

ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ

УДК 621.398

doi:10.21685/2307-5538-2021-1-4

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С УЧЕТОМ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ СИНГУЛЯРНО-СПЕКТРАЛЬНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ ДОДЕТЕКТОРНОЙ ЗАПИСИ СИГНАЛА

А. С. Дуников¹, А. А. Бянкин², Э. А. Бардаев³

^{1,3} Генеральный штаб Вооруженных сил РФ, г. Москва, Россия

² Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург, Россия

¹ artem.sever1@yandex.ru, ^{2,3} aab51@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Результаты телеметрических измерений имеют очень важное значение для подтверждения летно-технических характеристик и оценивания технического состояния летательного аппарата. В сложных условиях помеховой обстановки могут быть потеряны или искажены информационно значимые фрагменты результатов телеметрического контроля. В связи с этим разработка методов и алгоритмов восстановления телеметрической информации в условиях помех имеет важное прикладное значение. *Материалы и методы.* Для восстановления телеметрической информации предложено использовать метод сингулярно-спектрального анализа додетекторной записи группового телеметрического сигнала. При этом выдвинута гипотеза о влиянии параметров сингулярно-спектрального разложения на достоверность восстановления телеметрической информации. *Результаты.* Посредством имитационного моделирования процессов восстановления определен диапазон оптимальных параметров применения сингулярно-спектрального разложения додетекторной записи группового телеметрического сигнала, обеспечивающих высокую степень достоверности восстановления информации. *Вывод.* В сложных условиях помеховой обстановки, характеризующихся низким отношением сигнал/шум, использование оптимального параметра алгоритма восстановления телеметрической информации на основе применения метода сингулярно-спектрального анализа додетекторной записи сигнала позволяет обеспечить высокую степень достоверности представления телеметрируемых параметров.

Ключевые слова: додетекторная запись, послесенная обработка, сингулярно-спектральный анализ, телеметрическая информация

Для цитирования: Дуников А. С., Бянкин А. А., Бардаев Э. А. Восстановление телеметрической информации летательных аппаратов с учетом выбора параметров сингулярно-спектрального разложения додетекторной записи сигнала // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 1. С. 35–43. doi:10.21685/2307-5538-2021-1-4

RECOVERY OF TELEMETRY INFORMATION OF AIRCRAFT TAKING INTO ACCOUNT THE CHOICE OF THE PARAMETERS OF THE SINGULAR-SPECTRAL DECOMPOSITION OF THE PRE-DETECTOR SIGNAL RECORDING

A.S. Dunikov¹, A.A. Byankin², E.A. Bardaev³

^{1,3} General Staff of the Armed Forces, Moscow, Russia

² Military Space Academy named after A. F. Mozhaisky, St. Petersburg, Russia

¹ artem.sever1@yandex.ru, ^{2,3} aab51@mail.ru

Abstract. *Background.* Telemetry information is very important for confirming the flight performance and assessing the technical condition of the aircraft. In difficult jamming conditions, information-significant fragments of telemetry control results can be lost or distorted. In this regard, the development of methods and algorithms for recovering tele-

metric information is of great practical importance. *Materials and methods.* To restore telemetry information, it is proposed to use the method of singular-spectral analysis of pre-detector recording of a group telemetry signal. At the same time, a hypothesis was put forward about the influence of the parameters of the singular-spectral decomposition on the reliability of the restoration of telemetric information. *Results.* By means of simulation modeling of restoration processes, a range of optimal parameters for the use of singular-spectral decomposition of pre-detector recording of a group telemetry signal has been formed, providing a high degree of reliability of information restoration. *Conclusion.* In difficult conditions of interference, characterized by a low signal-to-noise ratio, the use of the optimal parameters of the telemetry information recovery algorithm based on the application of the method of singular-spectral analysis of the pre-detector signal recording allows a high degree of reliability in the presentation of telemetry parameters.

Keywords: pre-detector recording, post-session processing, singular spectral analysis, telemetry information

For citation: Dunikov A.S., Byankin A.A., Bardaev E.A. Recovery of telemetry information of aircraft taking into account the choice of the parameters of the singular-spectral decomposition of the pre-detector signal recording. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2021;1:35–43. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2021-1-4

