



Москва, 29 сентября - 1 октября



МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА
РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА ЭНЕРГОСИСТЕМ 2021

Оптимизация электрических режимов городских электрических сетей с учетом зарядной нагрузки электромобилей и генерации V2G

А.В. ДОМЫШЕВ

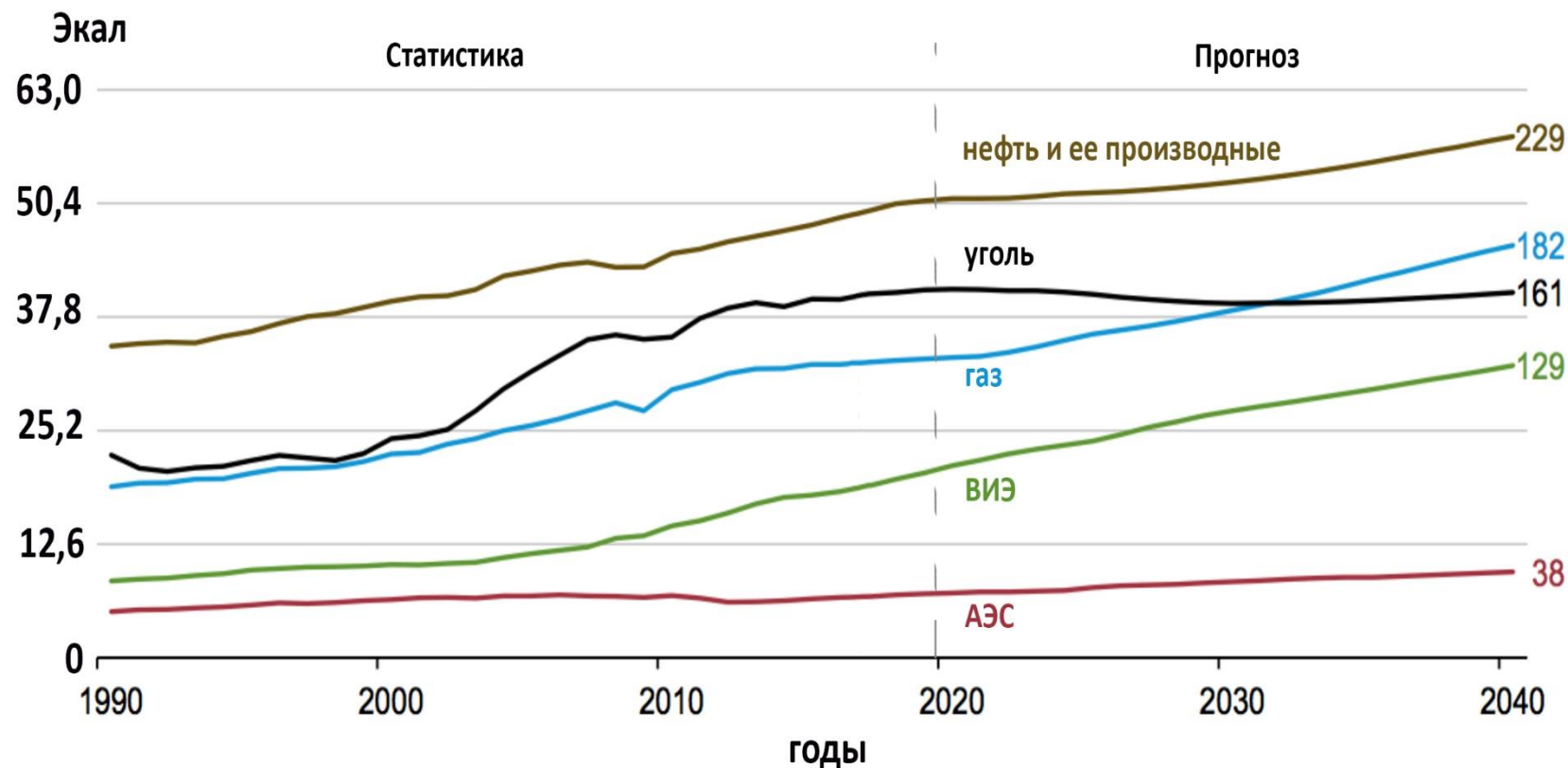
ИСЭМ СО РАН

Россия

Домышев Александр Владимирович



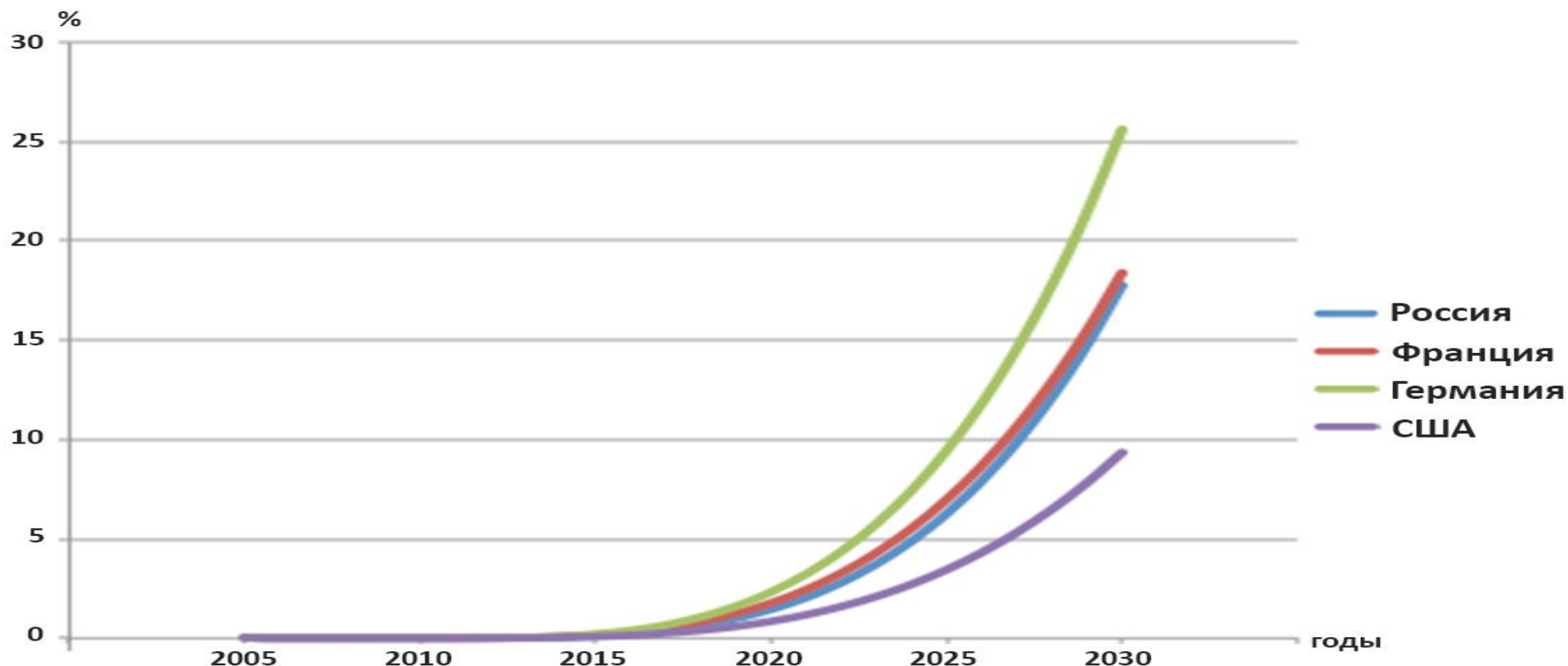
Прогноз объемов различных типов энергоносителей



Capuano L. International energy outlook 2018 (IEO2018) //US Energy Information Administration (EIA): Washington, DC, USA. 2018.



Рост доли электромобилей в объеме нагрузки электрических сетей в процентах



- данные о количестве автомобильного транспорта на душу населения;
- статистические данные и прогноз населения по странам;
- статистические данные и прогноз потребления электроэнергии по странам;
- экстраполирован рост объемов продаж электромобилей



Оптимальное управление электрическими режимами

Рассматривается городская электрическая сеть, которая характеризуется большой стохастичностью нагрузки, наличием альтернативной генерации и наличием электромобилей.

