# Применение генетического алгоритма для оптимизации параметров устройств компенсации реактивной мощности

В **системах электроснабжения (СЭС)** горных и промышленных предприятий, содержащих преимущественно электродвигательную нагрузку, происходит потребление значительного количества реактивной мощности.

Для обеспечения эффективного энергопотребления и уменьшения потерь мощности возникает необходимость в решении задачи оптимизации процесса компенсации реактивной мощности.

## Применения генетического алгоритма для решения задачи оптимизации работы УКРМ

На практике для определения мест расположения и параметров устройств компенсации реактивной мощности, опираются на приближённые методы расчёта потребляемой реактивной мощности, которые учитывают номинальную мощность приемников, номинальный cos ϕ и коэффициент спроса [1,2].

Однако, эти методы не учитывают переходных процессов в СЭС, поэтому имеют существенную погрешность при наличии частых запусков и остановок двигателей, а также при наличии двигателей, имеющих переменную нагрузку.

Использование алгоритмов оптимизации на ЭВМ для определения мощностей устройств компенсации позволяет определить вариант компенсации, при котором потери в СЭС минимальны.

Например, применение генетического алгоритма, основанное на методах расчёта, не учитывающих переходные процессы в СЭС, для задачи компенсации реактивной мощности, рассматривалось в работах [3,4,5].

Подобные способы оптимизации позволяют определить вариант расположения устройств компенсации реактивной мощности.

**Математическая модель системы электроснабжения с электродвигательной нагрузкой и устройствами компенсации реактивной мощности [6] учитывает:**

* Режимы работы электродвигателей.
* Переходные процессы.

В предложенной математической модели в качестве устройств компенсации используются конденсаторные батареи, которые будут рассматриваться в предлагаемом исследовании.

При использовании алгоритмов оптимизации на основе модели [6] возможно более точно выбрать вариант расположения и параметров устройств компенсации реактивной мощности в СЭС, чем в рассмотренных выше способах.

Задача выбора варианта относится к так называемым задачам переборного типа. Одним из наиболее эффективных алгоритмов поиска оптимального решения в этих случаях является генетический алгоритм [7]. Отметим, что подобный метод использовался в работе [8].

**При применения генетического алгоритма к решению задачи оптимизации параметров устройств компенсации реактивной мощности необходимо:**

* Выполнить кодирование варианта системы электроснабжения с устройствами компенсации в хромосому.
* Выбрать способы селекции.
* Определить метод скрещивания.
* Определить метод мутации системы.

**Далее необходимо определить параметры генетического алгоритма:**

* Размер популяции.
* Количество поколений.
* Вероятности скрещивания.
* Вероятности мутации.

Важно выбрать функцию приспособленности (фитнесс-функция) для определения оптимального варианта.

**Известно, что по условиям физической реализуемости ёмкость устройства компенсации может принимать конечное множество значений, причем необходимо учесть:**

* При этом можно выбрать максимальное значение ёмкости и задать шаг изменения ёмкости, где точность, с которой будет производиться расчёт.
* В этом случае можно определить ёмкость конкретного конденсатора (конденсаторной батареи), который будет максимально близко подходить к вычисленным параметрам.

## Вывод формул и алгоритмов расчета для компенсации реактивной мощности в СЭС

**Зададим следующие параметры для уравнений:**

* Максимальное значение ёмкости, которое может иметь устройство компенсации — Сmax.
* Точность, с которой необходимо определить значение ёмкости устройства компенсации — h.

**Тогда ёмкость i-гo устройства компенсации можно записать в виде:**

 (1)

**где**

* bi - целое число.
* 0≤bi≤bmax.
* При этом bmax\*h≤Cmax.

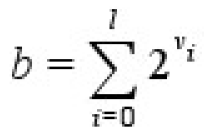
Таким образом каждому вещественному числу Сi соответствует целое число bi.

Допустим, что в системе электроснабжения существует N мест, где возможна установка устройств компенсации.

Тогда задача оптимизации сводится к определению множества целых чисел b.

