

Анализ продолжительности работы современных антропоморфных роботов и структура энергопотребления составляющих модулей на примере AR-601

В.И. Петренко
Институт информационных технологий и телекоммуникаций
Кафедра организации и технологии защиты информации
Северо-Кавказский федеральный университет
Ставрополь, Россия
e-mail: vip.petrenko@gmail.com

М.М. Гурчинский
Институт информационных технологий и телекоммуникаций
Кафедра информационных систем и технологий
Северо-Кавказский федеральный университет
Ставрополь, Россия
e-mail: gurmikhail@yandex.ru

В.О. Антонов
Институт информационных технологий и телекоммуникаций
Кафедра организации и технологии защиты информации
Северо-Кавказский федеральный университет
Ставрополь, Россия
e-mail: ant.vl.02@gmail.com

Д.Е. Пижевский
Институт информационных технологий и телекоммуникаций
Кафедра организации и технологии защиты информации
Северо-Кавказский федеральный университет
Ставрополь, Россия
e-mail: dimapizhevskii@mail.ru

Аннотация¹

В статье проведен анализ продолжительности современных отечественных и зарубежных антропоморфных роботов на примере роботов Asimo (Япония), Reem-C (Испания), DRC-Hubo+(Корея), HRP-4 и HRP-4C (Япония), Walk-Man (Италия), Atlas (США), Alpha1 PRO (Китай), Kengoro (Япония), OceanOne (США), R5 Valkyrie (США), AR-600 (601) и SAR-400 (401) (Россия), FEDOR (Россия). Рассмотрены существующие методы решения проблемы увеличения продолжительности работы роботов, разработка перспективных источников питания, облегчение материалов и модификация конструкции роботов. Проведено экспериментальное исследование и анализ энергопотребления модулей антропоморфного робота на примере AR-601. Суть эксперимента заключается в исследовании потребляемого тока составных модулей робота при максимальной нагрузке на систему в течении 1 минуты. Результаты эксперимента представлены в данной публикации

Труды Шестой всероссийской научной конференции "Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений", 28-31 мая, Уфа-Ставрополь, Россия, 2018

1. Введение

Разработка антропоморфных робототехнических систем (АРТС) обусловлена необходимостью замены человека в ряде профессиональных направлений, сопряженных с рисками причинения вреда здоровью. К таким профессиональным направлениям можно отнести аварийно-спасательные службы, ядерную промышленность, исследовательскую деятельность, космическую индустрию, военное дело и т.д.

Так как данные виды деятельности требуют присутствия человека и не могут быть заменены другими мобильными манипуляционными роботами, к робототехническим системам предъявляются требования антропоморфизма или человекоподобия.

Соответствие между человеком и антропоморфным роботом накладываются не только на морфологические характеристики, но и на системную динамику, тактико-технические показатели, тактильные рецепторы и др. При разработке АРТС разработчики сталкиваются с рядом проблем, актуальной из которых является невысокая продолжительность работы в автономном режиме.

2. Публикация

Продолжительность автономной работы одного из ведущих антропоморфных роботов японской корпорации Honda в подразделении Honda Robotics - Asimo (сокращение от Advanced Step in Innovative

MObility) составляет всего около 60 минут с литиевой ионной аккумуляторной батареей 51,8 V [1].

Антропоморфный полноразмерный робот Reem-C от испанской компании PAL Robotics имеет продолжительность работы около 3 часов в режиме ходьбы при аккумуляторной батарее в 48 V [2].

Робот DRC-Hubo+ (Институт прорывных исследований в науке и технике, KAIST, Корея) с батареей 48 V обеспечивает 130 минут автономной работы [3].

Антропоморфный робот HRP-4 японского научно-производственного объединения и компании Kawada Heavy Industries и человекоподобный робот с настоящей роботизированной головой японской молодой женщины HRP-4C, разработанный компанией AIST работающие на никель-металл-гидридном аккумуляторе 48 V способны автономно проработать около 120 минут [4;5].

Итальянский робот Walk-Man итальянского технологического института в Генуе созданный в рамках 7-й рамочной программы Европейского сообщества способен без зарядки функционировать около 2 часов, при высокой массе в 118 кг [6].

Американский робот Atlas весом 75 кг содержит литий-ионную аккумуляторную батарею 48 V, работоспособность около до 120 минут [7].

