

## О ВОЗМОЖНОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕОРИИ ПЕРКОЛЯЦИИ ПРИ АНАЛИЗЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

© 2021 Ю. А. Клименко, А. П. Преображенский

*Воронежский институт высоких технологий (Воронеж, Россия)*

*В статье рассматриваются особенности моделей, сформированных на основе теории перколяции, и обсуждаются возможности их применения в ходе анализа распределительных электрических сетей.*

*Ключевые слова: перколяция, распределительная электрическая сеть, управление.*

Теория перколяции развивается уже в течение нескольких десятилетий [1]. Но, если ее физические приложения в определенной мере изучены, то широкое распространение в электрических системах пока не наблюдается.

Энергетическая и физическая сферы имеют определенные аналогии. Это позволяет распространять разработки, которые уже есть в теории перколяции для других видов объектов.

В распределенных электрических сетях удобно применять дискретные варианты перколяционных моделей.

На современном уровне развития энергетической отрасли предполагается возрастание взаимодействия компонентов распределенных электрических систем.

Это ведет к тому, что требуется осуществлять разработку новых средств, позволяющих моделировать взаимодействие указанных компонентов и управление токами и напряжениями внутри них.

Снижение нагрузок в электрических сетях определяет опасности того, что будут нарушения в механизмах управления мощностями [2], токами, напряжениями, есть необходимость в перераспределении мощностей – все это можно рассматривать в виде актуальных проблем электрических сетей.

В ходе решения таких проблем возникают возможности для того, чтобы осуществлять оптимизацию управления процессами передачи электрической энергии и функционирования сети в общем.

Увеличиваются возможности по тому, чтобы было динамическое распределение энергетических ресурсов. Также достигаются более высокие уровни автоматизации и контроля энергетических сетевых структур.

В теории перколяции проводится изучение того, как будут образовываться целостные структуры, если связи между отдельными элементами будут случайным способом появляться или исчезать.

Подобные объекты можно описывать на основе сетевых или графовых подходов [3]. Они достаточно часто применяются в математическом моделировании. Тогда будет рассмотрение множества узлов, которые соединяются при помощи ребер. Узлы – это энергетические объекты, а ребра – это электрические связи.

Если мы анализируем крупные электрические сети на основе теории перколяции, то особенность состоит в том, что, если число связей будет увеличиваться, тогда можно подойти к определенной критической ситуации, в которой энергетические объекты будут формировать глобальный кластер. Во многих случаях есть проблемы распознавания появления такой критической ситуации.

Существуют подходы в теории перколяции, позволяющие проводить исследования связности электрических сетей. Она, в свою очередь, определяется размерами обнаруженных кластеров [4]. С точки зрения математической абстракции, размер кластера может быть бесконечным.

Но на практике в ряде случаев достаточно будет установление факта существования большого кластера. У элемента в кластерной системе может быть выделена ближайшая окрестность. Для нее соотносят пер-

---

Клименко Юрий Алексеевич – Воронежский институт высоких технологий, аспирант, klm71165@mail.ru.  
Преображенский Андрей Петрович – Воронежский институт высоких технологий, профессор, app@vvt.ru.

коляционные поля, которые представляются при помощи фазовых пространств.

Ближайшая окрестность для элементов кластера определяет создание некоторых структур. Особенность их в том, что наблюдается явление тотальной мультимасштабности. Это определяет рост числа параметров, которые будут описывать структуру и характеристики распределенных энергетических систем.

Возникают возможности для того, чтобы аналитическим образом описывать указанные системы. Вероятность получения бесконечной сети будет равна или 0 или 1.

Теория перколяции строится на вероятностных закономерностях, поэтому мы будем иметь вышеуказанные границы. Академик Колмогоров А. Н. обозначил так называемый "закон нуля или единицы" [5]. Смысл указанного закона состоит в том, что исход состояния анализируемой системы зависит от одного конкретного выбора ее параметров. То есть, явления, являющиеся бесконечными, не будут нарушаться вследствие конечных изменений.

В целом вероятность получения бесконечного кластера, не равная 0, определяется особенностями построения распределенной электрической сети.

При постановке задачи в распределенных энергетических системах исходят из того, что формируют решетку из связей или матрицу. В ней часть ячеек, являющейся случайной, будет проводить электрические токи. Другая часть не будет проводить электрические токи.