Целями оптимизации с точки зрения сетевой компании могут являться:

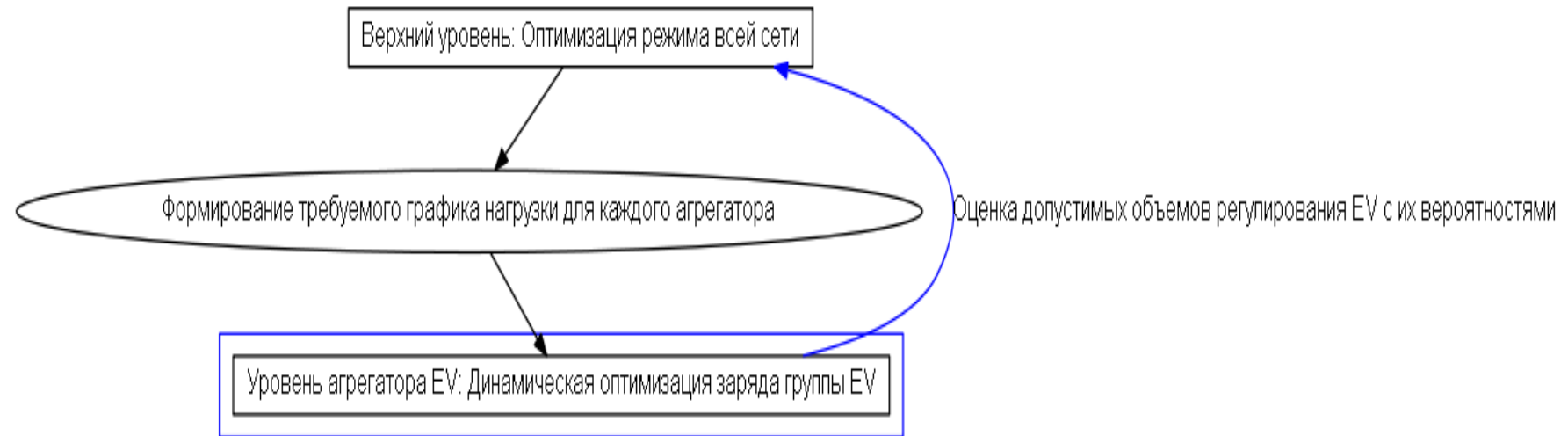
- минимизация потерь в сети,
- обеспечение требуемых уровней по напряжению,
- оптимизация по стоимости генерации электроэнергии.

С точки зрения пользователей EV важным вопросом является также оптимизация зарядки EV по экономическим критериям:

- зарядка EV во время минимальных тарифов,
- использование собственных ресурсов генерации.



Двухуровневая архитектура системы управления



Целевая функция оптимизации на нижнем уровне

- учитывает экономическую эффективность заряда и выдачи мощности в случае подключения EV по технологии V2G



Двухуровневая архитектура системы управления

Целевая функция оптимизации на нижнем уровне – многокритериальная оптимизация:

- Минимизация стоимости генерации. В данной задаче она включает не столько стоимость производства энергии в городской энергосистеме, но и минимизацию затрат на закупку электроэнергии у генерирующих компаний.
- Минимизация потерь в электрической сети.
- Минимизация отклонений по напряжению.
- Уменьшение влияния на окружающую среду.

В качестве управляющих параметров в энергосистеме с наличием EV выступают также мощности инъекции EV (мощности нагрузки при заряде EV и мощности генерации, когда EV выступает в роли накопителя ЭЭ).

Располагаемый объем такой мощности величина неопределенная и может быть оценена с некоторой вероятностью. Доля участия EV в нагрузке узла электрической сети может быть оценена с помощью мониторинга на групповых контроллерах заряда EV. Также можно выявить долю EV, анализируя изменение нагрузки в течение времени и выявляя характерные паттерны.



Целевая функция управления в вероятностной постановке

Распределение вероятности зарядной нагрузки может быть оценено на основе статистических данных о зарядках электромобилей, а также на оценке их трафика.

Хотя при оценке распределения вероятности в разрезе времени могут использоваться разные модели распределения, но для каждого момента времени может быть получено нормальное распределение вероятности инъекции мощности EV. Это позволит универсализировать вероятностный расчет оптимального потокораспределения на уровне сетевой компании

$$\min \sum_{i=1}^n w_i f_i(x, p(x)) \quad \left| \begin{array}{l} p(S_N) = p(V) * Y * p(V)^t \\ g(x) \leq 0 \end{array} \right.$$

где $f_i(x)$ – целевая функция по одному из рассматриваемых критерий;

w_i – весовой коэффициент соответствующий подзадаче целевой функции;

x – вектор управляющих параметров;

$g(x)$ – ограничения, как на сами управляющие параметры, так и функциональные ограничения определяющие системные режимные ограничения.



