

**ВЕРОЯТНОСТНО-АЛГЕБРАИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
МНОГОСВЯЗНОЙ СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ БОЛЬШОЙ РАЗМЕРНОСТИ**

Данная статья посвящена одной из самых больших и сложных задач в энергетике – обеспечению надежности работоспособности электроэнергетических систем. Рассматривается пример получения вероятностных количественных параметров надежности параметризованных моделей электроэнергетических систем различного вида структуры, на основании разработанного математического и алгоритмического программного обеспечения.

Многосвязные сетевые структуры рассматриваются как единое целое, включающее совокупность изменяющихся элементов, которые характеризуются следующими свойствами:

1. Каждый элемент структуры содержит произвольное число направленных связей с другими элементами (или ссылок на другие элементы).
2. С каждым элементом может связываться произвольное число других элементов (т. е. каждый элемент может быть объектом ссылки произвольного числа других элементов).
3. Каждая связь в структуре имеет не только направление, но и вес.

Многосвязная сетевая структура эквивалентна взвешенному ориентированному графу общего вида. Так, например, электроэнергетические сети в электроэнергетике, сети автомобильных дорог, компьютерные сети в информатике и многие другие объекты представляются в виде больших сетевых структур и поэтому совершенно оправданно применение методов теории графов к моделированию и исследованию характеристик этих разнообразных сетевых структур.

Одной из действующих методик оценки вероятностных характеристик надежности многосвязных структур с множеством входов и выходов, представленных в виде графов, является расчет надежности систем, разработанный в рамках вероятностно-алгебраического подхода и позволяющий оценить вероятностные характеристики показателей надежности системы по вероятностным характеристикам показателей надежности её элементов [1].

Графом задаётся структура системы. Связи между элементами многосвязной сетевой структуры задаются ребрами графа, количество которых изменяется при случайном характере взаимодействия элементов, что позволяет по установившимся состояниям исходных элементов определить вектор возможных состояний системы и их вероятности. Они позволяют судить об изменении надёжности системы в процессе её эксплуатации, определять режим её безотказного функционирования и стратегию динамического управления параметрами надёжности элементов. То есть в результате расчетов можно сделать заключение о том будет ли система работать и оценить вероятность надёжной работы.

При оценке надежности многосвязной сетевой структуры, представленной графом, следует помнить, что выбрано в качестве структурных элементов: ребра или вершины. При этом возможны две схемы формализации: «элементы-вершины» и «элементы-ребра».

На основании применения методологии вероятностно-алгебраического моделирования был написан программный комплекс для оценки надёжности многосвязной сетевой структуры. Работу программного обеспечения можно продемонстрировать на примере (рисунок 1).