В ходе решения задачи должна быть определена минимальная концентрация таких ячеек, для которых существует сквозной путь с привлечением соответствующих связей через всю матрицу по заданным направлениям. То есть, концентрация ячеек будет обеспечивать перенос энергетического потока через всю матрицу.

Когда распределенная электрическая сеть будет достигать проводимости, тогда в ней будут качественные изменения. Ее свойства скачкообразным образом будут изменены.

Проведение статистического моделирования с привлечением случайных матриц предоставляет возможности для того, чтобы проводить обнаружение и исследование статистических закономерностей порога перколяции.

К настоящему времени только для некоторых простейших видов сетей были получены значения порогов перколяции.

На странице, расположенной по ссылке [6], регулярным образом обновляются перколяционные пороги.

При формировании сети, узлы, которые ее образуют, могут находиться на небольших расстояниях друг от друга или быть достаточным образом удаленными.

В последнем случае говорят о континуальной перколяции. Когда формируется подобная сеть, то исходим из определенных допущений. Энергетические объекты располагаются случайным образом. В ходе исследований не учитываем существование их естественных скоплений.

Кроме того, в качестве единственного фактора, который будет оказывать влияние на взаимодействие между двумя энергетическими объектами считается расстояние, которое будет между ними.

Каким образом обеспечить увеличение охвата указанной непрерывной перколяционной сети? Для этого существует два подхода:

1. Формирование прямого к ней подключения для большего расстояния.
2. Добавление некоторого числа энергетических объектов. Это приведет к тому, что плотность сети будет возрастать.

Какой смысл порога перколяции? Он показывает, что в сетях существует риск их разрыва. Это приведет к тому, что подключенные к ней объекты перестанут функционировать. То есть, существует проблема определения мощностей передаваемых сигналов в электрических сетях для поддержки их связности.

Другая проблема относится к характеристикам плотности энергетических объектов на заданных площадях. Для ячеистых сетей, имеющих фиксированный радиус действия, необходима поддержка критической плотности пользователей.

Таким образом, если проводить анализ ключевых математических подходов, которые применяются в теории перколяции, то в них часто можно встретить ограничения по реальному использованию. Они будут хорошо функционировать только когда электрические системы упорядочены и симметричны.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасевич Ю. Ю. Перколяция: теория, приложения, алгоритмы / Ю. Ю. Тарасевич. – М. : Едиториал УРСС, 2002. – 112 с.
2. Фишов А. Г. Технологическое решение проблемы регулирования напряжения в распределенной энергетике / А. Г. Фишов, И. Л. Клавсуц, М. В. Хайруллина, Д. А. Клавсуц, А. Б. Клавсуц // Вестник ЮУрГУ. Серия "Энергетика" – 2016. – Т. 16, – № 3. – С. 41-48.
3. Рейнгольд Э. Комбинаторные алгоритмы. Теория и практика / Э. Рейнгольд, Ю. Нивергельд, Н. Део. // Пер. с англ. – М.: Мир, 1980. – 478 с.
4. Hoshen J. Percolation and cluster distribution. I. Cluster multiple labeling technique and critical concentration algorithm. / J. Hoshen, R. Kopelman // Physical Review, 1976, В 14(8), pp. 3438-3445.
5. Попова С. Н. Закон нуля или единицы для случайных подграфов некоторых дистанционных графов с вершинами в  $Z_n$  / С. Н. Попова // Математический сборник. – 2016. – Т. 207. – № 3. – С. 153-174.
6. Percolation threshold [https://en.wikipedia.org/wiki/Percolation\\_threshold](https://en.wikipedia.org/wiki/Percolation_threshold) (дата обращения: 10.06.2021).

## ABOUT THE POSSIBILITIES OF USING THE THEORY OF PERCOLATION IN THE ANALYSIS OF DISTRIBUTION ELECTRIC NETWORKS

© 2021 Yu. A. Klimenko, A. P. Preobrazhenskiy

*Voronezh Institute of High Technologies (Voronezh, Russia)*

*The paper discusses the features of the models formed on the basis of the percolation theory and discusses the possibilities of their application in the analysis of electrical distribution networks.*

*Keywords: percolation, electrical distribution network, control.*