Введение

В связи со значительным усложнением создаваемых летательных аппаратов (ЛА) различного класса и назначения, обусловленным реализацией в них новых функциональных и технических возможностей, увеличивается значимость телеметрической информации (ТМИ), передаваемой с борта при проведении летных испытаний и эксплуатации. Это обусловлено тем, что именно результаты анализа и обработки ТМИ позволяют достоверно оценить текущее техническое состояние и достигнутые в ходе разработки летно-технические характеристики ЛА [1]. На достоверность регистрации ТМИ, а вместе с тем и на достоверность определения технического состояния и оценивания летно-технических характеристик значительное влияние оказывают сложные помеховые условия в радиоканале передачи данных. Эти условия характеризуются низким отношением сигнал/шум и многолучевостью распространения сигнала. Так, в частности, достаточно часто объем потери и искажения ТМИ, обусловленный вышеуказанными условиями приема сигнала, может достигать 5–10 % от всего объема зарегистрированных результатов телеконтроля [2]. При этом в данное процентное соотношение могут попадать и информационно значимые телеметрируемые параметры (ТМП), оценивание поведения которых технически необходимо для дальнейшей безаварийной эксплуатации ЛА. Следовательно, разработка методов и алгоритмов обработки ТМИ ЛА при их летных испытаниях и эксплуатации, обеспечивающих повышение надежности и достоверности регистрации результатов телеконтроля, является на настоящий момент актуальной.

Анализ существующих подходов к повышению достоверности регистрации телеметрических измерений и математическая постановка задачи

В работе [3] показано, что использование распространенных в настоящее время подходов повышения достоверности регистрации ТМИ, заключающихся в применении методов разнесенного приема и методов постдетекторной обработки результатов телеизмерений в сложных условиях приема сигнала, не позволяет восстановить искаженные временные участки группового телеметрического сигнала (ГТС), являющегося переносчиком результатов телеметрического контроля с борта ЛА на наземную аппаратуру обработки и анализа ТМИ, а следовательно, и переносчиком информационно значимых ТМП, описывающих характер функционирования ЛА.

В ряде работ [3–4] в целях повышения достоверности зарегистрированной ТМИ предлагается использовать методы и алгоритмы обработки сигнала, использующие предварительную запись оцифрованных значений сигнала непосредственно с выходов аналоговых квадратурных каналов, позволяющих избежать недостатков, которые присущи подходам с фиксированным алгоритмом обработки [4]. Данные методы и алгоритмы в перспективе должны обеспечить восстановление искаженной информации за счет усложнения процедур обработки сигнала, выполняемых в отложенном времени. Предварительная запись оцифрованных значений сигнала с выходов аналоговых квадратурных каналов называется додетекторной записью.

Вместе с тем научно-методический аппарат восстановления ТМИ по результатам обработки ее додетекторной записи практически не разработан. В работе [5] предложен алгоритм восстановления ТМИ на основе применения метода сингулярно-спектрального анализа додетекторной записи сигнала. Содержание данного алгоритма заключается в выполнении следующих действий:

Шаг 1. Осуществляется ввод исходных данных, необходимых для работы алгоритма, в качестве которых выступают:

– додетекторная запись зарегистрированного группового телеметрического сигнала, описанная математической моделью дискретного временного ряда

$$S_{\text{вх}} = \{s^{(\text{вх})}(t_0), s^{(\text{вх})}(t_1), \dots, s^{(\text{вх})}(t_{N-1})\}, \quad (1)$$

где $N = f_d T_c$ – количество дискретных отсчетов сигнала; f_d – частота дискретизации; T_c – длительность зарегистрированного фрагмента сигнала; $s^{(\text{вх})}$ – входной радиосигнал; t_0 – начальный момент времени отсчета анализируемого радиосигнала;

– множество информационно значимых ТМП, необходимых для оценивания технического состояния ЛА $\mathbf{H} = \{h_{ij} \mid i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}\}$;

– размерность окна сингулярно-спектрального разложения L .

Шаг 2. Выполняется процедура вложения. Во время данной процедуры исходный временной ряд $S_{\text{вх}}$ длины N , соответствующий принятому сигналу, преобразуется в последовательность K многомерных векторов. В процессе процедуры вложения образуется $K = N - L + 1$ векторов вложения, имеющих размерность L и описываемых как $X_z = (s_{z-1}^{(\text{вх})}, \dots, s_{z+L-2}^{(\text{вх})})^T$, $1 \leq z \leq K$.

В результате процедуры вложения образуется траекторная матрица додетекторной записи принятого сигнала

$$\mathbf{X} = (x_{zy})_{z,y=1}^{L,K} = \begin{pmatrix} s_0^{(\text{вх})} & \dots & s_{K-1}^{(\text{вх})} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ s_{L-1}^{(\text{вх})} & \dots & s_{N-1}^{(\text{вх})} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Шаг 3. Осуществляется сингулярное разложение сформированной траекторной матрицы \mathbf{X} , описываемой выражением (2). Данное сингулярное разложение можно записать в следующем математическом виде:

$$\mathbf{X}_{\text{разл}} = \sum_{a=1}^d \lambda_a U_a V_a. \quad (3)$$

При этом наборы $\langle \lambda_a, U_a, V_a \rangle$ называются собственными числами траекторной матрицы и являются безразмерными величинами. Значения $\lambda_1 \geq \lambda_2 \dots \geq \lambda_d$, при всех $\lambda > 0$, являются сингулярными числами траекторной матрицы; U_1, \dots, U_d – ортонормированная система левых сингулярных векторов или собственные вектора; V_1, \dots, V_d – ортонормированная система правых сингулярных векторов или факторные вектора.

