

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)
Кафедра МО ЭВМ

ОТЧЕТ
по производственной практике
Тема: Разработка инструмента обработки и анализа сигналов
геофизического мониторинга

Студент гр. 7303

Есиков О.И.

Руководитель

Мандрикова Б.С.

Санкт-Петербург

2022

ЗАДАНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВЕННУЮ ПРАКТИКУ

Студент Есиков О.И.

Группа 7303

Тема практики: Разработка инструмента обработки и анализа сигналов
геофизического мониторинга

Задание на практику:

Разработать метод анализа нестационарных сигналов на основе применения
операций анализа сингулярного спектра

Сроки прохождения практики: 11.10.2022 – 29.12.2022

Дата сдачи отчета: 20.12.2022

Дата защиты отчета: 27.12.2022

Студент

Есиков О.И.

Руководитель

Мандрикова Б.С.

АННОТАЦИЯ

Со стремительным развитием информационных технологий и ростом технических объектов все чаще ощущается проблема анализа сложных нестационарных сигналов. Сложность проблемы возрастает при работе с природными данными из-за высокого уровня шума и отсутствия информации о полезном сигнале. В настоящее время не существует методов и подходов способных с удовлетворительной точностью и скоростью выполнять анализ сигналов геофизического мониторинга. Цель магистерской диссертации заключается в разработке метода анализа сложных нестационарных сигналов на примере данных геофизического мониторинга, способного в автоматическом режиме выполнять оценку состояния околоземного космического пространства.

SUMMARY

With the rapid development of information technology and the growth of technical objects, the problem of analyzing complex non-stationary data is increasingly felt. The complexity of the problem increases when working with natural data due to the high noise level and the lack of information about the useful signal. Currently, there are no methods and approaches capable of performing the analysis of geophysical monitoring data with satisfactory accuracy and speed. The purpose of the master's thesis is to develop a method for analyzing geophysical monitoring data that is capable of automatically assessing the state of near-Earth outer space.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	5
1.	Постановка задачи	7
2.	Результаты работы в осеннем семестре	8
2.1.	План	8
2.2.	Разработка метода	8
2.3.	Результаты применения предлагаемого метода	9
3.	Описание предполагаемого метода решения	11
4.	План на весенний семестр	12
	Заключение	13
	Список использованных источников	14
	Приложение А. Отзыв руководителя	16

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении всего периода своего существования человечество непрерывно совершало технический прогресс. В настоящий момент для решения практических задач, многие из которых уже давно стали повседневными, люди активно используют различные технические объекты и средства связи. Работоспособность объектов программно-аппаратной инфраструктуры, а также поддержка бесперебойной связи во многом зависит от состояния космической погоды [1]. Негативные воздействия космической погоды подвергают опасности громадное количество различных объектов наземной и космической инфраструктуры [2]: системы телесвязи, радиосвязи, спутниковой связи, нефтепроводы и газопроводы, линии электропередач, спутники, системы позиционирования GPS, ГЛОНАСС, Galileo, а также могут повлечь сбои в работе электроники [2, 3, 4].

Значимым фактором космической погоды является интенсивность космических лучей (КЛ). Сигнал КЛ может включать регулярные (периодические) и аномальные (непериодические) вариации [5]. Последние, как правило, наблюдаются в периоды магнитосферных возмущений. Поскольку сигнал КЛ является нестационарным, содержит шумы аппаратного и природного происхождения, детектирование аномальных вариаций является особо актуальной и сложной задачей. На данный момент ещё не разработано математического аппарата, который позволял бы с удовлетворительной точностью и эффективностью определять наступление таких событий [6].

В работе представлен новый метод детектирования аномальных вариаций в данных КЛ на основе применения операций анализа сингулярного спектра, дискретного вейвлет-преобразования и пороговых функций. Анализ сингулярного спектра не зависит от типа значимых компонент ряда, позволяет исследовать нестационарные временные ряды и выполнить очистку сигнала от шумовых составляющих [7]. Вейвлет-преобразование позволяет провести детальный частотно-временной анализ нестационарного сигнала [8]. Для

снижения риска наступления ложной тревоги предложено применение адаптивных пороговых функций.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель магистерской диссертации: разработка метода анализа сложных нестационарных сигналов на примере данных геофизического мониторинга.

Объект исследования – данные магнитного поля земли и вторичных космических лучей.

Предмет исследования – методы анализа сложных нестационарных сигналов.

