

МЕТОДИКА АНАЛИЗА НЕСТАЦИОНАРНЫХ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

В.М. Моисеенко, Н.Е. Столяр, Н.И. Цупрев

The WAY of the ANALYSIS of a signal is offered by matching it of the characteristics before some conversion, for example, integration, derivation, averaging (method of the analysis by an evaluation of response of the characteristics of a signal on effect) on a variable interval. The physical phenomenon for want of consideration from positions of the theory of casual processes can be described at any moment of time by average of values on set of sample functions (for a signal – sample values on an interval), representing the given casual process (signal).

Ключевые слова: сигнал, сегмент, интервал, процесс, параметр

1. Введение

Основные физические процессы, для исследования которых используются методы обработки сигналов, могут быть детерминированными и случайными.

Процессы, для которых зависимость наблюдаемых величин от внешних условий устанавливается с помощью легко обнаруживаемых законов, называются детерминированными. Они являются частным случаем процессов, для которых наблюдаемые величины не могут быть выражены через начальные условия. Такие процессы называются случайными.

Физическое явление при рассмотрении с позиций теории случайных процессов можно описать в любой момент времени путем усреднения величин по множеству выборочных функций (для сигнала – выборочных значений на интервале), представляющих данный случайный процесс (сигнал). /5/

2. Основные характеристики случайных процессов.

Среднее значение (первый момент распределения) случайного сигнала $X(t)$ на интервале вычисляется по известной формуле:

$$\mu_x(t_1) = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T X(t) dt \quad (1)$$

Классическая теория предполагает вычитание среднего значения из сигнала для его нормирования. Среднее значение определяет статическую составляющую процесса.

Динамическая составляющая определяется дисперсией процесса – величиной, равной среднему квадрату отклонения его ординат от среднего значения:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T [X(t) - \mu_x]^2 dt \quad (2)$$

Положительное значение корня квадратного из дисперсии называется средне-квадратичным отклонением.

В большинстве случаев для оценки и анализа сигналов, используют момент второго порядка – среднее значение квадрата (усредненную энергию) [5]:

$$\Psi_X^2 = \frac{1}{T} \int_0^T X^2(t) dt. \quad (3)$$

Автокорреляционная функция позволяет качественно установить влияние предыстории процесса на его дальнейшее развитие. Вычисляется автокорреляционная функция по формуле:

$$R_x(\tau) = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T X(t) \cdot X(t + \tau) \cdot dt \quad (4)$$

Для стационарных случайных процессов (сигналов) эти моменты практически не изменяются во времени. При этом следует учесть, что интегрирование в общем виде должно проводиться на бесконечном интервале для абстрактных процессов, или на интервале реализации – для реальных процессов.

Существует большой класс физических явлений, относящихся к разряду нестационарных процессов, где принципы постоянства характеристик нарушаются. При этом следует отметить, что ряд случайных процессов является нестационарным по времени, т.е., при одинаковой информационной сущности они различны по длительности.

Естественно предположить, что анализ нестационарных сигналов необходимо проводить на интервале переменной длительности, т.е. размер выборки должен варьироваться.

Вычисленные на разных интервалах анализа значения перечисленных выше характеристик, сравниваются между собой и по характеру соотношения между ними определяются параметры для оценки.

Рассмотрим данное утверждение на примере случайного процесса, представленного на *рисунке 1*.

Даже при визуальной оценке можно утверждать, что данный процесс относится к классу нестационарных, т.к. амплитуда сигнала имеет тенденции к возрастанию или убыванию.

Рассчитаем среднее значение, дисперсию и энергию на разных интервалах интегрирования, а автокорреляционную функцию – на разных смещениях, причем для средних значений сравнение будем проводить по их энергиям на равных интервалах интегрирования.

