

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
«АЭРОКОСМОС»**

Модуль приёма, обработки и передачи данных

1. Формулировка задачи:

Малые космические аппараты – это аппараты, имеющие массу до 500 кг. Преимущественно такие космические аппараты запланированы Роскосмосом к запуску в рамках проекта «Сфера» — это российский проект глобальной многофункциональной инфокоммуникационной спутниковой системы для обеспечения доступа к сети Интернет, поддержки Интернета вещей, обслуживания беспилотного транспорта и многого другого там, где невозможно проложить оптоволокно, например, в высоких широтах, зонах тайги, тундры и вечной мерзлоты. Неотъемлемой частью современных устройств становятся средства связи, они могут размещаться на компактных устройствах и служить элементами системы, перенаправляя потоки данных, обрабатывая или кодируя их, осуществляя ретрансляцию или передачу через несколько космических аппаратов. Предлагается реализовать макет спутника, который будет имитировать работу космических аппаратов связи, выполняя перечисленные функции.

2. ТЗ и этапы функционирования элементов разрабатываемого комплекса

Необходимо реализовать модуль приёма, обработки и передачи данных, размещаемый на космическом аппарате, который будет способен работать, связывая два приёмопередатчика, работающих на разных частотах. В качестве основного бортового приёмопередатчика рекомендуется использовать nRF24, в качестве дополнительного, комплект из передатчика (FS1000A) и приемника (MX-RM-5V), подключаемые к бортовому вычислительному модулю. Приём и передача сигналов, а также закон, по которому они осуществляют взаимодействие, передаются с основной наземной станции (с использованием nRF24). Предполагается наличие 2 наземных станций, работающих на разных частотах. При этом основная наземная станция должна взаимодействовать только с основным бортовым приёмопередатчиком. В рамках выполнения задачи команде участников необходимо разработать 3D-модель макета спутника в формате .stl и собрать его функционирующий макет. В итоге должен быть разработан

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «АЭРОКОСМОС»

полноценно функционирующий макет спутника, реализующий следующий функционал:

1. Приём и передача данных в основном и в дополнительном каналах.
2. Управление задержкой передачи данных.
3. Устранение ошибок в передачи данных.
4. Определение время до сеанса связи на основе TLE малого космического аппарата и координат наземной станции приёма.

Этап 1. Приём и передача данных:

Реализовать модуль приёма и передачи данных с возможностью передавать данные между наземными станциями, работающими на разных частотах, и космическим аппаратом. Основная станция должна работать с приёмопередатчиком NRF24, дополнительная – с приёмником (MX-RM-5V) и передатчиком (FS1000A). Должна быть реализована система передачи данных с ответом на сообщения и с ретрансляцией сообщений. Должен быть предусмотрен вариант подтверждения доставки сообщения, передаваемого в режиме ретрансляции. Размер передаваемого сообщения должен быть не менее 1 КБ, можно передавать картинку, например, используя стандарт Base64. Модуль приёма и передачи данных должен располагаться внутри корпуса макета спутника 1U.

Необходимо продемонстрировать работу модуля приёма и передачи данных в следующих режимах:

- а) передача сообщения с основной наземной станции:
 - а. выбрать на основной наземной станции режим отправки сообщения без ретрансляции;
 - б. отправить сообщение;
 - с. проконтролировать получение сообщения на космическом аппарате;
- б) передача сообщения с дополнительной наземной станции:
 - а. выбрать на дополнительной наземной станции режим отправки сообщения без ретрансляции;
 - б. отправить сообщение;
 - с. проконтролировать получение сообщения на космическом аппарате;

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
«АЭРОКОСМОС»**

- в) ретрансляция сообщений с основной наземной станции на дополнительную станцию и, наоборот,
- а. выбрать на основной/дополнительной наземной станции режим отправки сообщения с ретрансляцией без подтверждения;
 - б. отправить сообщение;
 - с. проконтролировать получение сообщения на космическом аппарате;
 - д. проконтролировать передачу сообщения с космического аппарата на дополнительную/основную наземную станцию;
 - е. проконтролировать получение сообщения на дополнительной/основной наземной станции;
- г) подтверждение доставки сообщения до наземной станции:
- а. выбрать на основной/дополнительной наземной станции режим отправки сообщения с ретрансляцией с подтверждением;
 - б. отправить сообщение;
 - с. проконтролировать получение сообщения на космическом аппарате;
 - д. проконтролировать передачу сообщения с космического аппарата на дополнительную/основную наземную станцию;
 - е. проконтролировать получение сообщения на дополнительной/основной наземной станции;
 - ф. проконтролировать отправку с дополнительной/основной наземной станции сигнала подтверждения доставки;
 - г. проконтролировать получение сообщения подтверждения доставки на космическом аппарате;
 - з. проконтролировать передачу сообщения подтверждения с космического аппарата на основную/дополнительную наземную станцию;
 - и. проконтролировать получение сообщения на основной/дополнительной наземной станции;

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
«АЭРОКОСМОС»**

**Этап 2. Управление задержкой передачи
данных:**

Разработать программу, осуществляющую задержку передачи сигнала на заданное количество секунд после получения сигнала в различных режимах, реализованных на Этапе 1.