Задачи магистерской диссертации:

1. Обзор существующих методов анализа сложных нестационарных сигналов.
2. Оценка существующих подходов к анализу сложных нестационарных сигналов и выбор математических аппаратов.
3. Исследование структуры данных геофизического мониторинга (магнитного поля земли и космических лучей).
4. Выбор инструментов и технологий для реализации метода анализа сложных нестационарных сигналов на примере данных геофизического мониторинга.
5. Реализация разработанного метода.
6. Оценка эффективности разработанного метода.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ В ОСЕННЕМ СЕМЕСТРЕ

2.1. План

На осенний семестр были поставлены следующие задачи:

1. Исследование структуры данных геофизического мониторинга (магнитного поля земли и космических лучей).
2. Выбор инструментов и технологий для реализации метода анализа сложных нестационарных сигналов на примере данных геофизического мониторинга.

2.2. Разработка метода

Предполагаемый метод детектирования аномальных вариаций в данных КЛ на основе применения операций анализа сингулярного спектра, дискретного вейвлет-преобразования и пороговых функций включает следующие операции:

1. Преобразование исходного одномерного ряда в траекторную матрицу:

$$X_i = (f_{i-1}, \dots, f_{i+L-2})^T, 1 \leq i \leq N - L + 1, \quad (1)$$

где f_i – элемент исходного ряда, L – длина окна, N – длина исходного ряда.

2. Сингулярное разложение траекторной матрицы:

$$X = \sum_i \sqrt{\lambda_i} U_i V_i^T, \quad (2)$$

где $\sqrt{\lambda_i}$ – сингулярное число, U_i – левый сингулярный вектор траекторной матрицы, V_i – правый сингулярный вектор траекторной матрицы.

3. Группировка множества индексов на m непересекающихся подмножеств. Результирующая матрица, соответствующая группе:

$$X_I = X_{i_1} + \dots + X_{i_p}, \quad (3)$$

где $\{i_1, \dots, i_p\}$ – индексы группы.

4. С помощью применения диагонального усреднения [9] каждая результирующая матрица сгруппированного разложения преобразуется в новый ряд $F^{(s)}$ длины N . Восстановленный ряд определяется следующим образом:

$$F = \sum_i F_i^{(s)}, \quad (4)$$

5. Применение непрерывного вейвлет-преобразования

$$Wf(u, s) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi^* \left(\frac{t-u}{s} \right) dt, \quad (5)$$

где Ψ – вейвлет, u – сдвиг во времени, s – масштаб, $s \neq 0$, $s, u \in R$.

6. Применение пороговой функции:

$$P_{T_s^l NN}[Wf(u, s)] = \begin{cases} Wf(u, s), & \text{if } |Wf(u, s)| \geq T_s^l \\ 0, & \text{if } |Wf(u, s)| < T_s^l \end{cases}, \quad (6)$$

где $T_s^l = q \times \sigma_s^l$, σ_s^l – среднеквадратическое отклонение коэффициентов, рассчитанное в скользящем окне длины l , q – пороговый коэффициент.

7. Оценка интенсивности аномалий в момент времени $t = u$:

$$E(u)_{NN} = \sum_s P_{T_s^l NN}[Wf(u, s)], \quad (7)$$

2.3. Результаты применения предлагаемого метода

На Рис. 1 представлен результат применения метода к данным нейтронного монитора (НМ) ст. Оулу за период с 8 по 29 марта 2022 г. На Рис. 1а изображены исходные данные НМ [10], на Рис. 1б представлен результат операции (1) при $I = \{i_1, i_2, i_3\}$, на Рис. 1в и 1г показаны результаты применения операций (2) и (3) соответственно. Красными вертикальными линиями отмечены моменты регистрации геомагнитных бурь по данным [11].

