



СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
RUSSIAN POWER SYSTEM OPERATOR

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ RUSTAB

Флоринский Андрей Александрович¹, Чистяков Александр Сергеевич¹

¹Филиал АО «СО ЕЭС» Ленинградское РДУ, ведущий специалист.

Научный руководитель: Беляев Андрей Николаевич, доктор технических наук, профессор, доцент Высшей школы электроэнергетических систем ИЭ СПбПУ Петра Великого.



Введение и актуальность

- **Выполнение обязательной верификации ДРМ РДУ 2 раза в год.**
- **Корректность воспроизведения ЭМПП позволяет прогнозировать поведение энергосистем.**
- **Проблема: ручная настройка параметров занимает много времени, может быть неэффективной при большом факторе неопределенности.**
- **Решение: применение алгоритмов оптимизации (АО).**



Цель и задачи исследования

3

Цель: автоматизация процесса верификации ДРМ в ПК Rustab с использованием АО.

Задачи:

- Реализовать различные АО в Python.
- Сравнить эффективность (точность, время расчёта).
- Определить наиболее перспективные алгоритмы для внедрения в промышленную эксплуатацию.





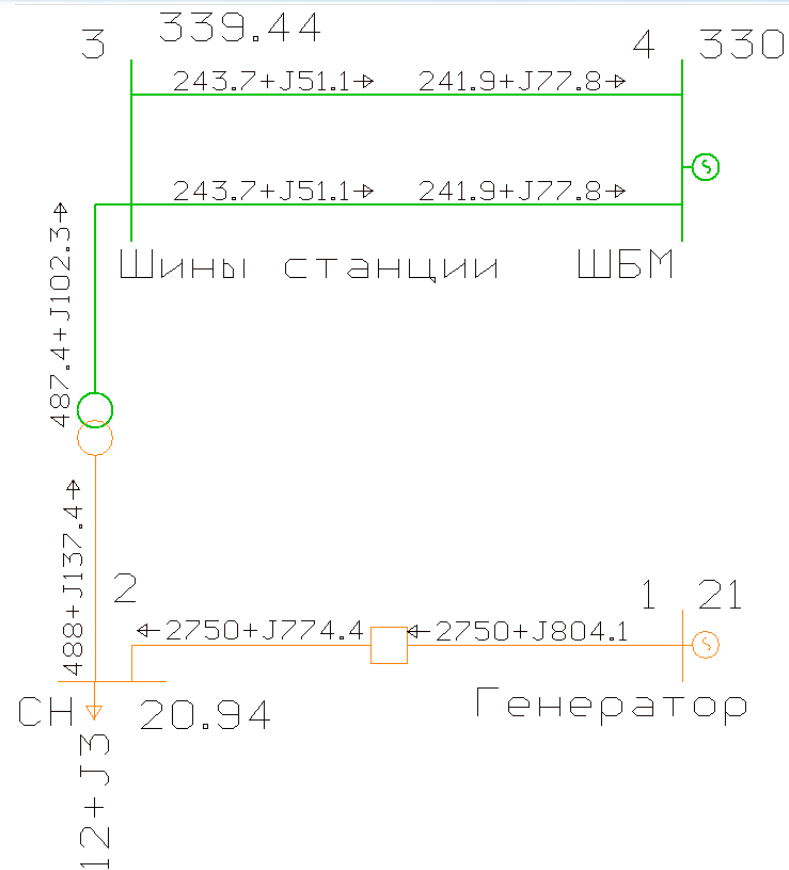
Классификация алгоритмов оптимизации

- С использованием производных (градиентные методы)¹.
- Без использования производных (эвристические, вероятностные)².
- В работе рассмотрены:
 - Алгоритм Левенберга–Марквардта (АЛМ)¹.
 - Генетический алгоритм (ГА)².
 - Алгоритм Байеса (АБ)².



Исходная модель ЭЭС

- **Схема:** машина – трансформатор – линия – шины бесконечной мощности.
- **Возмущение:** трёхфазное КЗ на шинах 330 кВ (0,18 сек) + отключение I цепи ВЛ 330 кВ.





Оптимизируемые параметры

➤ **Постоянная времени возбудителя:**

Эталонное значение 0,12 сек. Границы изменения параметра:

[0,04; 2,0] сек.