Продемонстрировать работу устройства и программы, используя основную наземную станцию и передавая сообщение с указанием величины задержки или используя данные, получаемые на четвёртом этапе, или задаваемые самостоятельно. Например:

- a. выбрать на основной наземной станции режим отправки сообщения с ретрансляцией с задержкой 17 секунд;
- b. отправить сообщение;
- c. проконтролировать получение сообщения на космическом аппарате;
- d. выключить питание на основной наземной станции (для демонстрации корректности работы передатчика космического аппарата)
- e. проконтролировать передачу сообщения с космического аппарата на дополнительную наземную станцию через 17 секунд;
- f. проконтролировать получение сообщения на дополнительной наземной станции после окончания 17 секунд;

Этап 3. Устранение ошибок в передаче данных:

Разработать программу, которая будет анализировать и правильно интерпретировать полученные данные, в случае его искажения: при передаче данных, возможно возникновение ошибок – необходимо имитировать возникновение ошибок, например, если в одном передающемся пакете 1 бит информации будет изменён, программа должна обнаружить это изменение. Например, при передаче пакета "\xFE\x50\xBE", для которой соответствует битовая последовательность «11111100101000010111110», произошло изменение значения на 13 бите: «11111100101100010111110», и пакет стал "\xFE\x58\xBE", при этом,

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
«АЭРОКОСМОС»**

такой пакет в перечне команд не существует, и программа должна идентифицировать его как пакет "\xFE\x50\xBE". Задачу можно решить с использованием методов помехоустойчивого кодирования и циклических избыточных кодов, или запросом уточняющей информации.

Продемонстрировать работу разработанной программы, путем передачи команд с заранее искаженными информационными битами, с наземной станции и выполнении команд в соответствии с этапом 1:

- a) Продемонстрировать выполнение передачи сообщения с основной наземной станции с искаженной командой
 - a. выбрать на основной наземной станции режим отправки сообщения без ретрансляции с одним измененным битом в команде
 - b. отправить сообщение;
 - c. проконтролировать получение сообщения на космическом аппарате;
 - d. проконтролировать наличие на космическом аппарате информации, о том, какой бит был исправлен 1;
- б) ретрансляция сообщений с основной наземной станции на дополнительную станцию с искаженной командой
 - a. выбрать на основной наземной станции режим отправки сообщения с ретрансляцией без подтверждения с одним измененным битом в команде;
 - b. отправить сообщение;
 - c. проконтролировать получение сообщения на космическом аппарате;
 - d. проконтролировать наличие на космическом аппарате информации, о том, какой бит был исправлен 1;
 - e. проконтролировать передачу сообщения с космического аппарата на дополнительную наземную станцию;
 - f. проконтролировать получение сообщения на дополнительной наземной станции;

Этап 4. Определение времени до сеанса связи:

Разработать программу, использующуюся на модуле космического аппарата, вычисляющую время, необходимое для космического аппарата,

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «АЭРОКОСМОС»

положение которого определяется по заранее задаваемым [TLE](#) данным, для достижения области, в которой возможна связь с наземной станцией связи. Считать, что передача возможна, когда космический аппарат и наземная станция находятся в зоне прямой радиовидимости, то есть, на кратчайшей прямой между космическим аппаратом и координатами наземной станции не находится планета Земля. Для реализации рекомендуется использовать готовую библиотеку [SGP4 для Arduino](#) либо любую совместимую с оборудованием.

