

УДК 621.315

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
СОЕДИНЕНИЙ КЭС 1200 МВТ
INVESTIGATION OF THE RELIABILITY OF THE ELECTRICAL
CONNECTION SCHEME OF THE 1200 MW CPP**

И. Н. Адамович, К. Д. Сырцов, И. С. Вабищевич
Научный руководитель – А. Л. Старжинский, к. т. н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь
I. Adamovich, K. Sirtsov, I. Vabishevich
Supervisor – A. Starzhinsky, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в работе была исследована надежность схемы электрических соединений конденсационной электростанции мощностью 1200 МВт при помощи программы «TOPAS», а также проанализированы результаты и сделаны выводы.*

***Abstract:** the paper examines the reliability of the electrical connection scheme of a 1200 MW condensing power plant using the TOPAS program and includes results analysis and conclusions.*

***Ключевые слова:** конденсационная электростанция, распределительное устройство, коэффициент неготовности, частота отказов, надежность, TOPAS.*

***Keywords:** condensing power plant, switchgear, unavailability factor, failure rate, reliability, TOPAS.*

Введение

Надежность – способность системы энергоснабжения или оборудования работать без сбоев и обеспечивать непрерывное и стабильное обслуживание потребителей. Надежность в энергетике является критически важным аспектом для обеспечения устойчивости и эффективности работы всей инфраструктуры энергетической отрасли.

Исследование надежности и ее влияния на работу систем электроснабжения является важной частью не только учебного, но и рабочего процессов. Вероятность развития разных сценариев с различными последствиями требует постоянного мониторинга и контроля надежности в энергосистеме, ведь в конечном итоге это влияет на качество электроснабжения. Аварийные и внезапные перерывы электроснабжения потребителей могут иметь последствия в виде ущерба, обусловленного поломкой оборудования, порчей сырья и материалов, затратами на ремонты, недовыпуском продукции, простоями технологического оборудования и рабочей силы.

Кроме того, на этапе проектирования электростанции надежность является одним из ключевых аспектов, который необходимо учитывать для обеспечения безопасной и эффективной работы энергетической системы.

Важно предусмотреть различные меры и технические решения, которые обеспечат надежную работу электростанции в различных условиях эксплуатации.

Расчет показателей надежности схемы электрических соединений производится на основе определения количества комбинаций событий $C(n)$, приводящих к отказу ее функционирования k -го вида:

$$C(n) = \sum_i \sum_j \sum_s L(n), \quad (1)$$

где $L(n)$ – логическая функция, принимающая значение 0 или 1.

Определение частот отказов функционирования n -го вида $\lambda(n)$ и длительностей аварийного восстановления $T(n)$ в общем случае осуществляется по следующим выражениям:

$$\lambda(n) = \sum_j \sum_i q(j)\lambda(i)Q(s/i)L(n); \quad (2)$$

$$T(n) = \frac{1}{\lambda(n)} \sum_j \sum_i q(j)\lambda(i) \min \left\{ \frac{t(j)}{2}; t(i); t_{0.п.} \right\} Q(s/i)L(n), \quad (3)$$

где $q(j)$ – относительная длительность j -го ремонтного режима (о.е.);

$\lambda(i)$ – частота повреждения i -го элемента схемы (1/год);

$t(i)$ – длительность послеаварийного восстановления i -го элемента схемы (ч);

$t(j)$ – длительность j -го ремонтного режима работы схемы;

$t_{0.п.}$ – время оперативных переключений (ч);

$Q(s/i)$ – вероятность отказа в срабатывании s -го устройства РЗ или КА.

Основная часть

Для исследования выберем схему, изображенную на рис. 1.