Робот Kengoro отличается наличием двигателей с жидким охлаждением, что позволяет выполнять задания дольше. Обладая высотой 1,7 метров и весом 56 кг, антропоморфный робот может работать на полную мощность в течение 11 минут без перегрева.

Бимануальный подводный гуманоидный робот OceanOne, способен выполнять автономные миссии в течение 60 минут [8].

Антропоморфный робот R5 Valkyrie построен JSC для участия в испытаниях DARPA. Его вес составляет 136 кг, высота 188 см, 44 степеней свободы. Обычная батарея с двойным напряжением способна запускать робота на час.

Отечественные роботы линейки AR-600 от ПАО «НПО Андронидная техника» - единственного в России производителя полноразмерных антропоморфных роботов работают порядка 60 минут со сборной аккумуляторной батареей LiFePo₄, состоящей из 15 банок 48 V [9].

Одним из лидеров отечественной разработки являются антропоморфным роботам относят SAR-400, целью которого являлось выполнение простых задач в космосе. Из-за недостаточной мощности приводных механизмов, создан модернизированная модель SAR-401 с увеличенной мощностью привода, позволяющей проводить манипуляции с тяжёлыми предметами. Средняя продолжительность работы составляет около 60 минут.

На основе SAR-400 (401) разработан FEDOR от ПАО «НПО Андронидная техника» с LiFePO₄ аккумуляторной батареей 48 V, продолжительность работы которого достигает до 120 минут.

При перечисленных показателях продолжительности автономной работы антропоморфные роботы способны обеспечить только частичную замену человека в течении 60 до 180 минут, что ставит под вопрос целесообразность их использования при высокой стоимости (от 70000\$ и выше) и требует дальнейшего развития науки в этой области.

Причины возникновения проблемы энергопотребления антропоморфных роботов заключаются в невысокой емкости современных аккумуляторных батарей и высоком энергопотреблении программных и аппаратных составляющих робота.

К способам увеличения продолжительности работы антропоморфных робототехнических систем относят:

- Разработка и применение перспективных источников питания и модулей АКБ;
- Модификация конструкций АРТС;
- Модификация математических алгоритмов и методов выполнения целевых операций модулями АРТС.

Относительно вышеперечисленных пунктов можно сказать, что необходимо стремиться к «облегчению» конструкций. Одним из перспективных материалов является графен. Исследователи из Массачусетского технологического института (США) нашли способ создать уникальный материал на основе графена. Новый материал в 20 раз легче стали, но при этом в 10 раз прочнее [10].

В основе конструкции — одноатомный слой графена, который многократно изгибается, создавая особую многоярусную застывшую волну. Толщина листа при этом остается очень малой, а расстояние до соседних плоских графеновых поверхностей, наоборот, большим. Таким образом, листы не слипаются, а значит, прочность материала остается как у графена, а не снижается до графитовой.

Это своеобразное оригами ведет себя похоже на конструкции из обычной бумаги. Если единичный бумажный лист легко деформируется, то объемные фигуры из одного или нескольких листов ведут себя иначе. На данный момент структура нового материала уже проверена на макромоделях, и на практике подтверждены его свойства. Теперь авторы разработки приступают к созданию самого материала. Такой легкий и прочный материал найдет себе применение во множестве приложений, в том числе в робототехнике, аэрокосмической отрасли, медицине и так далее.

Рассмотрим возможные перспективные источники питания и модулей АКБ.

На данный момент уже есть большое количество питающих элементов, которые применяются в различных сферах [11]. Наибольшую популярность имеют: литий-ионные аккумуляторы (Li-ion), литий-полимерные аккумуляторы (Li-pol), свинцовые аккумуляторы (Pb), никель-кадмиевые аккумуляторы (Ni-Cd), никель-металлогидридные аккумуляторы (Ni-MH), никель-водородные аккумуляторы, а также серебряно-цинковые и серебряно-кадмиевые аккумуляторы. Но, к сожалению, все эти питающие элементы уже устаревают из-за нехватки ёмкости и отдаваемого тока, а также из-за токсичности и риска взрывоопасности. Относительно вышеперечисленных пунктов можно сказать, что необходимо стремиться к «облегчению» конструкций, замене источников питания на более доступные и эффективные, например, солнечные батареи или аккумуляторы, в качестве окислителя которых используется кислород. В связи с этим уже стартовал ряд стартапов к созданию безопасных компактных аккумуляторов с повышенной ёмкостью, токоотдачей и безопасностью.

