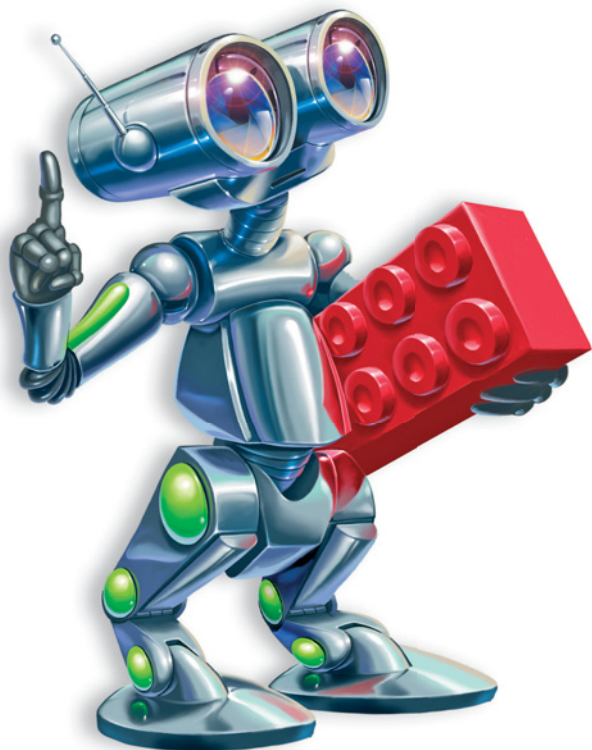


С. А. Филиппов

УРОКИ РОБОТОТЕХНИКИ

КОНСТРУКЦИЯ
ДВИЖЕНИЕ
УПРАВЛЕНИЕ



С. А. Филиппов

УРОКИ РОБОТОТЕХНИКИ

КОНСТРУКЦИЯ
ДВИЖЕНИЕ
УПРАВЛЕНИЕ

4-е издание



Москва
Лаборатория знаний

УДК 621.86/.87(072)
ББК 74.262:32.816
Ф53

Серия основана в 2020 г.

Филиппов С. А.

Ф53 Уроки робототехники : Конструкция. Движение. Управление / С. А. Филиппов ; сост. А. Я. Щелкунова. — 4-е изд. — М. : Лаборатория знаний, 2022. — 190 с. : ил. — (Школа юного инженера).

ISBN 978-5-00101-399-0

Учебное пособие знакомит с основами моделирования автоматических устройств на основе робототехнических конструкторов LEGO и TRIK и создания алгоритмов управления роботами в среде TRIK Studio. Рассмотрены физические основы робототехники. Приведены интересные факты, касающиеся истории робототехники и ее современных достижений.

Предназначено для школьников 5–6 классов и старше, а также всех интересующихся робототехникой. Может быть использовано для самостоятельного обучения, а также на уроках технологии, занятиях робототехнических кружков, при выполнении проектов и подготовке к участию в соревнованиях и олимпиадах.

УДК 621.86/.87(072)
ББК 74.262:32.816

Учебное издание

Серия: «Школа юного инженера»

Филиппов Сергей Александрович

УРОКИ РОБОТОТЕХНИКИ

Конструкция. Движение. Управление

Составитель А. Я. Щелкунова

Художники *В. А. Прокудин, И. К. Дилоян*

Технический редактор *Т. Ю. Федорова*

Корректоры *Л. И. Трифонова, М. И. Васильева*

Компьютерная верстка: *О. Г. Лапко*

Подписано в печать 08.02.22. Формат 70×90/16.
Усл. печ. л. 14,04. Заказ

Издательство «Лаборатория знаний»
125167, Москва, проезд Аэропорта, д. 3
Телефон: (499) 157-5272
e-mail: info@pilotLZ.ru, <http://www.pilotLZ.ru>

