

Метод квалификационных испытаний земных станций спутниковой связи

В. А. КОМАРОВ¹, С. О. ПАЗДЕРИН¹, А. В. САРАФАНОВ²

¹ ОАО «Информационные спутниковые системы им. акад. М. Ф. Решетнева», Железногорск, Россия, e-mail: VKomarov@iss-reshetnev.ru, Pazderin@iss-reshetnev.ru

² ЗАО «Ай-теко», Москва, Россия, e-mail: Sarafanov@i-teco.ru

Рассмотрен метод квалификационных испытаний земных станций спутниковой связи, обеспечивающий параллельную обработку данных, поступающих от измерительного оборудования и бортового ретрансляционного комплекса космического аппарата. Приведены результаты исследований задержки реакции системы на запросы операторов в зависимости от числа организуемых рабочих мест.

Ключевые слова: земные станции, распределённая измерительно-управляющая система, многопользовательский режим, удалённый доступ.

The method of qualification tests of satellite-communication earth stations, providing a simultaneity of their performance for several stations at parallel processing of data from measuring equipment and on board space ship retranslation complex is considered. The results of studies of system response delay time on inquiries from operators depending on the number of organized working places are described.

Key words: earth stations, distributed measuring-control system, multiuser mode, remote access.

Космические аппараты (КА), расположенные на геостационарной орбите, и системы спутниковой связи на их основе широко используют для обеспечения глобальной круглосуточной связи и вещания [1]. Для мониторинга сигнала ретранслятора КА во всем диапазоне несущих частот, выявления несанкционированного использования частотного ресурса, помех, отклонения параметров ретранслятора, обработки и хранения результатов измерений применяют специализированные наземные системы мониторинга связи (СМС), типовая архитектура которых включает антенный пост,

комплекс управления антеннами, радиоизмерительное оборудование и специализированные рабочие места [2, 3]. В общем виде СМС можно рассматривать как сложную распределённую измерительно-управляющую систему (РИУС) [4].

Одна из основных функций СМС — подготовка и проведение квалификационных испытаний земных станций спутниковой связи (ЗССС) для работы через бортовой ретрансляционный комплекс КА [5]. С помощью выделенного канала комплекса измеряют диаграммы направленности антенны ЗССС на приём и передачу; кросспolarизационную развязку; долгосрочную стабильность частоты и эквивалентную изотропную излучаемую мощность.

Каждая из рассмотренных операций представляет ряд однократных измерений, выполненных с использованием оборудования СМС, на основе обработки результатов которых определяются искомые характеристики. В процессе испытаний оператор СМС с рабочего места координирует действия оператора тестируемой станции, например с помощью телефонной связи, а также задаёт параметры измерительной цепи, взаимодействуя с визуальным интерфейсом программного комплекса, установленного на ПЭВМ.

На рис. 1 на примере СМС космической системы KazSat-3 приведена структурная схема РИУС, предназначенной для испытаний ЗССС. Сформированные оператором параметры конфигурации по вычислительной сети передаются на измерительно-управляющий сервер, инициирующий начало изме-

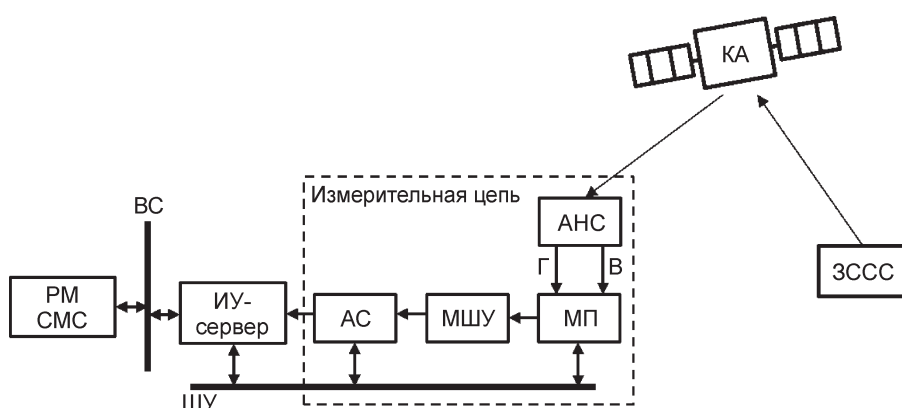


Рис. 1. Обобщенная структурная схема распределённой измерительно-управляющей системы квалификационных испытаний земных станций спутниковой связи:

РМ СМС — рабочее место оператора системы мониторинга связи; ВС — вычислительная сеть; ИУ-сервер — измерительно-управляющий сервер; АС — анализатор спектра; МШУ — малошумящий усилитель; МП — матричный переключатель; АНС — антенная система; КА — космический аппарат; ЗССС — земная станция спутниковой связи; ШУ — шина управления; Г, В — выходы горизонтальной и вертикальной поляризации, соответственно

рений сигналов анализатором спектра. Сигнал от тестируемой земной станции, переданный на выделенной частоте и в соответствующей поляризации, через бортовой ретрансляционный комплекс КА принимается антенной станции мониторинга, усиливается и поступает на вход анализатора. Данные спектрального анализа через сервер передаются на ПЭВМ оператора для последующей обработки и визуализации.

