, но цели не достигает в силу наличия погрешности, по величине равной  $\varphi=0.8^\circ$

В ходе матча каждый робот производит порядка 20 поворотов. И если в ходе каждого поворота робот будет не доезжать на угол  $\varphi=0.8^\circ$ , то на момент окончания матча ошибка хода робота будет составлять  $16^\circ$ , что неприемлемо для точного выполнения поставленной перед роботом задачи. Продолжая движение, робот отклоняется от курса и при прохождении длинного прямолинейного отрезка пути он не сможет точно достичь цели.

### **Заключение**

Именно соревнования роботов «Евробот» являются средой, где происходит не просто борьба между молодыми инженерами, здесь разворачиваются битвы технологий, битвы умов коллективов, наконец, создаются посылки к инновационным проектам. Такие исторические моменты как знаменитая «гонка вооружений» - яркий пример противостояния умов инженеров оборонной промышленности.

Так и в соревнованиях «Евробот» из года в год мы видим все более изобретательные, конструктивные и рациональные идеи, которые, могут найти свое применение во всех сферах жизни человека.

Целью разработки автором робота является командная сборка, высокотехнологичного продукта, лепту в построение которого сможет внести каждый. Такой робот – результат совместных исследований, проб, ошибок, неожиданных конструктивных решений. Конечно решение требует итеративного подхода: каждый раз появляется более рациональная конструкция, приходящая на смену предыдущей. Но суть остается одна – это робот, выполняющий задание. Авторы же на каждом этапе-итерации задают вопрос насколько полученная конструкция соответствует задаче и естественным экономическим, технологическим и прочим ограничениям.

В дальнейшем, конструкция шасси будет улучшаться. Будут меняться приводы, электроника и планируется использование другого алгоритма поворота шасси: с использованием микроконтроллерной электроники. Будет меняться не только полярность управляющего тока, но и подаваемое на двигатель напряжение: то есть станет возможен поворот в движении. То есть, например, для поворота направо необходимо увеличить напряжение на левом проводе. Частота оборотов вырастет, и робот повернется.

Автор планирует продолжить начатую работу в сторону усложнения возможных маневров робота на дифференциальном шасси. Представленная в данной статье работа закладывает задел на дальнейшее улучшение показателей точности при выполнении роботом поворотов и будет использована при построении системы автоматического управления движением шасси.

## Литература

1. А.Е.Аверьянихин, А.И.Власов, Л.В.Журавлева, Л.А.Зинченко, В.А.Соловьев ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА для оформления конструкторско-технологической документации при выполнении домашних заданий, курсовых работ и проектов / под ред. В.А.Шахнова. - М.:
2. Чистяков М.Г. Расчет траектории мобильного робота в частной задаче перемещения объектов // Сборник научных трудов. 13-ая Молодежная научно-техническая конференция "Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы 2011". - Москва. 27-28 апреля 2011 г.- С.310-313.
3. Правила молодежных соревнований роботов Евробот 2014: «Первоботная ЭРА»: Пер. с англ. С дополнениями НОК Евробот России./ Общ. Ред. А.В. Юдина. Изд. 1-е.— М.: Национальный организационный комитет Евробот России, 2013. — 35с., ил. Электронный ресурс. Режим доступа: [http://eurobot-russia.org/main/media/EA2014\\_rules\\_RU\\_alpha.pdf](http://eurobot-russia.org/main/media/EA2014_rules_RU_alpha.pdf) — Проверено 31.01.2014.
4. Чистяков М.Г. Задача оптимизации системы автоматического управления: определение предельных режимов движения мобильного робота. Электронный ресурс. Режим доступа: [http://class.skycluster.net/\\_media/documentation/archive/2012/files/2012\\_iu4\\_conf\\_chistyakov.pdf](http://class.skycluster.net/_media/documentation/archive/2012/files/2012_iu4_conf_chistyakov.pdf) — Проверено 31.01.2014.
5. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://fab.cba.mit.edu/content/tools/>— Проверено 31.01.2014.
6. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.eurobot.org>— Проверено 31.01.2014.