

УДК 004.4-053.2
ББК 32.973.26-018
Г85

The Art of LEGO MINDSTORMS EV3 Programming

Terry Griffin

Copyright © 2014 by Terry Griffin. Title of English-language original: The Art of LEGO MINDSTORMS EV3 Programming, ISBN 978-1-59327-568-6, published by No Starch Press.
Russian-language edition copyright © 2019 by EKSMO Publishing House. All rights reserved.

Гриффин, Терри.

Г85 Искусство программирования LEGO MINDSTORMS EV3 / Терри Гриффин ; [перевод с английского М. А. Райтмана]. — Москва : Эксмо, 2022. — 272 с. : ил. — (Подарочные издания. Компьютер).

ISBN 978-5-04-095834-4

Открыв книгу, ты удивишься, на что на самом деле способны роботы, собранные из обычных деталей LEGO. Сконструировав своего робота, ты научишь его самым невероятным трюкам и оснастишь искусственным интеллектом с помощью датчиков. Ты узнаешь все тонкости программирования, размещая и настраивая блоки в интерфейсе программы LEGO Mindstorms. Освоишь такие понятия, как операторы, выражения, переменные, циклы, логические значения и многие другие. Эта книга — твой пропуск в мир серьезного программирования и робототехники. Подходит для домашней и образовательной версии программного обеспечения LEGO Mindstorms, а значит, может использоваться как дома, так и в кружках робототехники.

УДК 004.4-053.2
ББК 32.973.26-018

ISBN 978-5-04-095834-4

© Райтман М.А., перевод на русский язык, 2018
© Оформление. ООО «Издательство «Эксмо», 2022

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Издание для досуга

ПОДАРОЧНЫЕ ИЗДАНИЯ. КОМПЬЮТЕР

Гриффин Терри

ИСКУССТВО ПРОГРАММИРОВАНИЯ LEGO MINDSTORMS EV3

Главный редактор *Р. Фасхутдинов*
Руководитель направления *В. Обручев*
Ответственный редактор *Е. Истомина*
Литературный редактор *Ю. Голобокова*
Младший редактор *А. Захарова*
Художественный редактор *К. Доброслов*
Компьютерная верстка *Э. Брегис*
Корректоры *А. Баскакова, Л. Макарова*

Страна происхождения: Российская Федерация
Шығарылған елі: Ресей Федерациясы

ООО «Издательство «Эксмо»

123308, Россия, город Москва, улица Зорге, дом 1, строение 1, этаж 20, каб. 2013.
Тел.: 8 (495) 411-68-86.

Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru

Өндіруші: «ЭКМО» АҚБ Баспасы,

123308, Ресей, қала Мәскеу, Зорге көшесі, 1 үй, 1 ғимарат, 20 қабат, офис 2013 ж.

Тел.: 8 (495) 411-68-86.

Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru.

Tauap belgisi: «Эксмо»

Интернет-магазин : www.book24.ru

Интернет-магазин : www.book24.kz

Интернет-дукен : www.book24.kz

Импортер в Республику Казахстан ТОО «РДЦ-Алматы».

Қазақстан Республикасындағы импорттаушы «РДЦ-Алматы» ЖШС.

Дистрибутор и представитель по приему претензий на продукцию,

в Республике Казахстан: ТОО «РДЦ-Алматы»

Қазақстан Республикасында дистрибутор және өнім бойынша арыз-талаптарды

қабылдаушының өкілі «РДЦ-Алматы» ЖШС,

Алматы қ., Домбровский көш., 3-а, литер Б, офис 1.

Тел.: 8 (727) 251-59-90/91/92; E-mail: RDC-Almaty@eksmo.kz

Өнімнің жарамдылық мерзімі шектелмеген.

Сертификация туралы ақпарат сайтта: www.eksmo.ru/certification

Сведения о подтверждении соответствия издания согласно законодательству РФ о техническом регулировании можно получить на сайте Издательства «Эксмо»

www.eksmo.ru/certification

Өндірген мемлекет: Ресей. Сертификация қарастырылмаған

Дата изготовления / Подписано в печать 19.01.2022.

Формат 60x84¹/₈. Печать офсетная. Усл. печ. л. 31,73.

Тираж экз. Заказ





ПРИСОЕДИНЯЙТЕСЬ К НАМ!

