

УДК 629.78 DOI 10.30894/issn2409-0239.2019.6.4.24.31

Принципы создания унифицированных бортовых ретрансляционных комплексов для отечественных космических систем сбора и передачи данных

Ю. Б. Дорофеев, к. т. н., *cospas0536@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Д. А. Тулисов, *cospas0536@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Д. А. Белов, *otdel1202@spacecorp.ru*

АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Аннотация. В настоящей работе рассмотрены целесообразность и метод проведения унификации бортовых ретрансляционных комплексов, используемых на отечественных космических аппаратах систем сбора и передачи данных.

На основе анализа и сравнения технических требований и характеристик существующих бортовых комплексов низкоорбитального, среднеорбитального и геостационарного космических сегментов систем сбора и передачи данных предлагается перспективный путь развития указанных комплексов — унификация бортовой аппаратуры для всех сегментов этих систем. Показана возможность ее реализации на основе гармонизации технических требований к аппаратуре с учетом опыта АО «Российские космические системы» по созданию бортовых радиокомплексов.

Рассмотрены и представлены основные принципы и схемные варианты построения унифицированных бортовых ретрансляционных комплексов для космических систем сбора и передачи данных. Показана возможность оценки уровня унификации группы ретрансляторов, созданных на основе предложенного варианта унифицированного ретранслятора с использованием коэффициента межпроектной (взаимной) унификации.

Ключевые слова: бортовой ретрансляционный комплекс, спутниковая система сбора и передачи данных, ретрансляция информации, стандартизация, унификация

Principles of Creation of Unified On-board Retransmission Complexes for Domestic Space Systems of Data Collection and Transmission

Yu. B. Dorofeev, *Cand. Sci. (Engineering)*, *cospas0536@spacecorp.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

D. A. Tulisov, *cospas0536@spacecorp.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

D. A. Belov, *otdel1202@spacecorp.ru*

Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

Abstract. This paper considers the expediency and method of unification of onboard retransmission complexes used on domestic spacecraft data acquisition and transmission systems.

Based on the analysis and comparison of technical requirements and characteristics of the existing onboard complexes of the low-orbit, medium-orbit, and geostationary space segment of the data collection and transmission systems, a promising path for the development of these systems is proposed — the unification of onboard equipment for all segments of these systems. The paper shows the possibility of its implementation based on harmonization of technical requirements for the equipment taking into account the experience of Joint Stock Company “Russian Space Systems” to create onboard radio systems.

The basic principles and schematic variants to construct onboard retransmission systems for space data collection and transmission systems are considered and presented. The possibility of assessing the level of unification of the group of repeaters created based on the proposed version of the unified repeater using the coefficient of inter-project (mutual) unification is shown.

Keywords: onboard retransmission complex, satellite system of data collection and transmission, information retransmission, standardization, unification

Введение

В работе представлены основные положения, определяющие целесообразность, возможности и принципы создания перспективных унифицированных бортовых ретрансляционных комплексов (БРК) для отечественных космических систем сбора и передачи данных (ССПД).

В современных условиях создания и применения бортовых ретрансляционных комплексов на отечественных КА важность унификации определяется в первую очередь возможностью снижения расходов на разработку и эксплуатацию БРК при обеспечении высоких технических и эксплуатационных характеристик, а также необходимостью охвата унификацией всех уровней разработки и применения средств БРК — от уровня системных и технических решений до уровня информационных технологий [1].

В общем случае унификация всех уровней создания и применения БРК предусматривает их разработку на базе унифицированных аппаратно-программных решений [2], а также переход на унифицированную структуру бортовых ретрансляционных комплексов.

С учетом особенностей БРК их унификация позволяет обеспечить:

- требуемые технические характеристики и надежность;
- взаимозаменяемость средств БРК и повышение при необходимости их пропускной способности;
- снижение эксплуатационных расходов при применении средств бортовых радиотехнических комплексов и реализацию единой технологии информационной поддержки их жизненного цикла.