➤ **Механическая постоянная инерции:**

Эталонное значение 12,222 сек. Границы изменения параметра:

[7,0; 20,0] сек.

➤ **Целевая функция – квадрат разности между эталонной и расчетной кривой мощности.**



Общая блок-схема алгоритма программы

7



- автоматический вывод графиков активной мощности до и после оптимизации и значений оптимизируемых параметров;
- обращение напрямую к ПК Rustab;
- интерполяция эталонного и текущего массива данных для возможности их сравнения;
- возможность тестирования различных алгоритмов оптимизации.



Блок-схема работы алгоритма Левенберга-Марквардта



➤ Комбинация метода градиентного спуска и метода Ньютона–Гаусса.

➤  : высокая скорость сходимости, устойчивость.

➤  : чувствительность к начальному приближению.

$$[J^T W J] h_{gn} = \alpha J^T W (y - \hat{y})$$

$$h_{gd} = \alpha J^T W (y - \hat{y})$$

$$[J^T W J + \lambda I] h_{gn} = J^T W (y - \hat{y})$$



Блок-схема работы генетического алгоритма

9

➤ использует механизмах естественного отбора.

➤ Принципы: популяция → кроссинговер → мутация → новое поколение.

➤  : поиск глобального минимума.

➤  : большие вычислительные затраты.

Особенность реализации: отсутствие селекции – в формировании нового поколения участвуют все особи одного поколения.



Блок-схема работы алгоритма Байеса

10



- Вероятностный метод машинного обучения.
- Использует Гауссовские процессы для оценки ЦФ.
- Балансирует между «эксплуатацией» (лучшие зоны) и «исследованием» (неизвестные зоны).

➤  : меньше вычислений по сравнению с ГА

➤  : сложность реализации

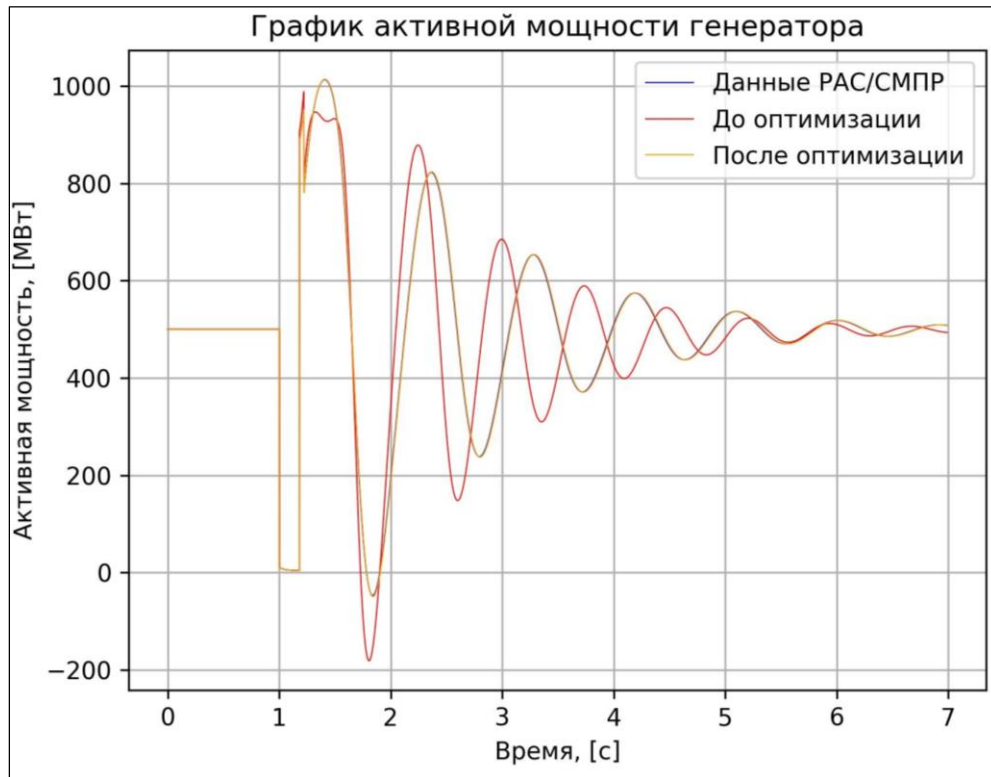
Ожидаемое уменьшение ЦФ:

$$EI(x) = E[\max(f(x) - f(x^+), 0)]$$

Верхняя граница достоверности $UCB(x) = \mu(x) + k\sigma(x)$



- График приведён для случая оптимизации с помощью алгоритма Байеса
- Анализ графика демонстрирует практически полное совпадение расчетной кривой после оптимизации с эталонной кривой.





