

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Жуков Л.А., Стратан И.П. Установившиеся режимы сложных расчетов электрических сетей и систем: Методы расчета. – М.: Энергия, 1979. – 416 с.
2. Справочник по проектированию электрических сетей / Под ред. Д.Л. Файбисовича. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 320 с.

Научный руководитель: А.В. Малафеев, к.т.н., доцент кафедры ЭПП МГТУ им. Г.И. Носова.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ АППРОКСИМАЦИИ ОБЛАСТИ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

К.М. Чубаров, Н.В. Сенько

Самарский государственный технический университет

В настоящее время актуальность вопросов, связанных с аппроксимацией областей статической апериодической устойчивости в пространстве регулируемых параметров, существенно возросла. Это вызвано широким внедрением в электроэнергетических системах (ЭЭС) новых информационно-вычислительных комплексов для решения задач оперативного диспетчерского и противоаварийного управления. Использование математического аппарата, построенного на уравнениях предельных режимов (УПР), дает ряд преимуществ перед другими методами аппроксимации границ области устойчивости.

Для аппроксимации областей устойчивости используют несколько различных методов:

- метод кусочно-линейной аппроксимации;
- метод кусочно-линейной аппроксимации путём ограничения области существования режимов отрезками прямых;
- метод аппроксимации области устойчивости (ОУ) на основе решения УПР.

Метод аппроксимации на основе решения УПР имеет более общий подход к решению поставленной задачи. В работе [1] предложен оригинальный метод, основанный на применении УПР. Исходя из решения этих уравнений, можно определить значение вектора независимых параметров  $x = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_i]^T$ . Регулируемые параметры  $y = [y_1 \ y_2 \ y_3 \ \dots \ y_i]^T$  находятся из УПР и соответствуют найденным значениям  $x$ . Известно, что границы ОУ  $L_w$  – это гиперповерхности в многомерном пространстве  $y$  и лишены наглядности. Для того, чтобы обеспечить наглядность границ ОУ, используем методику аппроксимации, которая базируется на замене  $L_w$  выпуклым многоугольником [2]. Решением УПР являются координаты вектора  $R$ , который совпадает с направлением нормали к  $L_w$  (рис. 1). В случае составления подобных уравнений для ряда точек  $L_w$  можно получить кусочно-линейную аппроксимацию границы ОУ для вершины  $M$ :

$$\begin{cases} r_i^{(1)} (y_i - y_i^{(1)}) + r_j^{(1)} (y_j - y_j^{(1)}) = 0 \\ r_i^{(2)} (y_i - y_i^{(2)}) + r_j^{(2)} (y_j - y_j^{(2)}) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

откуда  $y_i = \frac{\Delta_i}{\Delta_0}$ ;  $y_j = \frac{\Delta_j}{\Delta_0}$

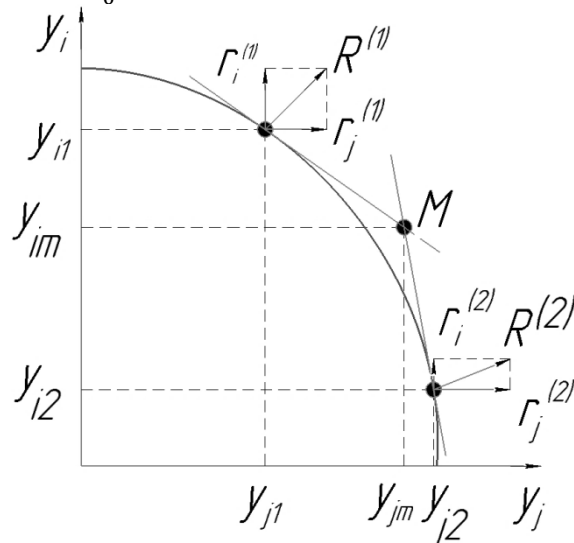


Рис. 1. Кусочно-линейная аппроксимация границ области устойчивости

Наиболее распространённым методом нахождения границ ОУ является методика аппроксимации сечений гиперповерхности квадриками, относящимися к кривым второго порядка [3], которые описываются математическим уравнением:

$$\varphi(Y) = a_{11}y_i^2 + a_{22}y_j^2 + 2a_{12}y_iy_j + c = 0 \quad (2)$$

Используя необходимый математический аппарат, можем представить итоговый результат в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} a_{11}y_i^0 + a_{12}y_j^0 = r_i^0 \\ a_{22}y_j^0 + a_{12}y_i^0 = r_j^0 \\ -(r_i^0y_i^0 + r_j^0y_j^0) = c \end{cases} \quad (3)$$