Оглавление

Обращение к читателям	5
Предисловие автора	5
Глава 1	
Простейшие механизмы	6
§ 1.1. Механизм, автомат, робот	7
§ 1.2. Знакомство с конструктором	12
§ 1.3. Механическая передача	20
§ 1.4. Ремённая и фрикционная передачи	29
§ 1.5. Соосный редуктор	35
§ 1.6. Построение трёхмерной модели	38
Глава 2	
Моторные механизмы	46
§ 2.1. Источники питания	47
§ 2.2. Электродвигатель	52
§ 2.3. Тягловые машины	62
Глава 3	
Основы управления роботом	70
§ 3.1. Контроллеры	71
§ 3.2. Среда программирования роботов	79
§ 3.3. Управление мобильным роботом	85
§ 3.4. Знакомство с датчиками	90
§ 3.5. Взаимодействие с объектами	98

Глава 4

Возвратно-поступательное движение	104
§ 4.1. Мультипликатор	104
§ 4.2. Возвратно-поступательное движение, маятник Капицы . . .	109
§ 4.3. Шагающие роботы	113

Глава 5

Управление движением робота	120
§ 5.1. Точные перемещения	120
§ 5.2. Путешествие в лабиринте	125
§ 5.3. Правило правой руки	134
§ 5.4. Защита от застреваний	139
§ 5.5. Простейшие регуляторы	144
§ 5.6. Следование по линии. Релейный и пропорциональный регуляторы	151
§ 5.7. Следование по линии с двумя датчиками. Калибровка	158
§ 5.8. Определение перекрёстков и действия на них	164
§ 5.9. Безаварийное движение	170
§ 5.10. Объекты на линии	175
§ 5.11. Транспортировка предметов	182
Заключение	188

Дорогие ребята!

Книга, которую вы держите в руках, — необычная. Собственно, это даже не книга, а дверь, за ней — невероятно увлекательный мир робототехники. Сегодня создание роботов — самое перспективное направление развития мировой научной и конструкторской мысли.

Роботы-манипуляторы давно уже несут вахту на производствах, в службах контроля качества продукции и в складских комплексах — там, где можно заменить человека при выполнении тяжелого и монотонного труда.

Нечастые пока медицинские роботы осуществляют адресную доставку лекарств в организме пациента, собирают анализы, исследуют состояние больного и передают эту информацию врачам. Их более продвинутые «коллеги» проводят сложные обследования и хирургические операции — разумеется, под присмотром людей в белых халатах, но это пока...

В условиях долговременных космических полетов роботы станут надежными помощниками космонавтов, обеспечивая им комфортное пребывание на борту корабля. А в открытом космосе при устранении возможных неполадок оборудования им не понадобятся ни скафандры, ни кислород для дыхания. Так что вполне возможно, на красные пески Марса одновременно ступят ребристый ботинок космонавта и металлическая «нога» робота.

Но и на нашей планете работы у роботов хоть отбавляй. Они наведут идеальный порядок в жилище, быстро доставят почту, выстроят наилучший маршрут и доведут грузы и пассажиров в нужное место без аварий и опозданий... Да мало ли что могут сделать для человека такие устройства, не требующие пищи и воды, не знающие, что такое усталость и сон!

И всё это не преувеличение. Когда вы вырастаете, многие, даже самые невероятные сегодня направления использования роботов, станут чем-то привычным и само собой разумеющимся.

Хотите стать творцами будущего? В этом вам поможет наша книга. Вы научитесь собирать из деталей конструкторов модели робототехнических устройств и программировать их для выполнения заданных действий. Они помогут лучше понять, по каким законам и правилам существует мир реальных машин и механизмов.

Книга состоит из глав, разделенных на параграфы. Самые важные определения и термины выделены *жирным курсивом*, *светлым курсивом* даны те слова, на которые требуется обратить особое внимание. В разделе «Это интересно!» собраны любопытные факты из мира робототехники. Такие материалы расширяют ваш кругозор.

На полях страниц вы увидите специальные символы, которые облегчат навигацию по книге:



«Ключевые термины и определения» — указаны в тексте параграфа. Их необходимо запомнить.



«Проверьте себя» — эти материалы размещены в конце каждого параграфа. Вопросы повышенной сложности отмечены звездочкой *. Работа над вопросами и заданиями поможет понять и освоить пройденный материал. Некоторые задания связаны с поиском новой информации. Её можно найти в книгах и журналах из личной или школьной библиотеки, а также в сети Интернет.