Динамическая оптимизация

Исходными данными для динамической оптимизации являются

- Текущее оцененное состояние.
- Прогноз в виде набора режимов.
- Список возможных управляющих воздействий.

Предлагаемое решение учитывает стоимость управляющих воздействий, которая, в свою очередь, зависит не только от вектора состояния системы, но и от времени. Полная целевая функция задачи оптимизации может быть записана как:

$$f_d = \sum_j^p \left(\sum_{i=b_p}^{e_p} f_i(X_i) + C(\xi_j - \xi_{j-1}, i) \right)$$

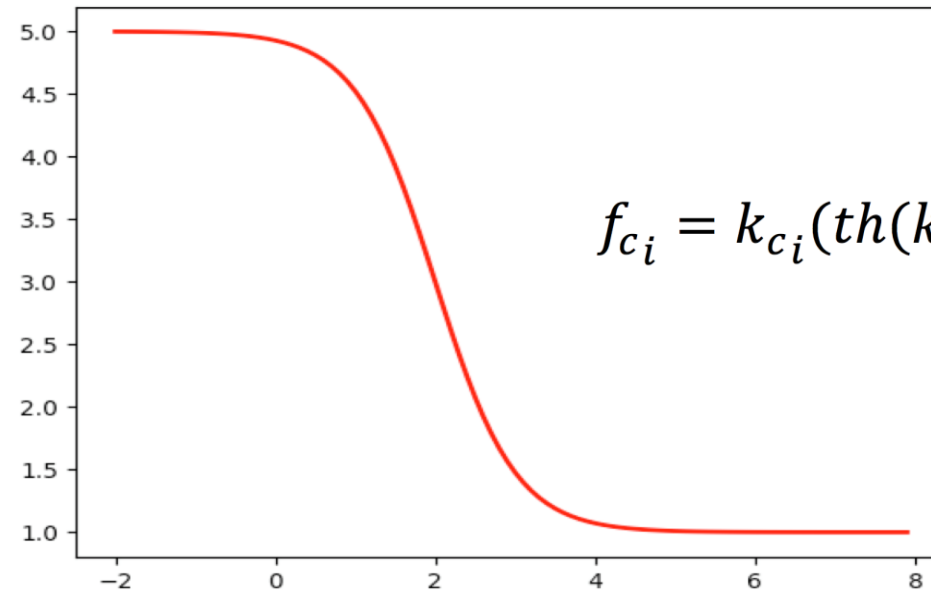
f_i – целевая функция каждой подзадачи оптимизации, включая: потери активной мощности, выходы за допустимые диапазоны напряжения и другие ограничения.

«Стоимость» управляющего воздействия C зависит от таких факторов, как: остаточный ресурс оборудования, приоритет использования определенного УВ, минимально допустимое время между работой одного и того же устройства.



Динамическая оптимизация

Пример функции стоимости управляющего воздействия в зависимости от времени прошедшего с прошлого применения данного воздействия:



$$f_{ci} = k_{ci}(th(k_{di}(t_{pi} - t + \Delta t_b)) + 1) + c_i$$

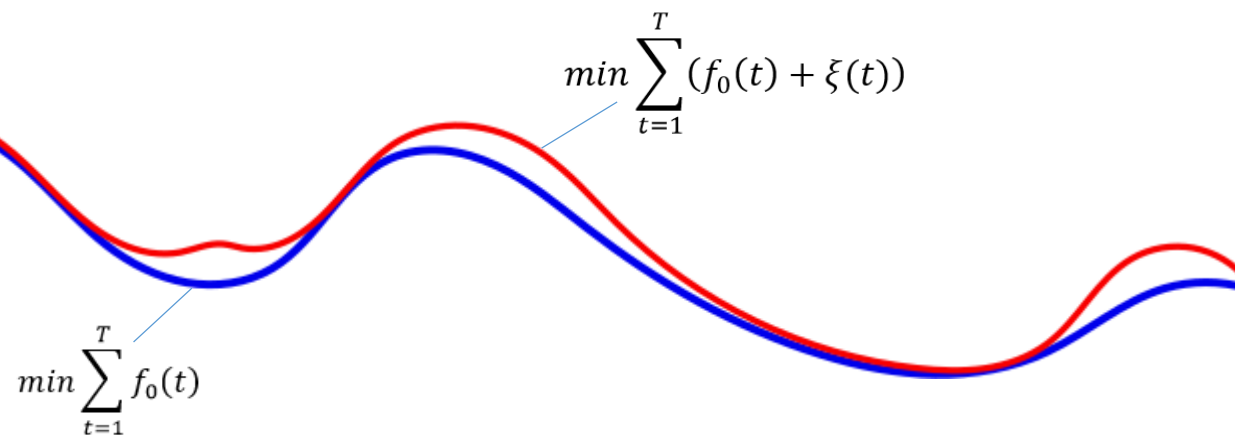
Нижняя граница целевой функции определяется результатами статической оптимизации, когда к целевой функции добавлена постоянная часть штрафа для каждого управляющего воздействия.