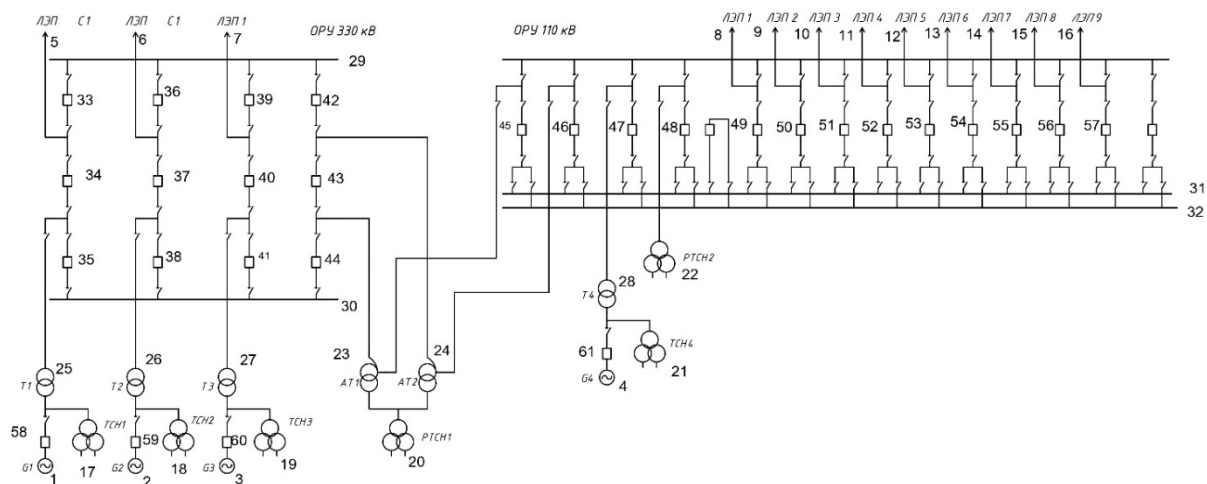


Рисунок 1 – Схема КЭС с пронумерованными элементами

Главная схема электрической станции включает в себя ОРУ 330 кВ, выполненное по схеме 3/2 с тремя отходящими на нагрузку линиями, а также ОРУ 110 кВ по схеме с двумя рабочими шинами и одной обходной с девятью линиями, связанные между собой автотрансформаторами связи мощность

400 МВА. Питание осуществляется от 4-х генераторов мощностью по 300 МВт, подключенных к ОРУ по блочным схемам. Кроме того, в схеме присутствует четыре трансформатора собственных нужд и два РТСН, питающихся от ОРУ 110 кВ и обмоток низшего напряжения трансформаторов связи.

Задача расчета состоит в исследовании выбранных схем ОРУ и схем подключения элементов схемы на совокупную надежность электроснабжения. Расчет данной схемы вручную является весьма трудоемкой задачей, поэтому прибегнем к использованию специального программного обеспечения.

С помощью программного комплекса TOPAS можно производить исследование надежности сложных электрических схем с большим количеством присоединений, в число которых входят ЛЭП, генераторные и трансформаторные присоединения, присоединения ТСН, а также РУ различных классов напряжения.

Составим исходные данные для программы и пронумеруем последовательно элементы в следующем порядке (рис. 1):

- генераторы мощности;
- линии электропередач;
- автотрансформаторы связи;
- блочные трансформаторы;
- сборные шины и ошиновка;
- выключатели.

Данные по надежности элементов возьмем из электротехнического справочника [1].

Таблица 1 – Исходные данные

№	Элементы схемы	Параметр потока отказов ω , 1/год	Среднее время восстановления T_B , ч.	Частота планового ремонта μ , 1/год	Продолжительность планового ремонта T_p , ч.	Вероятность отказа при отключении КЗ	Вероятность отказов основных комплектов РЗ при КЗ
1	2	3	4	5	6	7	8
1–4	Генераторы 300 МВт	0,59	83	1,0	880	–	0,001
5–7	Нагрузка (ЛЭП 330 кВ – 100 км)	0,3	15,3	2,9	20	–	0,001
8–16	Нагрузка (ЛЭП 110 кВ – 100 км)	0,66	11	1,6	15,5	–	0,001
17–21	ТСН 10 кВ (10–80 МВА)	0,012	70	0,75	26	–	0,001
22	ТСН 110 кВ (10–80 МВА)	0,014	70	0,75	28	–	0,001

Окончание таблицы 1.