«Запомните» — так называется заключительный раздел в конце параграфа. Здесь повторяются новые понятия, которые вы встретили в тексте. Будет совсем нелишним проверить, хорошо ли вы их запомнили и можете ли правильно объяснить.

Не нужно робеть! Все рассматриваемые в этой книге объекты и сюжеты — не для каких-то необыкновенных гениев. Это совершенно привычная, будничная деятельность ваших сверстников из города Санкт-Петербурга — воспитанников замечательного педагога и энтузиаста робототехники Сергея Александровича Филиппова.

Итак, вперед, друзья! Смелее открывайте дверь в чудесный мир робототехники!

Предисловие автора

С помощью этой книги вы познакомитесь с удивительным миром роботов и разберетесь в основах новой прикладной науки — робототехники.

Робототехника постепенно становится частью нашей жизни. Она включает в себя уже знакомые школьнику предметы: математику, физику, информатику. Используя знания, полученные на обычных уроках, вы научитесь конструировать и программировать автоматические устройства, очень похожие на настоящих роботов. Для этого вам понадобятся специальный робототехнический конструктор и среда программирования.

Самые известные робототехнические конструкторы — это LEGO® Mindstorms® и ТРИК. Специально для школьников в России разработана среда программирования роботов ТРИК Студия (TRIK Studio). С её помощью вы научитесь создавать простые и сложные алгоритмы управления, которые сможете проверить как на реальных роботах, так и в виртуальном мире.

Даже если у вас нет конструктора, в ТРИК Студию встроена двумерная модель мира, в которой маленький двухколесный робот исполняет множество различных алгоритмов: ездит по линиям, объезжает предметы, находит выход из лабиринта, рисует узоры.

Робот может быть надежным помощником и послушным исполнителем воли человека. Для этого необходимо научиться программировать его с помощью специальных алгоритмов управления. В пособии вам встретятся новые термины: регулятор, отклонение, управляющее воздействие. Используя простые математические формулы, вы сможете сделать поведение робота аккуратным и предсказуемым.

Полученные знания пригодятся на уроках технологии, занятиях робототехнического кружка, при выполнении творческих проектов, подготовке к участию в олимпиадах и соревнованиях.

С. А. Филиппов

1

Простейшие механизмы

Люди постоянно совершенствуют среду своего обитания, дополняя её новыми элементами. Уже в начале XXI века человека повсюду сопровождают автоматизированные устройства, которые помогают ему быстро и эффективно решать многие задачи. Самые сложные и умные из этих устройств называются роботами. Изначально роботы задумывались для замены человека при физической работе в сложных условиях. Но теперь диапазон их применения расширяется с каждым днём. Учёные создают роботов, которые смогут существовать рядом с людьми, быть похожими на них (рис. 1.1).

Вам предстоит познакомиться с увлекательной наукой — робототехникой, в которой применяются знания большинства школьных дисциплин. Создавая роботов, вы не только узнаете, как они

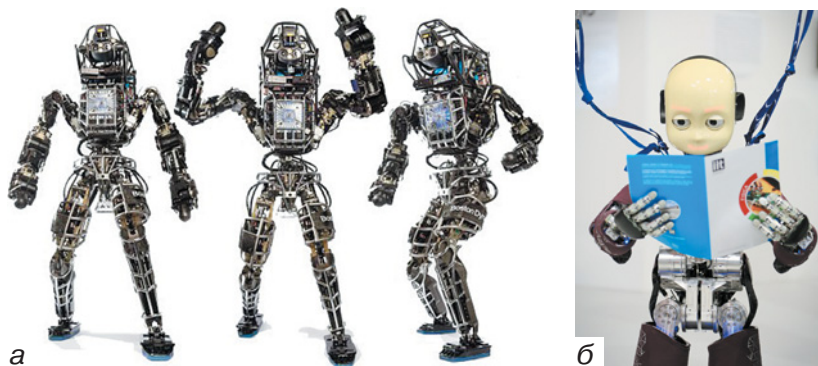


Рис. 1.1. Роботы: а — Atlas; б — iCub



устроены, но и научитесь использовать элементы робототехники в разных областях жизни.

