

УДК 621.315

РАСЧЁТ НАДЕЖНОСТИ ГЛАВНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ БАЛАКОВСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Денисевич Т. А., Шелест М. В.

Научный руководитель – к. т. н., доцент Старжинский А. Л.

Электрическая часть атомной станции состоит из атомного реактора, теплотехнического оборудования. К АЭС предъявляются повышенные требования к надежности работы оборудования, контролю и поддержанию санитарных норм, а также к безопасности обслуживания.

АЭС плохо маневренны и мало приспособлены к переменным режимам. Их наиболее предпочтительно эксплуатировать в базовой части графика нагрузки. Резко переменные режимы АЭС негативно сказываются на состоянии оборудования.

Проведем исследование надежности схемы АЭС с помощью программы “ТОPAS”.

Пакет прикладных программ “ТОPAS” позволяет проводить анализ надежности главных схем электрических соединений, включающих в себя распределительные устройства любого класса напряжения, генераторные присоединения, высоковольтные линии электропередачи, присоединения резервных трансформаторов собственных нужд и трансформаторы связи между ними.

Данная программа предназначена для вычисления частот и длительностей возможных аварийных режимов схемы, сопровождающимся отключением от сети генераторов, воздушных линий, трансформаторов связей и др.

Функциональная модель расчета установившихся режимов генерации мощности учитывает пропускные способности трансформаторов и автотрансформаторов, воздушных линий связи с системой (но критерию запаса статической устойчивости работы генераторов).

Вычисление логических показателей надежности главной схемы осуществляется на основе определения количества комбинаций событий (конъюнкций) $C(k)$, приводящих к отказу ее функционирования k -го вида:

$$C(k) = \sum_i \sum_j \sum_s L(i, j, s, k); \quad (1)$$

где $L(i, j, s, k)$ - логическая функция, принимающая значение 0 или 1.

Вычисление частот отказов функционирования k -го вида $\lambda(k)$ и длительности аварийного восстановления $T(k)$ в общем случае осуществляется по выражениям:

$$\lambda(k) = \sum_i \sum_j q(j) \lambda(i) Q\left(\frac{s}{i}\right) L(k); \quad (2)$$

$$T(k) = \frac{1}{\lambda(k)} \sum_i \sum_j q(i) \lambda(i) \min\left\{\frac{t(j)}{2}; t(i); t_{оп}\right\} Q\left(\frac{s}{i}\right) L(k); \quad (3)$$

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

$X(i)$ - частота повреждения i -го элементы схемы; 1, год;

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

$t(j)$ - длительность j -го ремонтного режима работы схемы; $t_{оп}$ - время оперативных переключений, ч;

$Q(s/i)$ - вероятность отказа в срабатывании релейной защиты или коммутационного аппарата.

Коэффициент неготовности потребителей K_H вычисляется по выражению:

$$K_H = \frac{T \lambda}{8760} \quad (4)$$

где T – среднее время восстановления ч;

λ – суммарная частота событий 1/год.

Приведем пример расчёта надёжности главной электрической схемы АЭС мощностью 4000 МВт (рисунок 1.) в программе “ТОPAS”.

Схема ОРУ 500 кВ выполнена по схеме “4/3” (четыре выключателя на три присоединения). ОРУ 220 кВ выполнено по схеме две системы сборных шин с обходной.

На станции установлено четыре блока с реакторами ВВЭР – 1000 и турбогенераторами ТВВ – 1000 – 4УЗ. Структурная схема блока включает в себя: генератор, генераторный выключатель нагрузки, два рабочих трансформатора собственных нужд и два блочных трансформатора мощностью 630 МВ·А.

К распределительному устройству 500 кВ присоединены 5 линий, три блочных трансформатора и один двухобмоточный трансформатора связи.

Распределительное устройство 220 кВ имеет двойную секцию шин с обходной, к которой присоединены 4 линии, 2 блока резервных трансформаторов собственных нужд, один двухобмоточный трансформатора связи и два блочных трансформатора.

Линии, отходящие от ОРУ 220 кВ имеют длину 150 км, линии от ОРУ 500 кВ имеют длину 300км.

Показатели надёжности и исходные данные приведены в таблицах 1 – 2.