Литий-воздушные «дышащие» аккумуляторы. В литий-воздушных аккумуляторах в качестве окислителя используется кислород. Предположительно они могут быть во много раз дешевле и легче литий-ионных аккумуляторов, а их ёмкость способна оказаться гораздо больше при сравнимых размерах. Главные проблемы технологии: низкий КДП при зарядке (до 30 %) и относительно быстрая потеря ёмкости. Но есть надежда, что в течение 5-10 лет эти проблемы удастся решить. Например, в прошлом году была представлена новая разновидность литий-воздушной технологии – аккумулятор с нанолитическим катодом.

Аккумуляторы с золотыми нанопроводниками. В Калифорнийском университете в Ирвайне разработали нанопроводниковые аккумуляторы, которые могут выдерживать более 200 тыс. циклов зарядки в течение трёх месяцев без каких-либо признаков потери ёмкости. Это позволит многократно увеличить жизненный цикл систем питания в критически важных системах и потребительской электронике. Нанопроводники в тысячи раз тоньше человеческого волоса. В своей разработке учёные применили золотые провода в оболочке из диоксида марганца, которые помещены в гелеобразный электролит. Это предотвращает разрушение нанопроводников при каждом цикле зарядки.

Твердотельные аккумуляторы. В обычных литий-ионных аккумуляторах в качестве среды для переноса заряженных частиц между электродами используется жидкий легковоспламеняющийся электролит, постепенно приводящий к потере ёмкости аккумулятора. Этого недостатка лишены твердотельные литий-ионные аккумуляторы, которые сегодня считаются одними из самых перспективных. Например, разработчики Toyota опубликовали

научную работу, в которой описали свои эксперименты с сульфидными сверхионными проводниками. Если всё получится, то будут созданы аккумуляторы на уровне суперконденсаторов — они станут полностью заряжаться или разряжаться всего за семь минут. Идеальный вариант для электромобилей. А благодаря твердотельной структуре такие аккумуляторы будут гораздо стабильнее и безопаснее современных литий-ионных. Расширится и их рабочий температурный диапазон – от -30 до +100 градусов по Цельсию.

Топливные ячейки. Благодаря совершенствованию топливных ячеек может произойти увеличение времени работы смартфонов, заряжать его придётся раз в неделю, а дроны станут летать дольше часа. Учёные из Пхоханского университета науки и технологии (Южная Корея) создали ячейку, в которой объединили пористые элементы из нержавеющей стали с тонкоплёночным электролитом и электродами с минимальной теплоёмкостью. Конструкция оказалась во много раз надёжнее литий-ионных аккумуляторов и работает дольше них.

Графеновые автомобильные аккумуляторы. Многие специалисты считают, что будущее – за графеновыми аккумуляторами. В компании Graphenano разработали аккумулятор Grabat, который может обеспечить запас хода электромобиля до 800 км. Разработчики уверяют, что аккумулятор заряжается всего за несколько минут – скорость зарядки/разрядки в 33 раза выше, чем у литий-ионных. А ёмкость 2,3-вольтового Grabat огромна: около 1000 Вт*ч/кг. Для сравнения, у лучших образцов литий-ионных аккумуляторов – на уровне 180 Вт*ч/кг.

Натрий-ионные аккумуляторы. Группа французских исследователей и компаний RS2E разработала натрий-ионные аккумуляторы для ноутбуков, в которых используется обычная соль. Принцип работы и процесс изготовления держатся пока что в секрете. Ёмкость 6,5-сантиметрового аккумулятора – 90 Вт*ч/кг, что сравнимо с массовыми литий-ионными, но он выдерживает пока не более 2 тыс. циклов зарядки.

И это только малая часть от всех проектов по созданию аккумулятора будущего.

Для исследования необходимости модификация математических алгоритмов и методов выполнения целевых операций модулей АРТС проведем экспериментальное исследование и анализ энергопотребления транспортного, исполнительного, сервисного и управляющего модуля на примере антропоморфного робота AR-601.