Сравнение алгоритмов

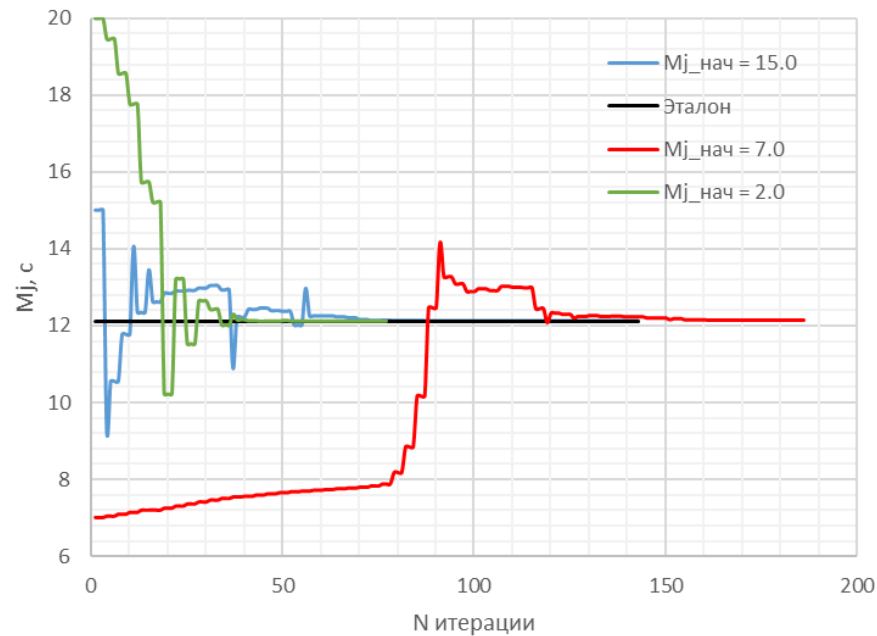
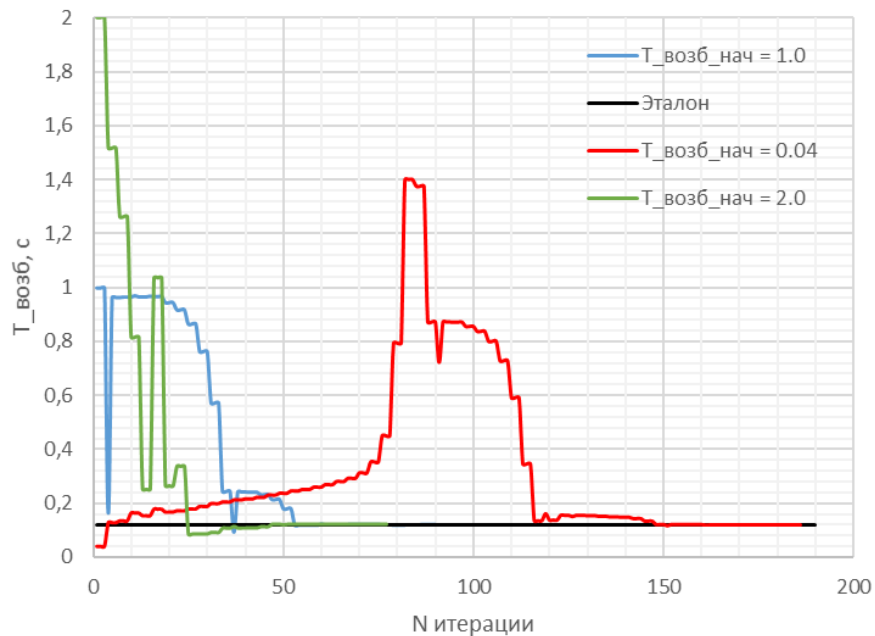
12

Название алгоритма	Общее время расчета, с	Число итераций	Значение $T_{\text{возб}}, \text{с}$	Отличие от эталона, %	Значение $M_j, \text{с}$	Отличие от эталона, %
АЛМ	51,785	46	0,1196	0,31	12,131	0,08
АБ	64,055	60	0,1069	10,9	12,251	1,07
ГА	149,792	30	0,1275	6,26	11,974	1,22



