

ЭНЕРГЕТИКА

А. А. ЭТМЕКЧЯН

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ СХЕМ
СОБСТВЕННЫХ ПУЖД ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Комплексный подход к оценке эффективности технических решений с применением методов экспертных оценок позволяет по-новому решать такие задачи, как выбор структуры энергосистемы при планировании развития, определение оптимального состава энергоблоков при расширении энергообъединения, выбор главных схем электрических соединений схем собственных нужд (с. н.) электрических станций и др. [1]. В данной статье предлагается применение комплексной оценки для выбора оптимального варианта схем резервного питания с. н. энергоблоков тепловых электростанций.

По типовой схеме питания с. н., когда рабочий трансформатор подключен на ответвлении от генератора, не имеющего генераторного выключателя, резервное питание включают при следующих переходных эксплуатационных режимах блоков:

- пусках и остановах;
- простоях энергоблоков с сохранением питания группы потребителей с. н. для ревизии и опробования их;
- работе энергоблока с отключенным рабочим трансформатором с. н. ввиду повреждения последнего.

Таким образом, использование резервного питания с. н. связано как с предусмотренными — плановыми, так и с вынужденными случайными событиями.

Продолжительность работы энергоблоков в переходных эксплуатационных режимах возрастает в связи с тем, что на современном этапе развития электроэнергетики мощные конденсационные энергоблоки, спроектированные для работы в базисном режиме, привлекаются к покрытию переменной и низкой части графика нагрузки энергосистемы. Однако регулирование мощности энергосистем этим способом сопряжено с частыми пусками и остановами энергоблоков, т. е. продолжительность работы энергоблоков на резервном питании резко возрастает.

Резервное питание с. н. осуществляется разными вариантами схем, имеющими различную надежность. Схема резервного питания с. н. должна быть запроектирована так, чтобы при ограниченной (конечной) надежности ее элементов обеспечивалась оптимальная степень надежности в целом.

Оптимизация надежности с. н. может дать значительный эффект, т. е. повышение степени надежности сверх оптимальной связано с дополнительными капиталовложениями и эксплуатационными расхода-

ми, а снижение ее приведет к неоправданно большому народнохозяйственному ущербу от перерывов электроснабжения потребителей.

Для обеспечения указанной задачи рекомендуется проводить сопоставление технико-экономических показателей вариантов по [2], приняв в качестве критерия минимум приведенных затрат:

$$Z = H + P_n \cdot K_{с.п.} = \min,$$

где H —годовые издержки при данной схеме с. п.;

P_n —нормативный коэффициент эффективности (0,12);

$K_{с.п.}$ —капиталовложения в схему с. п.

При выборе схем резервного питания с. п. технико-экономический анализ, выполняемый на основе сравнения величины приведенных затрат, связан с рядом трудностей:

1. Отсутствие полных и достоверных исходных данных исключает возможность точной оценки величины приведенных затрат.

2. Во многих случаях величины приведенных затрат у различных рассматриваемых вариантов с. п. настолько близки, что из-за неточности расчетов или исходных данных невозможно однозначно определить optimum.

3. Важнейшие качественные требования, такие как удобство в эксплуатации и при ремонте, обеспечение самозапуска электродвигателей, частота коммутации, условия размещения и другие, невозможно отразить в величине приведенных затрат.

4. Иерархичность характера электроэнергетических систем. Так, требования объектов высшего уровня являются законом для объектов низшего уровня, а свойства вышестоящего объекта определяются свойствами нижестоящего. К высшему уровню можно, например, отнести энергосистему, а к низшему—станции и сети. В другом случае высшим будет станция или агрегат, а низшим—возбужденно, с. п., релейная защита и т. д. Следовательно, цели функционирования и проектирования объектов низшего уровня задаются, исходя из интересов объектов более высшего уровня.

Все вышесказанное, а также рекомендации [2] проводить в пределах зоны равной экономичности выбор вариантов исходя из дополнительной оценки тех качеств схем, которые не могут быть численно в стоимостном выражении, вызывают необходимость применения комплексного подхода к оценке схем с. п. Комплексная оптимизация технических решений на основе методов экспертных оценок позволяет получить количественный показатель эффективности вариантов выполнения схем с. п., при учете всех наиболее значимых требований.

Для оптимизации вопроса выбора варианта выполнения схем питания с. п. методом экспертных оценок необходимо четко сформулировать цели, которые нужно достигнуть при принятии решения в пользу какого-либо варианта. Они могут быть связаны со следующими требованиями:

- 1) максимум надежности;
- 2) обеспечение самозапуска ответственных потребителей с. п.;

- 3) минимум ущерба от неадекватности с. н.;
- 4) минимум приведенных затрат;
- 5) максимум удобств в эксплуатации и при ремонте.