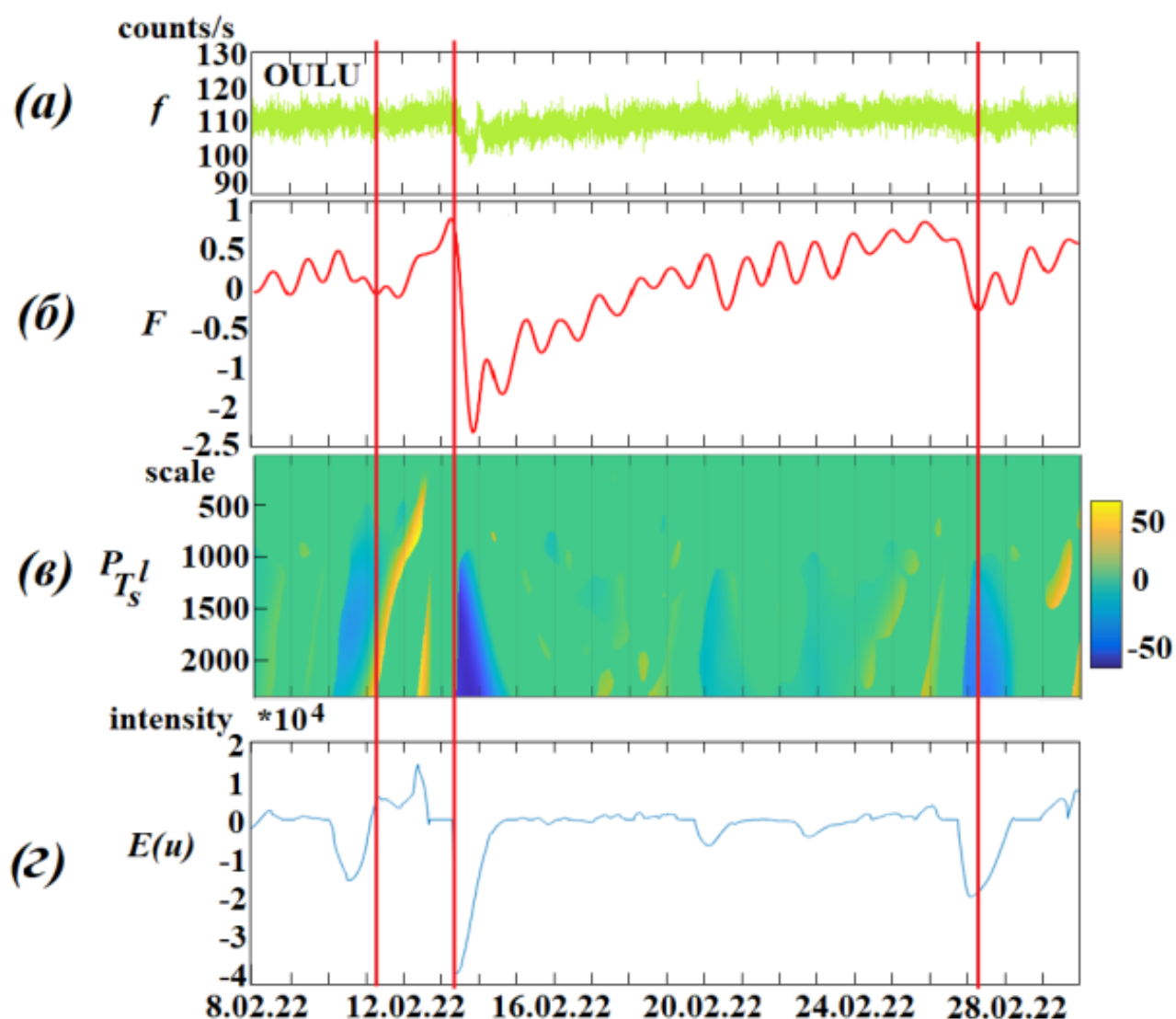


Рисунок 1 – Результат применения метода: (а) данные НМ ст. Оулу, (б) результаты применения операции (1) при $I = \{i_1, i_2, i_3\}$, (в) результаты применения операций (2) и (3), (г) результаты применения операции (4)

Результаты показывают, что предлагаемый метод позволяет детектировать аномалии разной частотно-временной структуры в данных КЛ. По исходным данным нейтронного монитора визуально определить момент наступления геомагнитных бурь 11 и 27 марта не представляется возможным. Применение метода позволяет не только детектировать момент начала геомагнитной бури (Рис. 1в), но и оценить ее интенсивность и продолжительность (Рис. 1г). Результат демонстрирует эффективность метода для анализа вторичных космических лучей, а также подтверждает важность учета интенсивности КЛ в прогнозе космической погоды.