Изменение параметров ДРМ в процессе оптимизации: АЛМ

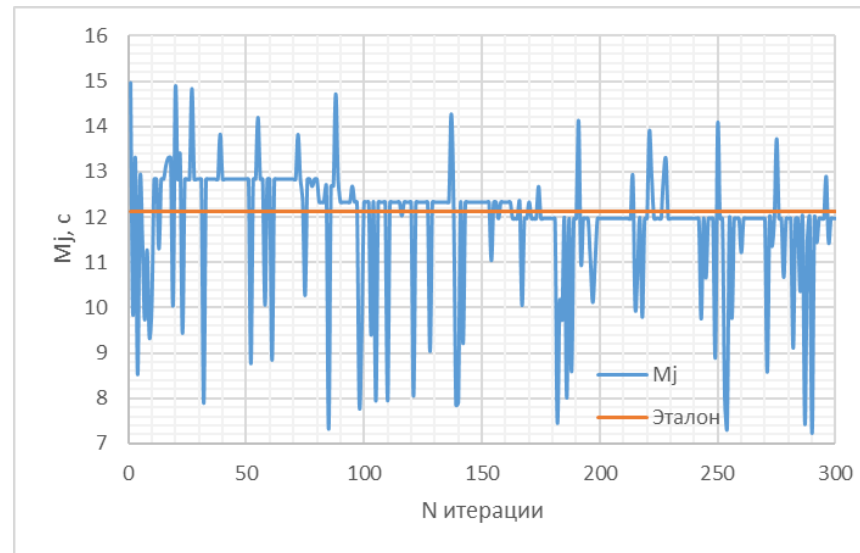
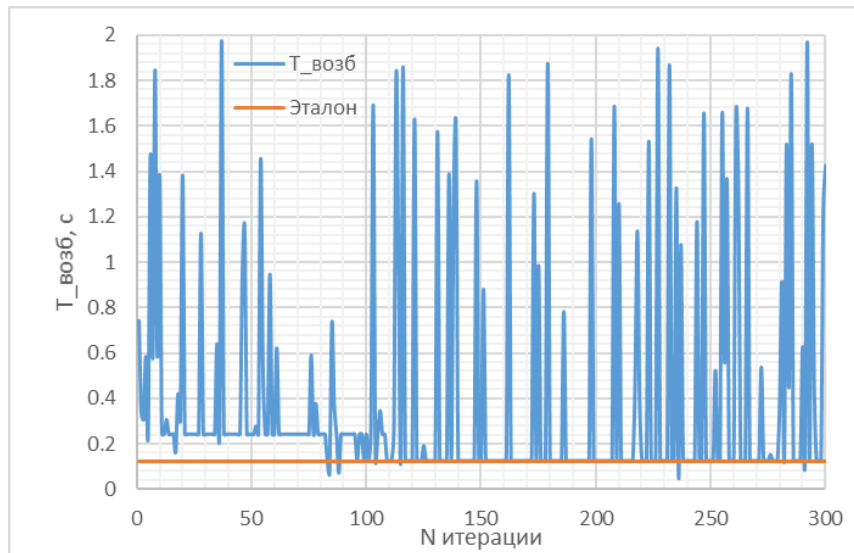
13





