

СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*Каркоцкий Д.В., Малашин А.Н.
Военная академия Республики Беларусь*

В настоящее время важное место в стратегии развития электроэнергетики занимают автономные системы электроснабжения (АСЭС). В последнее время АСЭС получают все более широкое распространение в системе электроснабжения не только специального, но и общего применения. Указанные системы используются почти во всех областях народного хозяйства. Области применения таких систем охватывают различного рода электроагрегаты (стационарные, передвижные) и управляемые электромеханические системы (строительно-дорожные, транспортные, генераторы, которые работают на статические преобразователи частоты и электромашинные агрегаты), системы бесперебойного питания ответственных потребителей, в том числе современных вычислительных комплексов. Структура таких систем электроснабжения и состав источников электроэнергии определяются как общими требованиями, предъявляемыми к системам электроснабжения любого назначения, так и специальными требованиями, характеризующими особенности электроснабжения конкретных объектов.

Однако, источники электроэнергии автономных систем электроснабжения наряду с очевидными достоинствами имеют и значительные недостатки, основные из которых – высокий расход топлива на выработку 1 кВтч электроэнергии и большая масса АСЭС.

Основным способом улучшения технических показателей АСЭС является выбор источников и преобразователей электроэнергии с улучшенными эксплуатационно-техническими характеристиками из совокупности известных технических решений, выходные параметры которых удовлетворяют требованиям потребителей. Однако, такие структуры АСЭС в комплексе могут быть не оптимальными, с точки зрения их критериев эффективности (масса АСЭС, расход топлива и т.п.).

В основе ранее отмеченных недостатков систем электроснабжения лежит отсутствие научно обоснованных методик оптимизации АСЭС, что не позволяет разрабатывать системы электроснабжения требуемого качества, обосновывать требования для разработки АСЭС, которые позволят улучшить основные показатели объектов, в состав которых входят АСЭС, за счет внедрения новых технологий в электроснабжении.

В настоящее время существует большое количество работ, связанных с определением оптимальной структуры различных технических объектов. Однако данные работы невозможно напрямую применить к задаче синтеза структуры АСЭС. Поэтому существует острая необходимость проведения структурного синтеза АСЭС по выбранному критерию эффективности.

Как правило, показатели критерия эффективности (капиталовложения, эксплуатационные затраты и удельные затраты на единицу мощности) являются основными при проектировании АСЭС. Значение этих показателей значительно увеличивается, если к системе предъявляются повышенные требования к бесперебойности электроснабжения, показателям надежности функциональных элементов, качеству электроэнергии, КПД и массогабаритным показателям.

Критерий эффективности, оцениваемый массогабаритными показателями, охватывает, как установленную массу и объем функционального элемента, узла, блока, подсистемы, системы, так и удельную их массу, а также объем, на единицу установленной мощности. Для транспортных АСЭС важным показателем является масса топлива. Минимизация массогабаритных показателей транспортных АСЭС является приоритетным критерием в их разработке. В результате вышесказанного при решении задачи повышения технической эффективности АСЭС в качестве критерия эффективности принят комплексный показатель «по-

ходная масса», в котором учитывается, как суммарная масса устройств АСЭС, так и масса топлива, расходуемого за цикл функционирования технического объекта.

В результате проведенного анализа вариантов построения АСЭС составлена обобщенная графовая модель АСЭС (рисунок 1).