Цели, их выбора и оценка важности (весомости) цели (v_i) решаются экспертами и зависят от уровня их знания исследуемого вопроса.

Количественные показатели первого, третьего и четвертого требований определяются соответствующими техническими расчетами, а второго и пятого — экспертным путем.

С точки зрения методики проведения опроса экспертов, в настоящее время наиболее совершенным считается метод Дельфи [3], который и принимается нами для исследования схем с. н. Характерные черты этого метода заключаются в следующем:

- ответы на поставленные вопросы обязательно должны содержать численную оценку;
- проводятся два-три тура опроса;
- после каждого тура все эксперты знакомятся с ответами других участников опроса, с обоснованиями этих ответов;
- перед началом работы экспертам дается вся необходимая информация о качественных и количественных требованиях и условиях эксплуатации.

Для определения весомостей (v_i) требований, предъявляемых к с. н., нами использован метод Черчмена-Акоффа [4]. Суть которого заключается в предварительном ранжировании требований и определении законов неравенств требований при последовательном сравнении важности каждого требования, начиная с наиболее важного, с суммой других.

Из системы таким образом составленных неравенств определяются весомости v_i ($i = 1, 2, \dots, n$).

Для каждого варианта схем с. н. необходимо определить оценку эффективности (e_{ik}) по отношению к каждому требованию. Оценка e_{ik} должна отражать степень достижения данного требования при осуществлении варианта k и дается в интервале от нуля до единицы. Комплексная оценка эффективности при выбранных требованиях определится выражением:

$$B = \sum_{i=1}^n e_{ik} v_i; \quad (2)$$

оптимальный вариант схемы резервного питания с. н. принимается тот, у которого оценка общей эффективности B имеет максимальное значение.

В качестве примера использования комплексного подхода с применением методов экспертных оценок, сравним три варианта схем резервного питания с. н. энергоблоков Ереванской ТЭЦ, приведенных на рисунках 1, 2 и 3. Примем, что приглашенные эксперты, подробно ознакомившись с поставленной задачей и ее условиями, предлагают перечень

требований (критериальных свойств), который после проведения двух туров опроса ранжируется в порядке важности в такой последовательности, как было записано выше. Наиболее важным требованием к с. и. принимается их надежность, вторым по важности — обеспечение самозапуска и т. д.

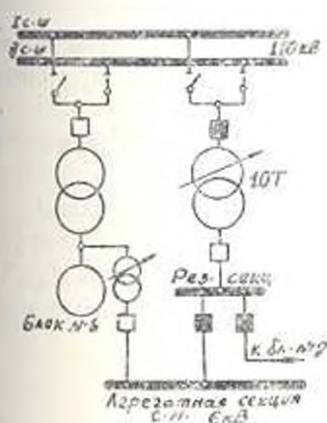


Рис. 1

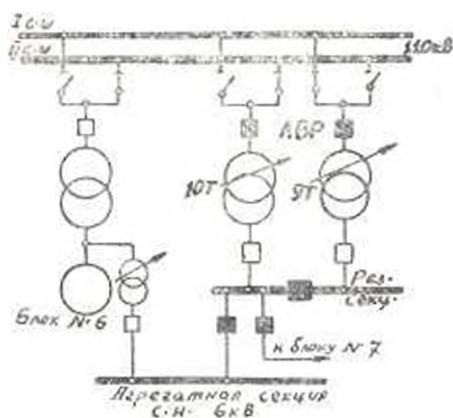


Рис. 2

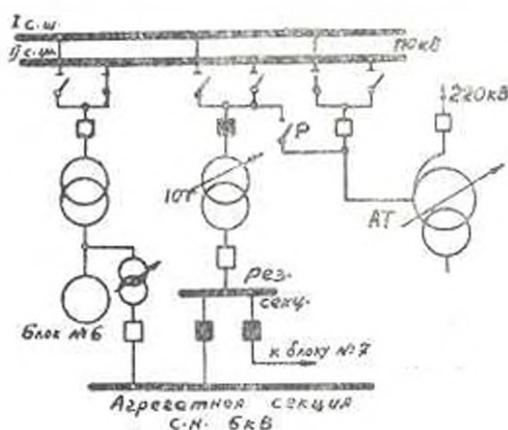


Рис. 3

Согласно изложенному, экспертами составляется ряд неравенств, решение которых совместно с уравнением

$$v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5 = 1$$

дает следующие оценки:

по максимуму надежности $v_1 = 0,15$;

по обеспечению самозапуска $v_2 = 0,21$;

по минимуму ущерба от недоотпуска электроэнергии $v_3 = 0,19$;

по минимуму приведенных затрат $v_4 = 0,10$;

по максимуму удобства в эксплуатации и при ремонте $v_5 = 0,05$.