При совместной реализации возможных направлений унификации для рассматриваемых ретрансляционных комплексов может быть создан унифицированный ряд аппаратуры, реализующий стандартизованные протоколы информационного обмена «Земля–борт», «борт–Земля», построенный на единой аппаратно-программной платформе и обеспечивающий сокращение номенклатуры средств БРК при обеспечении их высоких технических и эксплуатационных характеристик.

Предложения по унификации бортовых ретрансляционных комплексов

На основе анализа технических требований и характеристик бортовой аппаратуры отечественных космических систем СПД предлагается перспективный путь развития бортовых ретрансляционных комплексов посредством унификации бортовой аппаратуры основных сегментов этих комплексов.

В настоящее время функции приема и передачи сигналов от платформ сбора данных (ПСД) космической гидрометеорологической системы [3] и от аварийных радиобуев (АРБ) космической системы спасания [4] реализуются на космических аппаратах (КА) низкоорбитальной гидрометеорологической системы (аппаратура БРК СПД и РК-СМ-МКА), геостационарной гидрометеорологической системы (канал 7, 8 БРТК), перспективной высокоэллиптической гидрометеорологической системы, а также КА среднеорбитальной глобальной навигационной спутниковой системы [5] различных поколений (БРКС, БРКС-К2, БРКС-К2-М).

Последовательные модификация и расширение количества сегментов космических систем сбора и передачи данных, а также поиска и спасания в настоящее время привели к фактическому созданию нескольких различных типов [6] бортовых комплексов, которые выполняют одинаковую задачу — ретрансляцию сигналов от ПСД и АРБ на наземные станции приема и обработки информации (СПОИ), находящиеся в зоне видимости космического аппарата [7].

В связи с вышеизложенным, а также с учетом планов развития российского сегмента космической системы поиска и спасания и космической гидрометеорологической системы [8] целесообразно обеспечить разработку и создание максимально унифицированной бортовой аппаратуры ретрансляции для размещения на борту низкоорбитальных, среднеорбитальных и геостационарных КА.

Проведенное сравнение следующих основных требований технических заданий и характеристик существующих бортовых комплексов низкоорбитального, среднеорбитального и геостационарного космического сегмента показало, что базовые

требования к ретрансляторам для всех орбитальных сегментов характеризуются сходством при некоторых отличиях:

- частота передачи (1544,5–1544,9 МГц для сигналов от аварийных радиобуев и 1696,5–1697,5 МГц для сигналов от платформ сбора данных);
- полоса приема (90 кГц для сигналов от аварийных радиобуев и 1 МГц для сигналов от платформ сбора данных);
- промежуточная частота (43–45 МГц для сигналов от аварийных радиобуев и 22 МГц для сигналов от платформ сбора данных);
- мощность излучения (1–10 Вт);
- тип ретрансляции (прямая);
- чувствительность по приему (–173 дБВт);
- исполнение маломощного усилителя (МШУ) должно обеспечивать шумовую температуру не более 140 К и прием сигналов в диапазоне частот 400–410 МГц, а также достаточное количество выходов для работы системы ретрансляции);
- исполнение конвертора (необходимая конфигурация конвертора с требуемыми промежуточными частотами и частотой гетеродина обеспечиваются путем использования модификаций программного обеспечения).

Проведенный анализ основных технических требований к аппаратуре ретрансляции сигналов свидетельствует о возможности их гармонизации с целью проведения последующей унификации технико-конструктивного исполнения БРК.

Таким образом, очевидно, что в настоящее время имеются технические и технологические возможности для создания на основе современных базовых технологий радиоэлектронной техники унифицированных ретрансляционных комплексов нового поколения с учетом уровня предъявляемых к ним системных требований, а также использования методов и опыта АО «Российские космические системы» по созданию бортовых радиотехнических комплексов для отечественных КА низкоорбитального [7], среднеорбитального и геостационарного сегментов при разработке каналов ретрансляции сигналов от платформ сбора данных и аварийных радиобуев в диапазонах 0,4 ГГц, 1,55 ГГц и 1,7 ГГц.

