

УДК 621.311.017

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУРАВЬИНОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМОВ ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДИСКРЕТНЫМ МЕТОДОМ ПО НАПРЯЖЕНИЮ И РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Лагуновский Д.О., Юхневич П.В., Борисова А.В.

Научный руководитель – ассистент Секацкий Д.А.

Активное применение в замкнутых электрических сетях устройств продольно-поперечного регулирования позволяет снизить потери активной мощности. Нахождение оптимальных потерь строится на расчёте серии нормальных режимов сети с последующим их анализом. Дискретная оптимизация потерь часто выполняется методом покоординатного спуска. Основным его недостатком является сильная зависимость результата от выбора последовательности вводимых в оптимизацию переменных. Авторами предлагается метод дискретной оптимизации режимов электрических сетей, свободный от указанного недостатка при помощи муравьиного алгоритма.

**Муравьиный алгоритм** (*алгоритм оптимизации подражанием муравьиной колонии, АСО*) — в настоящее время, один из эффективных полиномиальных алгоритмов для нахождения приближённых решений задачи коммивояжёра, а также решения аналогичных задач поиска оптимальных маршрутов.

В реальном мире, муравьи (первоначально) ползают в случайном порядке и по нахождению продовольствия возвращаются в свою колонию, прокладывая феромонами тропы для других муравьёв. Если другие муравьи находят такие тропы, они, вероятнее всего, пойдут по ним. Вместо того, чтобы отслеживать цепочку, они укрепляют её при возвращении, если в конечном итоге находят источник питания. Со временем феромонная тропа начинает испаряться, тем самым уменьшая свою привлекательную силу. Чем больше времени требуется для прохождения пути до цели и обратно, тем сильнее испарится феромонная тропа. На коротком пути, для сравнения, прохождение будет более быстрым и как следствие, плотность феромонов остаётся высокой. Испарение феромонов позволяет избежать локально-оптимального решения.

Для решения задачи выбора ответвлений представим сети из трансформаторов в виде графов, где вершинами графа будет являться определенное состояние трансформатора, а именно: в вершине указывается номер трансформатора (обозначим его  $t$ ) и определенное ответвление, установленное на нем ( $to_t$ ). Вершину, в которой находится «муравей» обозначим за  $i$ , а вершины, в которые возможны переходы «муравья» за  $m$ . Учитывая, что «муравей» не может побывать за один цикл составления его маршрута в определенной вершине дважды:

$$m = (z - j - z') \quad (1)$$

где  $z$  – все вершины, соединенные с вершиной  $i$ ,  $z'$  вершины в которых уже был «муравей».  $J$ -ой вершиной называется вершина, для которой осуществляется вычисление вероятности перехода «муравья». После определения максимального количества итераций вычисления оптимального маршрута ( $Y$ ), приступим к вычислению оптимального маршрута муравья ( $L_d$ ). Оптимальным маршрутом муравья будет являться наиболее короткий путь муравья. Поэтому сумма длин ветвей маршрута муравья будет характеризовать потери в сети, которые возникнут в ней, при подключении данных трансформаторов с определенными ответвлениями. При этом если оптимальный маршрут пройдет по вершинам не всех трансформаторов, т.е. необходимо будет переключить ответвления только у части трансформаторов, при расчете общей длинны все равно будут учтены потери которые «дают» трансформаторы, оставшиеся в исходном состоянии, формулы расчета общей длинны будут представлены ниже.

Рассмотрим работу алгоритма:

1. После формирования графа и условий для его расчета (ввод данных), задаются равные значения  $\tau_{ij}$  – «запах феромона» на у ветви соединяющей вершины  $i$  и  $j$ , рассчитывается режим сети, где получив суммарные потери мощности мы можем посчитать и задать длины для всех ветвей (будут неизменны в течении всего времени программы, что даст возможность учесть потери трансформаторов которые не вошли в оптимальный путь муравья) по формуле:

$$L_{ij} = \frac{\Delta P_{сети}}{\sum_k L_k} \quad (2)$$

где  $k$  – количество ветвей графа, далее запускается цикл по  $Y$ . Один шаг этого цикла запускает цикл по  $i$ , где  $i$  – первая вершина, в которой находится муравей. Данный цикл, в свою очередь, запускает цикл по  $j$ , где осуществляется расчет вероятностей перехода муравья в из вершины  $i$  в вершину  $j$  по формуле:

$$P_{ij} = \frac{\left(\frac{1}{L_{ij}}\right)^{\alpha * \tau_{ij}^{\beta}}}{\sum_m \left(\frac{1}{L_{im}}\right)^{\alpha * \tau_{im}^{\beta}}} \quad (3)$$

$\alpha$ -коэффициент «жадности»,  $\beta$  – коэффициент «стадности» алгоритма (блок №7).