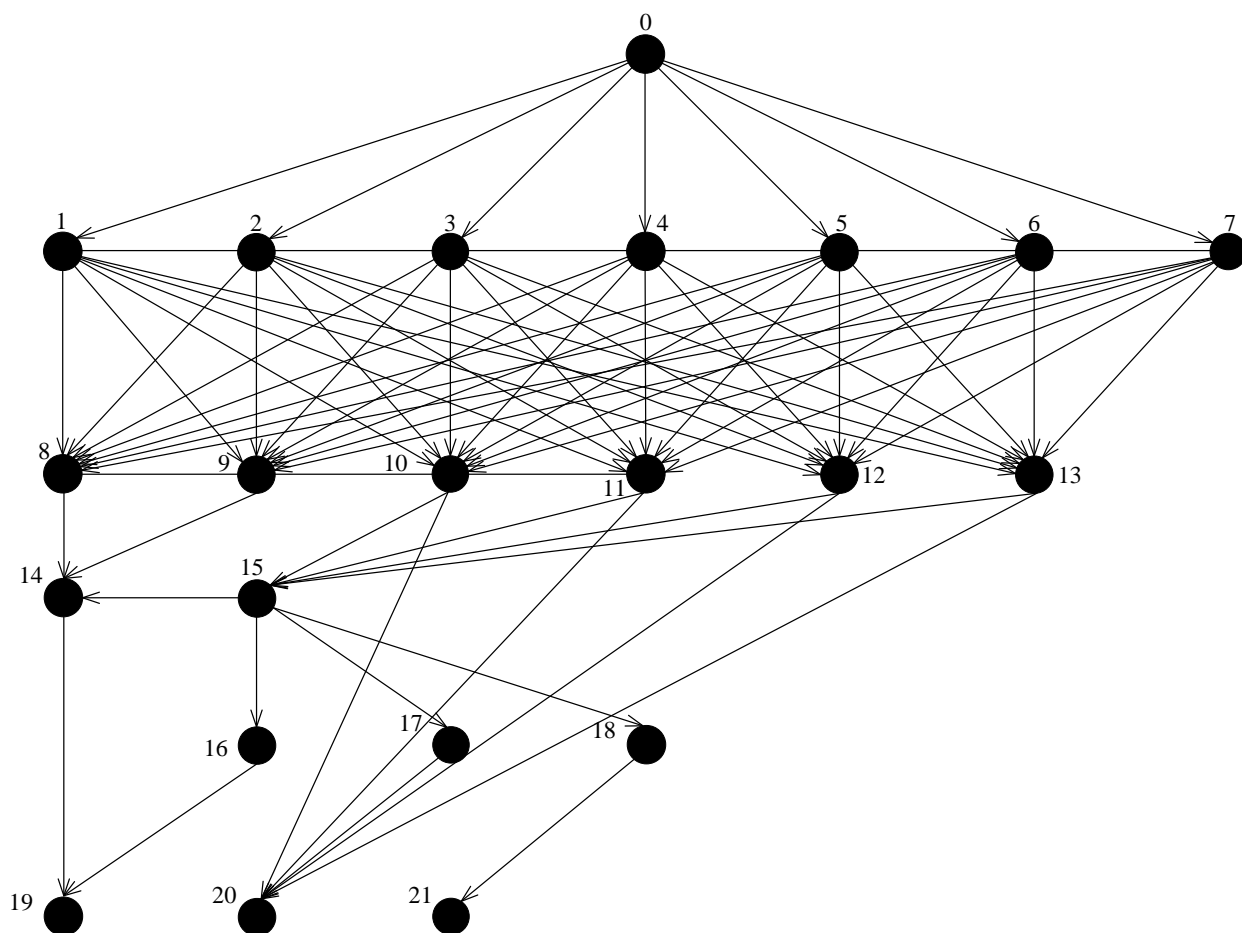


Рис. 1 – Обобщенная графовая модель АСЭС вида

Вершинами обобщенной графовой модели $G = (X_j, H_Q)$ являются функциональные узлы (таблица 1), а ребрами – виды энергии.

Для удобства решения оптимизационной задачи графовая модель $G = (X_j, H_Q)$ будет представлена в виде графовой модели $G = (S_Q, F_j)$, в котором вершины являются виды энергии, а ребрами графа являются функциональные узлы АСЭС (рисунок 2).

Графы удобны при описании любых структур САЭ, в том числе с многоступенчатым преобразованием электроэнергии. Графы кодируются матрицами инциденций (рисунок 3).

Таблица 1 – Вершины обобщенной графовой модели $G = (X_j, H_Q)$

Вершина графовой модели	Наименование технического устройства
x ₁	Бензиновый карбюраторный двигатель
x ₂	Бензиновый инжекторный двигатель
x ₃	Бензиновый двигатель с непосредственным впрыском топлива
x ₄	Дизельный двигатель
x ₅	Дизельный двигатель с турбонаддувом
x ₆	Газовый двигатель
x ₇	Газотурбинный двигатель
x ₈	Коллекторный генератор постоянного тока
x ₉	Бесколлекторный генератор постоянного тока
x ₁₀	Синхронный генератор с электромагнитным возбуждением
x ₁₁	Синхронный генератор с магнитоэлектрическим возбуждением
x ₁₂	Синхронный генератор с самовозбуждением
x ₁₃	Асинхронный генератор с самовозбуждением
x ₁₄	Зарядно-распределительное устройство
x ₁₅	Активный выпрямитель (400В)
x ₁₆	Преобразователь постоянного напряжения(400В > 12/24В)
x ₁₇	Инвертор тока (380В 50Гц)
x ₁₈	Инвертор тока (380В 400Гц)
x ₁₉	Электроэнергия (12/24В)
x ₂₀	Электроэнергия (380В 50Гц)
x ₂₁	Электроэнергия (380В 400Гц)