Эксперимент ставит перед собой целью проанализировать энергопотребление модулей робота AR-601 при максимальной нагрузке в течении 1 минуты.

Краткое описание электронной и механической составляющей робота AR-601. Робот выполнен с антропоморфной структурой, обеспечивающей кинематические характеристики, приближенные и свойственные человеку. Силовой электропривод осуществлён на базе двигателей постоянного тока Maxon с волновым редуктором Harmonic Drive под управлением микроконтроллера ARM Cortex-M4 STM32F405RGT6.

Энергопотребление будет измеряться в 4 основных модулях: транспортный, исполнительный, управляющий и сервисный модуль. В ходе эксперимента будет выявлено, какой модуль будет потреблять большее количество энергии.

План проведения эксперимента:

1. Измерение потребления электроэнергии модулями по отдельности при максимальной нагрузке в течении 1 минуты при помощи ваттметра.

2. Составление диаграммы для наглядного представления о энергопотреблении модулей робота AR-601 при максимальной нагрузке в течении 1 минуты.

3. Анализ полученных данных, на основе проведённого эксперимента.

Рисунок 1 наглядно показывает расположение основных элементов всех 4 модулей, их компоновку, а также упрощённую схему соединений [12]. Относительное расположение условно механических и логических элементов, для большего представления устройства системы управления роботом AR-601.