3. ОПИСАНИЕ ПРЕДПОЛАГАЕМОГО МЕТОДА РЕШЕНИЯ

Решением будет являться программа для Matlab. В этой программе будет реализован предложенный метод детектирования аномальных вариаций в данных космических лучей на основе применения операций анализа сингулярного спектра, дискретного вейвлет-преобразования и пороговых функций. Эта программа будет иметь графический пользовательский интерфейс, позволяющий выбрать csv-файл с исходными данными сигнала, выбрать компоненты исходного сигнала, которые будут использоваться при применении предложенного метода, а также позволяющий запустить применение метода. Результатом работы программы будут являться несколько графиков: исходный сигнал, восстановленный сигнал, интенсивность бури; а также отображение обнаруженных дат начала аномалий и их продолжительность.

4. ПЛАН НА ВЕСЕННИЙ СЕМЕСТР

По результатам выполнения этой работы поставлены следующие задачи на весенний семестр:

1. Программная реализация разработанного метода анализа сложных нестационарных сигналов.
2. Оценка эффективности разработанного метода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения данной работы разработан метод анализа нестационарных сигналов на основе применения операций анализа сингулярного спектра. Разработанный метод также включает в себя операции дискретного вейвлет-преобразования для проведения детального частотно-временного анализа нестационарного сигнала, а также для снижения риска наступления ложной тревоги предложено применение адаптивных пороговых функций.

Применение метода позволяет не только детектировать момент начала геомагнитной бури, но и оценить ее интенсивность и продолжительность. Результат демонстрирует эффективность метода для анализа вторичных космических лучей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Владимирский Б.М., Темурьян Н.А., Мартынюк В.С. Космическая погода и наша жизнь. // Век 2, 2004. 224 с.
2. Кузнецов В. Д. Космическая погода и риски космической деятельности //Космическая техника и технологии. – 2014. – №. 3 (6). – С. 3-13.
3. Авакян С. В., Воронин Н. А., Дубаренко К. А. Влияние магнитных бурь на аварийность систем электроэнергетики, автоматики и связи //Материаловедение. Энергетика. – 2012. – №. 3-2 (154). – С. 253-266.
4. Severe Space Weather Events — Understanding Societal and Economic Impacts // A Workshop Report. Washington DC. The National Academies Press. 2009.
5. Топтыгин И.Н. Космические лучи в межпланетных магнитных полях // И. Н. Топтыгин. – М.: Наука, 1983. – 304 с.
6. Акасофу С.И., Чепмен С. Солнечно-земная физика. М.: Мир, 1972. 384 с.
7. Кашкин В. Б., Рублева Т. В. Применение сингулярного спектрального анализа для выделения слабо выраженных трендов //Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2007. – Т. 311. – №. 5. – С. 116-119.
8. Каплинский А. Е., Хуторова О. Г. Анализ временных рядов наблюдений характеристик байкальского аэрозоля с помощью вейвлет-преобразования //Ползуновский вестник. – 2010. – №. 1. – С. 160-164
Топтыгин И.Н. Космические лучи в межпланетных магнитных полях // И. Н. Топтыгин. – М.: Наука, 1983. – 304 с.
9. Голяндина Н. Э., Некруткин В. В., Степанов Д. Варианты метода «Гусеница»-SSA для анализа многомерных временных рядов //Труды II Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO. – 2003. – Т. 3. – С. 2139-2168.
10. Real Time DB of NM. [Electronic resource]. — Access mode: www.nmdb.eu (01.11.2022).

11. Forecast of space weather according to the data of Federov IAG.
[Electronic resource]. — Access mode: <http://ipg.geospace.ru> (01.11.2022).

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ОТЗЫВ

на научно-исследовательскую работу
на тему: «Разработка инструмента обработки и анализа сигналов
геофизического мониторинга»
студента Санкт-Петербургского государственного
электротехнического университета
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

Есикова Олега Игоревича

Есиков О.И. успешно выполнил поставленный план на осенний семестр. Олег Игоревич разработал метод анализа нестационарных сигналов сложной структуры, основанный на совмещении операций анализа сингулярного спектра, дискретного вейвлет-преобразования и пороговых функций. Полученные оценки показали эффективность применения метода к природным данным. Эмпирически доказано, что совмещение декомпозиции данных с вейвлет-преобразованием позволяет детектировать аномалии разной частотно-временной в сигнале космических лучей. Применение метода позволяет не только детектировать момент возникновения аномалии в сигнале, но и оценить ее интенсивность и продолжительность. Разработанный Есиковым О.И. метод программно реализован в пакете прикладных программ MatLab.

Считаю, что научно-исследовательская работа Есикова Олега Игоревича полностью соответствует предъявляемым требованиям и выданному заданию, заслуживает оценки «отлично».

Руководитель: 

Мандрикова Б.С.