Робот — это технически сложное устройство, которое включает в себя несколько обязательных составляющих: механическую, электронную, программную.

Давайте начнём по порядку.

§ 1.1. Механизм, автомат, робот

Механизм — это устройство, с помощью которого человек выполняет физическую работу, или подвижная часть некоторого более сложного устройства. Механизмы служат для передачи движения и преобразования энергии.

Автомат — это устройство, которое может работать по заложенной в него программе без участия человека.

Робот — это автомат, который способен ориентироваться в окружающей среде и обладает элементами искусственного интеллекта, то есть он может принимать «самостоятельные решения», например управлять автомобилем вместо водителя.

Механизм

Человек ограничен в своих физических возможностях, поэтому всегда стремился расширить их с помощью технических приспособлений. Одним из первых таких приспособлений, скорее всего, был рычаг.

Рычаг — это простейший механизм, представляющий собой балку, способную поворачиваться вокруг точки опоры (рис. 1.2 и 1.3).

Примером рычага может служить палка, с помощью которой первобытные люди выкапывали из земли съедобные корни или выворачивали камни. Нетрудно встретить рычаг в повседневной жизни: лом, лопата, тачка

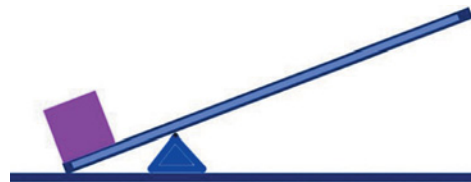


Рис. 1.2. Рычаг



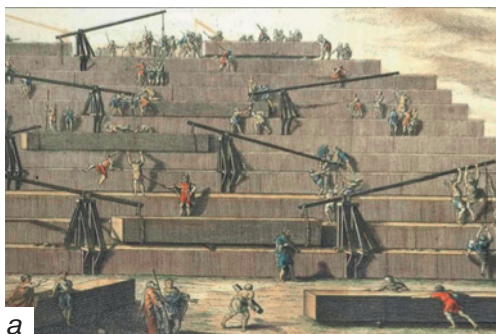


Рис. 1.3. Примеры механизмов: а — использование рычага при подъёме грузов; б — использование рычага в часовом механизме



Рис. 1.4. Автоматы: а — внутренний механизм музыкальной шкатулки; б — часы с кукушкой

Рис. 1.5. Пишущая кукла: а — внешний вид; б — внутренний механизм

и другие механизмы. Человеческое тело тоже состоит из множества рычагов: пальцы, руки, ноги. Со временем человек изобрёл приспособление, аналогов которому нет в организмах большинства живых существ, — *колесо*. С помощью колеса стало значительно легче перемещать грузы. Благодаря своим изобретениям, человек начал выполнять работу более эффективно, что, несомненно, улучшило его жизнь.

Таким образом, механизмом можно назвать устройство, с помощью которого человек выполняет физическую работу. С появлением более сложных устройств, которые при работе обходятся без участия человека, механизмы стали их составными частями.

Автомат

Со временем человек научился создавать механические устройства, которые работают самостоятельно, выполняя сложные цепочки действий (рис. 1.4 и 1.5). Например, музыкальная шкатулка или часы с кукушкой. Такие устройства работают по заложенной человеком программе и являются автоматами.

Механические автоматы с давних пор занимали умы изобретателей. И, хотя первые автоматы появились ещё до нашей эры, их расцвет приходится на XVIII–XIX века, когда были созданы механические животные, птицы и даже люди, которые действовали почти как настоящие. Механические куклы играли на музыкальных инструментах, писали длинные предложения, а животные были так похожи на настоящих, что церковь даже осуждала их как орудия дьявола.

И всё же, как бы ни были чудесны механические устройства прошлых веков, назвать роботами их нельзя. Расцвет робототехники начался только после того, как человечество освоило электричество, а, точнее, в XX веке.