Динамическая оптимизация

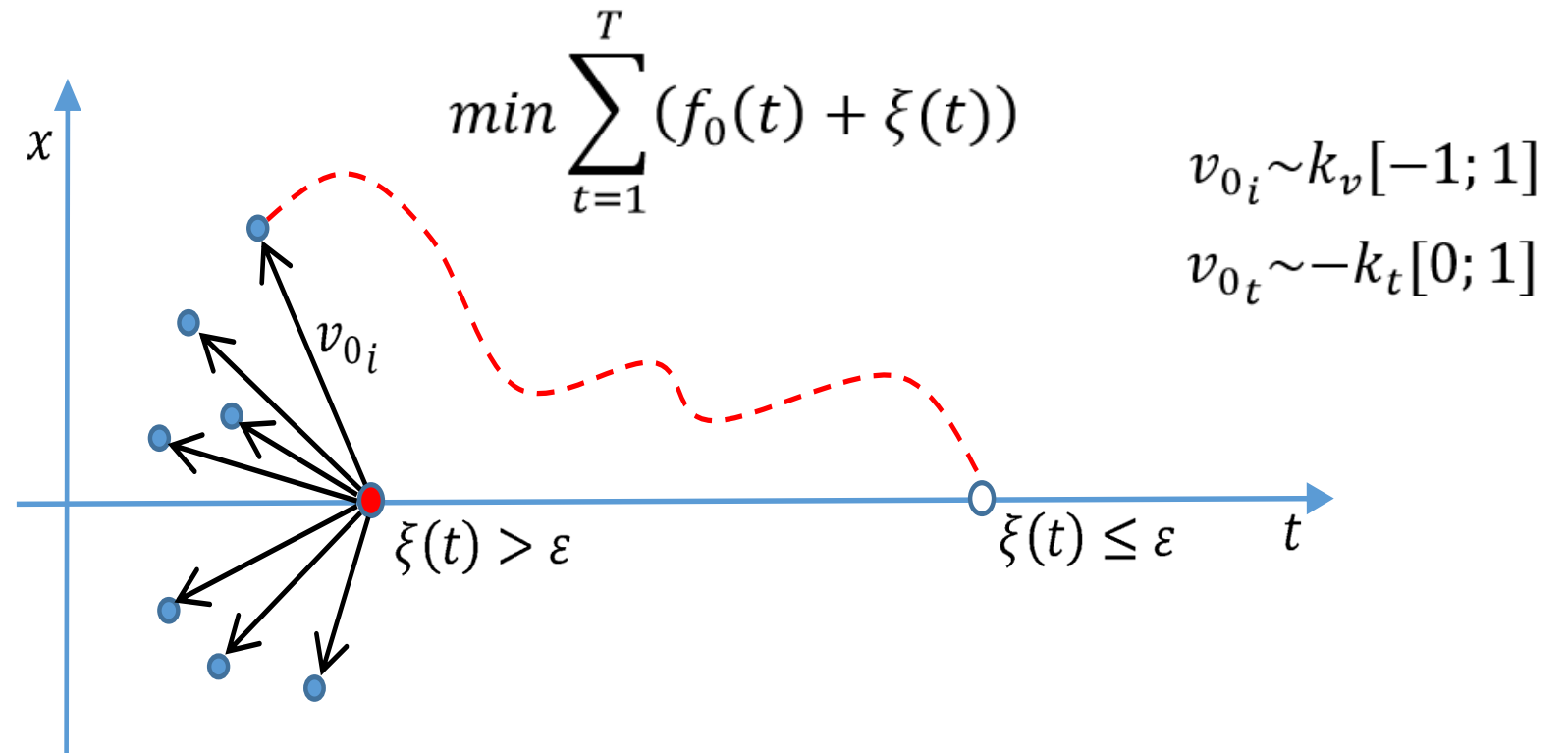
Нижняя граница целевой функции определяется результатами статической оптимизации, когда к целевой функции добавлена постоянная часть штрафа для каждого управляющего воздействия:

$$\min f_{l_t}(S_t, X_t) = f_{d_t}(S_t, X_t) + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij}$$