В настоящий момент работы по унификации бортовых ретрансляторов практически проводятся

в рамках модернизации аппаратуры бортового радиотехнического комплекса (БРТК) для КА геостационарной и высокоэллиптической гидрометеорологической космической систем, для которых аппаратура канала ретрансляции сигналов АРБ ранее была построена по схеме, приведенной на рис. 1.

Используемый в данной схеме принцип построения, в отличие от реализуемого в настоящее время, характерен применением «узкой» и «широкой» полос ретрансляции, а также фазовой модуляции входного сигнала. Данная особенность ведет к излишнему усложнению бортовой аппаратуры канала и наземной приемной аппаратуры.

Кроме того, следует отметить, что использование промежуточной частоты 26,05 МГц не позволяет реализовать фильтр на поверхностных акустических волнах (ПАВ) с малыми потерями.

Для модернизированной аппаратуры БРТК в настоящее время реализуется следующий принцип построения канала для ретрансляции сигналов аварийных радиобуев системы, приведенный на рис. 2.

В ходе исследований, выполненных в АО «Российские космические системы», проведена проработка двухканального бортового ретранслятора спутниковой системы передачи данных, обеспечивающего прием и передачу сигналов от ПСД космической гидрометеорологической системы и от АРБ космической системы спасания на наземные пункты приема информации.

Полученные результаты определили возможности по созданию и принципам построения бортового ретрансляционного комплекса, обеспечивающего выполнение определенных в ТЗ функций с заданными параметрами.

Анализ полученных результатов и существующих вариантов радиотехнических ретрансляторов, используемых на платформах КА для различных орбитальных сегментов, позволяет представить схему унифицированного радиотехнического ретранслятора (РТР) для перспективных разработок АО «Российские космические системы» в виде, изображенном на рис. 3.

В соответствии с предлагаемой структурой в состав РТР входят следующие функциональные блоки:

- маломощный усилитель — МШУ (1 шт.);
- делитель — ДМ (1 шт.);