Робот

В 1920 году чешский писатель *Карел Чапек* (рис. 1.6) впервые употребил термин «робот» в пьесе под названием «Р.У.Р.» (Россумские универсальные роботы). Основой послужило чешское слово «robota», что означает «тяжёлый труд». В этой пьесе роботы выходят из-под контроля людей.

Фантасты XX века в своих сочинениях приписывали роботам невероятные возможности искусственного интеллекта, которые до сих пор не достигнуты. Например, «три закона робототехники» (обязательные правила поведения роботов) *Айзека Азимова* (рис. 1.7), которые впервые были опубликованы в рассказе «Хоровод» в 1942 году, до



Рис. 1.6. К. Чапек



Рис. 1.7. А. Азимов

сих пор не могут быть соблюдены ни одним из современных роботов. Технологии ещё не достигли того уровня, при котором робот сможет самостоятельно выполнять эти законы, трактуя их как человек. Для этого робот должен обладать полноценным искусственным интеллектом, то есть запрограммированной способностью обучаться, воспринимать окружающий мир и действовать как человек.

В первой половине XX века начали появляться *заводы-автоматы*. Автоматические линии оказались очень выгодными при производстве крупных партий изделий. Впоследствии именно для заводов были изготовлены первые подобия роботов — программируемые манипуляторы (рис. 1.8). Таким образом, можно сказать, что робототехника берёт своё начало в промышленности.

Современных роботов разрабатывают учёные, используя достижения высшей математики, физики, информатики и многих других наук.

Основное отличие робота от автомата — присутствие элементов *искусственного интеллекта*. Эта грань строго не определена, поэтому в жизни некоторые автоматы тоже называются роботами. Их объединяет наличие специаль-



Рис. 1.8. Конвейер по сборке автомобилей промышленными манипуляторами


ных устройств — *датчиков*, с помощью которых автомат получает информацию из окружающего мира.


Проверьте себя

1. Какие механизмы вы используете в своей жизни дома, на даче, в школе?
2. Приведите примеры устройств, частью которых является механизм.
3. Перечислите автоматы, которые есть почти в каждом доме, на улице, в торговом центре.
4. Как задаётся мелодия в музыкальной шкатулке?
5. Какие автоматы работают без использования электричества? Как можно задать программу механическим способом?
6. Подготовьте небольшое сообщение о любом из известных вам роботов. Обратите внимание на то, чем этот робот отличается от автомата.
7. Принесите на занятие механизм, который может работать только при участии человека, и расскажите о нём.
8. Найдите в Интернете информацию о российских изобретателях механизмов и механических автоматов: А. К. Нартове, И. П. Кулибине, П. Л. Чебышёве или других.

Запомните ♦ Механизм ♦ Автомат ♦ Робот ♦ Рычаг


Это интересно!

 Название «робот» предложил Карелу Чапеку его брат. До того предполагалось название «лабор». Как бы тогда называлась наука по созданию «лаборов»?

 Впервые три закона робототехники были сформулированы писателем-фантастом Айзеком Азимовым в рассказе «Хоровод» в 1942 году. Впоследствии им было создано множество произведений, в которых показано, как сложно даже совершенному роботу выполнять эти законы в различных жизненных ситуациях. Но как бы ни вёл себя робот, ответственным за его поступки всегда является человек.

Законы робототехники

1. Робот не может причинить вред человеку или своим бездействием допустить, чтобы человеку был причинён вред.

- 
2. Робот должен повиноваться всем приказам, которые даёт человек, кроме тех случаев, когда эти приказы противоречат Первому Закону.
 3. Робот должен заботиться о своей безопасности в той мере, в которой это не противоречит Первому или Второму Законом.

§ 1.2. Знакомство с конструктором

Для изучения основ робототехники вам потребуется специальный конструктор — набор из деталей, а также электромеханических и электронных устройств. С детства вы встречались с подобными конструкторами, но они, как правило, предназначались для игр. Робототехнический конструктор предназначен для обучения и моделирования настоящих устройств.



Конструктор — это набор стандартных деталей, из которых можно собрать много разных моделей. Благодаря ему вы изучите множество механизмов.