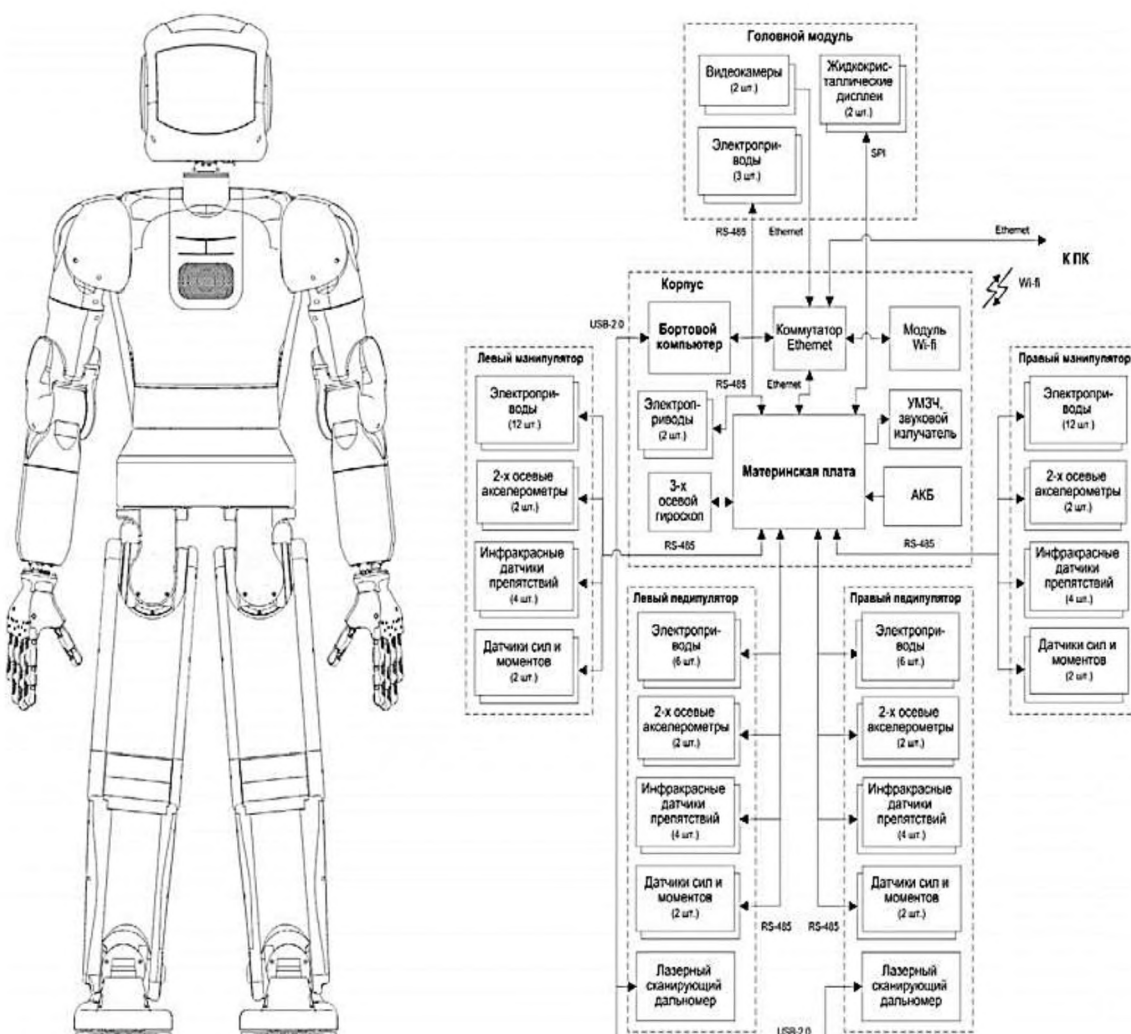


Рис.1 Структурная схема системы управления AR-601

В ходе эксперимента каждый модуль AR-601 был проверен на энергопотребление при максимальной нагрузке при помощи ваттметра. При анализе и

сопоставлении результатов с исходными данными представленными на рисунке 2 «Технические характеристики электродвигателей».

№	Обозначение	Кол-во	Характеристика
1	Maxon RE13	1	3 Вт; 0,35 Нм
2	Maxon RE16	2	4,5Вт; 48В;3170об/мин; 4,77 мНм
3	Maxon RE25 тип 1	2	20Вт; 48В;9160об/мин; 27,7 мНм
4	Maxon RE25 тип 2	4	20Вт; 48В;9160об/мин; 27,7 мНм
5	Maxon RE25 тип 3	1	20Вт; 48В;9160об/мин; 27,7 мНм
6	Maxon RE35	11	90Вт; 48В;6530об/мин; 99,4 мНм
7	Maxon RE40 тип1	8	150Вт; 48В; 7000об/мин; 187 мНм
8	Maxon RE40 тип 2	4	150Вт; 48В;7000об/мин; 187 мНм
9	Maxon PNB72AT	14	8,16В;48В;9280об/мин;5,39мНм
10	Итого	43	

Рис. 2 Технические характеристики электродвигателей

Результаты проведения эксперимента показали следующие результаты:

Транспортный модуль – 78,4 Вт;

Исполнительный модуль – 62,3 Вт;

Управляющий модуль – 20,78 Вт;

Сервисный модуль – 27,4 Вт.

Результаты эксперимента в процентном соотношении представлены на рисунке 3.



Рис. 3 Процентное соотношение энергопотребления модулей робота в период времени 1 мин

В ходе исследования было выявлено, что большую часть энергии потребляет транспортный модуль (41,5%). В него входят педипуляторы, и повышенное энергопотребление вызвано тем, что большая часть электродвигателей расположена в нижней части робота AR-601, для того, чтобы робот мог стабильнее держать равновесие. На втором месте идёт исполнительный модуль (33%), так как в него входят манипуляторы, а для них используется меньшее число электродвигателей, по сравнению с транспортным модулем, а также используются маломощные электродвигатели. На третьем месте сервисный модуль (14,5%). В него входят элементы, предназначенные для сбора и анализа информации – датчики, например: G-сенсор, гироскоп, акселерометр, лазерный дальномер и так далее. На

четвертом месте управляющий модуль. Его главная функция заключается в обработке и передаче информации, полученной с датчиков, при помощи микроконтроллеров и процессоров. Наименьшее энергопотребление получил управляющий модуль (11%), так как TDP процессоров и микроконтроллеров не высок, в следствии программной оптимизации, для энергосбережения.

В ходе эксперимента было измерено и проанализировано энергопотребление 4 основных модулей функционирования робота AR-601. Анализ энергопотребления модулей робота при максимальной нагрузке в течение 1 минуты, показал, что значительное количество энергии (41,5% и 33%)

потребляет транспортный и исполнительный модуль АРТС – педипуляторы и манипуляторы.

Таким образом можно сделать вывод о необходимости модификации математических алгоритмов и методов выполнения целевых операций модулями АРТС.