Шаг 4. Выполняется группировка собственных троек траекторной матрицы $\{1, \dots, d\}$, таким образом, что образуется ε непересекающихся подмножеств, которые обозначим как $\mathbf{I}_1, \dots, \mathbf{I}_\varepsilon$. В результате формируются несколько результирующих непересекающихся траекторных матриц $\mathbf{X}_{I_\varepsilon} = \mathbf{X}_{I_1} + \dots + \mathbf{X}_{I_\varepsilon}$. Вопросы делимости собственных троек затрагивают дополнительные области исследований. В разработанном алгоритме собственные числа не группировались, а располагались в порядке убывания.

Шаг 5. Осуществляется диагональное усреднение, заключающееся в переводе $\mathbf{X}_{I_\varepsilon}$ в новый ряд исходной длины N , иными словами, получения значений временного ряда $s_0^{(\text{обп})}, \dots, s_{N-1}^{(\text{обп})}$.

Шаг 6. Осуществляется обработка полученного временного ряда $S_{\text{обп}} = \{s^{(\text{обп})}(t_0), s^{(\text{обп})}(t_1), \dots, s^{(\text{обп})}(t_{N-1})\}$ приемным устройством.

Использование преимуществ сингулярно-спектрального анализа, заключающихся в возможности выделить интересующие компоненты временных рядов, в частности, отдельные аддитивные составляющие исходного ряда, различные колебательные и периодические компоненты, а также шумовые компоненты, выделить спектральные составляющие сигнала с учетом изменения амплитуды и фазы квазипериодического сигнала, а также отфильтровать спектральные компоненты гармонического сигнала, позволяет, как показано в работе [6], в зависимости от условий приема сигнала повысить на 8–85 % степень достоверности представления ТМП, по сравнению с существующей технологией регистрации ТМИ [5].

Значительный диапазон изменения степени достоверности представления телеметрируемых параметров обусловлен использованием в данном алгоритме при осуществлении процеду-

ры восстановления только первой собственной тройки траекторной матрицы $X_1 = \langle \lambda_1, U_1, V_1 \rangle$. Вместе с тем гармоническую составляющую полезного сигнала содержат c собственных троек при условии, что $c < d$. Кроме того, при реализации данного алгоритма не учитывалось возможное изменение размерности окна сингулярно-спектрального разложения L , значение которой теоретически может влиять на степень достоверности представления восстановленного ТМП, а использовалось лишь ее заранее заданное, исходя из объема анализируемой выборки, постоянное значение $L = \text{const}$.

В целях поиска эффективных путей реализации алгоритма восстановления ТМИ на основе применения метода сингулярно-спектрального анализа додетекторной записи сигнала целесообразно в заданных условиях сложной помеховой обстановки $Q_{\text{зад}}$ осуществить конечномерный выбор оптимальных параметров его применения.

Статистический анализ результатов регистрации ТМИ при проведении сеансов измерений по пускам ракетносителей, основанный на оценивании законов распределения поведения параметров автоматической регулировки усиления, являющейся параметром внутренней телеметрии наземной приемно-регистрирующей станции (НПРС), показал, что наиболее подвержена искажению информация на участках входа ЛА в зону радиовидимости антенно-фидерных систем НПРС, выходы из данной зоны, а также на участках с повышенной вибрационной активностью ЛА, обусловленных отделением конструктивных элементов, возникновением взрывоопасных ситуаций. Пример результатов статистического анализа зарегистрированной ТМИ представлен на рис. 1.

