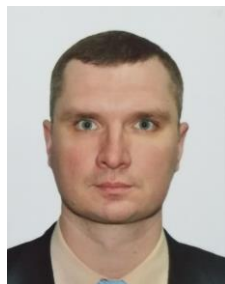


УДК 004.6:004.42

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МАССИВОВ ДАННЫХ В СРЕДЕ MATLAB ПРИ КОРРЕЛЯЦИОННОМ АНАЛИЗЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ



П.А.Тодин
Магистрант БГУИР



С.И.Мадвейко
*Заведующий кафедрой
электронной техники и
технологии БГУИР, доцент,
канд. техн. наук*



С.В.Бордусов
*Профессор кафедры
электронной техники и
технологии БГУИР, доктор
техн. наук*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь
E-mail: pylvtodin97@gmail.com, madveyko@bsuir.by, bordusov@bsuir.by*

П.А.Тодин

Магистрант БГУИР.

С.И.Мадвейко

Заведующий кафедрой электронной техники и технологии БГУИР, доцент, канд. техн. наук.

С.В.Бордусов

Профессор кафедры электронной техники и технологии БГУИР, доктор техн. наук.

Аннотация. В процессе работы технологического оборудования возникает необходимость контролировать состояния системы путем проведения корреляционного анализа ее параметров. Задача по прогнозированию и увеличению воспроизводимости параметров технологических процессов непосредственно связана со стабильностью работы технологической системы в целом. На примере изучения стабильности оптического излучения плазмы СВЧ разряда предложено проводить параметрический анализ технологической системы с использованием технологий визуализации аналитических данных в виде тепловых карт. Показано, что такой метод за счет замены текстовой информации цветовыми индикаторами позволяет более динамично воспринимать большие массивы данных и проводить корреляционный анализ при изучении влияния внешних и внутренних параметров технологической системы на качество ее функционирования.

Ключевые слова: СВЧ плазма, MATLAB, массивы данных, тепловые карты.

В процессе работы технологического оборудования возникает необходимость контролировать состояния технологической системы путем проведения корреляционного анализа ее одного или нескольких функциональных параметров, что дает возможность установить характер и степень влияния текущего уровня ее параметров с результатом воздействия. Задача по прогнозированию и увеличению воспроизводимости параметров технологических процессов непосредственно связана со стабильностью работы технологической системы в целом и в настоящее время остается весьма сложной.

При проектировании технологических систем опираются на использование процедур анализа и синтеза [1]. Одним из важных этапов этого процесса может являться параметрический анализ технологической системы с использованием технологий визуализации аналитических данных, направленный на изучение влияния внешних и

внутренних параметров системы на качество ее функционирования, конечной целью которого является выявление областей в пространстве параметров, обеспечивающих ее определенный количественный уровень [1].

Одной из актуальных задач является практическая реализация способов визуализации параметров (электрических, электрофизических и технологических) технологической системы для облегчения восприятия данных и их последующего анализа. В данном случае визуализация может являться одним из компонентов системы поддержки и принятия решений.

С развитием компьютерных технологий за последние годы визуализация многомерных аналитических данных, к которой относится и многовариантный многопараметрических анализ качества и эффективности технологических систем, достигла значительных успехов [1].

Для визуализации могут использоваться как первичные данные, так и данные, прошедшие предварительную обработку. Одним из аспектов визуализации является разработки алгоритмов и программных кодов для ее реализации с использованием средств вычислительной техники.

Применительно к изучению вопроса воспроизводимости параметров технологического процесса СВЧ плазмохимической обработки материалов решалась задача по исследованию стабильности оптического излучения плазмы СВЧ разряда. Стабильность поддержания СВЧ разряда в молекулярных газах зависит от стабильности генерации электромагнитного излучения, генерируемого СВЧ магнетроном и изменения электрических параметров его источника питания [2].

На первом этапе проведения экспериментов с помощью платы АЦП LA1,5-РС1 синхронно записывались на компьютере осциллограммы анодного тока, напряжения электропитания СВЧ магнетрона, оптического излучения разряда и фонового СВЧ излучения от магнетрона при различной генерируемой СВЧ магнетроном мощности (рисунки 1-3).