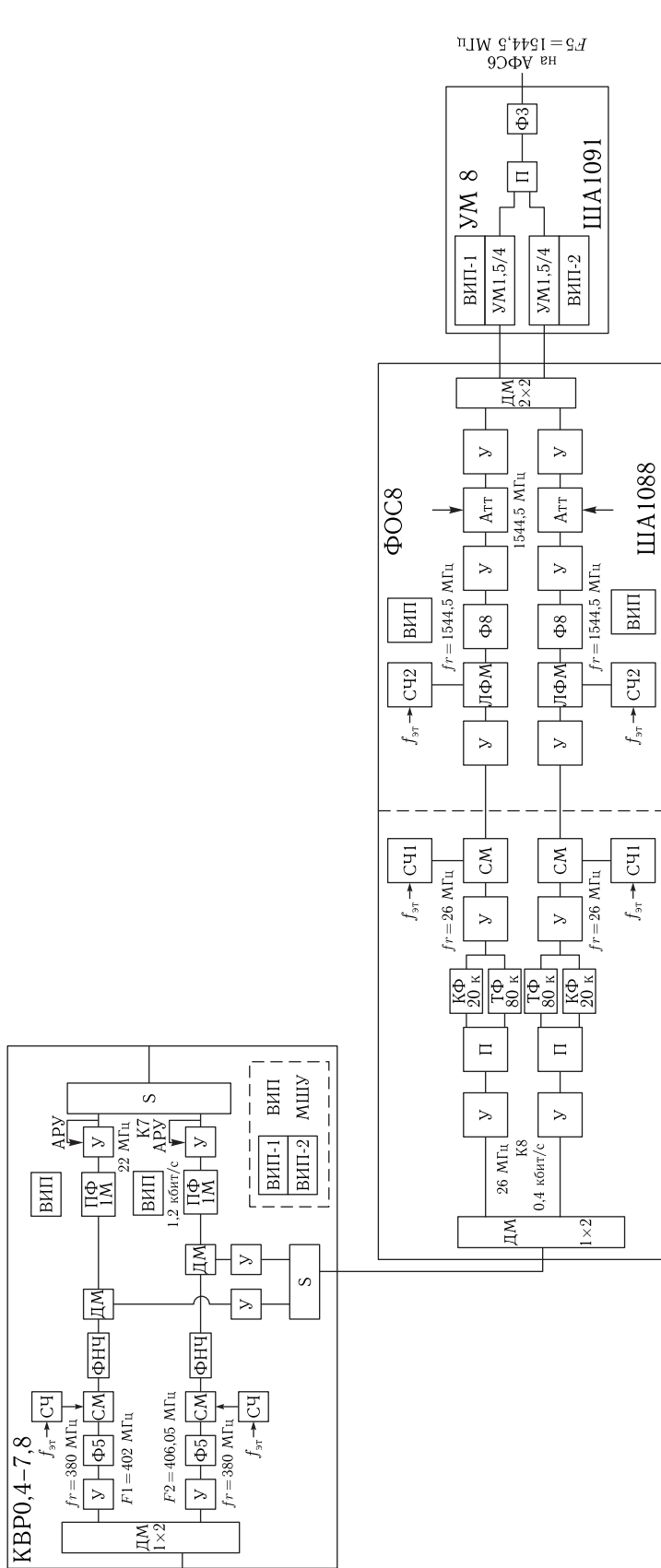


Рис. 1. Схема построения аппаратуры канала ретрансляции сигналов АРБ

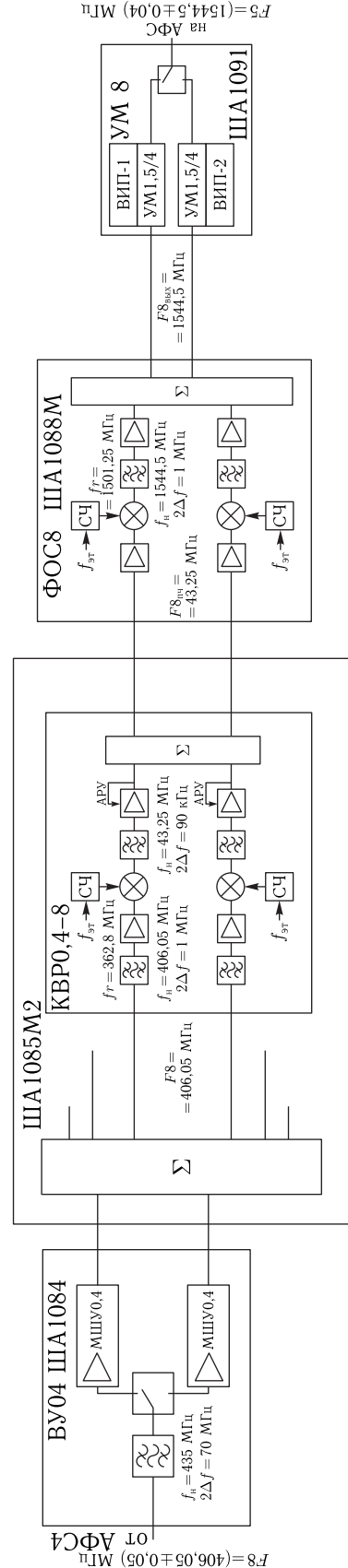


Рис. 2. Схема построения аппаратуры канала ретрансляции сигналов АРБ для модернизированной аппаратуры БРТК

конвертер — КВР (2 шт.);
 блок цифровых фильтров — БЦФ (1 шт.);
 формирователь ответного сигнала — ФОС (2 шт.);
 усилитель мощности — УМ (2 шт.);
 блок управления — БУ (1 шт.);
 блок опорных частот — БОЧ (1 шт.);
 сумматор (мультиплексор) — MS (1 шт.).

При этом РТР функционально состоит из двух каналов (К1, К2) ретрансляции сигналов.

Канал 1 и канал 2 обеспечивают ретрансляцию сигналов со скоростями 1,0–1,2 кбит/с с наземных платформ сбора гидрометеорологических данных и ретрансляцию сигналов со скоростью 0,4 кбит/с от аварийных радиобуев на наземные станции приема и обработки информации от геостационарных КА.