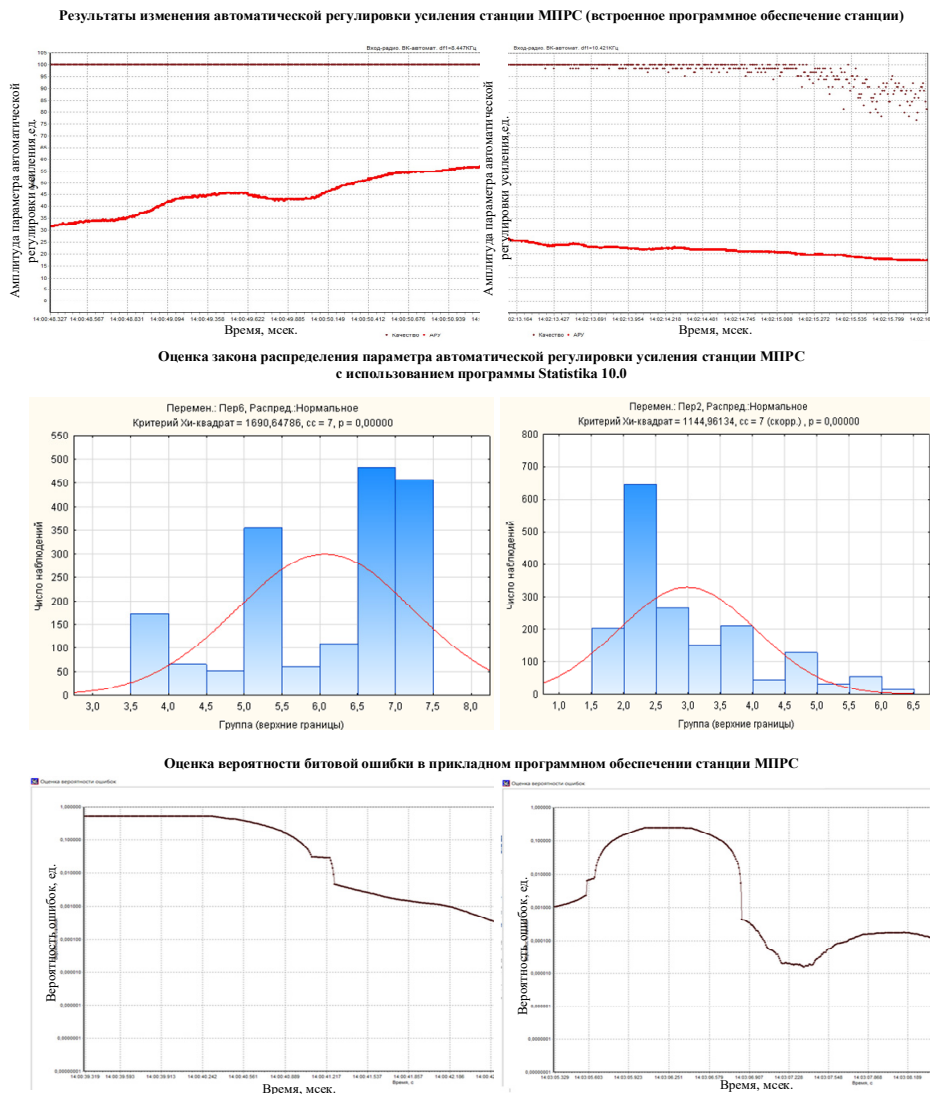


Рис. 1. Результаты статистического анализа зарегистрированной ТМИ на участках входа и выхода из зоны радиовидимости

Результаты статистического анализа показывают, что плотность вероятности распределения помехи на данных участках имеет нормальный закон распределения, что соответствует воздействию белого гауссовского шума, а рассчитываемая НПС вероятность битовой ошибки эквивалентна отношению сигнал/шум, имеющему значение в пределах от -4 до 1 дБ.

Таким образом, необходимо в заданных условиях помеховой обстановки определить оптимальные параметры A применения алгоритма восстановления ТМИ на основе применения метода сингулярно-спектрального анализа додетекторной записи сигнала f , к которым относятся количество собственных троек X_c , используемых при восстановлении временного ряда, и размерность окна сингулярно-спектрального разложения L , при которой степень достоверности G получаемых ТМП имела максимальное значение.

Математически данная постановка задачи записывается следующим образом:

$$A = f(X_c, L) \Big|_{Q_{\text{зао}}}^{X_c, L = \text{var}} \rightarrow \hat{G} = \max(G). \quad (3)$$

При этом степень достоверности оценивается как [2]

$$G = \frac{R_{\text{пр.прин.}}}{R_{\text{исход.}}} 100 \%, \quad (4)$$

где $R_{\text{пр.прин.}}$ – количество правильно принятых (восстановленных) слов, характеризующих одно измерение ТМП во времени по сравнению с исходным неискаженным параметром; $R_{\text{исход.}}$ – количество слов исходного неискаженного ТМП на всем интервале его изменения.