БОМБОРА

ИЗДАТЕЛЬСТВО

БОМБОРА – лидер на рынке полезных и вдохновляющих книг. Мы любим книги и создаем их, чтобы вы могли творить, открывать мир, пробовать новое, расти. Быть счастливыми. Быть на волне.

МЫ В СОЦСЕТЯХ:

   [bomborabooks](https://www.bomborabooks.ru)  [bombora](https://www.bombora.ru)

[bombora.ru](https://www.bombora.ru)

12+

ISBN 978-5-04-095834-4



9 785040 958344 >

В электронном виде книги издательства вы можете
купить на www.litres.ru

ЛитРес:
один клик до книг



Москва. ООО «Торговый Дом «Эксмо»

Адрес: 123308, г. Москва, ул. Зорге, д.1, строение 1.
Телефон: +7 (495) 411-50-74. **E-mail:** reception@eksmo-sale.ru

По вопросам приобретения книг «Эксмо» зарубежными оптовыми
покупателями обращаться в отдел зарубежных продаж ТД «Эксмо»
E-mail: international@eksmo-sale.ru

*International Sales: International wholesale customers should contact
Foreign Sales Department of Trading House «Eksmo» for their orders.
international@eksmo-sale.ru*

По вопросам заказа книг корпоративным клиентам, в том числе в специальном
оформлении, обращаться по тел.: +7 (495) 411-68-59, доб. 2261.

E-mail: ivanova.ey@eksmo.ru

Оптовая торговля бумажно-беловыми
и канцелярскими товарами для школы и офиса «Канц-Эксмо»:
Компания «Канц-Эксмо»: 142702, Московская обл., Ленинский р-н, г. Видное-2,
Белокаменное ш., д. 1, а/я 5. Тел./факс: +7 (495) 745-28-87 (многоканальный).
e-mail: kanc@eksmo-sale.ru, сайт: www.kanc-eksmo.ru

Филиал «Торгового Дома «Эксмо» в Нижнем Новгороде

Адрес: 603094, г. Нижний Новгород, улица Карпинского, д. 29, бизнес-парк «Грин Плаза»
Телефон: +7 (831) 216-15-91 (92, 93, 94). **E-mail:** reception@eksmonn.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Санкт-Петербурге

Адрес: 192029, г. Санкт-Петербург, пр. Обуховской обороны, д. 84, лит. «Е»
Телефон: +7 (812) 365-46-03 / 04. **E-mail:** server@szko.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Екатеринбурге

Адрес: 620024, г. Екатеринбург, ул. Новинская, д. 2щ
Телефон: +7 (343) 272-72-01 (02/03/04/05/06/08)

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Самаре

Адрес: 443052, г. Самара, пр-т Кирова, д. 75/1, лит. «Е»
Телефон: +7 (846) 207-55-50. **E-mail:** RDC-samara@mail.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Ростове-на-Дону

Адрес: 344023, г. Ростов-на-Дону, ул. Страны Советов, 44А
Телефон: +7(863) 303-62-10. **E-mail:** info@rnd.eksmo.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Новосибирске

Адрес: 630015, г. Новосибирск, Комбинатский пер., д. 3
Телефон: +7(383) 289-91-42. **E-mail:** eksmo-nsk@yandex.ru

Обособленное подразделение в г. Хабаровске

Фактический адрес: 680000, г. Хабаровск, ул. Фрунзе, 22, оф. 703
Почтовый адрес: 680020, г. Хабаровск, А/Я 1006
Телефон: (4212) 910-120, 910-211. **E-mail:** eksmo-khv@mail.ru

Филиал ООО «Издательство «Эксмо» в г. Тюмени

Центр оптово-розничных продаж Cash&Carry в г. Тюмени
Адрес: 625022, г. Тюмень, ул. Пермькова, 1а, 2 этаж. ТЦ «Перестрой-ка»
Ежедневно с 9.00 до 20.00. Телефон: 8 (3452) 21-53-96

Республика Беларусь: ООО «ЭКСМО АСТ Си энд Си»

Центр оптово-розничных продаж Cash&Carry в г. Минске
Адрес: 220014, Республика Беларусь, г. Минск, проспект Жукова, 44, пом. 1-17, ТЦ «Outleto»
Телефон: +375 17 251-40-23; +375 44 581-81-92
Режим работы: с 10.00 до 22.00. **E-mail:** exmoast@yandex.by