Каналы работают в метровом диапазоне частот 402–406 МГц на прием и в дециметровом диапазоне частот 1544,5–1697 МГц на передачу. Прием сигналов от ПСД и АРБ-406 и передача ретранслированных сигналов на СПОИ осуществляется во всей видимой с КА части Земли.

На прием используется одна направленная приемная антенна.

Канал 1 обеспечивает прием сигналов от многих ПСД, поступающих от приемной антенны с частотой 402 МГц, и передачу на наземные станции через передающую антенну на частоте 1697 МГц. Предполагается, что ПСД работают не одновременно и на нескольких частотных литерках. Количество таких литерок может достигать 300 шириной 3,0 кГц в полосе 1 МГц.

Сигнал от ПСД частотой 402 МГц поступает на приемную антенну и далее на вход МШУ. После усиления сигнал через ДМ и смеситель разделяется, поступает в конвертер канала ретрансляции данных ПСД, где производится гетеродинирование сигнала в полосе 402 МГц и фильтрация в полосе 1 МГц. Далее сигнал попадает на блок, в котором формируется гребенчатая амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) канала шириной 1 МГц, сформированная из 30 равномерно распределенных по полосе канала парциальных фильтров (в цифровом исполнении) с полосами пропускания 33 кГц БЦФ.

Далее групповой сигнал преобразуется ФОС на несущую частоту 1697 МГц и поступает на вход усилителя мощности (УМ), в котором сигнал усиливается по мощности и через мультиплексор поступает на передающую антенну. Для выбора необходимого уровня сигнала в канале установлен управляемый аттенюатор, который управляется по командам от БУ.

Канал К2 обеспечивает прием сигнала, поступающего на приемную антенну с частотой 406,05 МГц, фильтрацию сигнала в полосе 80 кГц и передачу на частоте 1544,5 МГц на наземные станции.

Сигнал от АРБ-406 частотой 406,05 МГц поступает на приемную антенну и далее на вход МШУ. После усиления сигнал через ДМ разделяется, поступает в конвертер канала ретрансляции данных, где происходит гетеродинирование сигнала в полосе 406,05 МГц. Сигнал преобразуется в промежуточную частоту 43,25 МГц и фильтруется в полосе 80 кГц. Затем сигнал преобразуется ФОС на несущую частоту 1544,5 МГц и поступает на вход усилителя мощности УМ. В УМ сигнал усиливается по мощности и через мультиплексор поступает на передающую антенну.

Блок управления (БУ) осуществляет взаимодействие РТР с бортовым командным устройством (БКУ):

- в режиме приема командных сообщений и управления РТР от БКУ;
- в режиме передачи телеметрической информации РТР в БКУ.

Кроме того, в состав БКУ входят вторичные источники питания (ВИП), обеспечивающие преобразование первичного бортового напряжения +27 В в напряжения питания приборов.

Блок опорных частот обеспечивает формирование, размножение и усиление сигнала опорной (эталонной) частоты для приборов КВР и ФОС (всего 8 выходов) номиналом 10 МГц и уровнем (-1 ± 2) дБмВт.

Для оценки уровня унификации группы ретрансляторов, созданных на основе предложенного варианта ретранслятора и применяемых в более отдаленной перспективе на разных платформах КА, целесообразно использовать коэффициент межпроектной (взаимной) унификации [9].

Коэффициент межпроектной (взаимной) унификации определяется как отношение в процентах количества сокращенных за счет взаимной унификации типоразмеров составных частей к максимально возможному сокращению количества типоразмеров составных частей группы, совместно изготавливаемых или эксплуатируемых БРК.

Общее количество рассматриваемых проектов (Н) разрабатываемых ретрансляторов для применения в перспективе на различных платформах КА равняется трем:

- первый вариант — ретранслятор, обеспечивающий передачу сигналов от платформ сбора данных и аварийных радиобуев;
- второй вариант — ретранслятор, обеспечивающий передачу только сигналов от и аварийных радиобуев;
- третий вариант — ретранслятор, обеспечивающий передачу только сигналов от платформ сбора данных.

