

Н.А. КУРЧАТОВ, студент гр. ЭАм-241 (КузГТУ)

Ю.Д. КУРЧАТОВА, студент гр. ЭАМ-241 (КузГТУ)

Научный руководитель Р.В. КОТЛЯРОВ, к.т.н., доцент (КузГТУ)
г. Кемерово

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ СЕТЕЙ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ГРАФОВОЙ ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ

Введение

В [1] поднята проблема определение места возникновения аварии для участков СЭС напряжения 0,4 и 6(10) кВ, для которых характерна низкая низкая наблюдаемость. В качестве пути решения данной проблемы предложено применение вероятностного анализа для определения состояния ненаблюдаемого электрооборудования (ЭО).

Суть метода заключается в следующем: на основе общей информационной модели сети (CIM) [2] строится граф связности (причинности) G , каждому узлу которого соответствует единица или группа ЭО, для которых из внешних источников известны априорные вероятности отказа $Q(X_g | r)$. Например, источником сведений могут служить, системы управления производственными активами (СУПА) и техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР).

Каждый узел графа X (представлен на рисунке 1) может иметь n входов и m выходов.

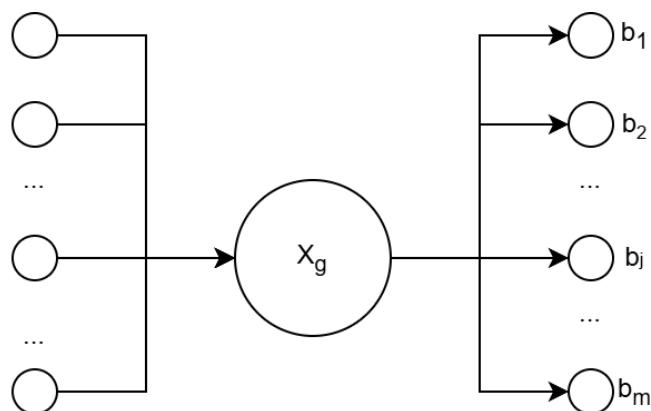


Рис. 1. Узел графа электрических связей X : a_i – входы, b_j – выходы узла

Вычислив апостериорная вероятность отказа каждого узла в зависимости от вероятностей состояния соседних питающих (входов) и питаемых (выходов) узлов $Q(X_g|AB)$.

Построение графа

Для сетей 0,4 и 6(10) кВ в продолжительном режиме работы характерна древовидная топология графа электрических связей с нескольким источниками питания. Электрическая связь имеет направление от источника к потребителям.

Таким образом граф связности (причинности) G является ациклическим, направленным и простой каузальной байесовской сетью (ПКБС) [3]. Простота сети заключается в том, для последовательных ветвей вероятность отказа (обесточивания) узла при отказе (обесточивании) родительских узлов $Q(X_g|\underline{\text{par}}(X_g)) = 1$.

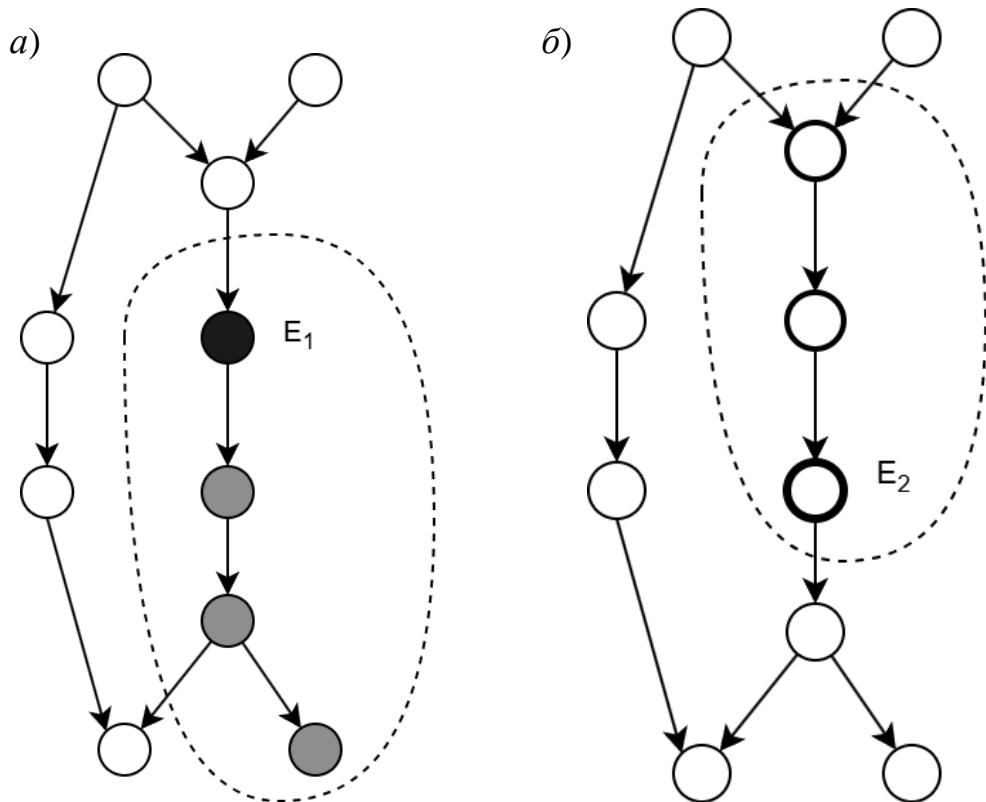


Рис. 2. Пропагация свидетельства обесточивания (a),
наличия напряжения (б)

Будем называть свидетельствами E заведомо известные состояния узлов: $Q(E) = 0$ – есть напряжение, $Q(E) = 1$ – обесточен. Тогда для ПКБС характерна пропагация (или «продление») вероятности вдоль ветви S_E , содержащей узел, где зафиксировано свидетельство. Для обесточенного состояния в сторону потомков до узла имеющего предков не принадле-

жащих S_E , для $Q(E) = 1$ до узла из числа предков, имеющего более, чем одного родителя. Наглядно пропагация представлена на рисунке 2.