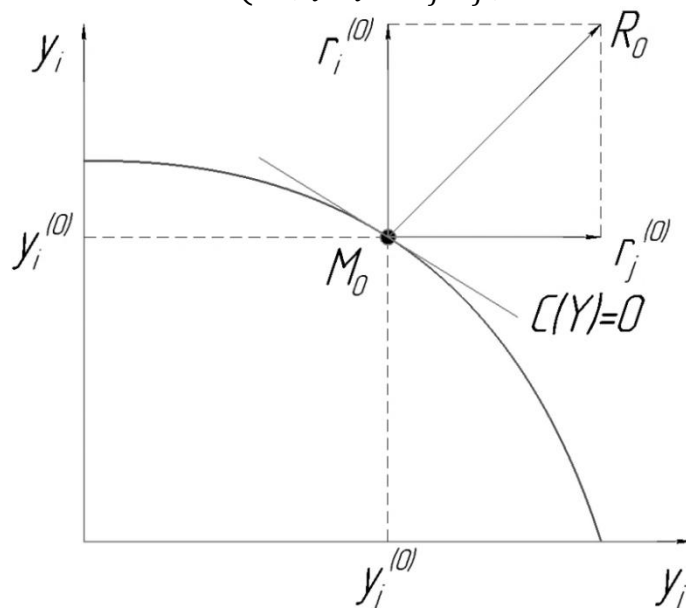


Рис. 2. Аппроксимация сечения  $L_w$

Подобные уравнения составляются для других точек  $L_w$ , относительно неизвестных коэффициентов которой получаем расширенную систему уравнений, которая записывается в упрощённом виде как:

$$C A = B, \quad \text{где } A = [a_{11} \ a_{22} \ a_{12} \ c]^T \quad (4)$$

Для подтверждения теоретических аспектов практическими результатами была рассмотрена 12 узловая схема ЭЭС, где были сравнены результаты аппроксимации сечения при количестве исходных точек: 2, 5 и 11. Результаты расчётов неизвестных коэффициентов матрицы сведены в таблицу 1.

Табл. 1.

Коэффициент	Значения при заданном количестве определённых точек		
	2 точки	5 точек	11 точек
$A_{11}$	0,0000223	0,0000195	0,0000239
$A_{12}$	0,00000781	0,00000815	0,00000792
$A_{22}$	0,0000561	0,0000559	0,0000582
$C$	-16875,1	-16797,5	-18764,2