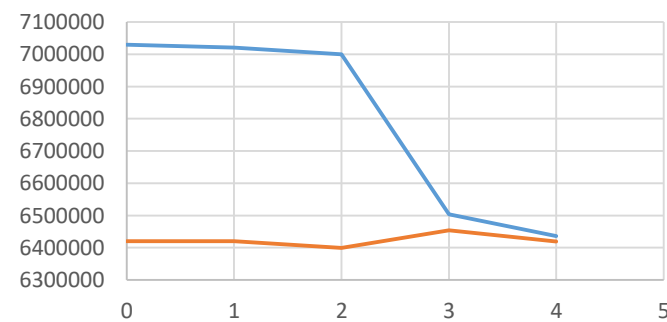
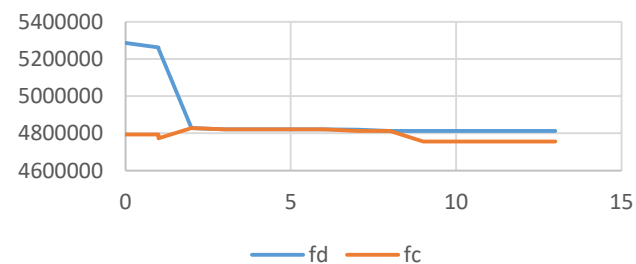
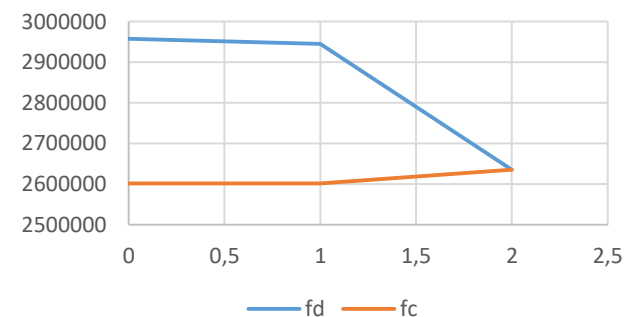
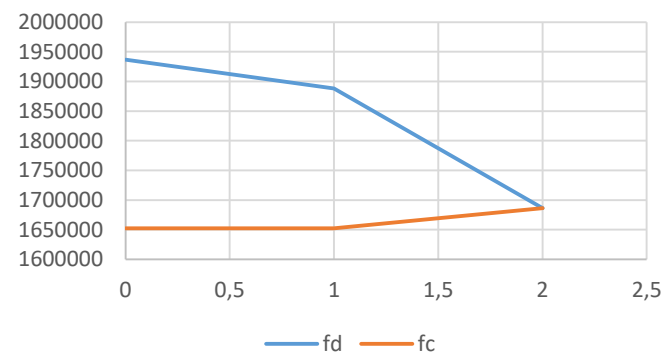
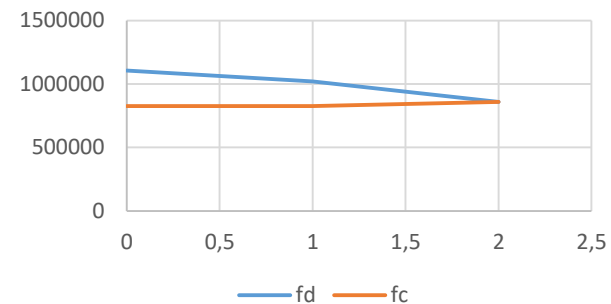
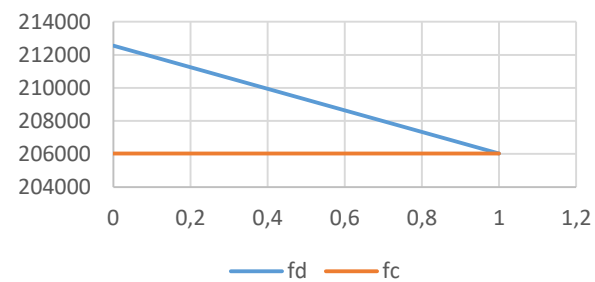
Предлагаемый алгоритм стохастической оптимизации – River stone PSO



$$v_i(t+1) = \omega v_i(t) + c_l r_1 (y_i(t) - x_i(t)) + c_g r_2 (g(t) - x_i(t)) + c_e r_3 (y_e - x_i(t))$$

