

УДК 338.45:621.311 (470.345)

АТАЕВ З.А., доктор географических наук, доцент,
профессор кафедры экономики и финансов (РГУ им. С.А. Есенина),
г. Рязань

ТОПОЛОГИЧЕСКИЕ ДЕФЕКТЫ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Надежность электроснабжения — важное условие для социально-экономического развития любой страны и региона. Для реализации этого условия необходимы капиталоемкие затраты (генерация, сеть), а также оптимизация территориальной организации энергосистемы. Пространственная оптимизация предполагает выявление и последующую ликвидацию сетевых топологических дефектов.

Топологический дефект — это либо отсутствие в сети важных структурных элементов и компонентов, без которых уровень сложности сети понижен, либо такие нарушения элементов (компонентов) сети, которые снижают уровень её надежности. [3, с. 287]

Цель работы — выявление топологических дефектов энергосистемы Кемеровской области и обоснование механизмов их нивелирования.

Ранее автором настоящей статьи был выявлен остов циклической электрической сети Кемеровской области. [1] По специфике начертания питающей сети было выделено две специфичные зоны: циклических (замкнутый контур) и разомкнутых ациклических сетей (см. рис. 1). Отметим, что функциональные свойства сети имеют существенное значение.

Технологически при разрыве сетевого ребра в цикле (в случае аварии или сбоя) снабжение можно компенсировать запиткой по другому ребру (центру питания). Отсюда свойство циклических (замкнутых) сетей, относительная надежность системы энергоснабжения. Зона циклов оконтуривает ареал наибольшего социально-экономического освоения территории. Рисунки питающей сети прямо соответствуют конфигурации региональной системы расселения и транспорта (занимает до 35% площади региона).

Несколько иная ситуация в ациклической зоне (сеть-дерево). Следствием разрыва сети (аварии или сбоя) становится полное обесточивание потребителей в операционной зоне обслуживания. В результате формируется зона с высокой уязвимостью надежности электрического снабжения на периферии региональной энергосистемы (т.е. примерно 65-70% площади). Априори это ареал не только низкой функциональной надежности, но и будущего роста (или наоборот, «затухания») масштабов сетестроительных работ. Вектор реального развития сетевых процессов зависит от специфики социально-экономического развития территории.