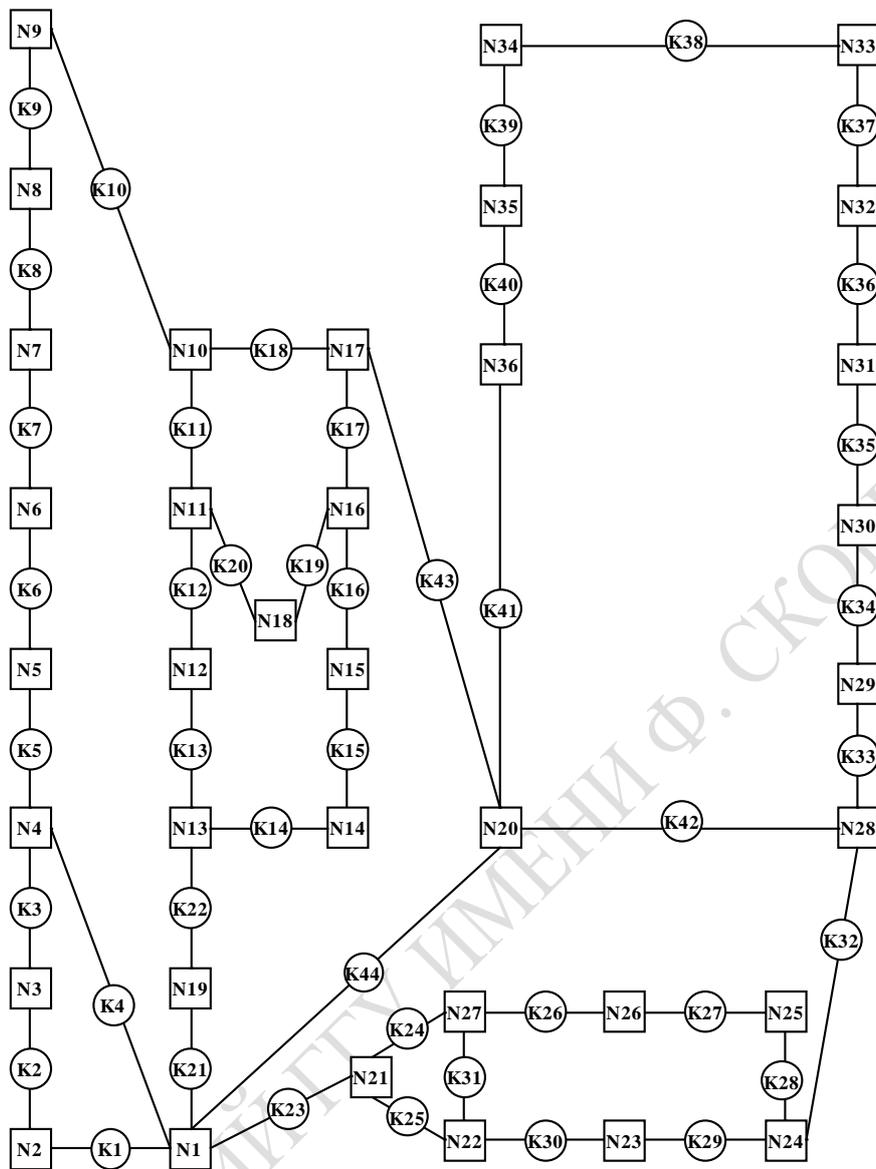


Рисунок 1 – Граф электроэнергетической сети района Гомельской области

В качестве объекта исследования была выбрана электроэнергетическая сеть одного из районов Гомельской области. Путем замены структурных элементов электроэнергетической сети на графические примитивы и используя теорию вероятностного моделирования, имеем граф представленной на рисунке 1, который имеет 36 вершин, 4 из которых являются терминальными и описывают следующую систему, то есть $N = \{N_v\}, v = \overline{1,36}, K = \{K_i\}, i = \overline{1,44}$. Система формализуется как четырехполюсник. Она имеет два входа $N_1, N_2 \in N$ и два выхода $N_3, N_4 \in N$.

В виду того, что представленная модель электроэнергетической системы является примером, позволяющим продемонстрировать возможности разработанного математического аппарата, исходные данные (значения векторов) были выбраны в рабочей точке области параметров элементов, выделенных в процессе формализации объекта исследования (таблица 1).

Решалась задача оценки надёжности электроэнергетической системы, функционирующей в условиях риска и неопределенности, по структурным элементам (трансформаторам и т. п.).

Таблица 1 – Показатели надежности элементов электроэнергетической системы

Элемент электроэнергетической системы	Вероятностный показатель характеристики работоспособности	Вероятностный показатель характеристики отказа
Трансформатор обмоточный	0,9000	0,1000
Разъединитель заземляющий	0,8985	0,1015
Разъединитель	0,8970	0,1030
Автотрансформатор	0,8745	0,1255
Потребитель электроэнергии 1–10	0,8730	0,1270
Линия электропередачи подземная	0,8625	0,1375
Линия электропередачи воздушная	0,8910	0,1090

В качестве характеристик надёжности элементов при оценке надёжности организации участков электроэнергетической системы учитывались вероятности отказов, возникающих в ходе передачи электроэнергии. В результате проведения серии экспериментов с использованием разработанного программного обеспечения были получены результирующие значения векторов вероятностей состояний надёжности электроэнергетической системы, формализованной в виде структуры-четырёхполюсника (таблица 2). В качестве элементов структуры были рассмотрены объекты, представленные в таблице 1, которым при формализации были поставлены в соответствие рёбра графа модели.

Таблица 2 – Вероятностные оценки результирующих состояний графа модели электроэнергетической системы, формализованной в виде четырехполюсника

Состояния системы	Вероятностные оценки	Состояния системы	Вероятностные оценки	Состояния системы	Вероятностные оценки
S1	6,75796890258788E-6	S6	0,00246567871856689	S11	4,23908958435058E-5
S2	4,23908958435058E-5	S7	0,0002659065284729	S12	0,0002659065284729
S3	4,23908958435058E-5	S8	4,23908958435058E-5	S13	0,12246567871856689
S4	4,23908958435058E-5	S9	0,0002659065284729	S14	0,12246567871856689
S5	4,23908958435058E-5	S10	0,00246567871856689	S15	0,74907846219635

При высоких значениях вероятностей показателей надёжности элементов электроэнергетической сети, наибольшую вероятность имеет последнее состояние системы S15, описывающее вариант, при котором четыре терминальные вершины соединены. Среди остальных состояний наибольшую вероятность имеют состояния S6, S10, S13 и S14. Остальные состояния надёжности электроэнергетической системы маловероятны.

Предложенная методика расширяет свойство прогностичности моделей структурно-сложных систем, формализуемых в виде ненаправленных графов с несколькими входами и выходами. Оценка надёжности ориентированных графов, формализованных как «элементы-ребра» позволяет решать задачи оценки вероятностных характеристик надёжности электроэнергетических систем на основе вероятностных состояний их элементов; получения, обоснования и оптимизации различных проектных, эксплуатационных и управленческих решений на основе результатов расчёта.

Литература

- 1 Сукач, Е. И. Вероятностно-алгебраическое моделирование сложных систем графовой структуры / Е. И. Сукач. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2012. – 224 с.
- 2 Бужан, М. А. Анализ надёжности варианта организации электроэнергетической системы на основе вероятностного моделирования / М. А. Бужан // XLIV студенческая научная конференция «Дни студенческой науки», май 2015 г., ГГУ им. Ф. Скорины. – 2015. Ч. 1. – С. 56.