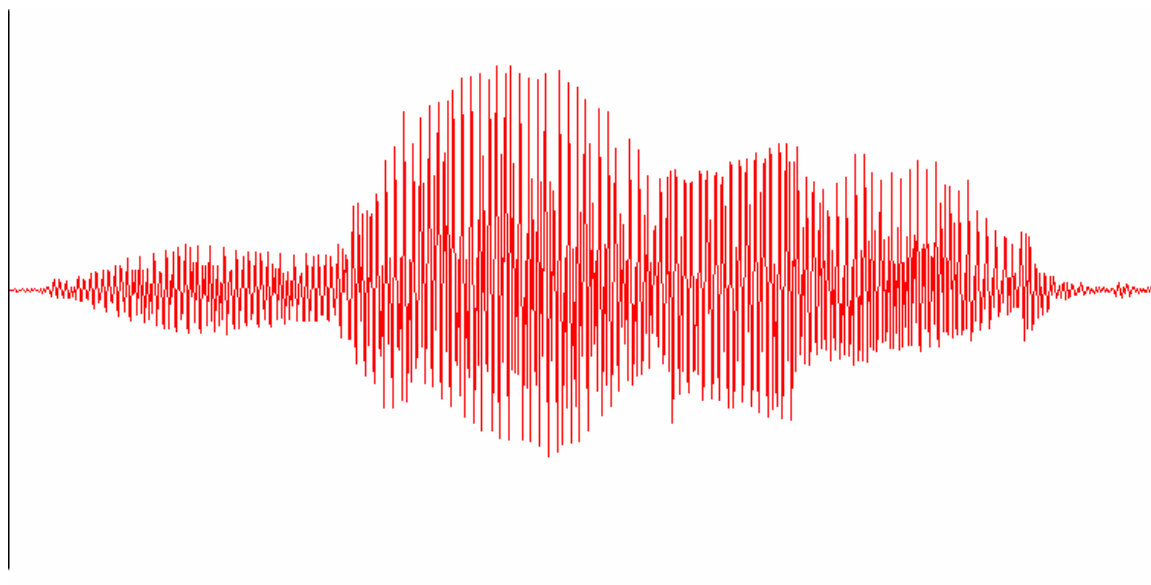


Рис.1. Нестационарный случайный сигнал

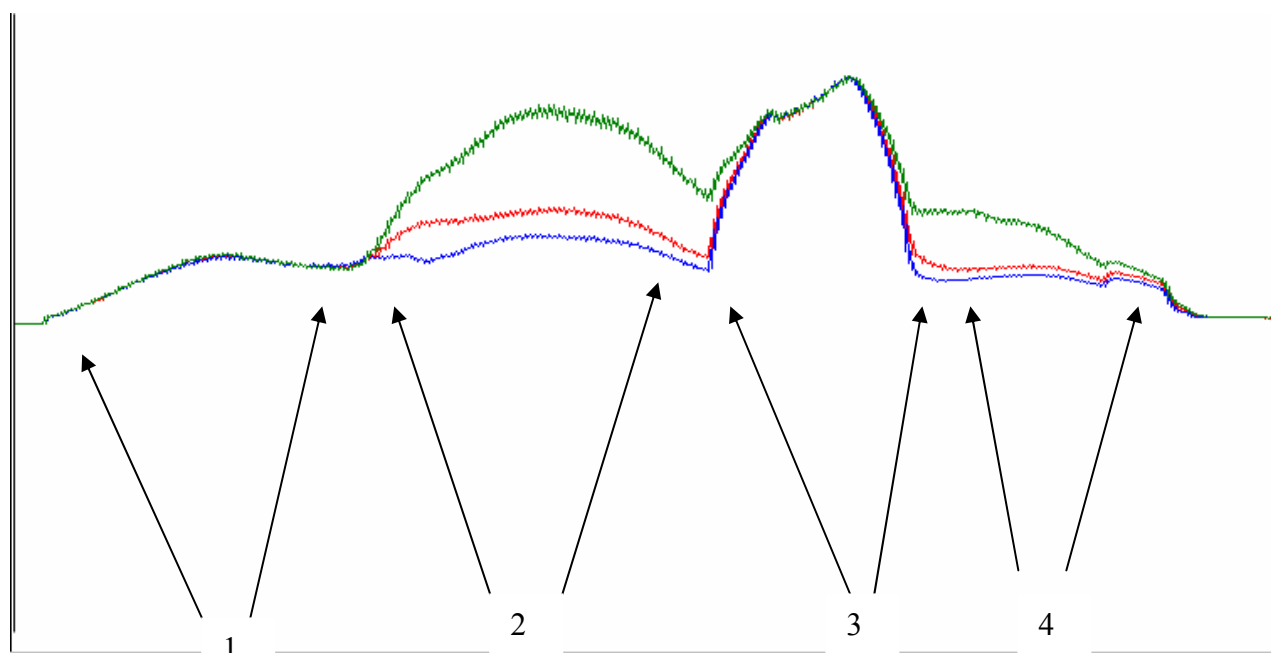


Рис.2. Энергия исходного сигнала и усредненного по 10 и 20 точкам

Анализ рис.2.2. позволяет заключить, что хотя и сохраняется условие изменчивости среднего значения, которое характеризует этот сигнал как нестационарный, но определенные участки сигнала не зависят от интервала усреднения, что может выступать в качестве критерия условной стационарности. Оценка характера поведения позволяет разбить сигнал на 4 участка.

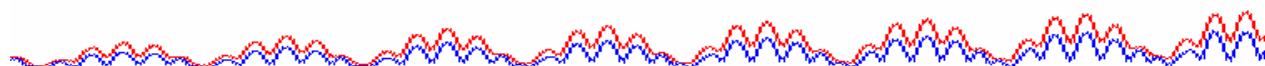


Рис.3. Дисперсия на 1-ом участке на интервалах в 20 и 10 отсчетов.

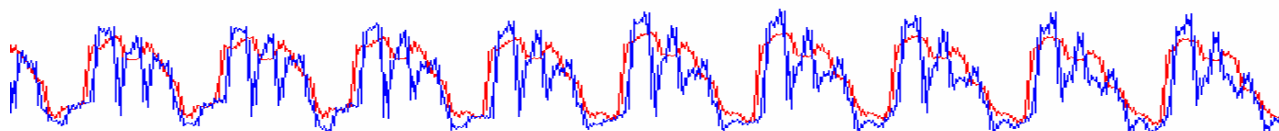


Рис.4. Дисперсия на 2-ом участке на интервалах в 20 и 10 отсчетов.

На основании анализа полученных данных дисперсия участка 1 с уменьшением интервала анализа уменьшается. Дисперсия на участке 2 с уменьшением интервала анализа может увеличиваться. Это свойство характеризует сигнал и может использоваться при его оценке с целью распознавания.

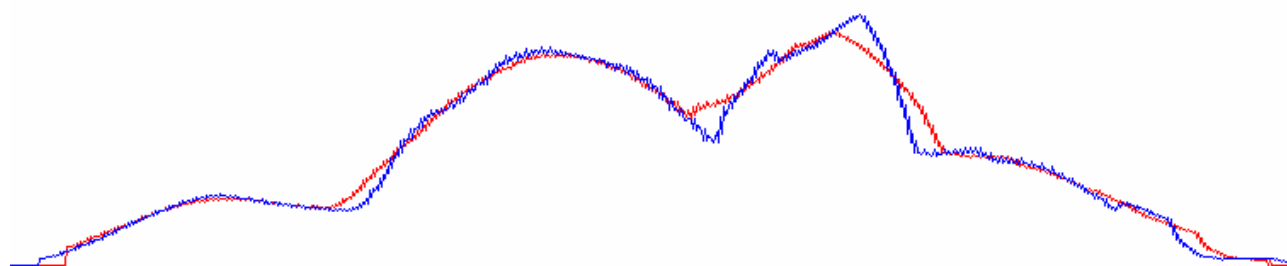


Рис.5. Энергия сигнала на интервалах анализа в 800 и 600 точек.

Точки пересечения кривых определяют переходные процессы и могут быть использованы для сегментации сигнала на интервалы информационной значимости.