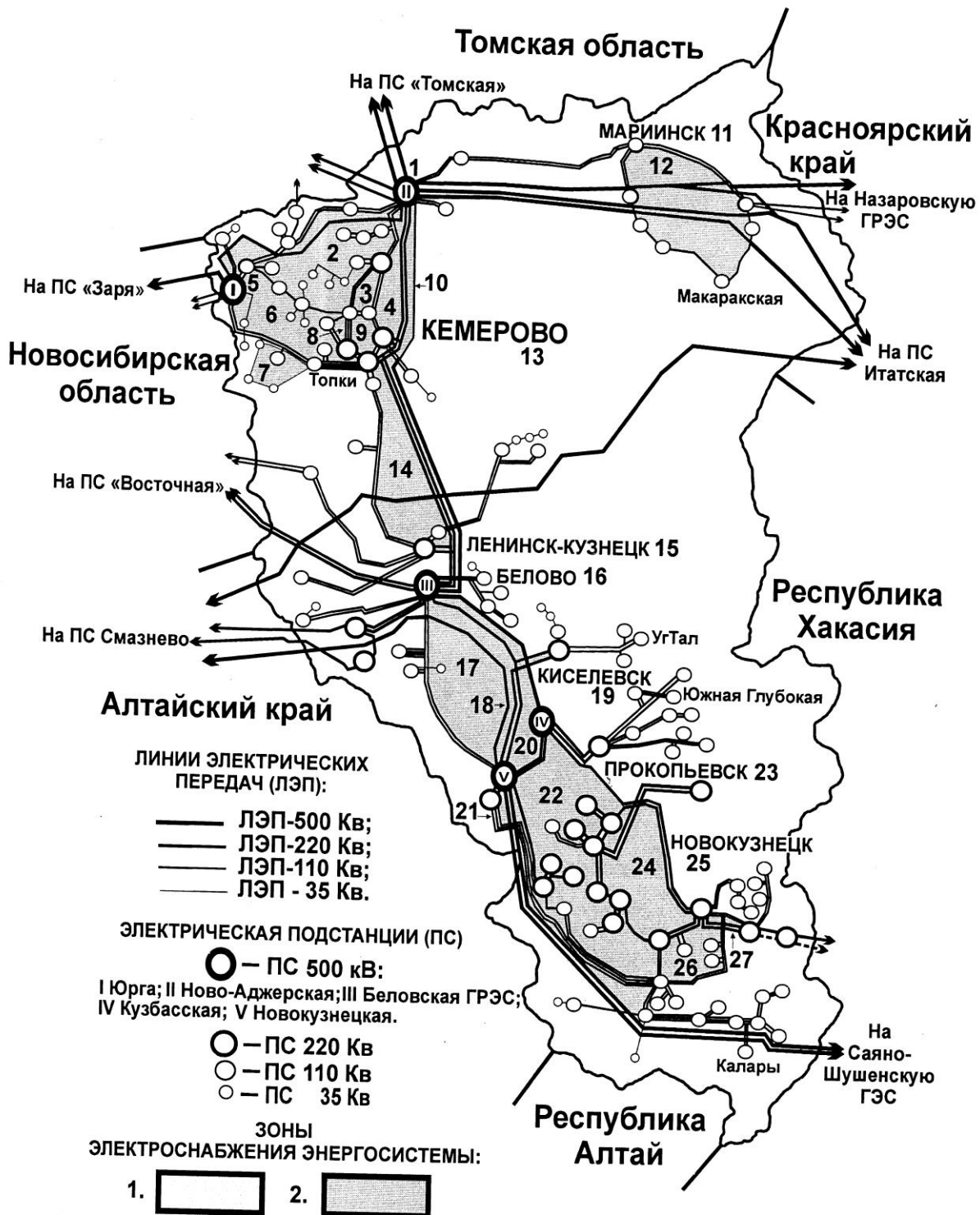


Рисунок 1. Сетевая структура энергосистемы Кемеровской области по надежности электроснабжения [1].

Зоны электроснабжения энергосистемы:

1. Зона ациклических электросетей; 2. Зона циклических электросетей.

Примечание. Системообразующую сеть составляют подстанции и сети напряжением ≥ 220 кВ. На схеме нет подстанций 220 Кв в черте крупных городов. Не представлены также тяговые подстанции, принадлежащие ОАО РЖД (50 единиц) и находящиеся в черте крупных городов (151 единица). Распределительные сети используют низкое напряжение (0.4–6–10–35 кВ). Потенциал класса огромен и представлен выборочно (всего подстанций 35 Кв – 240 единиц).

Генерализация сетевого каркаса энергетического пространства Кемеровской области позволяет провести топоморфологическое расчленение и анализ сетевого каркаса питающей электросети (см. рис. 1).

В главном остова циклической сети энергосистемы не формируются топологические ярусы (всего суммарно 27 циклов). При этом остов включает и сетевые циклы крупных городских образований со своими питающими подстанциями (35-110 кВ): Анжеро-Судженск (цикл 1), Белово (16), Кемерово (13), Киселевск (19), Ленинск-Кузнецкий (15), Мариинск (11), Междуреченск (27), Новокузнецк (25), Прокопьевск (23), Юрга (цикл 5).

Конфигурация энергетического пространства осложнена наличием простого побочного остова из двух циклов (11-12). Однако, в отличие от классического варианта (один соединительный мост-дендрит с главным остовом), в данном случае связь представлена двухцепным дендритом. Зафиксировано наличие цикла-петля №7 (одна вершина сочленения с остовом).

Ациклические компоненты централизованной электросети (ветви-дендриты) по отношению к циклическим сетям представлены внутренними (внутри циклов), внешними (за пределами циклов), а также соединительным дендритом (случай с побочным остовом). В энергосистеме внутренние и внутренние дендриты представлены широко, но отсутствуют автономные компоненты сети (полностью изолированные части сети).

Рассмотрим топологические дефекты электрической сети Кемеровской области. В работе была использована классификация топологических дефектов сети сухопутных видов транспорта [3]. Случаев *несвязности* сети-деревья не выявлено, т.к. автономные компоненты питающей электрической сети отсутствуют.

В зоне ациклических сетей имеет место выраженность дефекта *«предцикл»* (незамкнутый цикл), для устранения которого необходимо замыкание в цикл (наращивание сети). Дефект больших *разветвленных внутренних дендритов* (в циклах №2, 22, 26) нейтрализуется включением дендрита в состав новых циклов (дробление). Отмечается также дефект *«длинный топологический мост»* для побочного остова (длинный соединительный дендрит). В этом случае выход из строя любого элемента моста приводит к разрыву сети и обесточиванию всей операционной зоны электроснабжения. Названный дефект устраняется формированием новых циклов вдоль трассы прохождения дендрита (т.е. резервированием).

В зоне циклических сетей сетевым дефектом являются крупные по площади *суперциклы* (№2, 6, 14, 17, 22, 24). В их основе — протяженные сети в одноцепном исполнении. Разрыв любого элемента цепи приводит к обесточиванию части цикла. Для ликвидации дефекта целесообразно раздробить цикл за счет наращивания питающей сети (35-110 кВ). Это должны быть ограниченные сетестроительные проекты по кратчайшему расстоянию, расположенные вдоль дорог на относительно плотно заселенной

территории. Представляется целесообразным дробить их с использованием внутренних дендритов.