Материалы, из которых сделаны детали конструкторов, могут различаться. Обычно это пластик или металл. Пластиковые детали легче соединять между собой, но конструкции из них менее прочные. Для соединения металлических деталей может потребоваться отвёртка или гаечный ключ.

В магазинах и Интернете можно найти много разнообразных робототехнических наборов. Однако не все они подходят для учебных задач. В состав школьного конструктора обычно входят следующие составные части:

- 1) комплект деталей для построения простейших механизмов;
- 2) моторы и источник электропитания (батарейный блок или аккумулятор);
- 3) контроллер («мозг» будущего робота);
- 4) датчики (устройства, реагирующие на свет, звук, температуру и передающие данные о них «мозгу»).

С моторами, контроллерами и датчиками вы познакомитесь чуть позже. Первым делом следует рассмотреть



основные детали конструктора, которые потребуются при сборке базовых механизмов. В качестве примера нам подойдут конструкторы «ТРИК», «ЛЕГО», «Фишертехник», «ВЕКС», «Роботрек», «Науробо», «Роботис».

Несущие детали

Балка — несущая часть большинства конструкций с крепёжными отверстиями или выступами (рис. 1.9). *Несущей частью* называют опорный элемент конструкции. Как правило, балка имеет четыре грани и прямоугольное сечение. Характерная особенность балок в современных конструкторах — наличие отверстий по всей длине на определённом расстоянии друг от друга. Расстояние между центрами двух отверстий называют *модулем* (рис. 1.10). Таким образом, длину любой детали можно измерять числом модулей. В металлических конструкторах для придания жёсткости в качестве балок используют *швеллеры* — детали, имеющие П-образное сечение.

Аналогичную деталь в других конструкторах называют планкой. **Планка** — это плоская упругая полоска с отверстиями (рис. 1.11). Особенность металлической планки в том, что после сгиба она сохраняет изогнутую форму.

Как правило, на планке бывает не более двух отверстий в ряд. Более широкие полосы из упругого материала

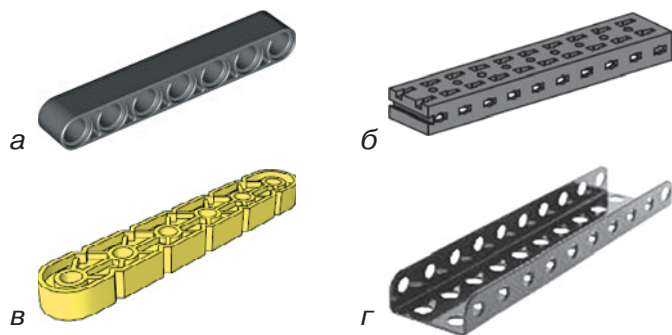


Рис. 1.9. Балки из робототехнических наборов: а — «ЛЕГО»; б — «Фишертехник»; в — «ВЕКС»; г — швеллер из «ТРИК»



Рис. 1.10. Модуль





Рис. 1.11. Планки из робототехнических наборов: а — «ЛЕГО»; б — «ТРИК»

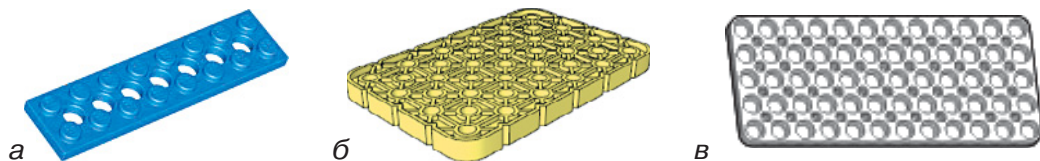


Рис. 1.12. Пластины из робототехнических наборов: а — «ЛЕГО»; б — «ВЕКС»; в — «Роботис»



Рис. 1.13. Изогнутые балки и уголки из робототехнических наборов: а — «ЛЕГО»; б — «ТРИК»; в — «ВЕКС»