Если отсутствует необходимость в устройстве компенсации в том или ином месте, b просто приравнивается к нулю и в расчёте не учитывается.

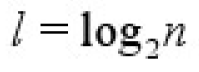
**Теперь представим целое число b в виде последовательности бит следующим образом:**

 (2)

**где**

* νi - бит с индексом i в последовательности.
* ɭ - величина последовательности.

**Следовательно, получаем следующее выражение:**

 (3)

Объединив все последовательности, получим одну, состоящую из N\*ɭ бит, последовательность, которая и будет служить хромосомой для генетического алгоритма.

**Графически хромосома изображена на рисунке 1:**

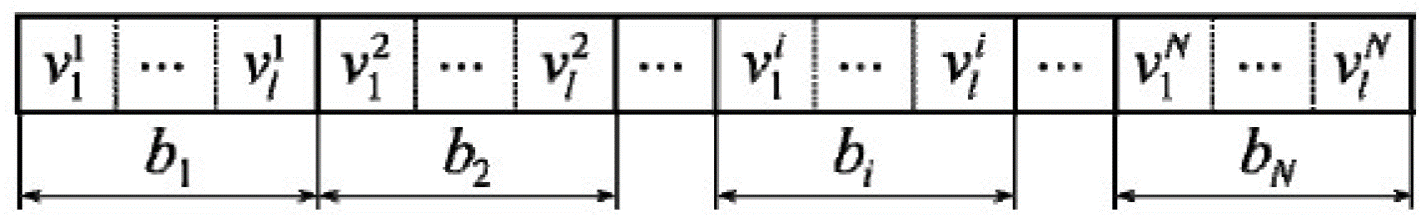


Рисунок 1 – Графическое представление хромосомы

**где**

* νi1 и νil — соответственно первый, и последний бит в i-ой последовательности, или ген в терминах генетического алгоритма.

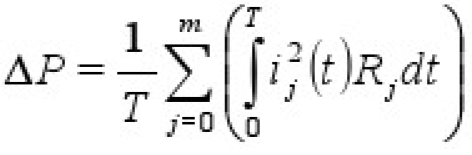
**Вышесказанное определяет алгоритм вычисления функции приспособленности:**

* В процессе оптимизации формируется хромосома - последовательность бит, которая разбивается на N последовательностей по ɭ бит.
* Каждая из последовательностей преобразуется в целое число по выражению.
* Ошибка! Источник ссылки не найден, если не целое число.
* Из полученных целых чисел образуется последовательность ёмкостей по выражению 1.
* Каждому из устройств компенсации в модели присваивается соответствующая ёмкость.
* Производится моделирование полученной системы электроснабжения.
* Из результатов моделирования вычисляется функция приспособленности.

Один из вариантов функции приспособленности это суммарные потери в распределительной сети.

После моделирования и получения зависимости тока от времени на каждом участке распределительной сети.

**Следовательно, можно вычислить среднюю величину потерь мощности в сети:**

(4)

**где**

* ΔР – мощность.
* M - количество участков распределительной сети.
* i - ток в j-ом участке.
* R - активное сопротивления j-го участка.

Второй вариант, когда определяется срок окупаемости оборудования.

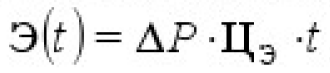
**Для этого необходимо посчитать потребление активной мощности в первоначальном варианте и сравнить их с текущей:**



**где**

* Р0 - первоначальное потребление.
* Р1 - потребление активной мощности после компенсации.

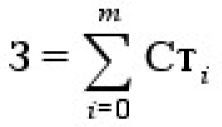
**Экономия от компенсации составит:**

 (5)

**где**

* Э — экономия, зависящая от времени.
* ЦЭ - тариф на электроэнергию
* t - время.

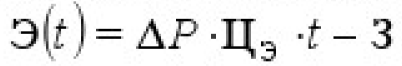
**Затраты на установку устройств компенсации:**

 (6)

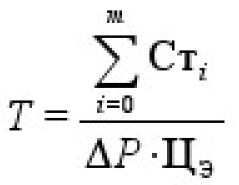
**где**

* 3 – затраты.
* СT - стоимость каждого устройства и его установки.
* m - количество устройств.