2. После того как вероятности для всех возможных для перехода вершин вычислены осуществляется переход муравья в «псевдослучайно» выбранную вершину  $j$ . Перед этим осуществляется проверка условия блока №8, который трактуется следующим образом: «Если количество возможных для перехода вершин ( $m$ ) не равно нулю или не равно единице (блок №8), то случайно выбираем вершину и переходим в нее, и запускаем следующий ход цикла по  $i$  (блок №9). Если  $m = 1$ , значит, у нас нет вариантов для выбора, и мы просто переходим в эту вершину (блок №11). Очевидно, если у нас вообще не осталось вариантов значит, мы пришли к начальной точке (стартовой вершине) (блок №12). Следовательно, заканчиваем цикл по  $i$  (блок №15)».

3. Далее нам необходимо пересчитать параметры сети вычислить новые потери, что бы затем скорректировать «запах феромонов» на ветвях, которые составили путь муравья. Для этого в блоке №13 водятся вспомогательные параметры  $Q$  – коэффициент для для определения степени влияния длинны ветви на усиление «запаха феромона». Данный коэффициент является на данный момент предметом исследований, и является отдельной темой исследования, выходящей за рамки создания алгоритма для решения поставленной задачи. Аналогично задается  $g$  – коэффициент «забывчивости» в пределах от 0 до 1. Данный коэффициент характеризует, на сколько сильно будет ослабляться «запах феромона» созданного предыдущим муравьём за время, пока новый муравей прошел свой путь. Это позволяет избежать возможности нахождения локально-оптимального решения задачи, потому как, ослабляя силу феромонов в ветвях, пройденных муравьем, мы искусственно занижаем вероятность выбора следующим муравьем такого же пути, который прошел предыдущий, что позволяет следующему муравью с определенной долей вероятности исследовать другой путь. В блоке № 14 считается режим сети с выбранными вариантами ответвлений трансформаторов. Суммарные потери в такой сети заносятся в переменную  $L_d$ . Далее на основании новых потерь вычисляется новый «запах феромона» на ветвях, которые составили «путь муравья» (d):

$$\tau_d = \tau_{id}(1 - g) + \Delta\tau \quad (4)$$

где  $\tau_{id}$  – «запах феромона»  $i$ -ой ветви пути  $d$ .  $\Delta\tau = \frac{Q}{L_d}$  – увеличение «запаха феромона».

На этом один шаг цикла по  $Y$  завершен.

В итоге если потери на новом пути составят меньшее число чем на предыдущем, то длина «пути муравья»  $L_d$  окажется меньше, следовательно, это позволит на ветвях этого пути увеличить «запах феромона»  $\tau_d$  более значительно, что в последующем увеличит вероятность выбора муравьем точно такого же пути. С учетом того что «запахи феромонов» испаряются не мгновенно на выбор пути муравья всегда будут влиять запахи «предыдущих путей», поэтому только через несколько тысяч итераций (может оказаться и больше, зависит от типа и объемов решаемой задачи), сформируется наиболее явный путь, который будет стремиться к оптимальному решению.

В работе представлена блок-схема и описание муравьиного алгоритма. Требуется провести исследование и сравнить скорость и глубину нахождения оптимального значения суммарных потерь мощности в электрической сети.

