

УДК 621.321

## РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ГЛАВНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ АЭС-6000 МВт

Голета Д.А.

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

При проектировании объектов энергетики, для обеспечения надежного электроснабжения потребителей, необходимо производить расчеты надежности объекта, которые включают расчет вероятности отказов элементов схемы, времени простоя оборудования. Для расчета надежности воспользуемся пакетом программ «TOPAS», который позволяет проводить анализ надежности главных схем электрических соединений, включающих в себя распределительные устройства различных классов напряжений, высоковольтные линии электропередачи, присоединения трансформаторов собственных нужд и трансформаторов связи.

Пакет не накладывает ограничений на типы схем распределительных устройств, за исключением схем с обходными системами шин. В этом случае, для проведения анализа следует использовать схему коммутации, соответствующую ее нормальному или ремонтному режиму с учетом только включенных аппаратов.

При моделировании и анализе состояний схемы, а также вычислении показателей надежности необходимо учитывать характеристики повреждаемости, ремонтпригодности оборудования.

Для описания схемы электрических соединений используется коммутационный граф, ветвями которого являются коммутационные аппараты различных типов, а узлами – остальные связывающие элементы схемы. Этот метод обеспечивает необходимую точность топологической модели. Для численного анализа необходим переход к формальному математическому описанию графов с помощью матриц, например, матрицы границы ветвей, для составления которой осуществляется последовательная нумерация элементов графа и последующая запись узлов, связываемых каждой его ветвью. Матрица имеет размерность  $[N, 2]$  при максимальном заполнении, где  $N$  – число ветвей графа.

Для описания структурной анализируемой главной схемы исходная схема, границы и детальность задаются в соответствии с целями анализа и объемами располагаемой информации. При этом необходимо соблюдать следующие правила:

- в схему вводятся только нормально включенные коммутационные аппараты;
- в схему обязательно вводятся нормально включенные разъединители, коммутирующие трансформаторы связи и блочные трансформаторы.

Все узлы и ветви нумеруются последовательно, начиная с единицы, в следующем порядке:

- генераторы (Г);
- линии выдачи мощности во внешнюю сеть (Л);
- РТСН (Н);
- автотрансформаторы, а также ВЛ и трансформаторы связи между РУ (С);
- блочные трансформаторы (Т);
- сборные шины и ошиновка (Ш);
- выключатели (В);
- разъединители (Р).

Затем составляется матрица связей узлов и ветвей, в которой для каждой ветви в порядке увеличения их номеров записываются номера двух примыкающих у ней узлов.

Для расчета и анализа надежности используются следующие показатели:

- частота отказов;
- время послеаварийного восстановления;
- частота планового ремонта;
- длительность планового ремонта;
- вероятность отказов в срабатывании при отключении КЗ (для выключателей);
- вероятность отказов в срабатывании РЗ при возникновении КЗ.

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

$$C(k) = \sum L(k) \quad (1)$$

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

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

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

$$T(k) = \frac{1}{\lambda(k)} \sum q(j) \lambda(i) \min\left\{\frac{t(j)}{2}; t(i); \text{to. п.}\right\} Q\left(\frac{s}{i}\right) L(k) \quad (3)$$

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

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

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

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

to.п. – время оперативных переключений (ч);

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

В данной работе выполнен расчет надежности АЭС-6000МВт, состоящей из 6 блоков, мощностью 1000 МВт каждый. Выдача электроэнергии

производится по блочной схеме по двум напряжениям – 500 кВ и 220 кВ. РУ 500 кВ и РУ 220 кВ связаны автотрансформаторами связи, в качестве коммутационных аппаратов используются элегазовые выключатели. Схема станции представлена на рисунке 1.

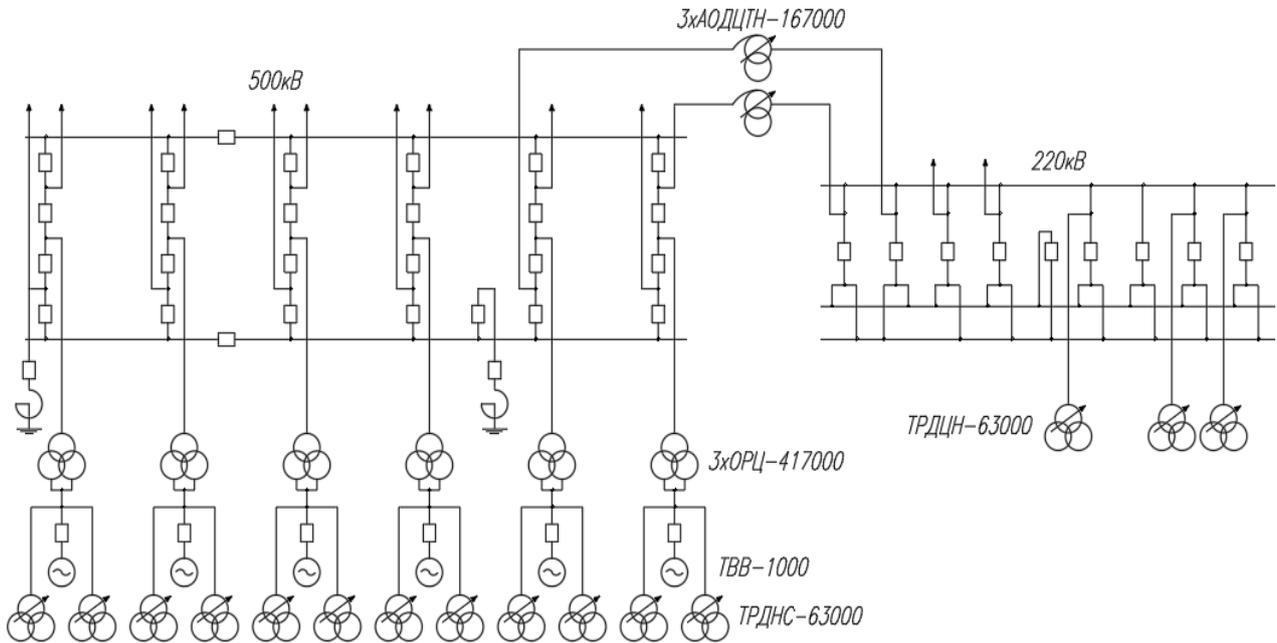


Рисунок 1. Главная схема электрических соединений АЭС – 6000 МВт

РУ 500 кВ выполнена по схеме «четыре выключателя на три присоединения». РУ 220 кВ выполнено по схеме «две рабочие секционированные системы шин»