В процессе функционирования рассмотренной системы можно выделить следующие временные интервалы:

затрачиваемый на работу с оператором ЗССС по координатам изменений направленности антенной системы по азимуту и углу места, установки уровня мощности передаваемой несущей частоты, а также визуализации на экране, проведения курсорных измерений, обработки и анализа их результатов;

непосредственного проведения измерений с использованием измерительной цепи [2, 3, 5].

В течение сеанса работы с выбранной ЗССС комплект оборудования, обеспечивающий проведение испытаний, полностью зарезервирован. Данный факт снижает пропускную способность системы, так как происходит простой оборудования в интервалы времени «размышления оператора», т. е. между моментом получения результатов измерений и отправкой повторного запроса, что, в свою очередь, снижает скорость предоставления прав доступа земным станциям для работы с бортовым ретрансляционным комплексом при его вводе в эксплуатацию и может привести к задержкам формирования эксплуатационной загрузки частотного ресурса.

Пропускную способность СМС, т. е. количество одновременно аттестуемых станций можно повысить при параллельном доступе к измерительному оборудованию и информации о параметрах сигналов в каналах бортового ретрансляционного комплекса, передаваемых с земных станций. Такую задачу можно решить на основе многопользовательской РИУС, построенной по принципу разделения времени [6]. Для этого на сервере размещают специализированное программное гарантирующее — диспетчер разделяемого ресурса, обеспечивающее разрешение конфликтов в работе оборудования измерительной цепи за счет буферизации и организации очередности обработки запросов при совместном доступе операторов с разных рабочих мест [6]. Одновременная работа нескольких ЗССС осуществляется с частотным разделением. Алгоритм работы диспетчера рекомендуется выбирать, анализируя специфику разделяемого ресурса, в качестве которого выступает измерительная цепь, и выполняемые измерения [7–10].

В процессе функционирования многопользовательской РИУС операторы СМС с рабочих мест координируют действия коллег по тестируемым земным станциям, а также с помощью ПЭВМ выбирают выходы поляризации антенны и устанавливают параметры измерений (центральный частоту, полосу обзора, разрешение по частоте и т. д.), определяющие конфигурацию анализатора спектра. Подготовленный запрос передается на сервер и в случае занятости оборудования измерительной цепи ставится диспетчером разделяемого ресурса в очередь. После выполнения предыдущего запроса под управлением сервера происходит установка требуемой конфигурации анализатора и измеряются параметры тестируемой станции на выделенной несущей частоте. Результаты передаются на соответствующее рабочее место

для последующей обработки и визуализации. После получения ответа на предыдущий запрос, оператор подготавливает и отправляет следующий запрос, если потребность в таковом имеется. Рассмотренное программное обеспечение позволяет реализовать основные разработанные и апробированные подходы, изложенные в [11].

Буферизация запросов, поступающих от операторов СМС, приводит к возникновению задержки и, как следствие, увеличению времени ожидания результатов измерений [6, 12, 13]. Таким образом, задача оценки снижения реакции многопользовательской системы на запросы операторов в зависимости от числа организуемых рабочих мест, с которых осуществляется одновременная работа с оборудованием, является актуальной.

Оценка времени ожидания результатов измерений проведена с помощью математической модели, основывающейся на гипотезе, что многопользовательская РИУС функционирует как замкнутая система массового обслуживания, запросы обрабатываются на сервере в порядке поступления, а их поток является простейшим [11, 12, 14].

Время ожидания в рассматриваемой системе с учетом принятых допущений можно определить из выражения [13, 14]:

$$\bar{t}_{\text{ож}} = N\bar{t}_{\text{об}} - [(1 - \pi_0)/\lambda],$$

где N — число рабочих мест; $\bar{t}_{\text{об}}$ — среднее время обслуживания одного запроса на измерение; π_0 — вероятность проста обслуживающего прибора (измерительной цепи) после завершения обслуживания; λ — интенсивность поступления запросов с каждого рабочего места.

С помощью модели были получены зависимости $\bar{t}_{\text{ож}}$ от N при различной интенсивности поступающих запросов: $\lambda = 0,0035; 0,007; 0,0104; 0,0139$, что эквивалентно проведению каждым из операторов в течение временного интервала длительностью 4 ч серии из 50; 100; 150; 200 измерений, соответственно [13].

Относительное увеличение времени ожидания результатов измерений операторами СМС рассчитывали по формуле

$$\varepsilon = [(\bar{t}_{\text{ож}}^* - \bar{t}_{\text{ож}})/\bar{t}_{\text{ож}}] \cdot 100,$$

где $\bar{t}_{\text{ож}}^*$ — среднее время ожидания результатов измерений в многопользовательской РИУС.