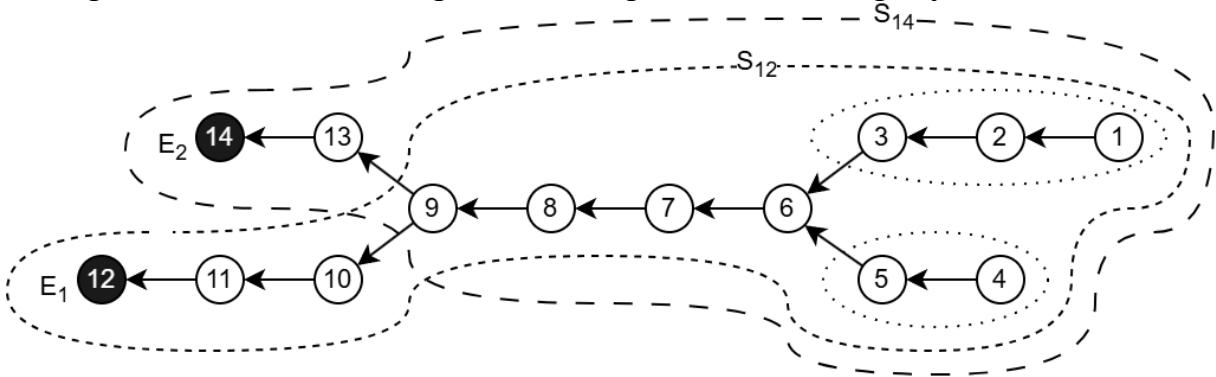


Рис. 3. Формирование ветвей графа для расчета апостериорная вероятность отказа каждого узла

Для остальных узлов необходимо определять апостериорная вероятность отказа. Поскольку основной задачей является поиск отказавшего узла целесообразно рассматривать восходящие ветви свидетельств.

Тогда для любого узла X_i принадлежащего S_E апостериорная вероятность отказа:

$$Q(X_i \in S_E | E) = \frac{Q(X_i \in S_E) \cdot R}{Q(S_E)}, \quad (1)$$

где $Q(X_i \in S_E)$ – априорная вероятность отказа узлов ветви; $Q(S_E)$ – вероятность отказа ветви; R – коэффициент ветвления.

Вероятность отказа ветви равна:

$$Q(S_E) = 1 - \prod \left(1 - Q(X_i \in S_E, X_i \notin Z_j) \right) \cdot \prod (Z_j \in S_E) Q, \quad (2)$$

где $Q(X_i \in S_E, X_i \notin Z_j)$ – априорная вероятность отказа узлов не входящих в подветви; $Q(Z_j \in S_E)$ – вероятность отказа подветвей.

Апостериорная вероятность отказа каждого узла при нескольких свидетельствах:

$$Q(X_i | E_k) = 1 - \prod_k (1 - Q(X_i \in S_E | E_k)), \quad (3)$$

где $Q(X_i \in S_E | E_k)$ – априорная вероятность отказа узлов ветви S_E при k -том свидетельстве.

Список литературы:

1. Курчатова Ю., Курчатов Н. Снижение ущерба от отказов в сетях энергоснабжения за счет логико-вероятностного анализа // XIV Все-российская научно-практическая конференция молодых ученых «РОССИЯ МОЛОДАЯ». – 2022. – URL: <https://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/RM/2022/RM22/pages/Articles/021311.pdf>. (дата обращения: 15.10.2025).

2. ГОСТ Р 58651.9-2023. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Информационная модель электроэнергетики. Схемы электрических соединений электроэнергетических систем и объектов электроэнергетики [Текст] : национальный стандарт Российской Федерации : утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 1 марта 2023 г. № 553-ст: Дата введения 2023-04-01. – URL: <https://protect.gost.ru/document1.aspx?control=31&baseC=6&page=0&month=10&year=2024&search=58651&id=245346> (дата обращения: 15.10.2025).

3. Литвиненко, Н.Г., Литвиненко, А.Г., Мамырбаев, О.Ж., Шаяхметова, А.С. Работа с Байесовскими сетями в BAYESIALAB. – Алматы: ИИВТ, 2018. – 311 с.

4. Методика оценки вероятности отказов основного электросетевого оборудования с учетом его технического состояния / Р. Бердников [и др.] // Сборник научно-технических статей сотрудников Группы компаний «Россети». – Москва : «ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ. Передача и распределение», 2017. – С. 151–163. – URL: <https://eepir.ru/release/sbornik-nauchno-tehnicheskikh-statey-sotrudnikov-gruppy-kompaniy-rosseti-yanvary-fevraly-2017/>(дата обращения: 15.10.2025).

Информация об авторах:

Курчатов Николай Александрович, студент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, kurchatov_na@ke.rosseti-sib.ru

Курчатова Юлия Дмитриевна, студент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, kurchatovajud@yandex.ru

Котляров Роман Витальевич, к.т.н., доцент, КузГТУ, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28, kotlyarovrv@kuzstu.ru