Выбор оптимальных параметров алгоритма восстановления телеметрической информации

В целях подбора оптимального количества собственных троек X_c , используемых при восстановлении временного ряда, и величины окна сингулярно-спектрального разложения L разработана программа имитационного моделирования в графическом интерфейсе пользователя среды Matlab. Исходя из основ статистической теории связи, заключающихся в том, что максимум достоверности представления данных, переданных по радиоканалу, обеспечивается за счет минимума вероятности искажения информации в радиоканале в качестве оцениваемого показателя при поиске оптимальных параметров алгоритма, использована вероятность битовой ошибки P_b . Иными словами,

$$\hat{G} = \max(G) \Big|_{P_b = \min}. \quad (5)$$

Это обусловлено тем, что элементарной информационной посылкой при передаче ГТС является информационный бит, принимающий номинальное значение «0» или «1».

Результаты имитационного моделирования для отдельных значений отношения сигнал/шум представлены на рис. 2–4.

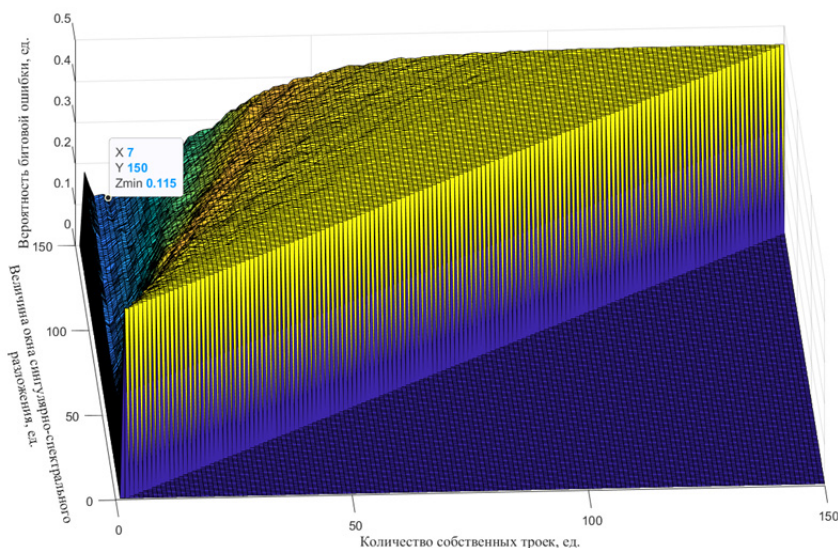


Рис. 2. Результаты оценивания вероятности битовой ошибки при отношении сигнал/шум, равном -4 дБ

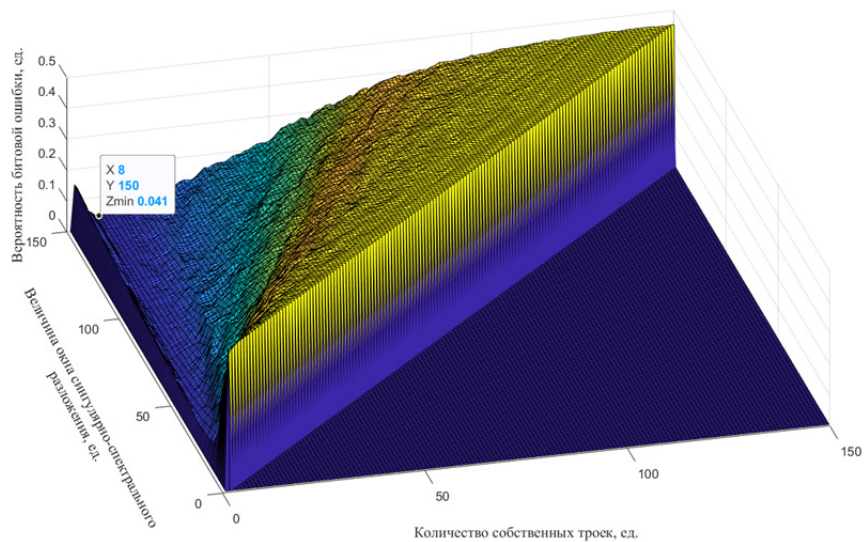


Рис. 3. Результаты оценивания вероятности битовой ошибки при отношении сигнал/шум, равном -2 дБ