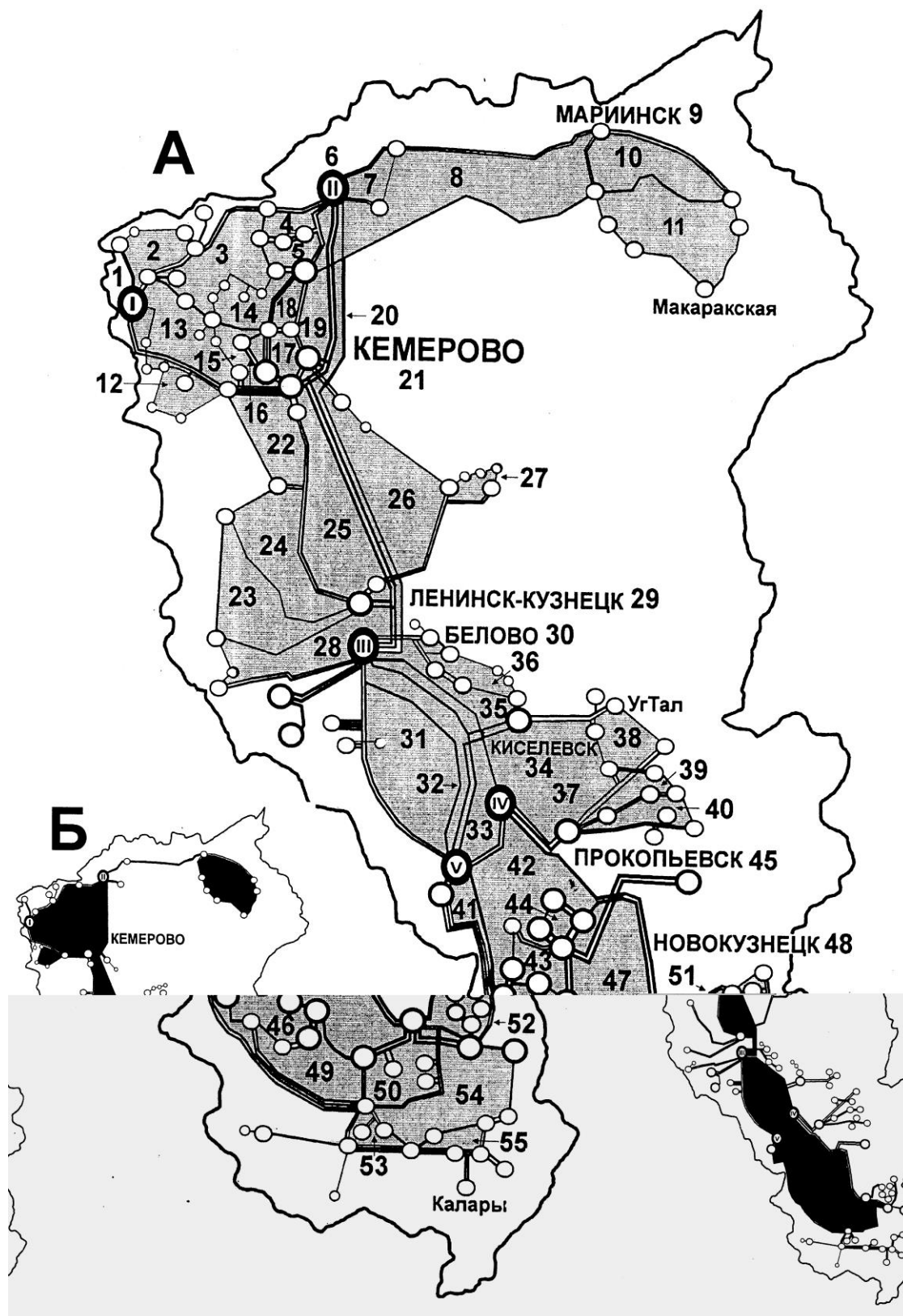


Рисунок 2. Топологическая модель энергосистемы Кемеровской области.
А — модель; Б — реальный вариант топологии сети (см. рис. 1).

Дефект образования *горловины* — чрезвычайно опасный дефект, который формируется в перегруженных сетевых центрах (горловина Ленинск-Кузнецк – Белово). Это узел концентрации межсистемных электрических потоков, который представляет собой фокус очень высокой нагрузки. В данном случае крайне необходимы резервирование и разгрузка сети. Сбой или авария в таких системных узлах могут запустить процессы каскадного разрушения энергосистемы. Для устранения дефекта необходимо наращивать горловину новыми циклами (т.е. производить резервирование).