Казахстан: «РДЦ Алматы»

Адрес: 050039, г. Алматы, ул. Домбровского, 3А
Телефон: +7 (727) 251-58-12, 251-59-90 (91,92,99). **E-mail:** RDC-Almaty@eksmo.kz

Украина: ООО «Форс Украина»

Адрес: 04073, г. Киев, ул. Вербовая, 17а
Телефон: +38 (044) 290-99-44, (067) 536-33-22. **E-mail:** sales@forsukraine.com

**Полный ассортимент продукции ООО «Издательство «Эксмо» можно приобрести в книжных
магазинах «Читай-город» и заказать в интернет-магазине: www.chitai-gorod.ru.**

Телефон единой справочной службы: 8 (800) 444-8-444. Звонок по России бесплатный.

Интернет-магазин ООО «Издательство «Эксмо»

www.book24.ru

Розничная продажа книг с доставкой по всему миру.

Тел.: +7 (495) 745-89-14. **E-mail: imarket@eksmo-sale.ru**



book 24.ru

Официальный
интернет-магазин
издательской группы
"ЭКСМО-АСТ"

Посвящается моей семье, благодаря которой вся работа обретает смысл.

И Белле, ради которой я встаю по утрам.

Об авторе

Терри Гриффин уже более 20 лет работает инженером-программистом и создает программное обеспечение для управления различными типами машин. Он получил степень магистра в области компьютерных наук в Университете штата Массачусетс и преподавал программирование школьникам и взрослым. Будучи давним поклонником конструктора LEGO, он написал книгу *«The Art of LEGO MINDSTORMS NXT Programming»*, чтобы помочь жене, преподавателю естественных наук и математики, применять этих невероятных роботов в своей работе. Терри Гриффин работает в Инновационном центре ионной микроскопии компании Carl Zeiss, где разрабатывает программное обеспечение для управления микроскопами, отслеживающими заряженные частицы.

Благодарности

Я хотел бы поблагодарить членов моей семьи за терпение, которое они проявили, пока я писал эту книгу. Я выражаю особую благодарность своей жене Лиз за бесчисленные часы, потраченные на проверку текста, а также за то, что она мирилась с роботами, заполонившими столовую.

Эта книга не была бы закончена без помощи и поддержки Билла Поллока и сотрудников издательства No Starch Press. Мне было очень приятно работать с Сеф Крамер, Лорел Чун и Дженнифер Гриффит-Дельгадо. Их знания и опыт сыграли важную роль в завершении этого проекта.

Я также хотел бы поблагодарить моих технических рецензентов, Даниэля Бенедеттелли и Роба Торока. Их знание платформы EV3 и робототехники в целом позволило сделать материал актуальным и технически корректным.

О технических рецензентах

Даниэль Бенедеттели известен во всем мире благодаря своим оригинальным роботам LEGO, среди которых роботы-решатели кубика Рубика и роботы-гуманоиды. Будучи членом группы MINDSTORMS Community Partners (MCP), он участвовал в тестировании и разработке новых продуктов серии MINDSTORMS. Даниэль получил степень магистра робототехники и автоматизации в Сиенском университете в Италии. Он проводит образовательные презентации и семинары по робототехнике и информационно-коммуникационным технологиям по всему миру, преподает робототехнику в средней школе, а также разрабатывает модели LEGO для образовательных программ LEGO. Также он написал книгу «*The LEGO MINDSTORMS EV3 Laboratory*».

Роб Торк — преподаватель из Тасмании, Австралия, который еще в 2001 г. начал использовать роботов LEGO со своими учениками. Он наставляет команды, участвующие в соревнованиях RoboCup Junior и конкурсах FIRST Robotics Competition, а также ведет онлайн-курс по робототехнике SmartBots. В 2010 г. Роб провел шесть месяцев в Образовательном центре по распространению инженерных наук при Университете Тафтса (CEEO) в Бостоне и по сей день продолжает сотрудничество с ним. В настоящее время он совмещает деятельность с работой контент-редактора на сайтах LEGOengineering.com и LEGOeducation.com.au.