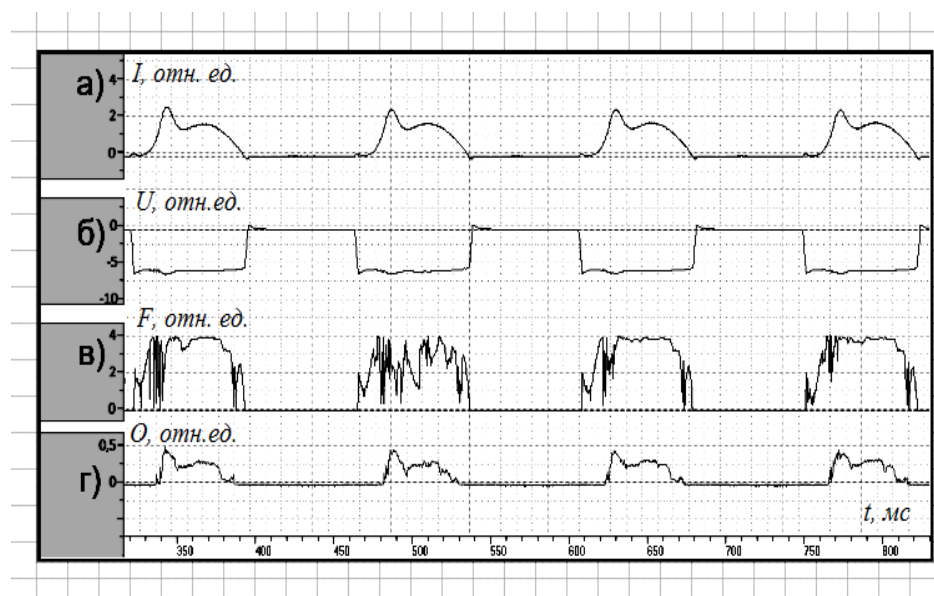


Рисунок 1. – Осциллограммы электрических сигналов при генерируемой СВЧ магнетроном мощности $W = 500$ Вт: а) анодный ток; б) анодное напряжения; в) фоновое СВЧ излучения от магнетрона; г) оптическое излучение плазмы СВЧ разряда

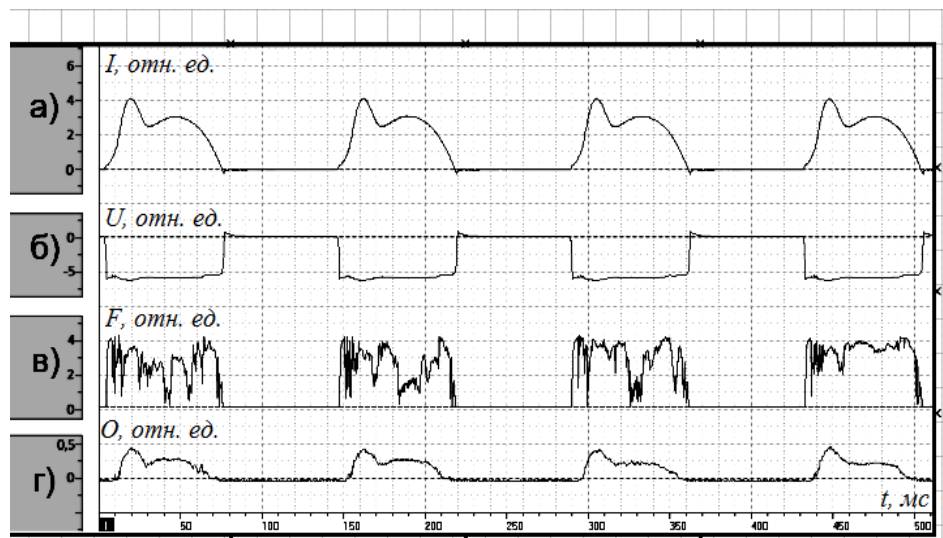


Рисунок 2. – Осциллограммы электрических сигналов при генерируемой СВЧ магнетроном мощности $W = 700$ Вт: а) анодный ток; б) анодное напряжения; в) фоновое СВЧ излучения от магнетрона; г) оптическое излучение плазмы СВЧ разряда