Продемонстрировать работу разработанной программы для не менее 3 вариантов [TLE](#) данных, с различным размещением космического аппарата относительно наземной станции:

- а) космический аппарат находится на другой стороне Земли относительно наземной станции;
- б) космический аппарат находится по одну сторону Земли с наземной станцией;

Продемонстрировать, как вычисляется время до сеанса связи и как применяется задержка сигналов для передачи сигнала между космическим аппаратом и наземной станцией после возникновения радиовидимости:

- a. выбрать на основной наземной станции режим отправки сообщения с передачей данных TLE;
- b. отправить сообщение;
- c. проконтролировать получение сообщения на космическом аппарате;
- d. выключить питание на основной наземной станции (для демонстрации корректности работы передатчика космического аппарата)
- e. проконтролировать формирование результата вычисления задержки (если вычисленная задержка превышает 30 секунд, прервать работу программы и перейти к следующим данным TLE)
- f. проконтролировать передачу сообщения с космического аппарата на дополнительную наземную станцию через рассчитанное значение секунд;
- g. проконтролировать получение сообщения на дополнительной наземной станции после окончания рассчитанного значения секунд;

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
«АЭРОКОСМОС»**

h. предусмотреть 3 варианта демонстрации TLE: спутник в зоне радиовидимости, спутник вне зоны радиовидимости, но будет доступен через короткое время, спутник вне зоны радиовидимости, но ожидание более 30 секунд. Результаты рекомендуется подтверждать с использованием средств визуализации орбит спутников, например Orbitron или GPredict.

Требования к макету:

- Размер устройства - не более 100 x 100 x 100 мм;
- Устройство должно размещаться в корпусе макета спутника 1U;
- Вывод за габариты макета спутника допускается только для присоединительных кабелей и контактов;
- Устройство должно быть жестко закреплено в корпусе макета спутника, необходимо организовать кабельный менеджмент;
- Точность определения времени на основании передаваемых данные TLE не должна превышать 5 минут;
- Должна обеспечиваться непрерывная передача потоков данных (не менее 1 КБ);
- Устройство должно осуществлять прием простейших сообщений с устройства передатчика (в качестве приёмопередатчика рекомендуется использоваться NRF24L01 или его модификации);
- Макет спутника должен включать модуль приёма, обработки и передачи данных, элементы модуля приёма, обработки и передачи данных, крепления элементов модуля приёма, обработки и передачи данных к макету, аккумуляторные батареи.
- Необходимо представить трехмерные модели макета спутника в сборе и его составляющих по отдельности.

Допускаются конструкторские расхождения в трехмерной модели и физической реализации. Созданная модель должна удовлетворять требованиям функционирования итогового устройства.

3. Регламент испытания при демонстрации жюри:

Демонстрация осуществляется с использованием видео, со следующей рекомендуемой хронологией:

- Представление команды и демонстрация макета спутника без включения, не более 1 минуты;

Москва
2024/2025 уч. г.

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «АЭРОКОСМОС»

- Демонстрация включения макета спутника и представление перечня использованных технических решений для его реализации, не более 1 минуты;
- Демонстрация работы макета спутника согласно этапам, не менее 5, но не более 10 минут:
 - Приём и передача данных, до 2х минут
 - Управление задержкой передачи данных, до 2х минут
 - Устранение ошибок в передаче данных, до 3х минут
 - Определение времени до сеанса связи, до 3х минут

Весь порядок испытаний от подготовки к испытаниям до завершения последнего этапа должен быть записан на видео одним дублем без склейки и монтажа. В течение всего видео в кадре должны быть разработанные командой устройства и как минимум один из участников команды, выполняющий все операции с устройствами. Вход и выход участников, передача инструмента, деталей и других вещей из кадра недопустимы.

Допускается использование второй камеры для более детализированной демонстрации ключевых моментов. Видео должно быть со звуком и комментариями участников команды относительно проведения испытаний. На видеозаписи должно быть хорошо различимы все элементы, влияющие на оценивание результативности: размер устройства, инициализация устройства, результат функционирования устройства согласно испытаниям. В случае, если эксперты жюри не смогут по видеозаписи однозначно понять результат выполнения задания, принимается решение не в пользу участника.

4. Материалы и оборудование

Примерный перечень материалов для выполнения задания:

Микроконтроллеры (Arduino, ESP32 или ESP8266), радиоприемники (NRF24L01 или его модификации; MX-RM-5V), радиопередатчики (NRF24L01 или его модификации, FS1000A), аккумуляторные батареи, коннекторы, монтажная плата. Элементная база должна выбираться исходя из необходимости реализовывать функционал макета спутника. Выбор элементной базы в отчёте рекомендуется подтверждать расчётами.

Примерный перечень программного обеспечения для выполнения задания:

Blender, Tinkercad, T-flex, Компас 3D для 3d-моделирования;

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
«АЭРОКОСМОС»**

Tinkercad, fritzing для моделирования электрических схем (Tinkercad может быть использован для написания программного кода для Arduino);
PyCharm Edu и/или Arduino IDE- как среда программирования.