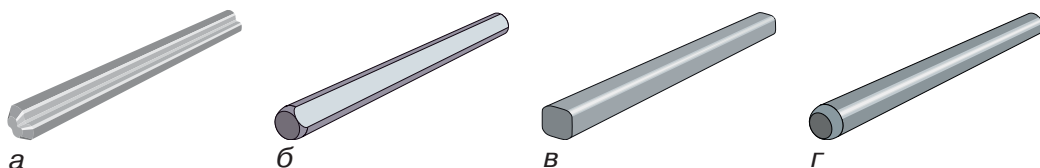


Рис. 1.14. Оси из робототехнических наборов: а — «ЛЕГО»; б — «ТРИК»; в — «ВЕКС»; г — «Фишертехник»

с крепёжными отверстиями или выступами называются **пластинами** (рис. 1.12).

Для крепления деталей под углом используются изогнутые балки или уголки (рис. 1.13). Если балка имеет изгиб, то при измерении учитывается длина каждого плеча в модулях.

Деталь конструктора под названием **ось** может быть использована в различных качествах. В технике ось — это неподвижный стержень, на котором держатся вращающиеся части механизмов. **Вал** — это стержень, свободно вращающийся в отверстиях опор и обеспечивающий враще-



ние колёс. Так как заранее не известно, в каком качестве будет использована деталь, для ясности можно сохранить только одно из названий. Далее при обозначении вала будет употребляться название ось. В идеале ось имеет круглое сечение, но для фиксации колёс и других деталей оси могут иметь плоские грани и даже крестообразное сечение (рис. 1.14).

Крепёжные элементы

Для надёжного соединения несущих деталей друг с другом используются *крепёжные элементы*. Как правило, они небольшого размера и присутствуют в наборе в большом количестве.

Штифт в робототехническом конструкторе — крепёжный элемент для соединения деталей через отверстия (рис. 1.15). Штифт может соединять две и более деталей. Как правило, штифт плотно входит в детали и держит их за счёт трения или специальных рёбер. Различаются гладкие штифты, допускающие некоторое вращение деталей друг относительно друга, и штифты с выступами, полностью блокирующие вращение.

Аналог штифта в металлическом конструкторе — винт с гайкой. **Винт** — это крепёжный элемент со спиральной нарезкой и головкой со шлицем. **Шлиц** — это прорезь под отвёртку в головке винта. В металлических конструкторах чаще всего используют плоские, крестовые или шестигранные отвёртки.

Гайка — кольцо со спиральной нарезкой изнутри для навинчивания на винт (рис. 1.16). Боковая поверхность

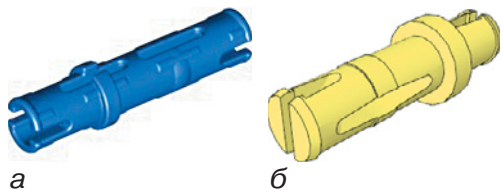


Рис. 1.15. Штифты из робототехнических наборов: а — «ЛЕГО»; б — «ВЕКС»

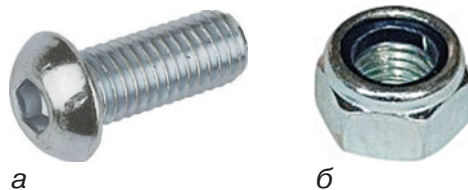


Рис. 1.16. Винт (а) и гайка (б) из робототехнического набора «ТРИК»



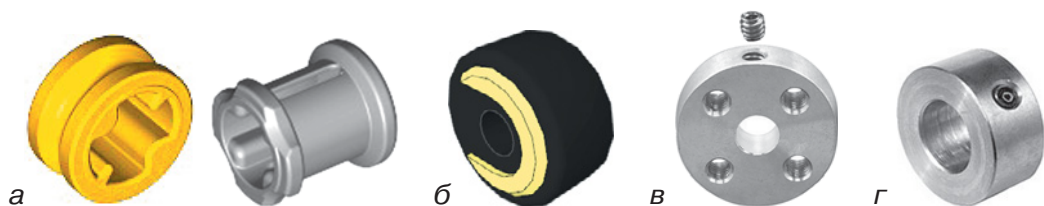


Рис. 1.17. Втулки из робототехнических наборов: а — «ЛЕГО»; б — «ВЕКС»; в — «Амперка»; г — «ТРИК»