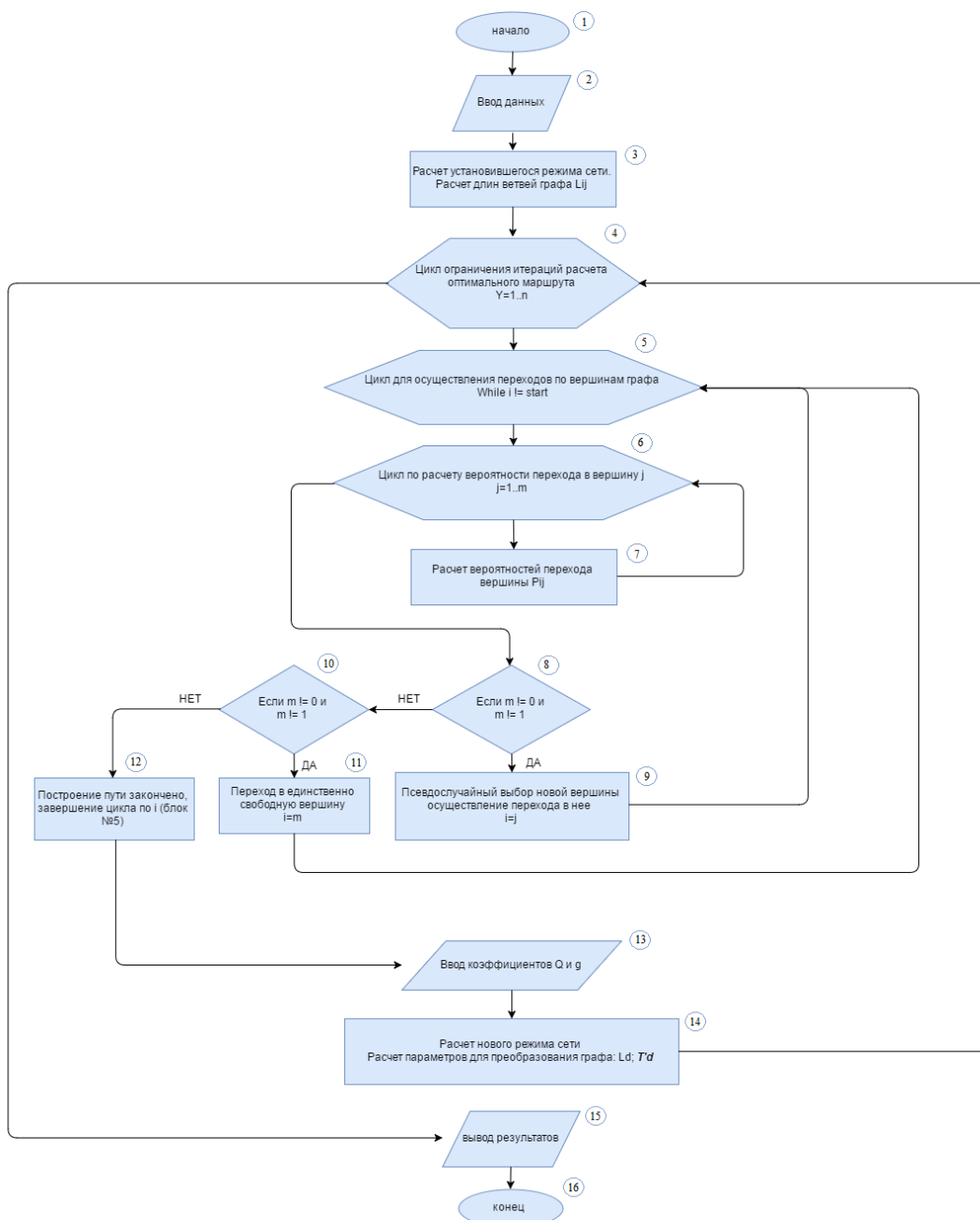


Рисунок 1 – Блок-схема реализации муравьиного алгоритма

### Литература

1. Кажаров, А. А. Муравьиные алгоритмы для решения транспортных задач. / А. А. Кажаров. – Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2010.
2. Stützle. T. MAX-MIN Ant System and local search for the traveling salesman problem. / T. Stützle. – IEEE International Conference on Evolutionary Computation. 1997.
3. M. Dorigo et L.M. Gambardella. A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem./ L.M. Gambardella – IEEE Transactions on Evolutionary Computation.1997.
4. Голицына, О.Л. Основы алгоритмизации и программирования./ О.Л. Голицына – 3-е изд. – Москва. 2008.
5. Ахо. А. В. Структуры данных и алгоритмы. /А В. Ахо – 4-е изд. – Санкт-Петербург. 2003.