Коэффициент межпроектной унификации для предлагаемых трех вариантов проектов РТР может быть определен по формуле [1]:

$$K_{МУ} = \frac{\sum_{i=1}^3 n_i - \sum_j q_j}{\sum_{i=1}^3 n_i - n_{\max}} \cdot 100\% = \frac{20 - 9}{20 - 7} \cdot 100\% = 84\%,$$

где n_i — количество типоразмеров составных частей в i -м проекте;

n_{\max} — максимальное количество типоразмеров составных частей одного проекта;

q_i — количество типоразмеров составной части i -го наименования.

Заключение

В статье рассмотрены целесообразность и перспективы унификации средств бортовых ретрансляционных комплексов для различных платформ КА. В результате проведенного анализа технических характеристик требований, предъявляемых к БРК, показана возможность их унификации и предложен вариант создания унифицированного ретранслятора.

Представлена функциональная схема унифицированного ретрансляционного комплекса, рассмотрены принципы его функционирования и основные возможные варианты его исполнения для различных платформ отечественных КА.

Создание предлагаемого варианта унифицированного комплекса позволит не только повысить его надежность и снизить затраты на разработку и производство, но также и существенно уменьшить время на адаптацию к различным космическим аппаратам, снизить потребную номенклатуру электрорадиоизделий, расширив перечень используемых отечественных компонентов, а также продемонстрировать преимущества использования унифицированной бортовой радиотехнической аппаратуры.

Список литературы

1. *Дорофеев Ю. Б., Сухов И. С., Тулисов Д. А.* Унификация перспективных радиотехнических ретрансляционных комплексов для различных КА и методика расчета уровня их стандартизации и унификации // Ракетно-космическое приборостроение и информационные технологии. Сборник трудов IX Всероссийской научно-технической конференции «Актуальные проблемы ракетно-технического приборостроения и информационных технологий» (5–7 июня 2018 г.) / Под ред. д. т. н., проф. А. А. Романова. М.: АО «Российские космические системы», 2018. С. 483–491.
2. *Горностаев Ю. М., Соколов В. В., Невдяев Л. М.* Перспективные спутниковые системы связи. М.: Горячая линия–Телеком, 2000. 129 с.
3. *Селиванов А. С., Рогальский В. И., Дедов Н. В.* Космическая система сбора природоресурсных данных с наземных платформ и определения их местоположения «Курс» // Современные технологии автоматизации, 1997, № 3. С. 36–41.
4. *Романов А. А., Кузенков А. Н., Тюлин А. Е., Куропятников А. Д., Борисов К. В., Кем О. В., Заичко В. А.* Основные положения концепции развития российского сегмента международной системы поиска и спасания КОСПАС–САРСАТ // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2017, т. 4, вып. 3. С. 5–15.
5. *Ступак Г. Г., Никушкин И. В., Суринов А. С., Рогальский В. И., Косенко В. Е.* Анализ состояния и перспектив развития российского среднеорбитального сегмента международной космической системы

- КОСПАС–САРСАТ // Телекоммуникации и транспорт, 2012, № 4. С. 29–34.
6. Романов А. А., Романов А. А., Булгаков Н. Н., Ершов А. Н., Колобаев А. С. Использование подходов непрерывного «инжиниринга» при адаптации приемных комплексов РК-СМ-МКА для размещения на борту КА «Метеор-М» № 2-1 и № 2-2 // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2017, т. 4, вып. 3. С. 69–76.
 7. Рогальский В. И. Аналитический обзор «Российские космические системы местоопределения подвижных средств и передачи цифровых данных». М.: ФГУП «РНИИ КП», 2000.
 8. Романов А. А., Кондрашов А. С. и др. Анализ принципов построения комплексов приема, обработки и ретрансляции информации международной системы КОСПАС–САРСАТ и перспективы развития // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2017. т. 4, вып. 3. С. 58–68.
 9. Методические указания. Определение уровня унификации и стандартизации изделий РД 50-33-80. М.: Издательство стандартов, 1982. 15 с.