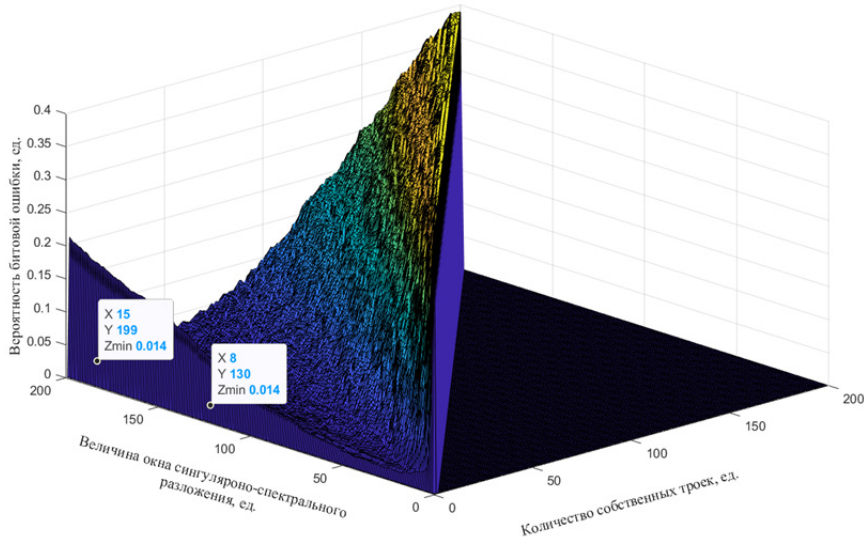


Рис. 4. Результаты оценивания вероятности битовой ошибки при отношении сигнал/шум, равном 0 дБ

Рекомендуемые параметры алгоритма восстановления ТМИ по критерию минимума вероятности битовой ошибки на основе применения метода сингулярно-спектрального анализа додетекторной записи сигнала для заданных условий помеховой обстановки, полученные по результатам моделирования, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Оптимальные параметры алгоритма восстановления ТМИ

Отношение сигнал/шум, дБ	Рекомендуемое количество собственных троек, ед.	Рекомендуемая величина окна сингулярно-спектрального разложения, ед.
-4	5–7	145–150
-3	5–7	145–150
-2	7–10	145–150
-1	7–10	120–150
0	5–15	120–150
1	4–15	60–150

Таким образом, по результатам моделирования установлено, что для обеспечения низкой вероятности битовой ошибки, влияющей на достоверность ТМИ, необходимо использо-

вать незначительное количество собственных троек, изменяющихся в пределах от 5 до 15, а увеличение размерности окна сингулярно-спектрального разложения более 150 дискретных отсчетов не приводит к снижению вероятности битовой ошибки.

Анализ результатов моделирования и оценивания оптимальных параметров алгоритма восстановления телеметрической информации

Для оценивания целевого эффекта от применения предложенного научно-методического аппарата восстановления ТМИ на основе применения метода сингулярно-спектрального анализа и поиска оптимальных параметров его применения проведено имитационное моделирование процессов восстановления ТМП. На рис. 5 представлен исходный неискаженный ТМП, сформированный бортовой радиотелеметрической системой.

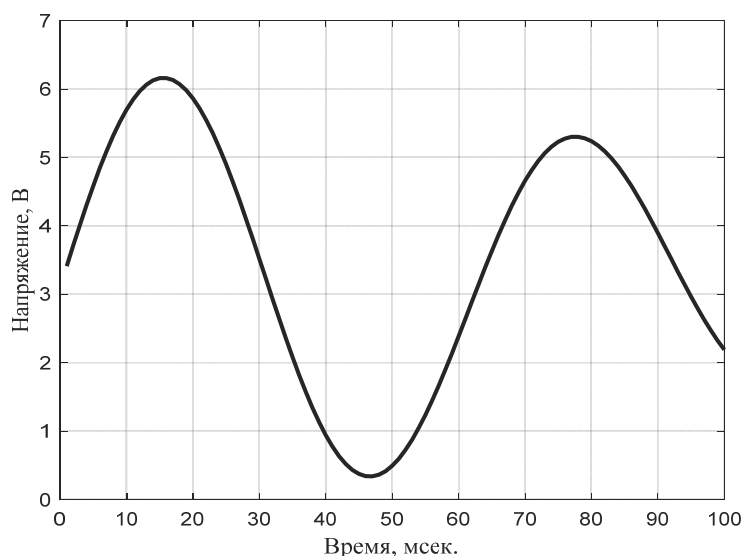


Рис. 5. Исходный ТМП

На рис. 6 и 7 представлены результаты восстановления ТМП с использованием алгоритма восстановления ТМИ на основе применения метода сингулярно-спектрального анализа додетекторной записи сигнала, при аналогичных условиях помеховой обстановки, с учетом выбора неоптимальных и оптимальных параметров восстановления.