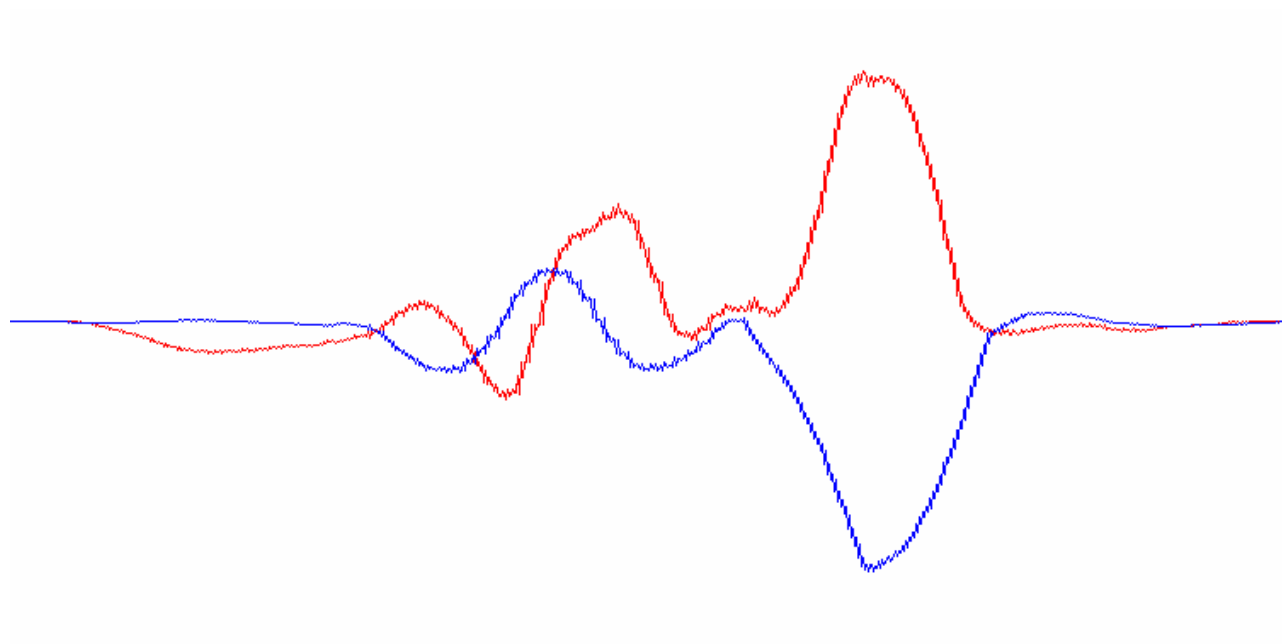


Рис.6. Автокорреляционные функции при τ сдвига 800 и 440 точек.

Обратим внимание на тот факт, что автокорреляционная функция при разных τ сдвига ведет себя по-разному, что также может быть использовано при сегментации сигналов на интервалы анализа.

3. Исследование влияния интегральных преобразований на структуру сигнала

Рассмотрим влияние операций дифференцирования, усреднения и интегрирования [2] на структуру стандартного сигнала, представленного на рис.2.1, в качестве которого использована последовательность дельта – импульсов выбранной частоты следования, в дальнейшем – тестовый сигнал.

Операция дифференцирования.

В общем виде операцию дифференцирования можно представить следующим образом [2]:

$$\frac{d^n X(t)}{dt^n} \Leftrightarrow (j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f)^n \cdot X(f) \quad (5)$$

Однако известно, что численное дифференцирование зашумленного сигнала приводит к тому, что сколь угодно малые погрешности в регистрации сигнала могут приводить к сколь угодно большим отклонениям в результате операции, что приведет к невозможности выделения основных признаков на фоне помех.

На практике используют формулу для вычисления многоточечной производной со сглаживанием:

$$X'(t_k) = \frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{3}{m \cdot (m + 1) \cdot (2m + 1)} \sum_{i=-m}^m i \cdot X(t_{k+i}) \quad (6)$$

Операция усреднения по переменному диапазону вычисляется по формуле:

$$X(t_k) = \frac{1}{m+1} \cdot \sum_{i=0}^m X(t_{k+i}) \quad (7)$$

Операция численного интегрирования:

$$\int_a^b X(t) d(t) \cong \sum_{k=0}^N X(t_k) \cdot \Delta t \quad (8)$$

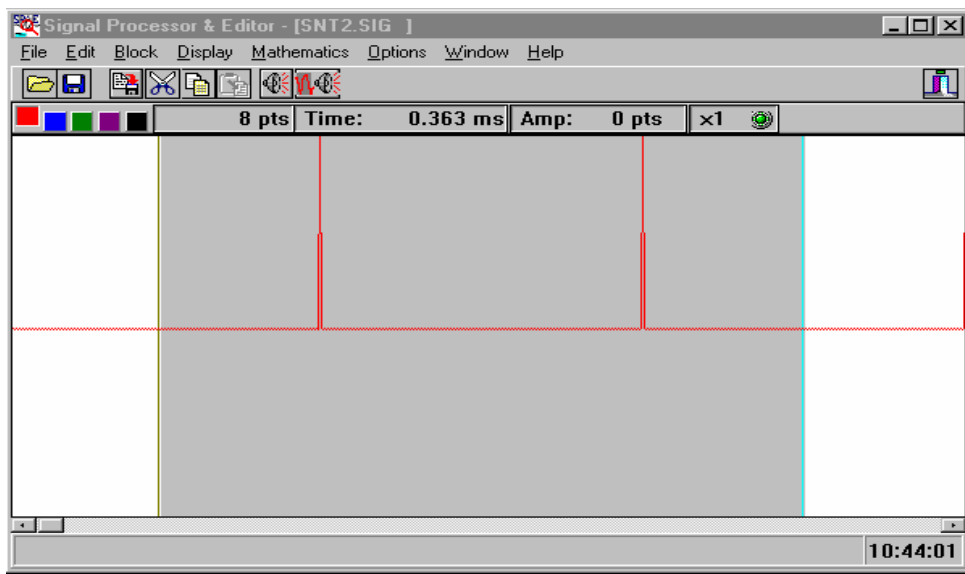


Рис.7. Тестовый сигнал

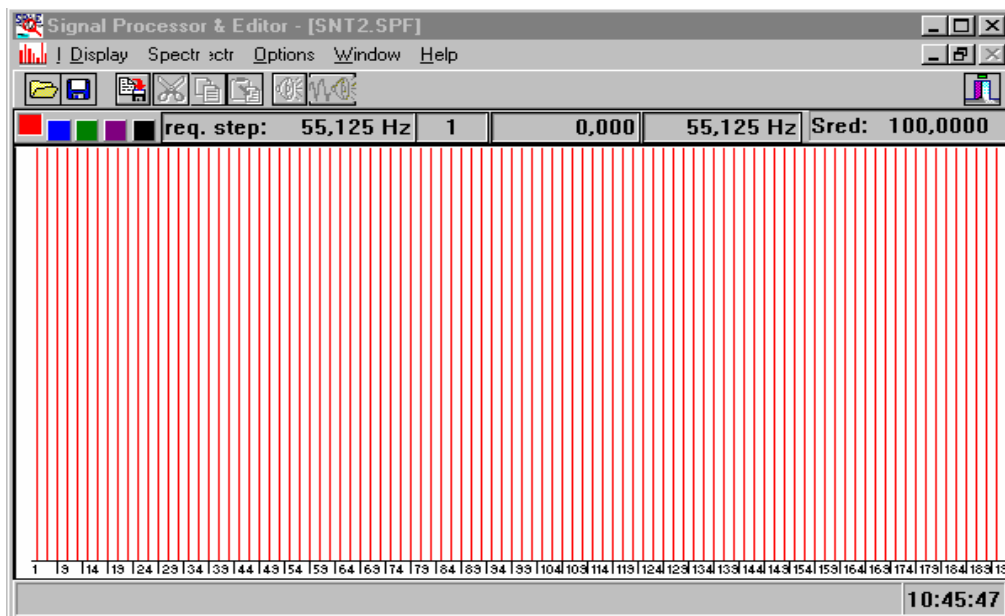


Рис.8. Спектр тестового сигнала

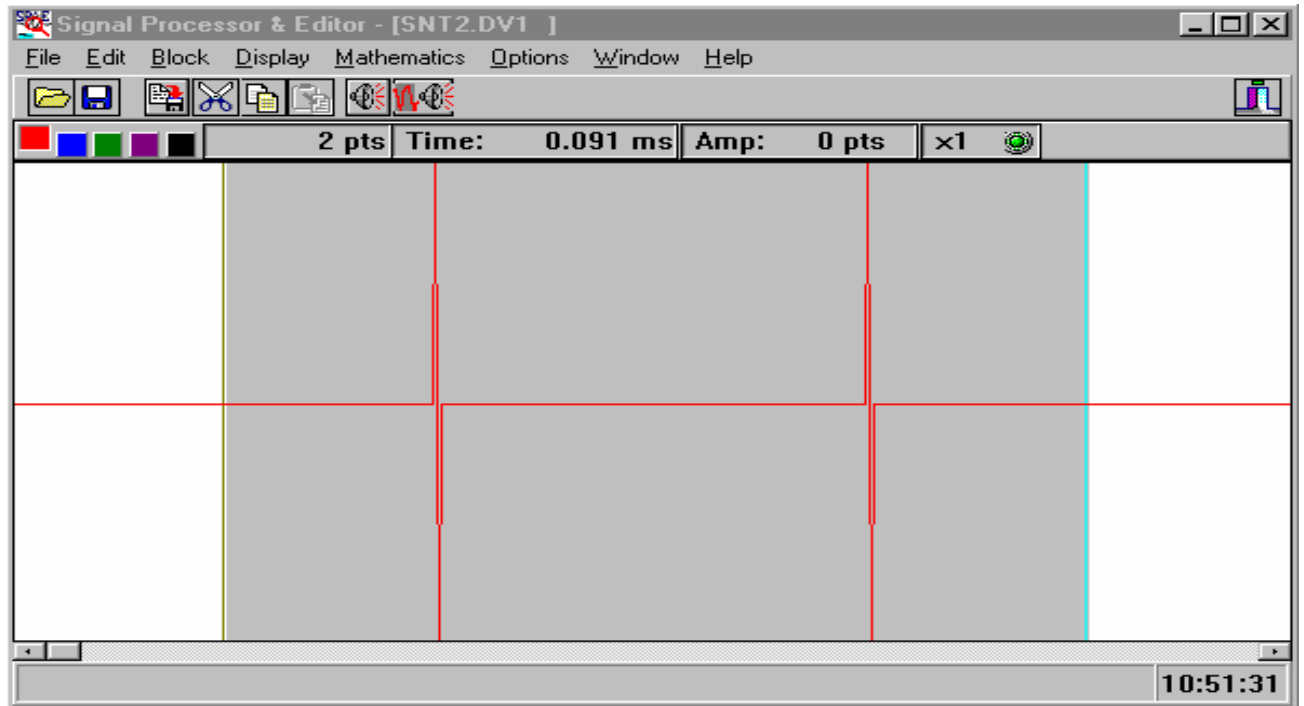


Рис. 9. Первая производная тестового сигнала со сглаживанием по трем точкам

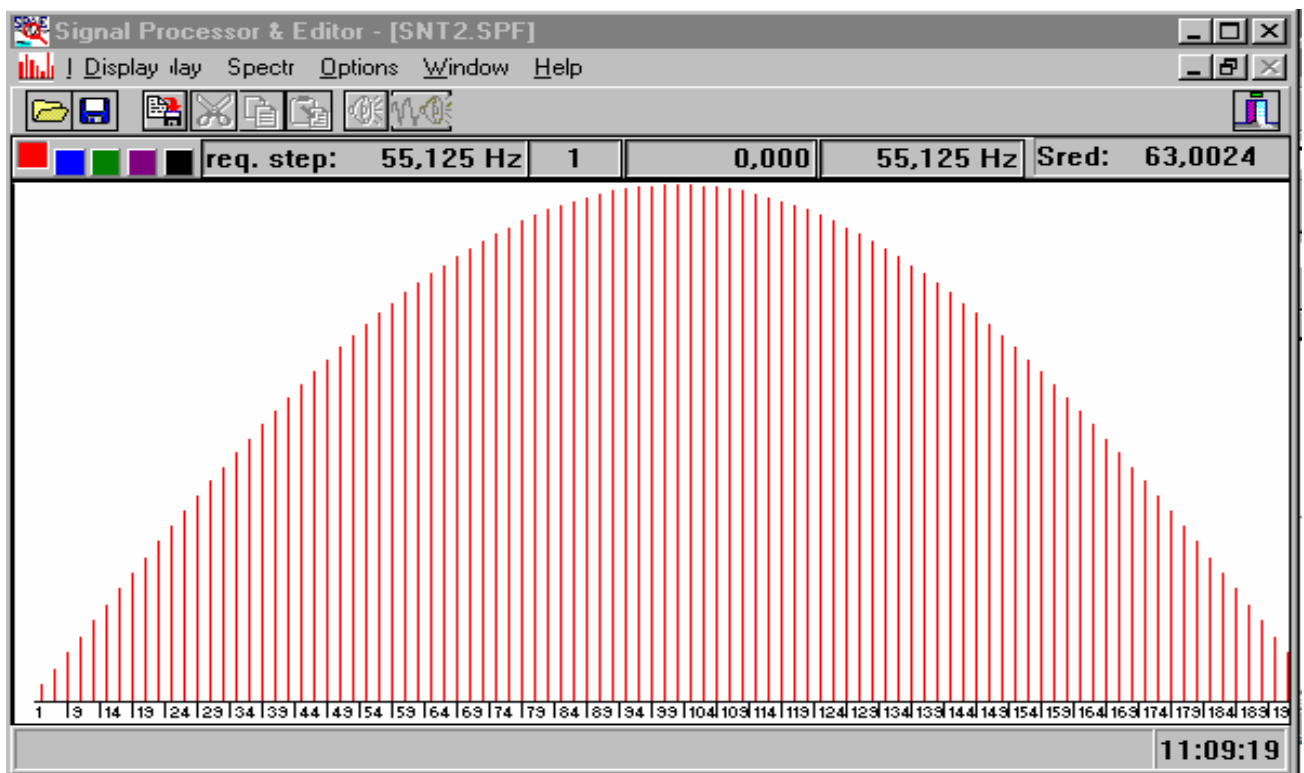


Рис.10. Спектр первой производной со сглаживанием по 3-м точкам

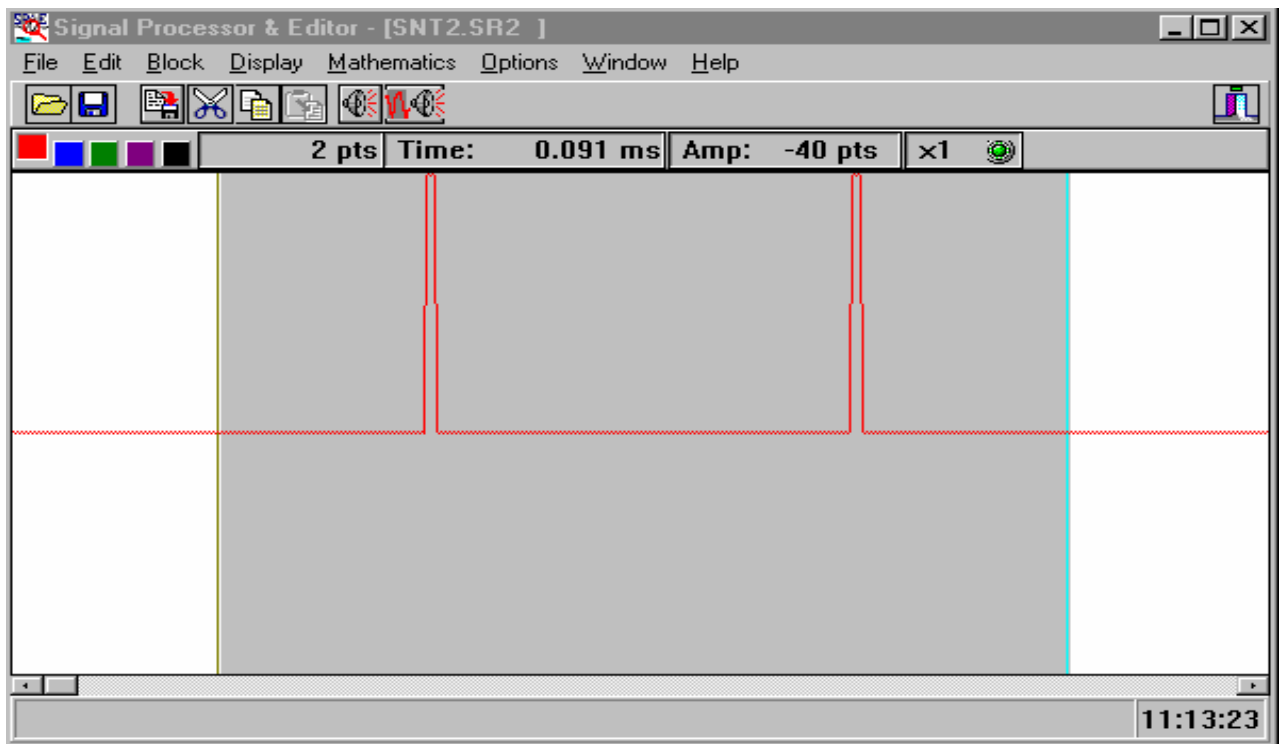


Рис.11. Тестовый сигнал, усредненный по 2-м точкам

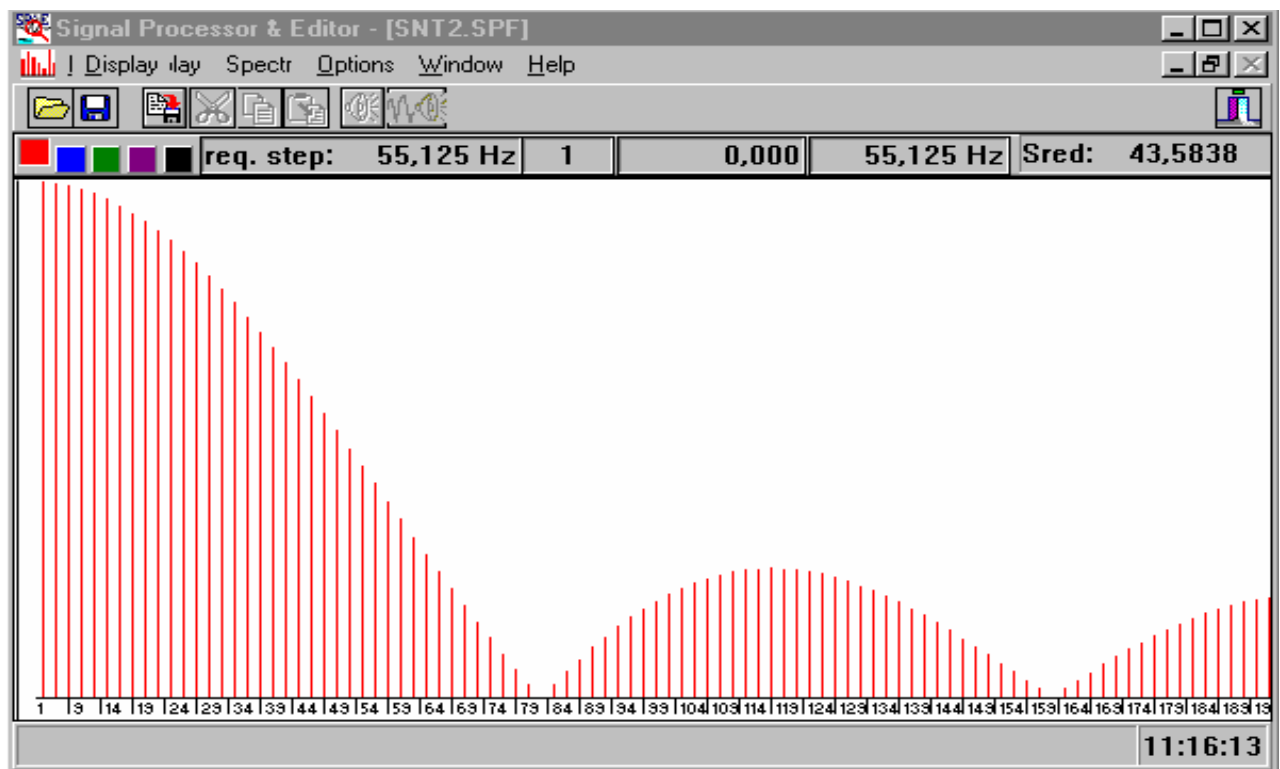


Рис.12. Спектр тестового сигнала, усредненного по 2-м точкам

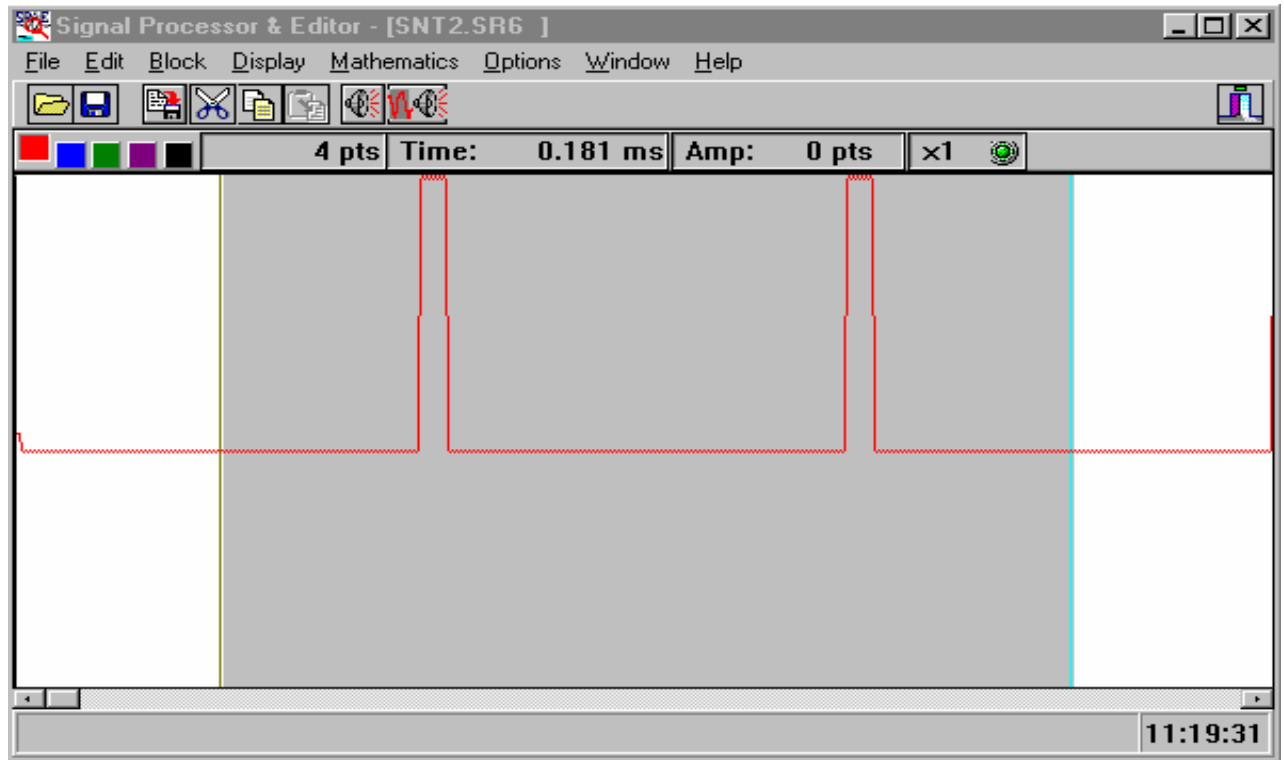


Рис.13. Тестовый сигнал, усредненный по 6-и точкам

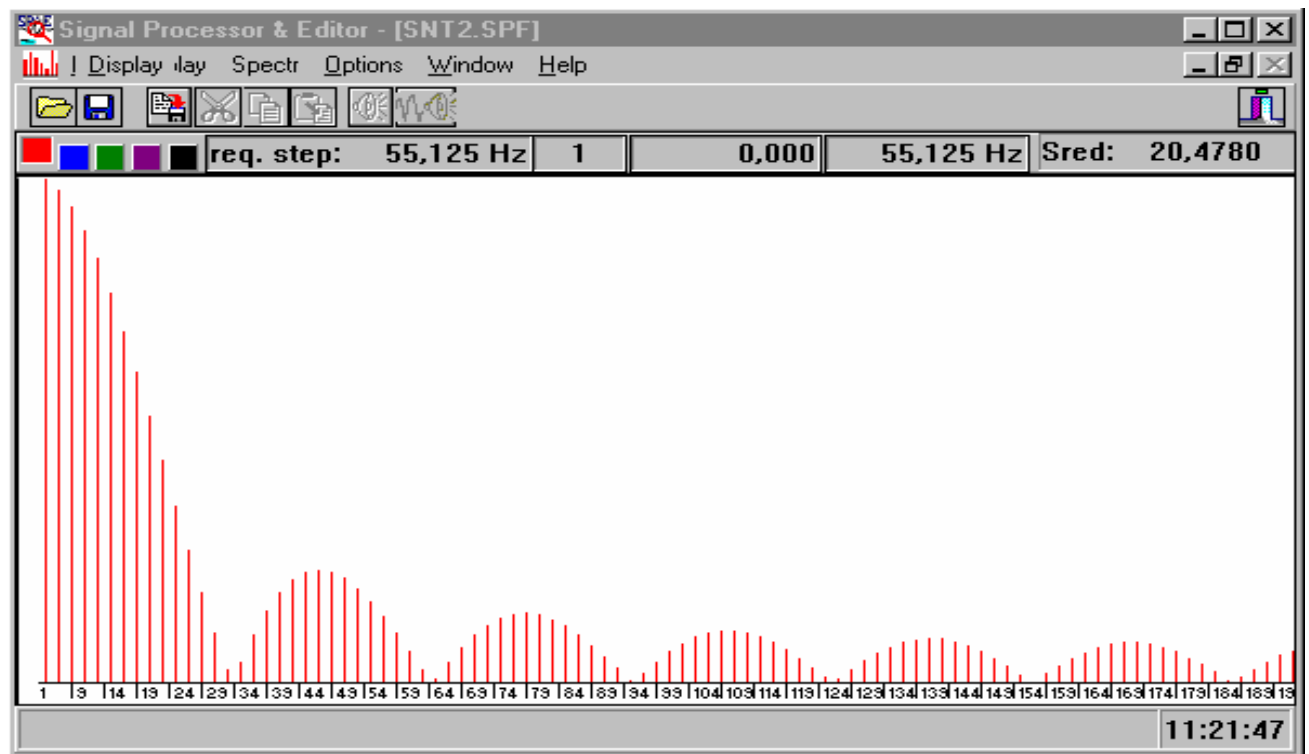