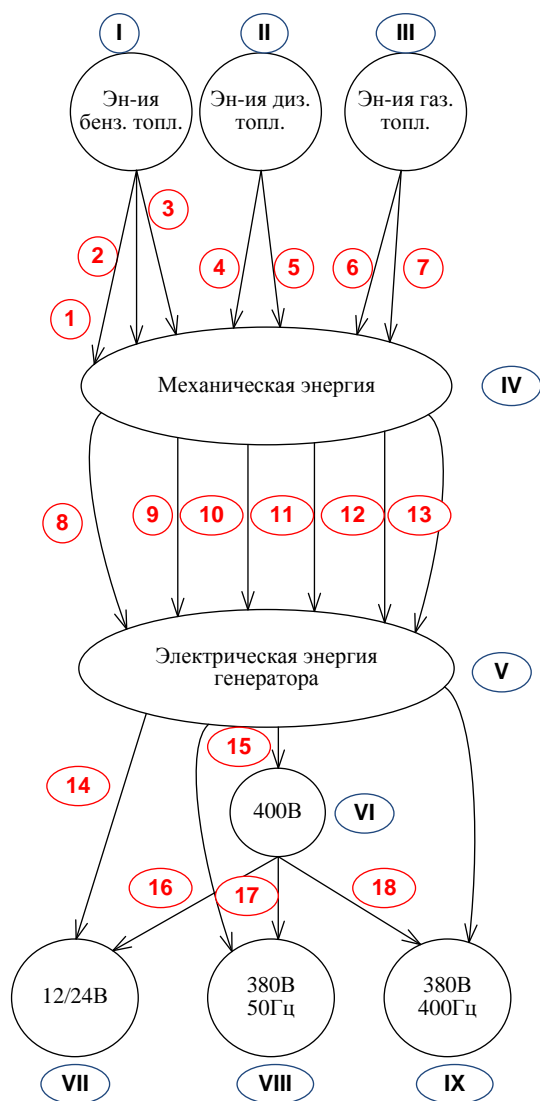


Рис. 2 – Обобщенная графовая модель АСЭС вида $G = (S_Q, F_j)$

Incidence matrix for the graph model. The matrix is a 3D grid with rows labeled I, II, III, IV, V, ... and columns labeled 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, ... The values are -1, 0, or 1.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...
I	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0
II	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
III	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IV	1	1	1	1	1	1	-1	-1	-1	-1	-1
V	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1
...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 3 – Матрица инцидентий графовая модель АСЭС вида $G = (S_Q, F_j)$

В виду существования большого разнообразия вариантов структур АСЭС необходимо определить оптимальное количество и типы энергетических каналов, совокупность структурных элементов АСЭС.

Формализация задачи.

Обозначим:

количество энергетических каналов СЭС автономных ОБ и ВТ (электроагрегатов) составляет $w=1,2,\dots,z$;

$$m_{ACЭС} = \sum_{w=1}^z \left(\sum_{i=1}^n \Delta m_{\partial i} \cdot P_{номi} + \sum_{j=1}^m \Delta m_{\zeta j} \cdot P_{номj} + \sum_{k=1}^p \Delta m_{нэ k} \cdot P_{номk} + m_{Тик} \right) - \text{удельная массы СЭС ав-}$$

тономных ОБ и ВТ;

где $i=1,2,\dots,n$ – вариант приводного двигателя;

$j=1,2,\dots,m$ – вариант генератора;

$k=1,2,\dots,p$ – вариант преобразователя электроэнергии;

$\Delta m_{\partial}, \Delta m_{\zeta}, \Delta m_{нэ}$ – удельные массы приводных двигателей, генераторов и преобразователей электроэнергии соответственно;

$m_{Тик}$ – масса потребляемого топлива за установленное время работы;

$P_{ном}$ – номинальные мощности приводных двигателей, генераторов и преобразователей электроэнергии соответственно.

Ограничения задачи:

1. Общая мощность СЭС автономных ОБ и ВТ должна быть больше максимально потребляемой мощности нагрузкой.
2. Энергетический канал АСЭС должен представлять собой отдельный электроагрегат.

$$\begin{cases} \sum_{w=1}^z P_{ni} \geq P_{треб} \\ i = j = k = w \end{cases}$$

Задача оптимизации структуры СЭС автономных ОБ и ВТ имеет следующую постановку: определить минимум целевой функции в виде удельной массы СЭС автономных ОБ и ВТ:

Математическая модель задачи:

$$F(\Delta m_{\partial}, \Delta m_{\zeta}, \Delta m_{нэ}, m_T) = \sum_{w=1}^z \left(\sum_{i=1}^n \Delta m_{\partial i} \cdot P_{номi} + \sum_{j=1}^m \Delta m_{\zeta j} \cdot P_{номj} + \sum_{k=1}^p \Delta m_{нэ k} \cdot P_{номk} + m_{Тик} \right) \rightarrow \min$$

при условии

$$\begin{cases} \sum_{w=1}^z P_{ni} \geq P_{треб} \\ i = j = k = w \end{cases}$$

Выражение (1) и система условий (2) является математической моделью задачи определения оптимального состава структуры СЭС автономных ОБ и ВТ в прямой постановке. Она относится к классу задач детерминированной, дискретной, однокритериальной оптимизации.

Для ее решения можно использовать программное обеспечение MS Excel или математические пакеты типа Mathcad, Matlab, Mathematica, Maple и др.