Следует отметить, что специалисты, системы неравенств которых дают недопустимые расхождения со средними оценками, исключают из состава приглашенных экспертов. Однако при этом следует учесть, что число экспертов должно быть не меньше числа требований, входящих в критерий В, для достоверности их согласованности.

Для определения списков эффективности e_{ik} для первого, третьего и четвертого требований проводятся нижеследующие расчеты.

Определение надежности схем резервного питания с. и. производится методикой, использующей таблично-логический способ расчета, приняв в качестве показателей надежности:

1) вероятное среднее число аварий k -го вида, определяемое по формуле:

$$n_k = t_p \sum_{j=0}^m \sum_{i=1}^n q_j^i i_{ij} \quad (3)$$

2) среднее время восстановления питания секции с. и. после k -ой аварии, определяемое по формуле:

$$T_{r_{ik}} = \frac{t_p}{a_k} \sum_{j=0}^m \sum_{i=1}^n q_j^i i_{ij} T_{vij} \quad (4)$$

где t_p — расчетное время, которое, исходя из предполагаемого срока существования данной схемы с. и., следует принять равным пяти годам; q_j — относительная длительность каждого режима j ; i_{ij} — интенсивность отказов (повреждений) i -го элемента схемы в j -м режиме; T_{vij} — время восстановления нормальной работы при повреждении i -го элемента в j -м режиме.

Таблично-логический способ расчета позволяет учитывать конкретные режимы работы рассматриваемой схемы, нестационарность потока повреждений, отказы устройств релейной защиты и АВР, развитие аварий, плановые и аварийные ремонты оборудования рабочего и резервного питания с. и.

При выборе расчетных режимов станции следует пользоваться условием минимальности их числа n , поэтому, рассматриваются только те режимы, которые существенно отличаются от других по надежности.

Относительная длительность каждого режима определяется выражением:

$$q_j = \frac{\tau_j}{8760} \quad (5)$$

где τ_j — длительность j -го режима в часах; определяется по средним продолжительностям плановых и аварийных ремонтов.

За расчетные события $i=1, 2, \dots, n$ принимаются повреждения элементов схемы и отказы устройств РЗА и аппаратов, приводящие к авариям.

Сравниваемые схемы проанализированы с точки зрения вероятности появления следующих расчетных аварий:

потеря рабочего источника питания секции с. н. 6 кВ.

потеря резервного источника питания секции с. н. 6 кВ.

На основании приведенных данных для каждого варианта схемы составляются таблицы расчетных связей событий. Она представляет собой матрицу с числом элементов $(m+1) \times n$, в каждой клетке которой помещается номер k -ой аварии, к которой приводит отказ i -го элемента в j -м режиме. Из таблицы выписываются однообразные аварии и по формулам (3) и (4) определяются показатели надежности.

Предлагаемая методика надежности расчета позволяет определять математические ожидания указанных показателей надежности для двигателей и кратковременных погашений секции.

Среднее число аварий (a_k), приводящих к погашению секции с. н., и среднее время восстановления питания секции с. н. после аварии ($T_{вср}$) для указанных выше схем приведены в табл. 1.

Таблица 1

Показатель надежности	№№ схем		
	1	2	3
a_k	1,42	1,56	1,45
$T_{вср}$	46,6	4,0	4,18

Некоторое увеличение среднего числа аварий в схемах 2 и 3 по сравнению со схемой 1 объясняется увеличением количества оборудования на резервном питании секции с. н., а время восстановления после аварии в схеме 3 резко снижается благодаря действиям АВР.

Одинаковый порядок средних чисел аварий по вариантам подтверждает необходимость проведения оценки схем комплексным методом. Принимая в качестве критерия надежности схем питания с. н. среднее время восстановления, определяем следующие относительные оценки эффективности. Оценка e_{11} для первой схемы будет равна нулю, т. к. среднее время восстановления этой схемы имеет самое большое абсолютное значение. Оценка e_{13} для третьего варианта, имеющего наименьшее абсолютное значение, равна единице, а значение e_{12} для второго варианта, подсчитанное по формуле

$$e_{12} = \frac{T_{в1} - T_{в2}}{T_{в1} - T_{в3}} \quad (6)$$

(где $T_{в1}$, $T_{в2}$, $T_{в3}$ — соответственно средние времена восстановления питания с. н.), получается равным 0,98.

Оценки e_{2k} , определяющие требование обеспечения самозануски ответственных двигателей с. н., находятся экспертным путем.

Схема, обеспечивающая самозануск во всех режимах, получит

оценку, равную единице, а схема, не обеспечивающая это требование, будет иметь оценку нуль. Что же касается варианта схемы, который может обеспечить самозапуск двигателей не во всех режимах, то его оценка, в зависимости от количества таких эксплуатационных режимов, будет между нулем и единицей. Примем, что все три рассматриваемые схемы обеспечивают самозапуск, и, поэтому, $e_{21} = e_{22} = e_{23} = 1$.