Рис.14. Спектр тестового сигнала, усредненного по 6-и точкам

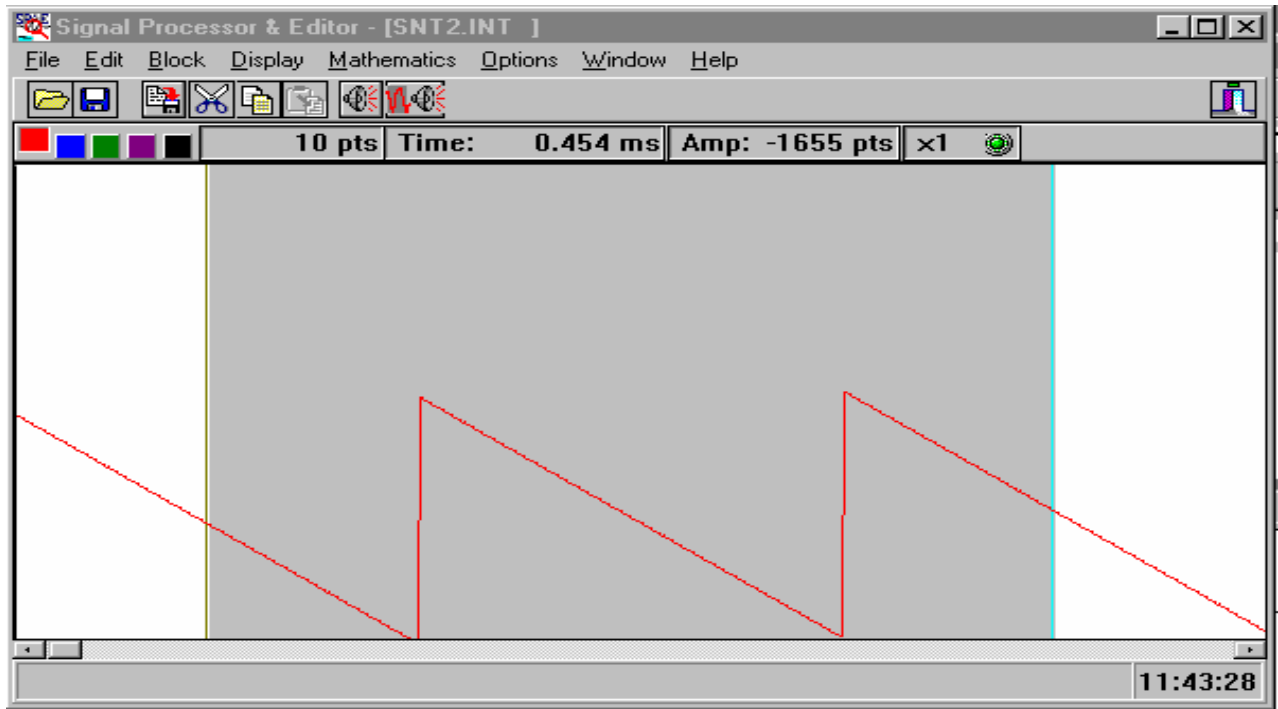


Рис.15. Проинтегрированный тестовый сигнал

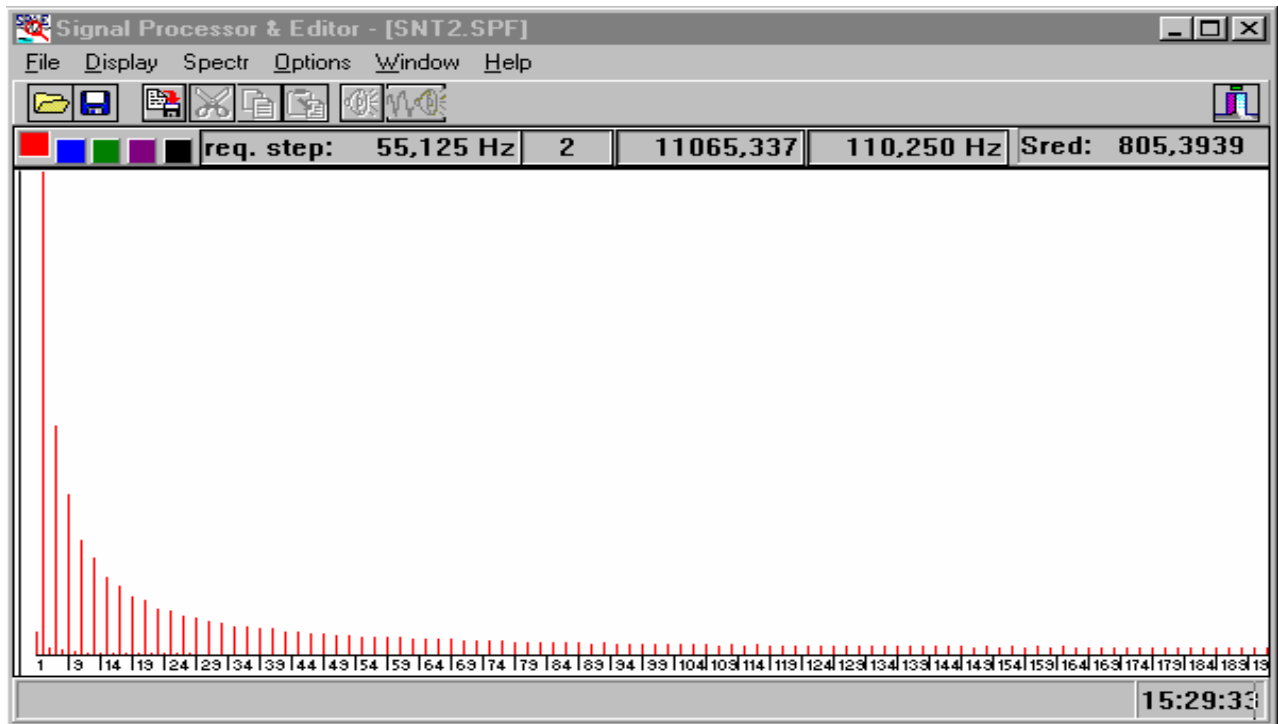


Рис.16. Спектр проинтегрированного тестового сигнала

4. Заключение

Основная идея метода состоит в том, что характеристики процесса оцениваются на различных интервалах анализа и сравниваются между собой.

По характеру отношений между ними определяются признаки и составляется описание процесса.

При этом решаются несколько проблем:

- 1) сегментация сигнала на интервалы анализа;
- 2) исключение временной нормализации - для процессов, где в качестве случайного параметра выступает время реализации;
- 3) фиксация быстро протекающих процессов.