**С учётом затрат суммарная экономия составит:**

 (7)

**Определим оптимальное количество устройств в СЭС:**

 (8)

Как видно из уравнения 8, в момент времени t = 0 экономия отрицательная, потому что были приобретены устройства компенсации.

**Поэтому имеет место срок окупаемости этого оборудования, когда суммарная экономия достигнет нуля:**

* ΔР\*ЦЭ\*Т-3=0.

Минимизация этого параметра тоже может быть задачей компенсации.

Учитывается вся потреблённая электроэнергия, а не только потери в распределительной сети.

Делается это из соображения, что при различных режимах питания может меняться напряжение на некоторых участках системы электроснабжения, что приведёт к изменению потребляемой мощности самими приёмниками электроэнергии.

## Результаты оптимизации одного и нескольких устройств компенсации

**Рассмотрим пример на рисунке 2, одного двигателя, питаемого через кабель от трансформатора:**

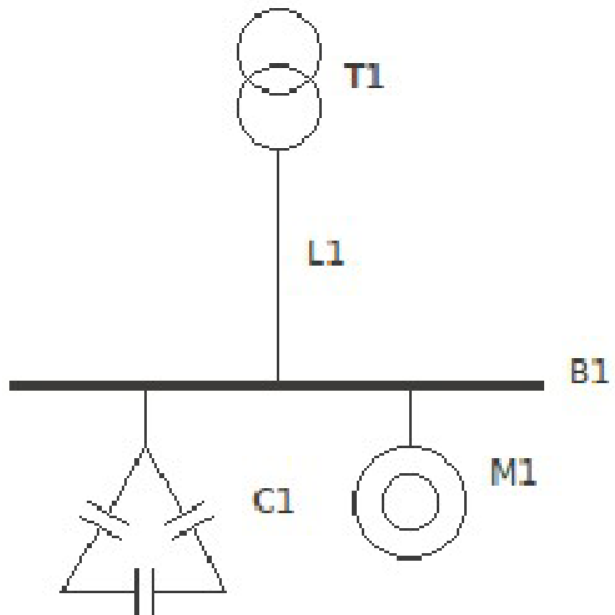


Рисунок 2 – Простейший пример СЭС

**Необходимо выбрать ёмкость устройства компенсации так, чтобы потери в кабеле были минимальные, в которой используем:**

* Электродвигатель ДЕСВ45 с нагрузкой 150 Н-м - вязкое трение.
* Кабель - АПвВГ 4x70 длиной 0,1 км.

**Параметры оптимизации:**

* Размер популяции – 25.
* Количество поколений – 20.
* Максимальная ёмкость - 1000 мкФ.
* Точность - 1 мкФ.
* Вероятность мутации - 0,05.
* Вероятность скрещивания - 1.

**Для реализации алгоритма разработано программное средство, форма с введёнными параметрами оптимизации изображена на рисунок 3, где показана – «0шибка! Источник ссылки не найден»:**