Абсолютные величины годового ущерба от погашения секции с. и. приводящего к недоотпуску электроэнергии блока мощностью 150 тыс. квт. для схем №№ 1, 2 и 3 соответственно составляют: 2322; 252 и 220 тыс. руб. Относительная оценка эффективности для первой схемы $e_{31} = 0$, т. к. ущерб наибольший, для третьей схемы $e_{33} = 1$, т. к. ущерб наименьший, а для второй схемы $e_{32} = 0,98$.

Приведенные затраты, определенные по формуле (1), составляют: для первой схемы—111 тыс. руб., для второй—115,5 тыс. руб., а для третьей—122,5 тыс. руб.

Оценка e_{21} для первой схемы равна единице, т. к. затраты на ее выполнение наименьшие. Оценка e_{23} для третьей схемы равна нулю, как для варианта, требующего наибольших капиталовложений, а оценка для второй схемы, определенная формулой, аналогичной выражению (6), получилась $e_{22} = 0,61$. Следует отметить, что в указанных капиталовложениях не учтены объекты, повторяющиеся в каждом варианте схем и имеющие одинаковые параметры. К таковым относятся, например, электрооборудование рабочего питания секции с. и. 6 кВ. Кроме того, в затраты включены капиталовложения только того оборудования, которое установлено для осуществления только данной схемы.

Определение оценок e_{3k} производится экспертным путем. Необходимо ранжировать варианты схем, расположив их в порядке убывания удобств в эксплуатации и при ремонте. По-видимому такая ранжировка даст последовательность схем -3;2;1. По формуле, приведенной в [1], получаем: $e_{33} = 1$, $e_{32} = 0,62$, $e_{31} = 0,33$.

Полученные оценки важности v_i и эффективности требований e_{ik} — приведены в табл. 2.

Таблица 2

№ варианта схем	Относительные оценки эффективности (e_{ik}) при					Оценка общей эффективности B
	$v_1 = 0,45$	$v_2 = 0,31$	$v_3 = 0,19$	$v_4 = 0,1$	$v_5 = 0,05$	
1	0	1	0	1	0,33	0,213
2	0,98	1	0,97	0,61	0,62	0,909
3	1	1	1	0	1	0,924

Из табл. 2 видно, что оценка общей эффективности B , подсчитанная по формуле (2), имеет максимальное значение для схемы № 3, которая и является оптимальным вариантом.

Целесообразность применения метода комплексной оценки для выбора оптимального варианта схем питания с. и. подтверждается тем, что Ереванская ТЭЦ, работающая в настоящее время по схеме № 2, ведет подготовительные работы для внедрения схемы № 3. Что же касается значительного расхождения общей эффективности первого варианта от остальных, то это является закономерным, т. к. станции первые годы эксплуатировалась по схеме № 1, но, ввиду крайне низкой ее надежности, вскоре была модернизирована в схему № 2.

Вывод. Метод комплексной оценки эффективности решений на основе экспертного опроса может быть использован для выбора варианта схемы с. и. тепловых электростанций близкого к оптимальму.

Ереванский политехнический институт им. К. Маркса

Получено 24.II.1976.

Ա. Ն. ԿՐԻՍՏՅԱՆ

ՋԵՐԿԱՅԻՆ ԷԼԵԿՏՐՈՒՆԱՆԵՐԻ ՈՒՓՈՒՄԻ ԿՈՐԻՐՆԵՐԻ ԿՈՇՆԱՏՄԱՆ ԿՈՄՊԼԵԿՍ ՄՈՏՅՆՈՒՄԸ

Ա ռ զ յ ի ռ յ ի

Հողգտումը բազմաշաղկապ են չերմային էլեկտրակայանների սեփական կարիքների սխեմաներն ըստ չերված ծախսերի գնահատման մեթոդիկայի թերութունները: Շարադրվում է կոմպլեքս մոտեցման մեթոդիկան, սպառազոր-ծիրոյ փորձագետների գնահատականը, որը ապին է սովելի ճիշտ տրոյունրները: Կերված է նրանի չերմային էլեկտրակայանների սեփական կարիքների պահեա-տալին սնման սխեմայի համար հաշվարկի օրինակ ըստ առաջարկված մե-թոդի:

ЛИТЕРАТУРА

1. Гук Ю. Б., Лосев Э. А., Муснилов А. В. Оценка надежности электроустановок. Изд-во «Энергия», М., 1974.
2. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений, утвержденная Госпланом СССР, Госстроям СССР и Академией наук СССР. Изд-во «Экономика», 1969.
3. Азгальдон Г. Г., Раффиан Э. И. Экспертные методы в оценке качества товаров. Изд-во «Экономика», 1974.
4. Бисмалеа С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. Изд-во «Статистика», 1974.