Так же с учетом представленных примеров можно сделать выводы о совершенно определенных изменениях в структуре сложного по составу сигнала после приведенных преобразований. Т.е., каждому преобразованию соответствует строго определенная реакция сигнала на воздействие.

Литература

1. Фор А. Восприятие и распознавание образов: Пер. с фр. / Под ред. Г.П. Катуса. - М.: Машиностроение, 1989. - 272 с.: ил.
2. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2 кн. - М.: Мир, 1983.
3. Лобанов Б.М. Теоретические основы систем речеобразования. //Искусственный интеллект: В 3 кн. Системы общения и экспертные системы: //Справочник/Под ред. Э.В.Попова. - М.: Радио и связь, 1990. - Кн. 1. 315 с.
4. Леопольд Д. Издательская система с персональным компьютером и синтезатором речи //Электроника. 1984. № 24. С. 38-39.
5. Гнеденко Б.В. Курс теории вероятности. - М.: Гос. изд. ТТЛ, 1950. - 388 с.
6. Цупрев Н.И., Литвинова Ю.Н., Литвинов Д.А. Способ оценки параметров нестационарных случайных процессов. В сб. трудов 4 МС «Интеллектуальные системы». М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2000- с.228-229.
7. Цупрев Н.И., Литвинова Ю.Н., Касьянова Е.Ю. Способ оценки речевых сигналов методом усреднения на переменном интервале анализа. В сб. трудов 4 МС «Интеллектуальные системы». М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2000- с.214-217
8. Цупрев Н.И., Литвинова Ю.Н., Литвинов Д.А. Способ анализа сегментов речевых сигналов. В сб. трудов 3 МК «Цифровая обработка сигналов и ее применение». М.: 2000 – с.182-184.
9. Цупрев Н.И., Литвинова Ю.Н. Анализ и метод описания сегментов речевых сигналов. М.: Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана, №2(43), 2001- с.51-57.
10. Цупрев Н.И., Касьянова Е.Ю. Способ выделения информативного сигнала в речевой реализации с разделением тон-шум. М.: Вестник МГТУ им. Н.Э.Баумана, №3(44), 2001-с.32-35.

Моисеенко Виктория Михайловна

Выпускница магистратуры электротехнического факультета
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв
Тел.: +375(222) 25-24-47

Столяр Наталья Евгеньевна

Выпускница магистратуры электротехнического факультета
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв
Тел.: +375(222) 25-24-47

Цупрев Николай Иванович

Доцент кафедры «Автоматизированные системы управления», канд. техн. наук
Белорусско-Российский университет, г. Могилёв
Тел.: +375(297) 49-96-30