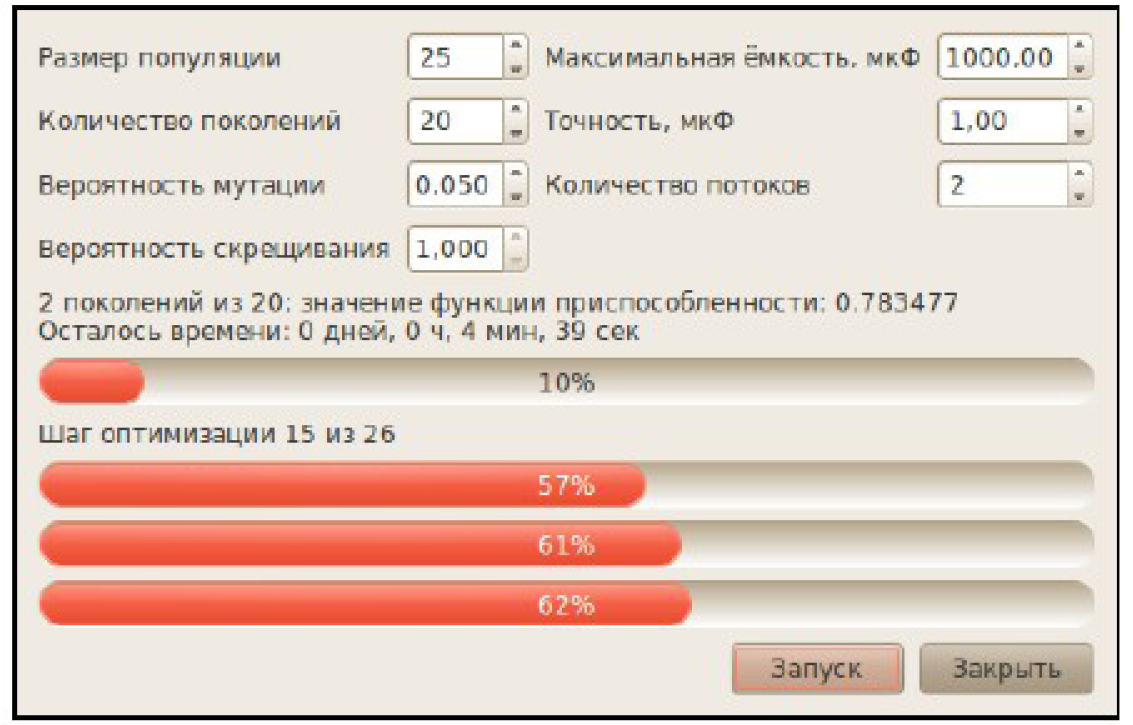


Рисунок 3 – Диалог оптимизации

**В результате оптимизации вычислены следующие параметры и показатели:**

* Емкость - 56 мкФ.
* Потери составили 0,304 кВт.
* Без компенсации потери - 0,384 кВт (уменьшились на 80 Вт).

Уменьшение в год составит около 700 кВт-ч или порядка 1,5 миллионов рублей, что при стоимости такого устройства компенсации в несколько десятков тысяч рублей дает значительно.

Рассмотрим вариант с несколькими устройствами компенсации.

**Для примера системы, рассмотренного ранее в [6], произведём оптимизацию с несколькими возможными вариантами размещения устройств компенсации рисунок 4:**