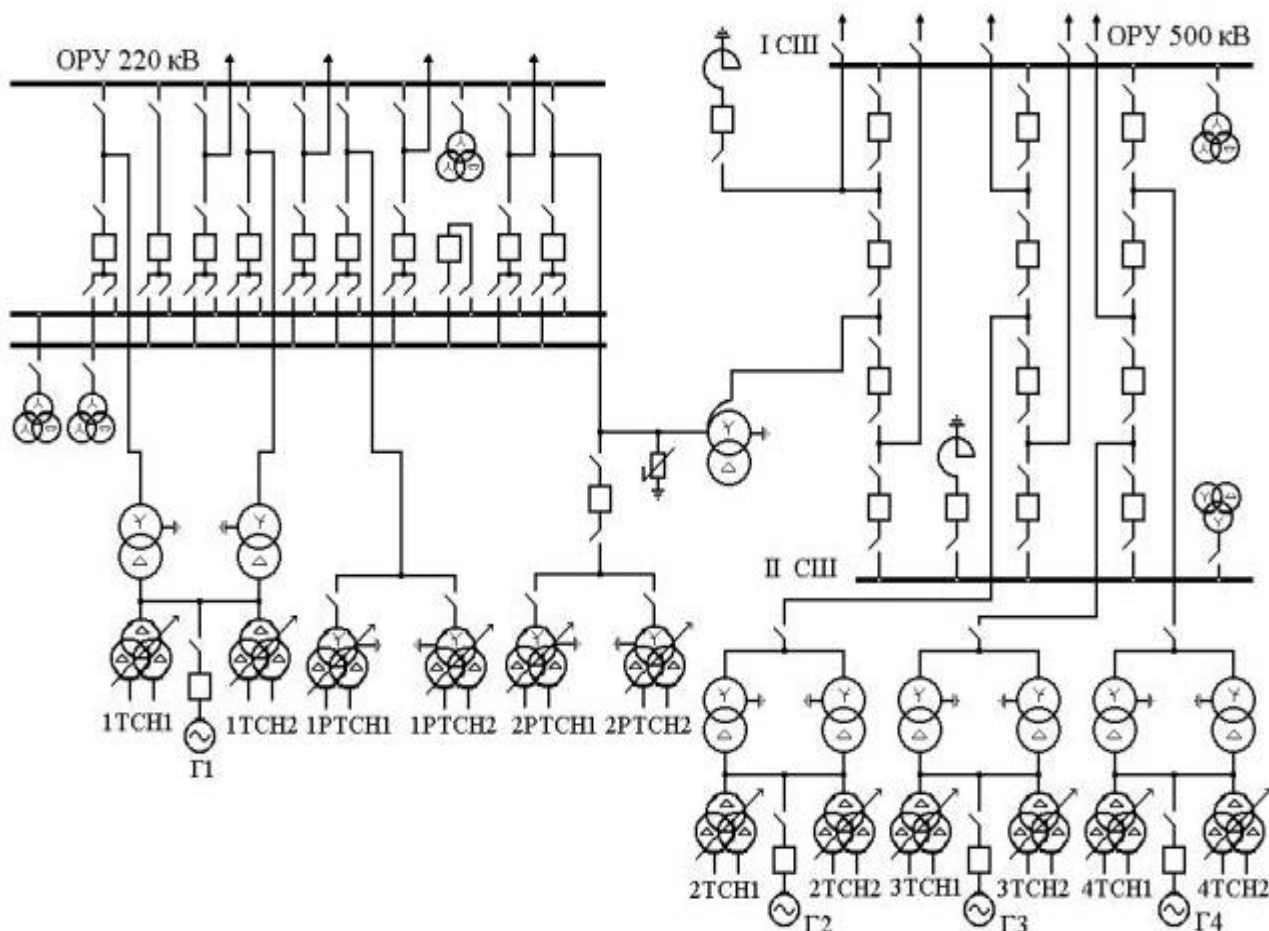


Рисунок 1. Главная электрическая схема Балаковской АЭС.

Таблица 1 – Показатели надежности элементов

Элемент	Количество	Частота отказа λ , 1/год	Время послеаварийного восстановления T_v , ч	Частота планового ремонта $\lambda_{рем}$, 1/год	Длительность планового ремонта $T_{рем}$, ч
Генератор	4	1,0	200,0	1,0	1080,0
Линия	9	0,015	12,0	1,0	18,0
Резервный трансформатор с.н.	2	0,02	60,0	0,40	8,5
Трансформатор связи	1	0,04	220,0	0,5	10,0
Блочный трансформатор	8	0,02008	60,0	0,4	8,5
Сборные шины	7	0,039	4,0	0,498	9,0

Таблица 2 – Исходные данные выключателей

Выключатель	Напряжение, кВ	Количество, шт	Частота отказа, 1/год	Время послеаварийного восстановления T_v , ч	Частота планового ремонта $\lambda_{рем}$, 1/год	Длительность планового ремонта $T_{рем}$, ч
ВГТ – 220	220	12	0,01	25,0	0,2	24,0
ВГТ – 500	500	15	0,04	60,0	0,2	120,0

После введения всех необходимых данных и их расчета в программе, появляется файл с соответствующими результатами (ниже будет приведена часть расчетов). Результаты расчета сведены в таблицу 3.

Коэффициент неготовности определяем по формуле (4).

Таблица 3 – Результаты расчета главной схемы АЭС

Погашение элементов	Суммарная частота события $\lambda_{сум}$, 1/год	Среднее время восстановления T , ч	Коэффициент неготовности, о. е.
1Г, 4Л	0.10	196,06	0,02
2Г, 7Л	0.624	0,5	0,0000356
3Г, 8Л	0.286	0,5	0,0000163

Выводы:

3. Выполнен расчет показателей надежности главной схемы электроснабжения АЭС.

4. По результатам расчета, сделан вывод о надежности схемы по коэффициенту неготовности. Вероятность погашения 3 генераторов и 8 линий минимальна, так как коэффициент неготовности наименьший ($K_H = 0,00001630.e.$), а большая вероятности погашения 1 генератора и 4 линий ($K_H = 0,020.e.$). Но так как все коэффициенты неготовности малы, то система обладает высокой надежностью.

Литература

1. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.
2. Ю. Н. Балаков, М. Ш. Мисриханов, А. В. Шунтов, Проектирование схем электроустановок: Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., Издательский дом МЭИ, 2006.