3. Заключение

В статье проведен анализ продолжительности современных отечественных и зарубежных антропоморфных роботов на примере роботов Asimo (Япония), Reem-C (Испания), DRC-Hubo+(Корея), HRP-4 и HRP-4C (Япония), Walk-Man (Италия), Atlas (США), Alpha PRO (Китай), Kengoro (Япония), OceanOne (США), R5 Valkyrie (США), AR-600 (601) и SAR-400 (401) (Россия), FEDOR (Россия). По результатам анализа можно сделать вывод о том, что при перечисленных показателях продолжительности автономной работы антропоморфные роботы способны обеспечить только частичную замену человека в течении 60 до 180 минут, и требует дальнейшего развития науки в этой области.

Исследованы способы увеличения продолжительности работы антропоморфных робототехнических систем: разработка и применение перспективных источников питания и модулей АКБ; модификация конструкций АРТС; модификация математических алгоритмов и методов выполнения целевых операций модулями АРТС.

В целом направление движения ученых, занимающимися данными проблемами имеют перспективные идеи и реализации, что касается как новых источников питания, так и легких и прочных материалов для построения роботов.

Проведено экспериментальное исследование и анализ энергопотребления модулей антропоморфного робота на примере AR-601. В ходе эксперимента было измерено и проанализировано энергопотребление 4 основных модулей функционирования робота AR-601. Анализ энергопотребления модулей робота при максимальной нагрузке в течение 1 минуты, показал, что значительное количество энергии (78,4 Вт (41,5%) и 62,3 Вт (33%)) потребляет транспортный и исполнительный модуль АРТС – педипуляторы и манипуляторы, что непосредственно говорит о необходимости модификации математических алгоритмов и методов выполнения целевых операций модулями АРТС.

Acknowledgments (благодарности)

Исследование выполнено в рамках реализации научного проекта по теме «Разработка программно-аппаратного комплекса системы управления на основе решения обратной задачи динамики и кинематики» в рамках ФЦПР 2014-2020 (уникальный идентификатор RFMEFI57517X0166) при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

4. Список используемых источников

1. ASIMO by Honda, Specifications // Официальный сайт ASIMO. The World's Most Advanced Humanoid Robot URL: <http://asimo.honda.com/asimo-specs/> (дата обращения: 20.12.2017).
2. Reem-C TECHNICAL SPECIFICATIONS // Официальный сайт PAL-ROBOTICS URL: <http://pal-robotics.com/wp-content/uploads/2017/05/REEM-C-white.pdf> (дата обращения: 20.12.2017).
3. DRC-Hubo+ // Официальный сайт HuboLab-KAIST URL: http://hubolab.kaist.ac.kr/p_drchuboplus (дата обращения: 20.12.2017).
4. Humanoid Robot HRP-4 // Официальный сайт Kawada Industries URL: <http://global.kawada.jp/mechatronics/hrp4.html> (дата обращения: 20.12.2017).
5. HRP-4C // Официальный сайт National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) URL: http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2009/pr20090316/pr20090316.html (дата обращения: 20.12.2017).
6. Project WALK-MAN, // FP7 European Project Walk-Man URL: <https://www.walk-man.eu/> (дата обращения: 20.12.2017).
7. Путь робота. Как создавалась робототехническая компания Boston Dynamics // Inc. URL: <https://incrussia.ru/news/put-robota-kak-sozdavalas-robototehnicheskaya-kompaniya-boston-dynamics/> (дата обращения: 12.03.2018).
8. Ocean One Lands on the Moon // Stanford Robotics URL: <https://cs.stanford.edu/group/manips/ocean-one.html> (дата обращения: 12.03.2018).
9. Инструкция по эксплуатации на антропоморфный робот AR-601, ПАО НПО «Андроидная техника». – 111 с.
10. Future batteries, coming soon: Charge in seconds, last months and power over the air // Pocket-lint Gadget Awards URL: <https://www.pocket-lint.com/gadgets/news/130380-future-batteries-coming-soon-charge-in-seconds-last-months-and-power-over-the-air> (дата обращения: 12.03.2018).
11. Researchers design one of the strongest, lightest materials known // Massachusetts Institute of Technology URL: <http://news.mit.edu/2017/3-d-graphene-strongest-lightest-materials-0106> (дата обращения: 12.03.2018)
12. Инструкция по эксплуатации на антропоморфный робот модель AR-601 // М.: ПАО «НПО «Андроидная техника», С. 114.