Графики обобщенных зависимостей $\varepsilon = f(N)$ для различных интенсивностей запросов на измерения на примере среднего времени обслуживания одного запроса $\bar{t}_{\text{об}} = 5$ с представлены на рис. 2 [15]. Из полученных результатов следует, что число рабочих мест можно увеличить при организации многопользовательского режима функционирования. Например, для рассмотренных исходных данных при организации 6 рабочих мест операторов среднее время ожидания результатов измерений по сравнению с одним рабочим местом увеличится на 0,5–2 с. В свою очередь, организация 6 рабочих мест позволит в 6 раз повысить пропускную способность СМС при квалификационных испытаниях с использованием единого комплекта оборудования.

При исследовании гипотез о различных законах распределения времени обслуживания, длительностей интервалов

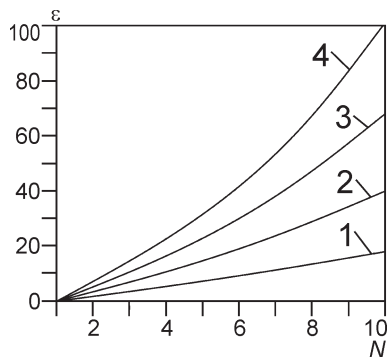


Рис. 2. Зависимость $\varepsilon=f(N)$ при различном числе измерений N , выполняемых операторами СМС:
1, 2, 3, 4 — $N = 50; 100; 150; 200$, соответственно

«размышления операторов», целесообразно применение методов имитационного моделирования [16].

Многопользовательский режим функционирования измерительного оборудования СМС при проведении квалификационных испытаний ЗССС является перспективным и позволяет повысить эффективность его использования. При описанном выше методе каждый из операторов ЗССС работает с выделенным каналом бортового ретрансляционного комплекса КА и оператором СМС, при этом отсутствует необходимость оснащения измерительным оборудованием и антенной каждого рабочего места.

Задачу увеличения количества рабочих мест можно решить, применив методы, направленные на повышение быстродействия функционирования многопользовательских РИУС [8, 9]. При этом, например, долгосрочную стабильность эквивалентной изотропной излучаемой мощности и частоты без увеличения времени монопольного захвата оборудования измеряют на основе временного разделения многократных измерений с использованием статистических оценок, выполняемых рекуррентно на ПЭВМ [10].

Рассмотренный метод позволяет сократить сроки ввода в эксплуатацию ЗССС, так как появляется возможность проведения квалификационных испытаний нескольких станций одновременно.

Л и т е р а т у р а

1. Кантор Л. Я., Тимофеев В. В. Спутниковая связь и проблема геостационарной орбиты. М.: Радио и связь, 1988.
2. Засецкий А. В., Иванов А. Б., Постников С. Д., Соколов И. В. Контроль качества в телекоммуникациях и связи / Под ред. А. Б. Иванова. Ч. 2. М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001.

3. Бакланов Г. И. Методы измерений в системах связи. М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 1999.

4. Денисенко В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, оборудованием. М.: Горячая линия-Телеком, 2009.

5. Bruce R. Elbert. Introduction to Satellite Communication. Norwood: Artech House Publishers, 2008.

6. Пospelов Д. А. Введение в теорию вычислительных систем. М.: Советское радио, 1972.

7. Загорский В. П., Пугачев И. С., Ярусов А. Г. Информационно-измерительные системы коллективного пользования. Минск: Наука и техника, 1987.

8. Комаров В. А., Сарафанов А. В. Оптимизация операций управления в многопользовательских распределенных измерительно-управляющих системах // Информационно-управляющие системы. 2011. № 3. С. 52—56.

9. Комаров В. А., Глинченко А. С., Сарафанов А. В. Распараллеливание функциональных операций в многопользовательских распределенных измерительно-управляющих системах // Датчики и системы. 2012. № 4. С. 2—5.

10. Комаров В. А., Глинченко А. С. Исследование эффективности временного разделения многократных измерений в распределенных измерительно-управляющих системах // Информационно-управляющие системы. 2013. № 4. С. 73—77.

11. Пат. № 2406140 РФ. Способ тестирования территориально удаленных объектов / А. С. Глинченко, В. А. Комаров, А. В. Сарафанов // Изобретения. Полезные модели. 2010. № 34.

12. Комаров В. А., Сарафанов А. В. Разработка математической модели многопользовательского режима функционирования аппаратно-программных комплексов с удаленным доступом // Информационные технологии. 2009. № 3. С. 67—74.

13. Комаров В. А., Глинченко А. С., Сарафанов А. В. Повышение эффективности эксплуатации многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем // Вестник Воронежского ГТУ. 2008. № 10. С. 186—189.

14. Takagi H. Queueing analysis. A foundation of performance evaluation. V. II. Finite Systems. Amsterdam: N.-Holland, 1993.

15. Афонский А. А., Дьяков В. П. Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики. М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2009.

16. Комаров В. А., Сарафанов А. В. Имитационное моделирование процесса функционирования многопользовательских распределенных измерительно-управляющих систем // Измерительная техника. 2011. № 2. С. 16—19.

Дата принятия 29.01.2016 г.