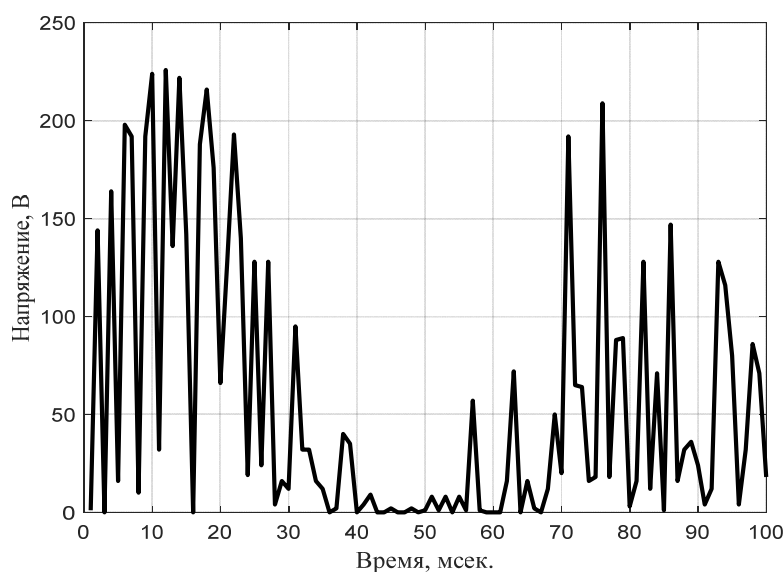


Рис. 6. Результаты восстановления ТМП с использованием метода сингулярно-спектрального анализа ($q = 0$ дБ, $X_c = 100$, $L = 130$)

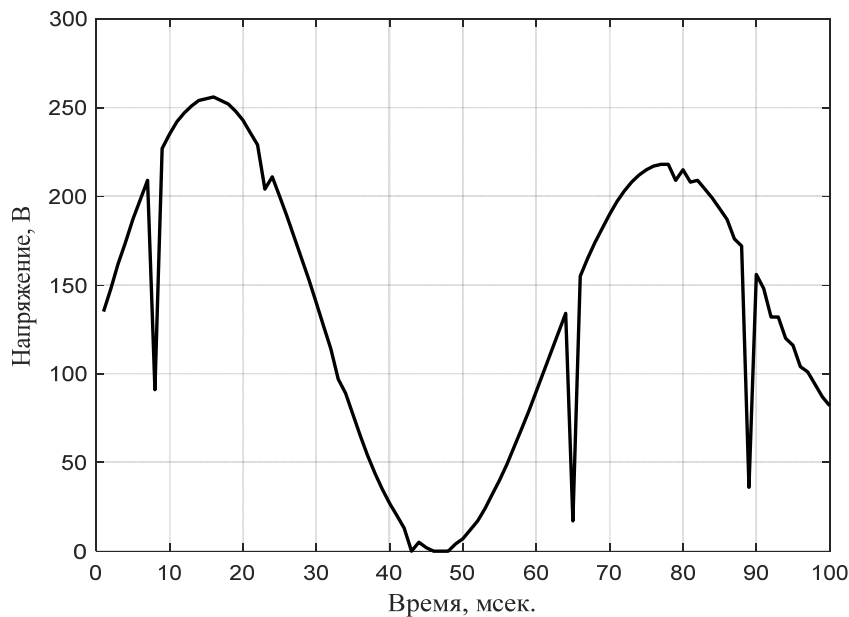


Рис. 7. Результаты восстановления ТМП с использованием метода сингулярно-спектрального анализа ($q = 0$ дБ, $X_c = 8$, $L = 130$)

Степень достоверности представления ТМП, оцениваемая в соответствии с выражением (11), составляет в первом случае 37 %, а во втором случае – 90 %.

Таким образом, оптимальный выбор параметров алгоритма восстановления ТМИ на основе применения метода сингулярно-спектрального анализа додетекторной записи сигнала позволит обеспечить высокую степень достоверности представления ТМП.

Заключение

Применение перспективных технологий восстановления ТМИ, основанных на обработке и анализе додетекторной записи группового телеметрического сигнала, позволяет внедрить сложные итеративные алгоритмы восстановления, реализуемые в режиме отложенного времени. В частности, использование алгоритма восстановления ТМИ на основе применения метода сингулярно-спектрального анализа додетекторной записи сигнала позволяет существенно повысить степень достоверности представления ТМИ. При этом для эффективного применения данного алгоритма необходимо выбирать оптимальные значения величины окна сингулярно-спектрального разложения и количества собственных троек, используемых при восстановлении временного ряда. Для низких отношений сигнал/шум оптимальными значениями количества собственных троек являются значения в пределах от 5 до 15, а длины окна сингулярно-спектрального разложения – от 120 до 150 дискретных отсчетов.