Оглавление

Об авторе	6
Благодарности	7
О технических рецензентах	8
Введение	17
Для кого предназначена эта книга	17
Предварительные требования	17
Чего ожидать от этой книги	17
Как лучше всего использовать эту книгу	19
Глава 1	
LEGO и роботы: отличная комбинация	20
LEGO MINDSTORMS EV3	20
Набор LEGO MINDSTORMS EV3	21
Программное обеспечение LEGO MINDSTORMS EV3	22
Программное обеспечение, прошивка и аппаратные средства	22
Искусство и инженерия	22
Качества хорошей программы	23
Что ты узнаешь из этой книги	23
Онлайн-сообщество LEGO MINDSTORMS	24
Что дальше?	24
Глава 2	
Среда программирования EV3	25
Экскурсия по программному обеспечению MINDSTORMS	25
А: Область программирования	26
Б: Редактор контента	26
В: Палитра программирования	26
Г: Страница аппаратных средств	26
Д: Кнопки загрузки и запуска программы	27
Написание программы для модуля EV3	27
Общая структура блока	27
Твоя первая программа	28
Сохранение результатов работы	28
Запуск программы	29
Свойства проекта	29
Твоя вторая программа	30
Комментарии	31
Добавление комментария	31
Нюансы работы с комментариями	32

Контекстная справка	32
Заключение	32
Глава 3	
TriBot: тестовый робот	33
Компоненты робота TriBot	33
Сборка мотора и шасси	36
Сборка опорного ролика	40
Сборка опорного ролика из деталей домашней версии конструктора	40
Сборка опорного ролика из деталей образовательной версии конструктора	42
Установка модуля EV3	43
Монтаж инфракрасного или ультразвукового датчика	43
Монтаж датчика цвета	44
Монтаж гироскопического датчика (образовательная версия конструктора)	46
Сборка бампера для датчика касания	46
Подключение кабелей	49
Подключение датчика касания	49
Подключение инфракрасного или ультразвукового датчика	49
Подключение датчика цвета	50
Подключение гироскопического датчика (образовательная версия)	50
Подключение моторов	50
Альтернативное расположение датчика цвета	50
Альтернативное расположение ультразвукового или инфракрасного датчика	51
Сборка подъемного рычага	52
Заключение	57
Глава 4	
Движение	58
Моторы EV3	58
Блок «Рулевое управление»	58
Режим	59
Рулевое управление	59
Мощность	60
Продолжительность	60
Торможение в конце	61
Порт	61
Представление порта	61
Приложение Port View модуля EV3	62
Программа ThereAndBack	62
Движение вперед	62
Разворот	63
Тестирование отдельного блока	63
Возвращение в исходное положение	63
Программа AroundTheBlock	64
Первая сторона и угол квадрата	64
Остальные стороны и углы квадрата	64
Тестирование программы	65
Блок «Независимое управление моторами»	65
Блоки «Большой мотор» и «Средний мотор»	66
Подъемный рычаг	66
Блок «Инвертирование мотора»	67
Проблема при движении накатом	67
Дальнейшее исследование	69
Заключение	70
Глава 5	
Датчики	71
Использование датчиков	71

Датчик касания	71
Программа VumperBot	72
Движение вперед	72
Обнаружение препятствия	73
Откат и поворот	73
Тестирование	74
Датчик цвета	74
Режим «Цвет»	74
Режим «Яркость отраженного света»	75
Режим «Яркость внешнего освещения»	75
Вкладка «Представление порта»	76
Программа IsItBlue	76
Блок «Переключатель»	76
Усовершенствование программы	77
<i>Использование датчика касания</i>	77
<i>Добавление цикла</i>	78
Программа LineFinder	78
Использование вкладки «Представление порта» для определения порогового значения	79
Инфракрасный датчик и удаленный инфракрасный маяк	80
Режим «Приближение»	80
Режимы «Направление маяка» и «Приближение маяка»	80
Режим «Удаленный»	81
Программа VumperBot-WithButtons	81
Ультразвуковой датчик	82
Режимы «Расстояние в дюймах» и «Расстояние в сантиметрах»	82
Режим «Присутствие/слушать»	82
Программа DoorChime	82
Обнаружение человека	83
Воспроизведение звукового сигнала	83
Прекращение воспроизведения звонка	84
Гироскопический датчик	84
Режим «Скорость»	85
Режим «Угол»	85
Сброс угла	85
Программа GyroTurn	85
Датчик вращения мотора	86
Программа VumperBot2	87
Дальнейшее исследование	88
Заключение	88
Глава 6	
Процесс выполнения программы	89
Блок «Переключатель»	89
Задание условия	89
Программа LineFollower	90
Основная часть программы	90
Выбор порогового значения для датчика цвета	91
Настройка блоков «Рулевое управление»	92
Тестирование программы	92
Наличие более двух вариантов	92
Тестирование программы	94
Использование вида с вкладками	94
Программа RedOrBlue	94
Распознавание красных объектов	95
Добавление нового случая	95
Случай по умолчанию	96
Блок «Цикл»	96