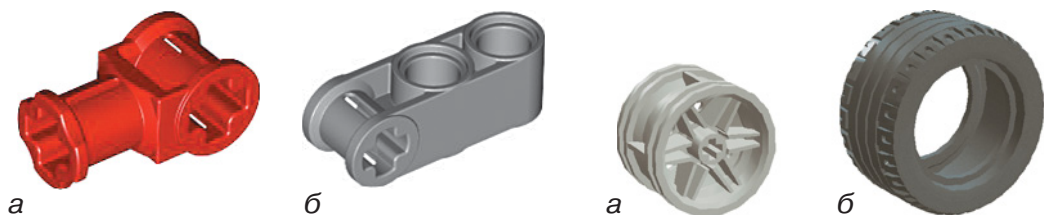


Рис. 1.18. а, б — фиксаторы из робототехнического набора «ЛЕГО»

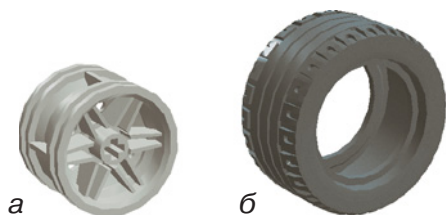


Рис. 1.19. Колесный диск (а) и резиновая шина (б) из робототехнического набора «ЛЕГО»

гайки чаще всего имеет шесть граней и для её удержания и закручивания применяется гаечный ключ соответствующего размера.

Для более надёжной фиксации используют гайки, снабжённые специальным элементом, блокирующим самопроизвольное развинчивание (самоконтрящиеся гайки).



Втулка — это кольцо или короткая трубка для фиксации оси (рис. 1.17). Втулки, как правило, держатся за счёт трения. В металлических конструкторах применяют втулки с потайным винтом (без головки), с помощью которого втулка фиксируется на оси.



Фиксатор — это элемент, закрепляющий ось в нужном положении. Фиксаторы имеют различную форму, углы поворота и количество отверстий для крепления (рис. 1.18).

Колёса



Колесо — это диск, вращающийся на оси. Колесо состоит из *ступицы* (колёсного диска) с отверстием для оси и *резиновой шины* (рис. 1.19). Размер колеса характеризуют его диаметром и шириной.

[. . .]

УРОКИ РОБОТОТЕХНИКИ



Сергей Александрович Филиппов – учитель и руководитель центра робототехники Президентского физико-математического лицея №239 в Санкт-Петербурге, тренер золотых медалистов WRO и победителей многих других соревнований, разработчик курсов для детей и педагогов, руководитель Всероссийского робототехнического лагеря, председатель попечительского совета фонда «Финист», организующего соревнования Робофинист и поддерживающего детей, увлекающихся созданием роботов.

Предлагаемое учебное пособие знакомит с основами робототехники. Оно поможет научиться моделировать автоматические устройства с использованием робототехнических конструкторов LEGO® и TRIK, создавать алгоритмы управления роботами в среде TRIK Studio. Рассмотрены физические основы робототехники. Приведены интересные, расширяющие кругозор факты, касающиеся истории робототехники и её современных достижений.

Пособие может быть использовано на уроках технологии, занятиях в робототехнических кружках, при выполнении проектов и подготовке к участию в соревнованиях и олимпиадах.

Предназначено для школьников 5–6 классов и старше, а также всех интересующихся робототехникой.

Не пропустите интересные проекты на платформе

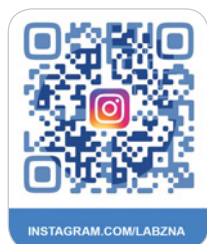
LEGO® MINDSTORMS® EDUCATION EV3®

WeDo 2.0® • ARDUINO® • RASPBERRY Pi®



info@pilotLZ.ru

www.pilotLZ.ru



6+



ISBN 978-5-00101-399-0



9 785001 013990