Список литературы

1. Назаров А. В., Козырев Г. И., Лоскутов А. И. [и др.] Современная телеметрия в теории и на практике. СПб. : Наука и техника, 2007. 667 с.
2. Воронцов В. Л. Методы разнесенного приема телеметрической информации и условия их применения в процессе развития телеметрического комплекса космодрома : монография. 2-е изд., перераб. и доп. Набережные Челны : Изд-во Камской гос. инженер.-эконом. акад., 2009. 284 с.
3. Дуников А. С., Бянкин А. А., Обрученков В. П., Митронин Р. В. Алгоритм адаптивного управления додетекторной записью в наземных приемно-регистрирующих станциях телеметрической информации с использованием сигнала автоматической регулировки усиления // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2019. № 12. С. 7–19.
4. Емельянов Л. Я., Лялюк А. И., Рогожкин А. В., Храмов Е. А. О системах обработки сигналов некогерентного рассеяния на видео- и промежуточной частотах // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». 2013. № 28. С. 38–45.
5. Дуников А. С., Бянкин А. А., Митронин Р. В. Алгоритм восстановления телеметрической информации на основе применения метода сингулярно-спектрального анализа додетекторной записи сигнала // Инфор-

мационно-измерительные и управляющие системы. 2020. Т. 18, № 5. С. 20–34. doi: 10.18127/j20700814-202005-03

6. Бриллинджер Д. Временные ряды. Обработка данных и теория / под ред. А. Н. Колмогорова. М. : Мир, 1980. 536 с.

References

1. Nazarov A.V., Kozyrev G.I., Loskutov A.I. [et al.] *Sovremennaya telemetriya v teorii i na praktike* = Modern telemetry in theory and practice. Saint-Petersburg: Nauka i tekhnika, 2007:667. (In Russ.)
2. Vorontsov V.L. *Metody raznesennogo priema telemetricheskoy informatsii i usloviya ikh primeneniya v protsesse razvitiya telemetricheskogo kompleksa kosmodroma: monografiya. 2-e izd., pererab. i dop.* = Methods of distributed reception of telemetric information and conditions of their application in the process of development of the telemetric complex of the cosmodrome: monograph. 2nd ed., revised and expanded. Naberezhnye Chelny: Izd-vo Kamskoy gos. inzhener.-ekonom. akad., 2009:284. (In Russ.)
3. Dunikov A.S., Byankin A.A., Obruchenkov V.P., Mitronin R.V. Algorithm for adaptive control of pre-detection recording in ground-based receiving and recording stations of telemetric information using an automatic gain control signal. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika* = Devices and systems. Management, control, diagnostics. 2019;12:7–19. (In Russ.)
4. Emel'yanov L.Ya., Lyalyuk A.I., Rogozhkin A.V., Khramov E.A. On systems for processing incoherent scattering signals at video and intermediate frequencies. *Vestnik Natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta «Khar'kovskiy politekhnicheskii institut»* = Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute". 2013;28:38–45. (In Russ.)
5. Dunikov A.S., Byankin A.A., Mitronin R.V. Algorithm for restoring telemetric information based on the use of the method of singular-spectral analysis of the pre-detector signal recording. *Informatsionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy* = Information-measuring and control systems. 2020;18(5):20–34. doi: 10.18127/j20700814-202005-03. (In Russ.)
6. Brillindzher D. *Vremennye ryady. Obrabotka dannykh i teoriya* = Time series. Data processing and theory. Moscow: Mir, 1980:536. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Артём Сергеевич Дуников

кандидат технических наук,
старший инженер отдела,
Генеральный штаб Вооруженных сил РФ
(Россия, г. Москва, Фрунзенская набережная, 22)
E-mail: artem.sever1@yandex.ru

Artem S. Dunikov

Candidate of technical sciences,
senior engineer of the department,
General Staff of the Armed Forces
(22 Frunzenskaya embankment, Moscow, Russia)

Александр Александрович Бянкин

кандидат технических наук, доцент,
профессор кафедры телеметрических систем,
комплексной обработки и защиты информации,
Военно-космическая академия
имени А. Ф. Можайского
(Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13)
E-mail: aab51@mail.ru

Aleksandr A. Byankin

Candidate of technical sciences, associate professor,
professor of sub-department of telemetry systems,
integrated processing and protection
of information,
Military Space Academy
named after A. F. Mozhaisky
(13 Zhdanovskaya street, St. Petersburg, Russia)

Эдуард Аркадьевич Бардаев

доктор технических наук, профессор, референт,
Генеральный штаб Вооруженных сил РФ
(Россия, г. Москва, Фрунзенская набережная, 22)
E-mail: aab51@mail.ru

Eduard A. Bardaev

Doctor of technical sciences, professor, assistant,
General Staff of the Armed Forces
(22 Frunzenskaya embankment, Moscow, Russia)