Блок «Прерывание цикла»	98
Программа BumperBot3	98
Дальнейшее исследование	100
Заключение	100
Глава 7	
Программа WallFollower: путешествие по лабиринту	101
Псевдокод	101
Нахождение выхода из лабиринта	102
Требования к программе	103
Допущения	104
Начальный этап разработки	104
Следование вдоль прямой стены	105
Написание кода	105
Тестирование	107
Поворот за угол	107
Написание кода	108
Тестирование	109
Въезд в проход	109
Написание кода	110
Тестирование	110
Итоговый тест	112
Дальнейшее исследование	112
Заключение	113
Глава 8	
Шины данных	114
Что такое шина данных?	114
Программа GentleStop	114
Написание программы	115
Советы по использованию шин данных	116
Программа SoundMachine	117
Управление громкостью звука	117
Использование блока «Математика»	118
Добавление средства для настройки тона звука	119
Типы данных	120
Отображение значений частоты и громкости звука	120
Использование блока «Текст»	121
Добавление меток к отображаемым значениям	121
Отображение значения громкости звука	122
Дальнейшее исследование	123
Заключение	124
Глава 9	
Шины данных и блок «Переключатель»	125
Режимы блока «Переключатель»	125
Переписываем программу GentleStop	126
Передача данных в блок «Переключатель»	127
Преимущества использования блока датчика	128
Передача данных из блока «Переключатель»	128
Упрощаем программу LineFollower	131
Дальнейшее исследование	133
Заключение	134
Глава 10	
Шины данных и блок «Цикл»	135
Режим «Логическое значение»	135
Вывод «Параметр цикла»	136

Программа LoopIndexTest	136
Повторный запуск цикла	137
Итоговое значение вывода «Параметр цикла»	137
Программа SpiralLineFinder	138
Движение по спирали	138
Обнаружение линии при движении по спирали	139
Использование гироскопического датчика для выполнения более точных поворотов	140
Дальнейшее исследование	141
Заключение	142
Глава 11	
Переменные	143
Блок «Переменная»	143
Программа RedOrBlueCount	144
Создание и инициализация переменных	145
Отображение исходных значений	146
Подсчет красных объектов	146
Подсчет синих объектов	147
Управление переменными с помощью страницы «Свойства проекта»	148
Блок «Сравнение»	149
Программа LightPointer	149
Определение переменных	150
Поиск источника света	150
Создание программы LightPointer	151
Блок «Константа»	154
Дальнейшее исследование	154
Заключение	155
Глава 12	
Мои блоки	156
Создание контейнера «Мой блок»	156
Палитра «Мои блоки»	158
Изменение контейнера «Мой блок»	158
Контейнер LogicToText	159
Добавление, удаление и перемещение параметров	162
Вкладка «Настройка параметров»	163
Контейнер DisplayNumber	163
Изменение параметров контейнера «Мой блок»	165
Переменные и мои блоки	165
Дальнейшее исследование	167
Заключение	167
Глава 13	
Математика и логика	168
Режим «Дополнения» блока «Математика»	168
Поддерживаемые операторы и функции	168
Оператор деления по модулю	169
Ошибки блока «Математика»	169
Программа LineFollower с пропорциональным управлением	171
Таймеры модуля EV3	172
Программа DisplayTimer	173
Разделение показания таймера на минуты и секунды	173
Создание текста для отображения	174
Блок «Округление»	175
Блок «Случайное значение»	176
Добавление случайного поворота в программу BumperBot	177
Блок «Логические операции»	178
Добавление логики в программу BumperBot	179