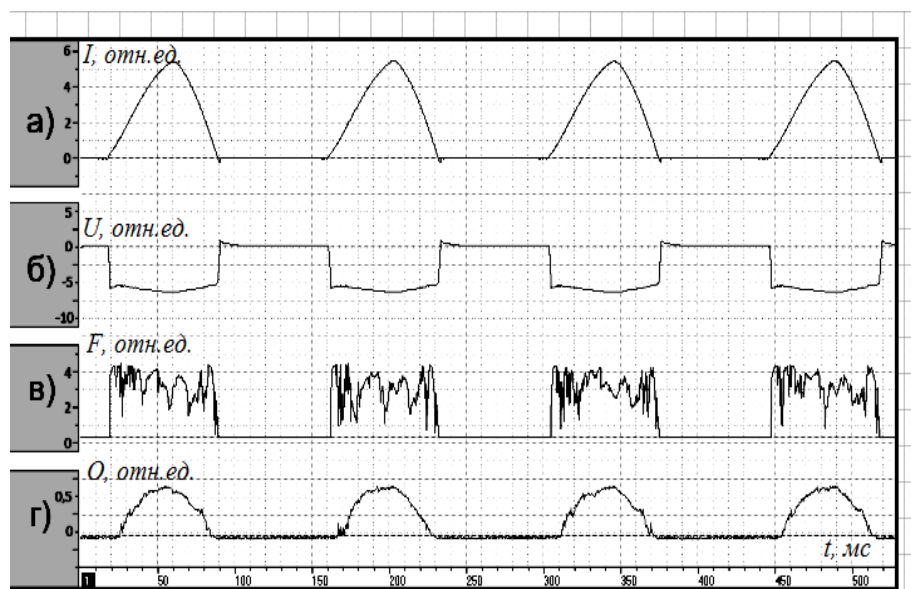


Рисунок 3. – Осциллограммы электрических сигналов при генерируемой СВЧ магнетроном мощности $W = 900$ Вт: а) анодный ток; б) анодное напряжения; в) фоновое СВЧ излучения от магнетрона; г) оптическое излучение плазмы СВЧ разряда

При частоте дискретизации 75 кГц на канал суммарное количество значений, собираемых за одну минуту эксперимента составляло около 1,5 млн. В связи с большим количеством данных, возникает проблема их обработки и удобного представления результатов обработки, а также оперативного анализа параметров технологической системы во время ее работы.

Решением подобных задач служат массивы дискретных величин, выражающие зависимость искомой функции (управляющего параметра) от определяющих параметров рассматриваемой задачи. Полученные таким образом многомерные численные результаты нуждаются в обработке и анализе.

При анализе зависимости между двумя переменными часто применяют диаграмму рассеяния, которая является наглядной формой представления информации [3]. Для ее построения используют прямоугольную систему координат. По оси абсцисс отмечают значения независимой переменной, а по оси ординат — значения зависимой переменной. Результат каждого наблюдения схемы отображается точкой на плоскости. Совокупность этих точек образует скопление или облако. Скопление точек определяет картину зависимости двух переменных. Однако в связи с большим количеством данных, получаемых при проведении экспериментов сложно выявить какие либо отклонения или изменения в кучности, а иногда и форме расположения данных точек. Поэтому вместо диаграммы предложено использовать матрицы, визуализированные в виде тепловых карт, в более удобном виде показывающих скопления точек и их форму. Тепловые карты (heatmap) относятся к визуализации с помощью цветных индикаторов, при этом сохраняется табличное представление информации, но числа в ячейках заменяются на заливку этих ячеек цветом [2].

На следующем этапе производилось построение матриц для каждого парного сочетания переменных параметров. В частности, выбиралось значение одной характеристики (амплитуда импульса оптического излучения СВЧ разряда) и сопоставлялось ей значение другой характеристики (амплитуда импульса анодного тока) соответствующих одному и тому же значению времени. Для отображения динамики изменения амплитуды и формы импульсов исследуемых параметров и их взаимного влияния в период работы технологической системы осциллограммы длительностью 60 с разделялись на три равных временных интервала по 20 с. Для каждого временного интервала строились двухмерные массивы данных. Заполнение матриц проводилось с использованием программного обеспечения написанного на языке MATLAB [4]. Программно, по определенному алгоритму (рисунок 4) выбираются значения амплитуд импульсов двух параметров для каждого момента времени и проверяются в какие интервалы попадают эти значения [5]. На основе этих интервалов выбирается элемент массива. Суммируется количество значений в определенном интервале и в каждом элементе массива отображается их количество. Заполнение матриц тепловых карт производится с помощью циклов программ (рисунок 5).