5. Общие требования к предоставляемому решению задания

Отличительной чертой спутников формата CubeSat являются направляющие рельсы, предназначенные для помещения спутника в пусковой контейнер. Внутреннее содержимое спутника поддается интерпретации, но размеры и рельсы остаются неизменными. Корпус макета КА CubeSat должен быть реализован с соблюдением замечаний, указанных на чертеже (см. рисунок 1):

В дополнение к чертежу

При моделировании КА необходимо соблюдать след. требования:

- Никакие компоненты на сторонах, заштрихованных желтым цветом на рисунке 1, не должны выступать дальше, чем на 6,5 мм по нормали к поверхности от плоскости рельса.
- Рельсы должны иметь минимальную ширину 8,5 мм, измеренную от края рельса до первого выступа на каждой грани.
- Края реек должны быть закруглены до радиуса не менее 1 мм.
- Концы направляющих на стороне +/- Z должны иметь минимальную площадь контакта 6,5 мм x 6,5 мм с соседними направляющими CubeSat.

Необходимо предоставить следующие трёхмерные модели:

- Модель корпуса макета спутника;
- Модель модулей связи в составе макета спутника;
- Модель элементов модуля обработки в составе макета спутника;
- Модель аккумуляторных батарей;
- крепления модулей связи к макету спутника;
- крепления элементов модуля обработки к макету спутника;
- крепления аккумуляторных батарей к макету спутника.

МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «АЭРОКОСМОС»

Допускаются конструкторские расхождения в трёхмерной модели и физической реализации. Созданная модель должна удовлетворять требованиям функционирования итогового изделия.

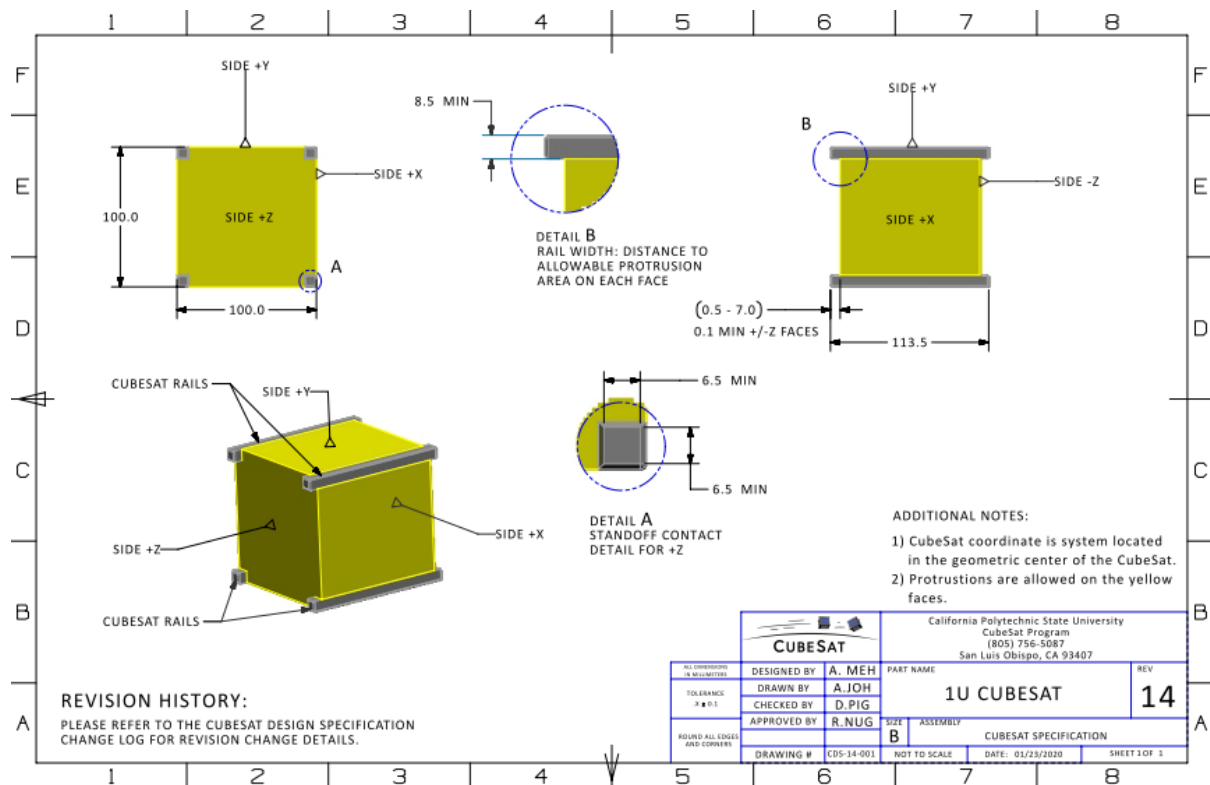


Рисунок 1 – Чертеж спутника форм-фактора Cubesat 1u

Форма представления результатов:

- Программный код в виде текстового файла (файл .txt, .py, .c, .cpp, .h, .hpp, .cxx, .cc, .hxx или иного расширения; В названии файла должен быть указан язык программирования и название команды);
- Трёхмерная модель конструкции в формате stl;
- Электрическая (принципиальная) схема в формате скриншота или pdf;
- Демонстрация сборки продукта в виде одной или нескольких видеозаписей или последовательности картинок в отчёте, наглядно показывающих процесс сборки и размещения элементов внутри продукта;

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
«АЭРОКОСМОС»**

- Демонстрация работы продукта в виде одной или нескольких видеозаписей, наглядно показывающих продукт и его поведение в условиях, описанных в регламенте испытаний.
- Отчет, содержащий следующие разделы:
 1. Название и номер кейса, название и состав команды, роль каждого из членов команды во время выполнения домашнего кейса;
 2. Цель, задачи.
 3. Этапы проекта (необходимо осветить разработку программной реализации, разработку трехмерной модели, разработку электрической схемы, включить иллюстративный материал (схемы, графики), фотографии макета спутника и составляющих).
 4. Инструменты и методы, описание выбранных аппаратных средств, обоснование их применения.
 5. Полученные результаты, рекомендации по их применению и возможное решение выявленных проблем.

**6. Ссылки на рекомендуемые методические материалы для
восполнения необходимых навыков:**

- Черный Ф. Б. Распространение радиоволн - 2-е изд., доп. и переработ. -М. <Сов. радио>, 1972, 464 с.
- Яковлев О.И. Распространение радиоволн в космосе // М.: Наука, 1985. - 216 с.
- Брайан У. Керниган, Роб Пайк. Практика программирования. Вильямс, 2021. — 288 с.
- Брайан Керниган, Деннис Ритчи. Язык программирования С. Вильямс, 2019. — 288 с.
- Работа с датчиками. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://zelectro.cc/>
- Учебник по работе с устройствами. [Электронный ресурс] - Режим доступа: [Учебник по работе с устройствами](#)
- Учебник: Электроника. В.А. Петин. [Электронный ресурс] - Режим доступа: [Электроника. В.А. Петин](#)
- Уроки по работе с ардуино. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://lesson.iarduino.ru/>
- Уроки по работе с датчиками. [Электронный ресурс] - Режим доступа: [Ардуино. Датчики и сети для связи устройств.](#)

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
«АЭРОКОСМОС»**

- Проектная работа по разработке системы. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://arduino-diy.com/>
- Путеводитель по Ардуино. [Электронный ресурс] - Режим доступа: [Радио-Ежегодник. Путеводитель по Ардуино.](#)
- Электронные ресурсы 1. ИТЦ «СКАНЭКС» [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.scanex.ru/>
- ООО «Спутникс» [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://orbicraft.sputnix.ru/doku.php>
- Библиотека SGP4 для Arduino [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://github.com/Hopperpop/Sgp4-Library>

- Работа с датчиками. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://zelectro.cc/>
- Учебник по работе с устройствами. [Электронный ресурс] - Режим доступа: [Учебник по работе с устройствами](#)
- Учебник: Электроника. В.А. Петин. [Электронный ресурс] - Режим доступа: [Электроника. В.А. Петин](#)
- Уроки по работе с ардуино. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://lesson.iarduino.ru/>
- Уроки по работе с датчиками. [Электронный ресурс] - Режим доступа: [Ардуино. Датчики и сети для связи устройств.](#)
- Проектная работа по разработке системы. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://arduino-diy.com/>
- Путеводитель по Ардуино. [Электронный ресурс] - Режим доступа: [Радио-Ежегодник. Путеводитель по Ардуино.](#)
- Электронные ресурсы 1. ИТЦ «СКАНЭКС» [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.scanex.ru/>
- ООО «Спутникс» [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://orbicraft.sputnix.ru/doku.php>
- Библиотека SGP4 для Arduino [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://github.com/Hopperpop/Sgp4-Library>
- RFC 4648 The Base16, Base32, and Base64 Data Encodings [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc4648>
- Гошин, Е. В. Теория информации и кодирования [Электронный ресурс] : [учеб. пособие] / Е. В. Гошин ; М-во

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
«АЭРОКОСМОС»**

образования и науки Рос. Федерации, Самар. нац. исслед. ун-т
им. С. П. Королева (Самар. ун-т). - Самара : Изд-во Самар. ун-
та, 2018. - on-line. - ISBN = 978-5-7883-1260-6