Блок «Интервал»	179
Программа TagAlong	180
Программа GyroPointer	181
Дальнейшее исследование	182
Заключение	182
Глава 14	
Индикаторы, кнопки и экран модуля EV3	183
Кнопки модуля EV3	183
Программа PowerSetting	184
Начальное значение переменной и цикл	184
Отображение текущего значения переменной	185
Корректировка значения переменной Power	185
Тестирование программы	186
Более быстрый способ изменения значения переменной	186
Индикатор состояния модуля	187
Программа ColorCory	187
Блок Экран	188
Вывод изображения на экран	188
Программа Eyes	188
Рисование на экране модуля EV3	189
Программа EV3Sketch	190
Дальнейшее исследование	191
Заключение	191
Глава 15	
Массивы	192
Обзор и терминология	192
Создание массива	192
Блок «Операции над массивом»	193
Режим «Длина»	193
Режим «Читать по индексу»	194
Режим «Записывать по индексу»	194
Режим «Дополнить»	194
Программа ArrayTest	195
Программа ButtonCommand	196
Создание массива команд	196
Отображение команд	197
Выполнение команд	198
Программа ColorCount	199
Контейнер ColorToText	200
Контейнер AddColorCount	201
Использование шины данных для выбора звукового файла	202
Инициализация	203
Подсчет цветных объектов	204
Программа MemoryGame	205
Запуск цикла	205
Создание последовательности вспышек	206
Контейнер WaitForButtons	206
Проверка ответа пользователя	207
Дальнейшее исследование	208
Заключение	208
Глава 16	
Файлы	209
Блок «Доступ к файлу»	209
Указание имени файла	209
Запись данных в файл	209

Чтение данных из файла	210
Сохранение рекорда в программе MemoryGame	211
Программа FileReader	213
Добавление меню в программу ColorCount	214
Контейнер CreateMenu_CC	215
Контейнер SelectOption	215
<i>Выбор пункта меню</i>	216
<i>Возвращение выбранного варианта</i>	216
<i>Создание контейнера «Мой блок»</i>	218
Новая структура программы ColorCount	218
Подсчет объектов	219
Сохранение и загрузка итоговых значений	221
Тестирование	221
Управление памятью	221
Дальнейшее исследование	223
Заключение	224
Глава 17	
Ведение журнала данных	225
Сбор данных и модуль EV3	225
Исследование параметра «Текущая мощность»	225
Программа CurrentPowerTest	225
Контейнер LogData	228
Программа CurrentPowerTest2	229
Проверка текущей мощности с помощью блока «Рулевое управление»	230
Программа SteeringTest	231
Программа VerifyLightPointer	232
Управление количеством данных	233
Дальнейшее исследование	234
Заключение	234
Глава 18	
Многозадачность	235
Несколько блоков «Начало»	235
Блок «Остановить программу»	236
Избегание цикла активного ожидания	236
Добавление мигающей подсветки в программу DoorChime	237
Правила, касающиеся процесса выполнения программы	240
Запуск блоков и шины данных	240
Использование значений из блоков «Цикл» или «Переключатель»	241
Использование контейнеров «Мой блок»	242
Синхронизация двух последовательностей	242
Предотвращение неполадок	243
Дальнейшее исследование	244
Заключение	244
Глава 19	
Программа LineFollower с ПИД-регулятором	245
ПИД-регулятор	245
Пропорциональное регулирование	246
Необработанные данные	247
Хорошие и плохие зоны	247
<i>Хорошая зона</i>	248
<i>Светлая сторона, Плохая зона</i>	248
<i>Темная сторона, Плохая зона</i>	248
<i>Зона катастрофы</i>	249
Выбор целевого значения	249
Определение минимального и максимального показаний датчика	249

Нормализация показаний датчика и целевых значений	251
Доработка программы LineFollower с пропорциональным регулированием	252
Реализация ПИД-регулятора	254
Добавление дифференциальной составляющей ПИД-регулятора	254
Добавление интегральной составляющей ПИД-регулятора	255
Настройка ПИД-регулятора	256
Дальнейшее исследование	258
Заключение	258
Приложение А	
Совместимость платформ NXT и EV3	259
Моторы	259
Датчики	259
Программное обеспечение	260
Приложение Б	
Веб-сайты, посвященные набору EV3	261
Предметный указатель	262