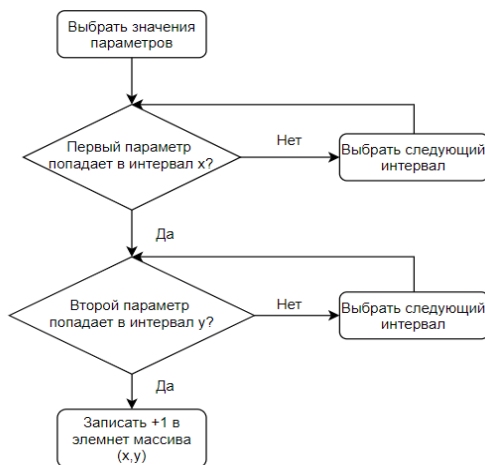


Рисунок 4. – Алгоритм программы

```

Sum = 0;
d1 = 5;
d2 = 15;
] for a = 1:110000
]   for Khf = 1:20
]     if ( (d1*Khf - d1 < Data1.0(a)) && (Data1.0(a) < d1*Khf) )
]       for Ko = 1:40
]         if ((d2*Ko - d2 < Data1.I(a)) && (Data1.I(a) < d2*Ko))
]           W1(Ko, Khf) = W1(Ko, Khf) + 1;
]           Sum = Sum + 1;
]         end
]       end
]     end
]   end
] end
end

```

Рисунок 5. – Пример цикла заполнения матрицы для одного из временных участков

Полученные матрицы тепловых карт распределений значений амплитуды импульса анодного тока и соответствующей ей амплитуды импульса оптического излучения плазмы

СВЧ разряда на отдельном временном интервале работы магнетрона при различной генерируемой СВЧ магнетроном мощности представлены на рисунке 6.