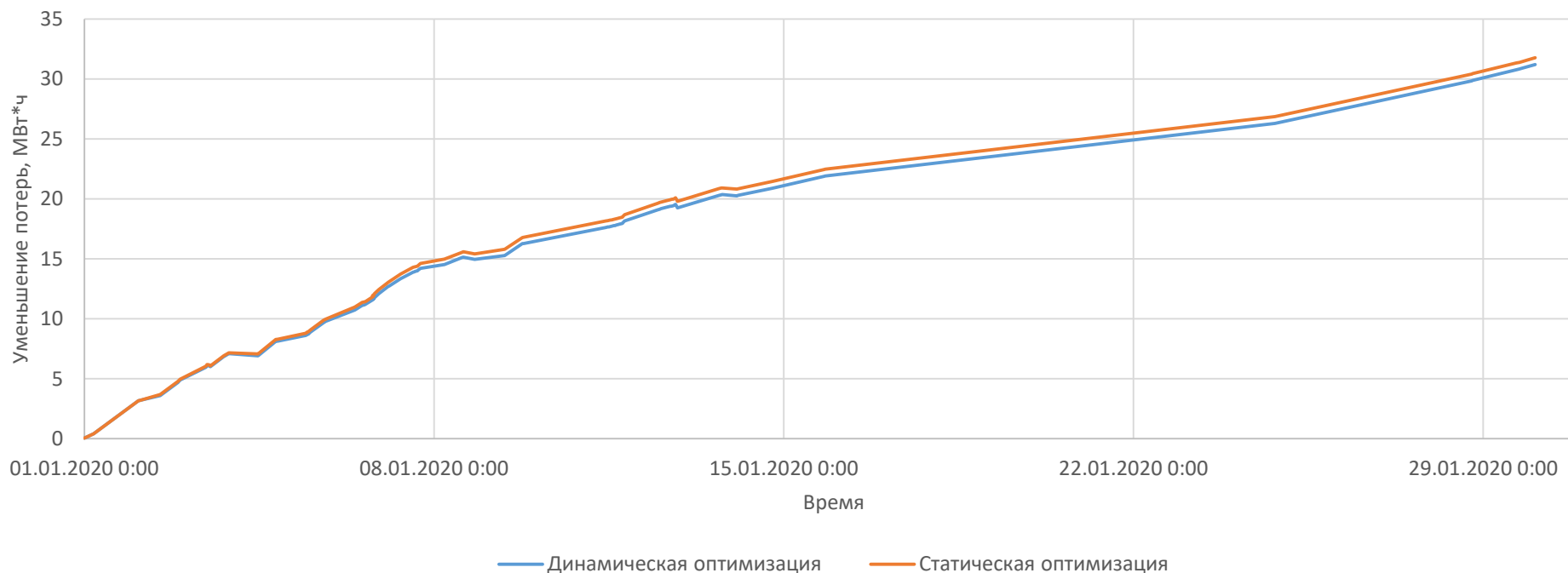


Результаты динамической оптимизации





Суммарное уменьшение потерь в результате оптимизации нарастающим итогом за месяц



Суммарное уменьшение потерь электроэнергии за месяц, полученное в процессе динамической оптимизации, составило **31,21 МВт·ч**. Суммарное уменьшение потерь в результате серии статических расчетов оптимизации для каждого временного среза составило **31,77 МВт·ч**, что всего на **1,7 %** лучше результатов динамической оптимизации.

Результаты динамической оптимизации близки к теоретическому минимуму, полученному при условии, когда не учитывается стоимость управляющих воздействий.



ВЫВОДЫ

- Оптимальное управление электрическими режимами городских электрических сетей с учетом зарядной нагрузки электромобилей и генерации предлагается выполнять в вероятностной постановке.
- Предложен алгоритм динамической оптимизации электрических режимов.
- Предлагаемые алгоритмы реализованы в комплексе **АНАРЭС**



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Контакты:

<http://anares.ru>

Домышев Александр Владимирович

Тел.: **8 (3952) 98-90-68**

E-mail: info@anares.ru

domyshev@isem.irk.ru