23–24	АТ связи	0,053	45	1,0	30	–	0,001
25–27	Блочные трансформаторы	0,053	45	1,0	30	–	0,001
28	Блочный трансформатор	0,075	95	1,0	30	–	0,001
29–30	Сборные шины 330 кВ (по 3 присоединения)	0,013	5	0,498	9	–	0,001
31–32	Сборные шины 110 кВ (по 15 присоединений)	0,016	5	2,49	60	–	0,001
33–44	Элегазовые выключатели 330 кВ	0,03	60	0,2	113	0,002	–
45–57	Элегазовые выключатели 110 кВ	0,02	20	0,2	45	0,004	–
58–61	Элегазовые выключатели 20 кВ	0,04	20	0,2	40	0,013	–

По исходным данным произведем расчет надежности системы. Реализованная в программе TOPAS модель позволяет вычислить длительности T и частоты Λ отключения потребителей в нормальном режиме и режимах аварийного простоя электрооборудования систем рабочего и резервного электроснабжения. Сведем полученные в результате расчета значения в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчета режимов

Код аварии	Суммарная частота Λ , 1/год	Среднее время восстановления T , ч.	Коэффициент неготовности K_H , о. е.
1Г	3,24	72,94	0,027
1Г 4Л	$1,08 \cdot 10^{-1}$	28,61	$3,53 \cdot 10^{-4}$
2Г 6Л	$1,17 \cdot 10^{-3}$	13,17	$1,76 \cdot 10^{-6}$
2Г 10Л	$2,61 \cdot 10^{-4}$	0,5	$1,49 \cdot 10^{-8}$
3Г 6Л	$3,37 \cdot 10^{-6}$	0,5	$1,92 \cdot 10^{-10}$
4Г 12Л	$1,5 \cdot 10^{-6}$	0,5	$8,56 \cdot 10^{-11}$

По известным значениям Λ и T рассчитаем коэффициенты неготовности по выражению [2]:

$$K_H = \frac{T \cdot \Lambda}{8760}, \quad (4)$$

где K_H – вероятность того, что объект окажется в неработоспособном состоянии в данный момент времени (т. е. коэффициент неготовности).

Отключен 1Г:

$$K_H = \frac{3,24 \cdot 72,94}{8760} = 0,027.$$

Отключены 1Г 4Л:

$$K_H = \frac{1,08 \cdot 10^{-1} \cdot 28,61}{8760} = 3,53 \cdot 10^{-4}.$$

Отключены 2Г 6Л:

$$K_H = \frac{1,17 \cdot 10^{-3} \cdot 13,17}{8760} = 1,76 \cdot 10^{-6}.$$

Отключены 2Г 10Л:

$$K_H = \frac{2,61 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5}{8760} = 1,49 \cdot 10^{-8}.$$

Отключены 3Г 6Л:

$$K_H = \frac{3,37 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5}{8760} = 1,92 \cdot 10^{-10}.$$

Отключены 4Г 12Л:

$$K_H = \frac{1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5}{8760} = 8,56 \cdot 10^{-11}.$$

Полученные результаты показаны в табл. 2. Чем больше количество поврежденных элементов, тем меньше коэффициент неготовности.

Заключение

Как видно из полученных результатов, вероятность того, что произойдет отказ работы всей схемы (то есть при отключении всех четырех генераторов и двенадцати линий) очень мала ($K_H = 8,56 \cdot 10^{-11}$). Следовательно, можно заключить, что рассматриваемая схема станции является достаточно надежной и ее можно использовать для дальнейшего проектирования электрической станции.

Литература

1. Гук, Ю. Б. Теория надежности в электроэнергетике : Учеб. пособие для вузов / Ю. Б. Гук – М. : Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1990. – 208 с.
2. Черновец, А. К. Элементы САПР электрической части АЭС на персональных компьютерах / А. К. Черновец. – Спб. : Санкт-Петербург. государственный университет, 1992. – 89 с.