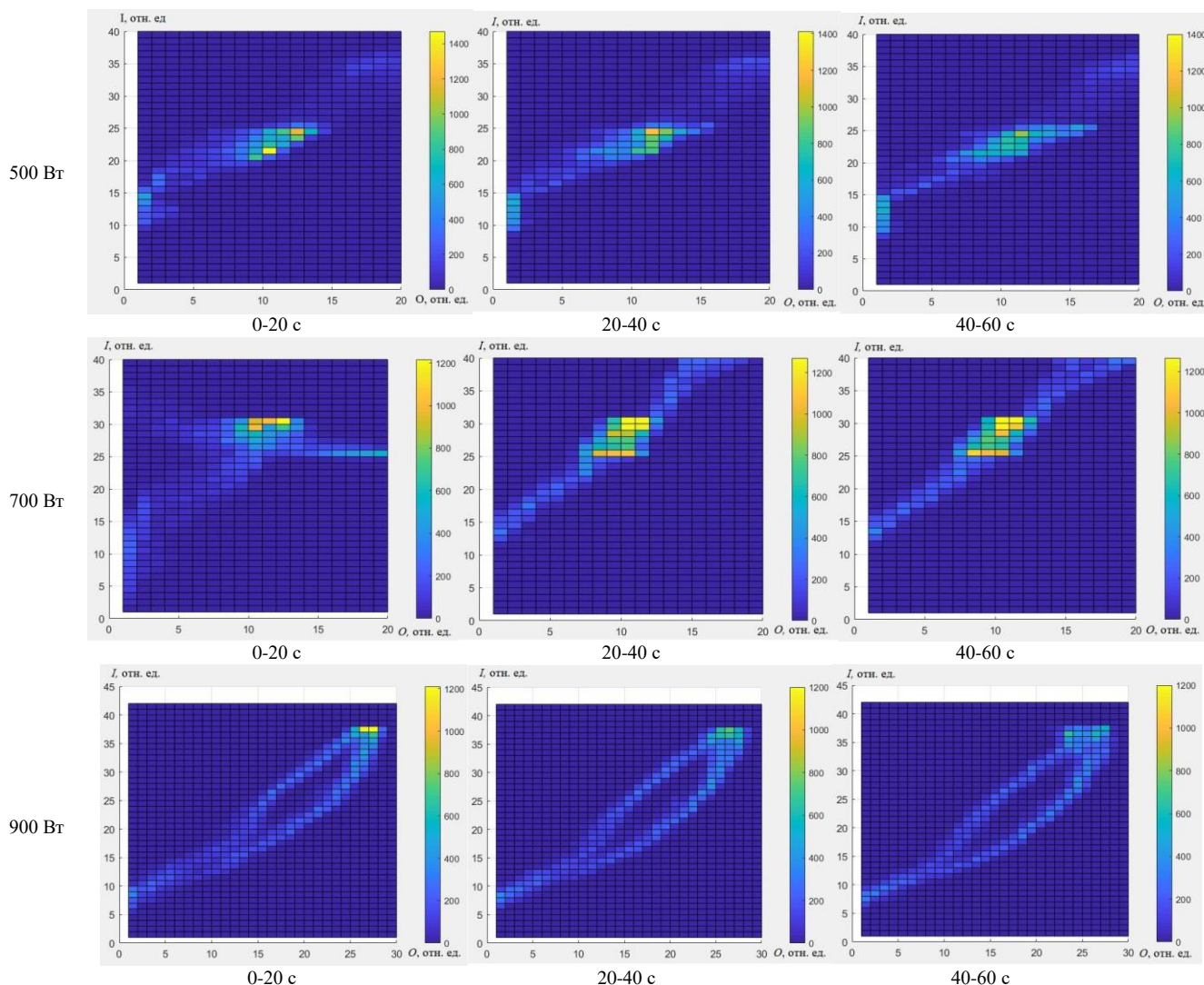


Рисунок 6. – Тепловые карты распределений значений амплитуды анодного тока в импульсе и соответствующей ей амплитуды импульса оптического излучения плазмы СВЧ разряда на отдельном временном интервале работы магнетрона при различной мощности генерируемой СВЧ магнетроном

Анализ представленных на рисунке 4 тепловые карт распределений значений амплитуды импульса анодного тока и соответствующих ей амплитуды импульса оптического излучения плазмы СВЧ разряда на отдельном временном интервале работы СВЧ магнетрона позволяет достаточно оперативно определить инерционность процесса плазмообразования (наиболее ярко это выражено в центральных областях тепловых карт при мощности генерируемой СВЧ магнетроном 500 Вт), а также изменение стабильности процесса с течение времени (мощности 700 и 900 Вт).

Таким образом, полученные матрицы в виде тепловых карт позволяют визуализировать поведение характеристик во время технологического процесса, а также дать основу для выбора наиболее значимых критериев контроля технологической системы.

Полученная при анализе тепловых карт информация может быть эффективно использована при решении конструкторских и технологических задач применительно к модернизации существующих технологических процессов и оборудования.

Список литературы

- [1.] Романова И.К. Современные методы визуализации многомерных данных: анализ, классификация, реализация, приложения в технических системах / Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. / Электрон. журн. 2016. № 03. С. 133–167.
- [2.] Бордусов, С.В. Плазменные СВЧ технологии в производстве изделий электронной техники: монография / С.В. Бордусов; под ред. А.П. Достанко. – Мн.: Бестпринт, 2002.– 452 с.
- [3.] Фёрстер Э., Рёнци Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа Перевод с немецкого и предисловие В. М. Ивановой. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 304 с.
- [4.] Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.
- [5.] Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. – М.: «Бином-Пресс», 2006 г. – 656 с.

VISUALIZATION OF DATA ARRAYS IN MATLAB AT THE CORRELATION ANALYSIS OF THE PARAMETERS OF TECHNOLOGICAL SYSTEMS

P.A.Todin

Master student, BSUIR

S.I.Madveika

*Head of the Department of
Electronic Technique and
Technology, Ph.D, BSUIR*

S.V.Bordusau

*Professor at the Department of
Electronic Technique and
Technology, Dr.Sc., BSUIR*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus
E-mail: pvltdin97@gmail.com, madveyko@bsuir.by, bordusov@bsuir.by*

Abstract. The problem of predicting and increasing the reproducibility of technological process parameters is directly related to the stability of the technological system. Using the example of studying the stability of optical radiation of a microwave discharge plasma, the possibility of a parametric analysis of a technological system using visualization technologies of analytical data in the form of heat maps is shown. It is shown that replacing of textual information with color indicators allows for a more dynamic perception of large amounts of data and simplification of correlation analysis.

Keywords: Microwave plasma, MATLAB, data arrays, heatmaps.