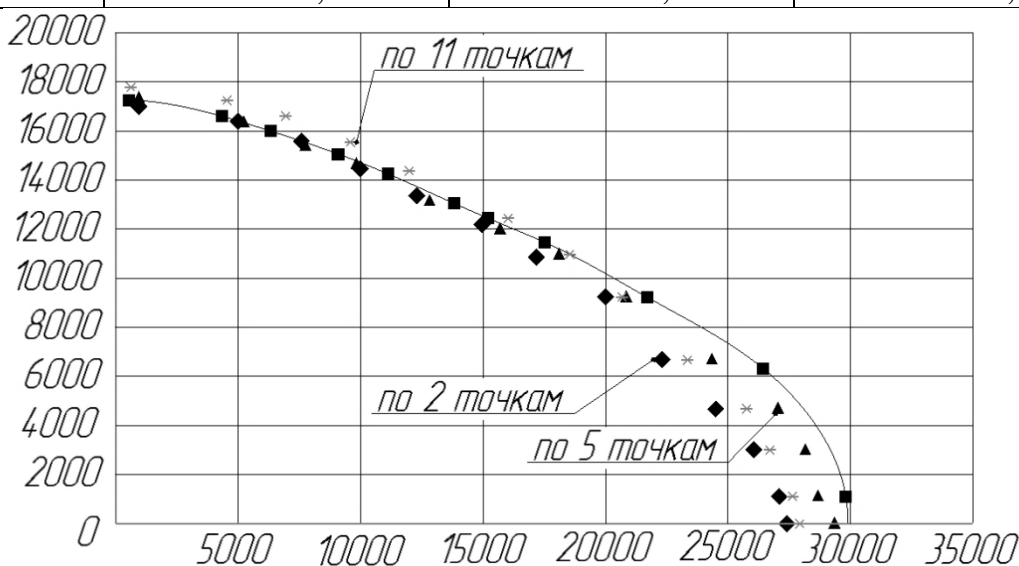


Рис. 3. Аппроксимация сечения  $L_w$  12 узловой схемы

На основании проделанной работы можно сделать следующие выводы:

1. точность аппроксимации зависит от количества точек и их расположения [4];
2. максимальный избыток ОУ при подобной записи исходных данных не превышает 10% от истинной;
3. данная методика может быть успешно применена для решения актуальных практических задач оперативного управления режимами сложных энергосистем.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Конторович А.М., Лукина М.К. Уравнения предельных режимов и построение областей устойчивости// Изв. АН СССР, Энергетика и транспорт - 1988, N1. – С. 13-15.

2. Конторович А.М., Крюков А.В. Предельные режимы энергосистем. // М.: Вост.-Сиб. технол. ин-т, 1985. -72с.
3. Арзамасцев Д.А. и др. Аппроксимация областей устойчивости сложных электроэнергетических систем. Ч.II. // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт.1984. - N2. - С.33-41.
4. Крюков А.В., Намогуруев Б.Б. Выбор рациональных мероприятий по повышению устойчивости сложных энергосистем//Сб. науч. тр. ВСТИ. Сер.: техн. науки. - Вып.1. -Улан-Удэ. 1994. -6с.

Научный руководитель: В.В. Сенько, к.т.н., доцент СамГТУ.

## **ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РОССИИ**

А.В. Аришин  
Сибирский федеральный университет

В 2015 году установленная мощность возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в мире выросла на 8,3% или на 152 ГВт [1]. Такой рост является устойчивым в течение последних шести лет во всём мире, который показывает сильную заинтересованность к отрасли возобновляемой энергетики в мире. Мотивирующими факторами развития данной отрасли являются, как экологические проблемы, так и энергетические проблемы, связанные с запасами, транспортировкой и эксплуатацией топливно-энергетических ресурсов. В последние годы возобновляемая энергетика становится всё более конкурентоспособной, однако, остаётся зависимой от рыночных отношений и экономической политики в отдельно взятых странах.

В России темпы развития возобновляемых источников энергии на сегодняшний день значительно отстают от среднего мирового показателя. Слабое развитие транспортной системы, низкая плотность населения в различных районах страны, определяют актуальность и конкурентоспособность применения возобновляемых источников энергии. Широкое использование ВИЭ позволит решить проблемы надежного электроснабжения отдаленных, труднодоступных регионов, обеспечить экономию углеводородного топлива, а также снизить объем вредных выбросов в окружающую среду.

Обеспечить гарантированное электроснабжение энергоудаленных потребителей позволяет комбинированное использование разнородных источников энергии и накопителей электроэнергии. Необходимым условием эффективной работы такой системы генерирования электроэнергии является успешное решение двух проблем — интеграции разнородных источников и выбора параметров комбинированного электротехнического комплекса на основе ВИЭ.

Проблема интеграции возобновляемых источников энергии связана с необходимостью приведения параметров ВИЭ к стандартным параметрам электрической сети. В России и за рубежом распространены технологии совместного использования одного типа ВИЭ. Разработки, позволяющие эффективно