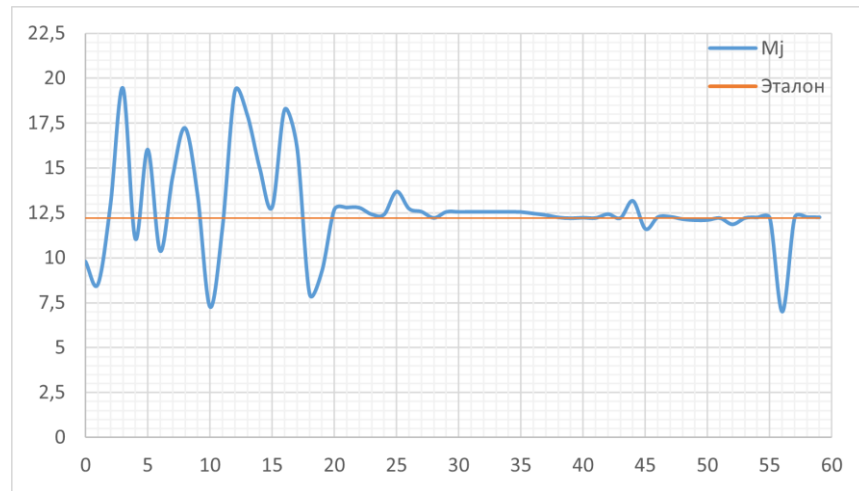
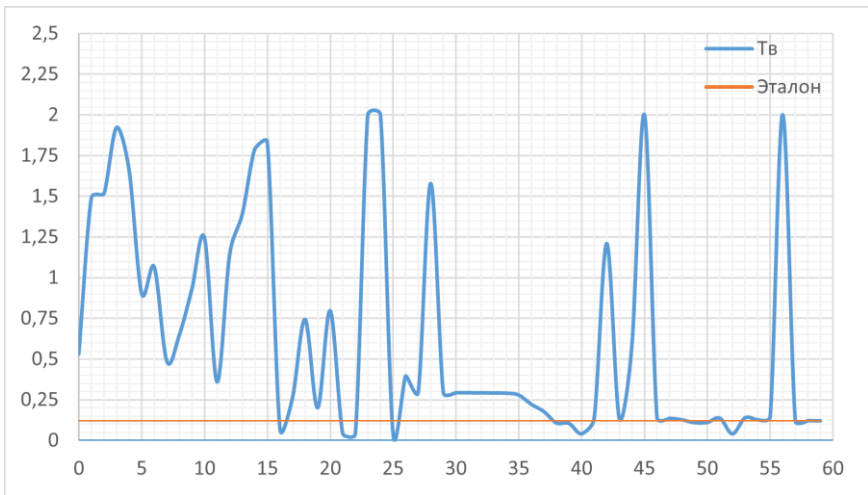
Изменение параметров ДРМ в процессе оптимизации: ГА

14





Изменение параметров ДРМ в процессе оптимизации: АБ





- Все алгоритмы определили параметры, близкие к эталонным.
- Максимальное время расчета (ГА): 149,792 с.
- Максимальное отклонение от эталона (АБ): 10,9 %.
- АЛМ – оптимальный для практики (лучшее соотношение точности и скорости).
- ГА и АБ – вспомогательные, полезны при поиске глобального минимума или высокой неопределённости.



СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР
ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
RUSSIAN POWER SYSTEM OPERATOR

Частота в ЕЭС, Гц

50,000

member of



[О компании](#)

[Деятельность](#)

[Филиалы и представительства](#)

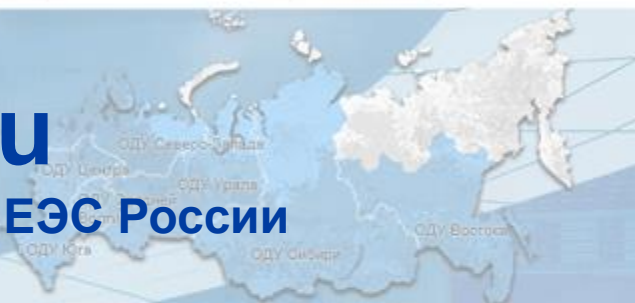
[Новости](#)

[Контакты и реквизиты](#)

[ЕЭС России](#)

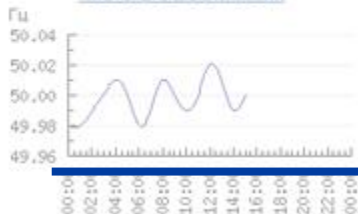
www.so-ups.ru

Оперативная информация о работе ЕЭС России



Индикаторы ЕЭС

Частота в ЕЭС России



Температура в ЕЭС России



Спасибо за внимание!

Новости Системного оператора

12.08.2017 11:41

Росстандарт поблагодарил ТК 016 «Электроэнергетика» за развитие системы стандартизации в отрасли

Руководитель Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт) Антон Шалаев направил благодарственное письмо в адрес Первого заместителя Председателя Правления АО «СО ЕЭС», председателя технического комитета по стандартизации ТК 016 «Электроэнергетика» Сергея Павлушко

11.08.2017 09:18

Системный оператор и субъекты электроэнергетики Карелии и Мурманской области успешно завершили комплексные испытания