Следующим дефектом является *изрезанность формы остова* с далеко выходящими наружу циклами (№1-10, 17-20, 24), что нарушает монолитность остова и свидетельствует о ее топологической незавершенности. Отсутствие рядом иных циклов повышает тяжесть последствий в случае аварии. В качестве мер нейтрализации дефекта необходимо округлить форму; сгладить выступы можно, если заполнить клинья за счет новых циклов. Целесообразно широкое использование наличных дендритов всех форм.

При ликвидации топологических дефектов невозможно будет избежать определенного объема сетестроительных работ. Однако объемы эти не столь масштабны и затратны в сравнении с эффектом роста надежности энергоснабжения. Логичны и меры взаимосвязанной ликвидации дефектов в циклах и в дендритах. В ходе трассирования сетевых маршрутов необходимо учесть реальную топологию электросети [5] и одновременно вести визуальное сопровождение по спутниковой карте [6]. Такой подход в модели позволяет учесть как реальную топологию потенциала питающей сети, так и жестко лимитирующие факторы местности (реки, редкая заселенность, отсутствие дорог).

В модельном варианте пространственной оптимизации энергосистемы меняется нумерация сетевых циклов (см. рис. 2А). Резервирование побочного остова реализуется посредством сооружения новой ЛЭП 110 кВ — от ПС Крохалевская (220 кВ) до ПС Чибулинская (110 кВ). Сетевой маршрут проходит вдоль автодороги Р-255 федерального значения «Сибирь» (примерно 160 км по трассе) [2]; тем самым ликвидируется и дефект длинного топологического моста (цикл №8), а также формируется новый цикл за счет дробления крупного суперцикла (№9-11). Цикл-петля нивелируется благодаря замыканию внешнего дендрита и образования нового цикла (№12-13).

Суперциклы раздроблены за счет использования внутренних дендритов и незначительного наращивания питающей сети (35-110 кВ). Предциклы замыкаются и образуются новые циклы (№2, 22, 24-28, 36-40, 51-53). За счет этих мер частично нивелируется дефект горловины. Как следствие всех новообразований, форма изрезанности остова смягчается.

Суммарное число циклов в остоле удваивается (55 цикла), что меняет начертание энергетического пространства Кемеровской области (рис. 2Б). Зона циклических сетей расширяется, занимая почти 50% площади региона; кратно растет и ареал относительно надежного энергоснабжения. Одновременно из анализа новой морфологии энергосистемы вытекает вывод о рецидиве формирования новых топологических дефектов.

Топология сети схожа с живым организмом: ему присущи «пульсации» с разным знаком эволюции, т.е. упрощение или усложнение структуры. В рассматриваемом нами случае произошло усложнение системы, вследствие чего неизбежны новые топологические дефекты. Процесс их возникновения всегда происходит в ходе всей эволюции энергосистемы, где можно выделить два пространственных уровня эволюции. Сначала она протекает «вширь» по горизонтали (до региональных границ). Настоящий модельный вариант относится именно к этому этапу незавершенной эволюции сети. Последующая пространственная эволюция ориентирована «вглубь» по вертикали (в рамках отдельных циклов и локального уровня). Следовательно, в данном случае очевиден большой задел для научного поиска и перспективного моделирования. Как известно, идеальной не бывает ни одна сложная система.

Список литературы:

1. Атаев З.А. Надежность энергоснабжения Кемеровской области Сборник материалов заочной VI Международного молодежного форума, 16-17 ноября 2022 г., г. Кемерово [Электронный ресурс] / ФГБОУ ВО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева». Отв. ред. М.И. Баумгартэн, Т.В. Галанина – Кемерово, 2021. С. 402.1-402.6.
2. Атлас автодорог: Россия и сопредельные государства. Минск: Тривиум, 1996-2002. – 184 л.
3. Тархов С.А. Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск–Москва: Изд-во «Универсум», 2005. 384 с.
4. Схема и программа перспективного развития электроэнергетики Кемеровской области – Кузбасса 2021-2025 годы. [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.docs.yandex.ru/ako.eru/upload...> Кемеровской области 2021-2025. pdf 2. (дата обращения 25.01.2023).
5. Схема ЛЭП и электроснабжения России (актуальность данных январь 2022 г.) [электронный ресурс]. Режим доступа: [https:// www.freosm.ru](https://www.freosm.ru) (дата обращения 30.01.2023).
6. Спутниковая карта онлайн: Image © 2012 DigitalGlobe, Inc., © ООО ИТЦ «СКАНЭКС» (дата обращения 30.01.2023).