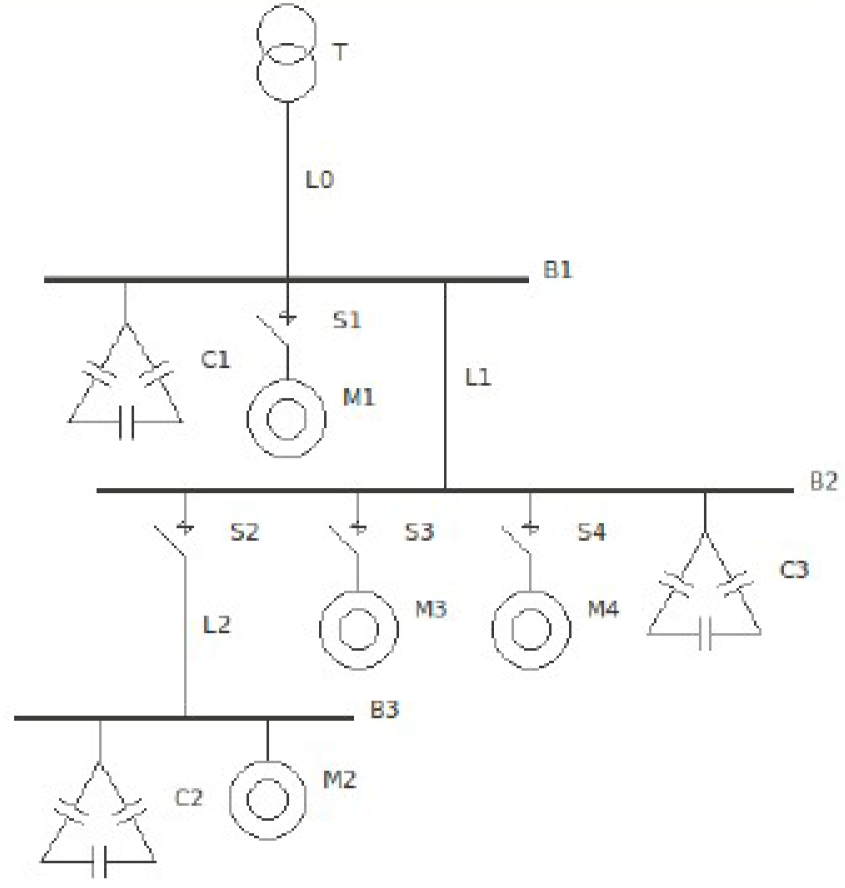


Рисунок 4 – Пример СЭС с устройствами компенсации

**Параметры оптимизации:**

* Размер популяции – 50.
* Количество поколений – 20.
* Максимальная ёмкость 5000 мкФ.
* Точность - 10 мкФ.
* Вероятность мутации - 0,05.

**Значения ёмкостей, полученных после оптимизации:**

* С1 =710 мкФ.
* С2=1700 мкФ.
* С3=280 мкФ.

**Потери составят:**

* 61,15 кВт с компенсацией.
* 99,81 кВт без компенсации.

**Результаты компенсации составят:**

* Экономия составила 38,66 кВт.
* Суммарная номинальная нагрузка системы составляет 800 кВА.

**На основании рассмотренных примеров решений задач, можно сделать следующие выводы:**

* Предлагаемый метод оптимизации позволяет учитывать не только расчетную нагрузку, но и переходные процессы, происходящие при запуске и остановке электродвигателей, а также при переменном характере механической нагрузки электродвигателей.
* Из примеров видно, что применение устройств компенсации приводит к значительному уменьшению потерь активной мощности в СЭС.
* В обоих случаях экономия достаточно существенна, так как снижение потерь соизмеримо с самой нагрузкой.
* Генетический алгоритм позволяет добиться наилучшего из возможных вариантов расположения и параметров устройств компенсации реактивной мощности, так как изменение любой ёмкости хотя бы на 1 мкФ в приведенных примерах приводит к увеличению потерь.

## Список литературы

1. Железко Ю.С., Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах. - Москва: Энергоиздат, 1981. - 200 с.
2. Руководящий технический материал «Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий» - Москва: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1993. - 53 с.
3. Управление режимами реактивной мощности и напряжения систем электроснабжения предприятий методами искусственного интеллекта: диссертация кандидата технических наук 05.14.02 / Туликов А.Н. - Красноярск, 2007. 171 с.
4. Лоскутов А.Б., Еремин О.И., Многоцелевая оптимизация компенсации реактивной мощности в электрических сетях // Промышленная энергетика. 2006. № б. С. 39-41.
5. Optimal Capacitor Placement Using Deterministic and Genetic Algorithms / M. Delfenti, G. Granelli, P. Maranmno, M. Montagna. - IEEE Trans Power Systems, vol. 15, 2000, №3, Aug.
6. [Математическая модель системы электроснабжения с электродвигательной нагрузкой и устройствами компенсации реактивной мощности.](https://gekoms.org/2021/09/22/matematicheskaja-model-sistemy-jelektrosnabzhenija-s-jelektrodvigatelnoj-nagruzkoj-i-ustrojstvami-kompensacii-reaktivnoj-moshhnosti/)
7. J.Н. Holland, Adaptation in natural and artificial systems University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
8. Негадаев В.А. Определение оптимальных параметров сети электроснабжения с электро двигательной нагрузкой: Диссертация кандидата технических наук / Кузбасский государственный технический университет Кемерово, 2009 г.

Источник: Применение генетического алгоритма для оптимизации параметров устройств компенсации реактивной мощности / В.В. Дабаров // Вестник КузГТУ. - 2012. - №3. - C. 145-147.