Нумерация схемы представлена на рисунке 2. Матрица связи узлов и ветвей представлена в виде таблицы 1.

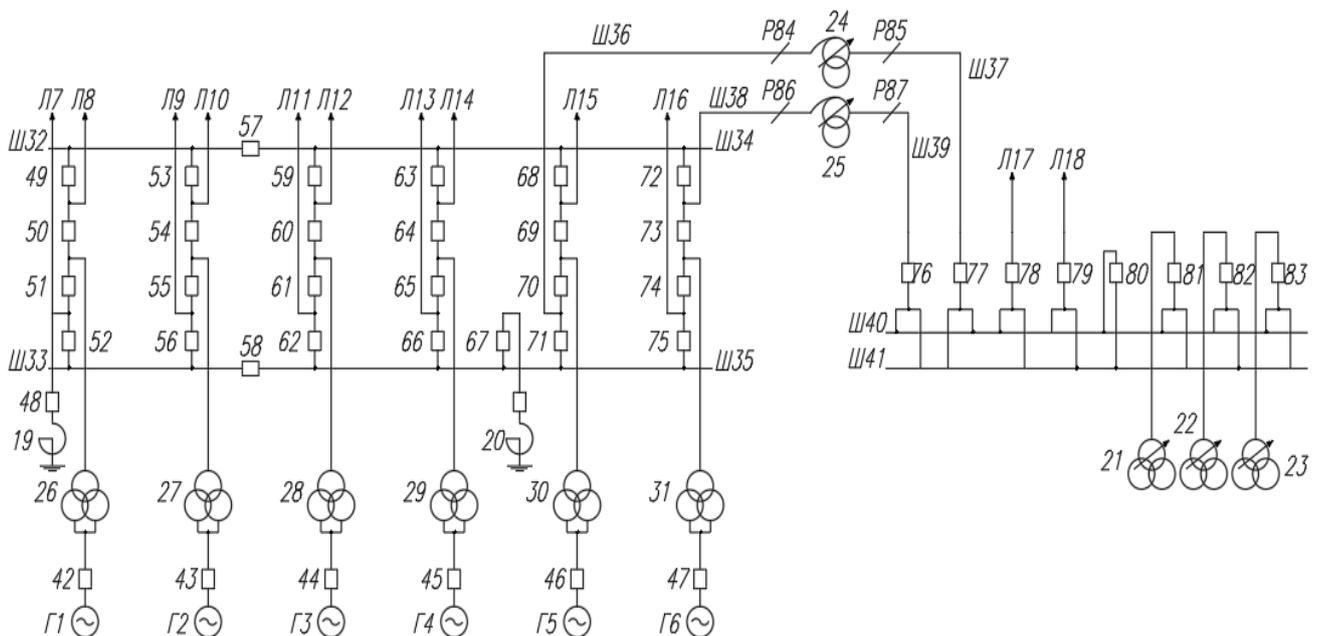


Рисунок 2. Расчетная схема исследуемой станции

Таблица 1 – Матрица связей узлов и ветвей

Номер КА	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
1-й узел	21	22	23	24	25	26	19	8	8	7	7	10
2-й узел	26	27	28	29	30	31	33	32	26	26	33	32
Номер КА	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
1-й узел	9	9	27	32	33	12	12	11	11	14	14	13
2-й узел	10	27	33	34	35	34	28	28	35	34	29	29
Номер КА	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
1-й узел	13	20	15	15	30	30	34	31	16	16	39	37
2-й узел	35	35	34	36	36	35	38	38	31	31	40	41
Номер КА	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87		
1-й узел	17	18	40	21	22	22	24	24	25	25		
2-й узел	40	41	41	40	40	40	36	37	38	39		

Необходимые для расчета параметры оборудования сведем в таблицу 2. Для определения частот отказов и времени восстановления будем считать, что в плановый и аварийный ремонты будет выходить один выключатель.

Таблица 2 – Параметры оборудования

Элементы схемы	Частота отказа, 1/год	Время п-аварийного восстан., ч	Частота плановых ремонтов, 1/год	Длитель. план. ремонта, ч	Вероятн. отказа при откл. КЗ, о.е.	Вероятн. отказа в срабат.и РЗ, о.е.
Генератор	1	200	1	1080	-	0.001
ЛЭП 500 кВ	0.0015	12	1	18	-	0.001
ЛЭП 220 кВ	0.0003	7.6	0.3	24	-	0.001
Реакторы	0.04	220	0.5	10	-	0.001
РТСН	0.034	63	0.75	28	-	0.001
АТС 500 кВ	0.053	71	1	50	-	0.001
Тр-р 500 кВ	0.04	220	0.5	10	-	0.001
СШ 500 кВ	0.039	5	0.498	15	-	0.001
СШ 220 кВ	0.03	4	0.498	9	-	0.001
Выкл. генер.	0.004	20	0.2	20	0.002	-
Выкл. 500 кВ	0.01	120	0.2	120	0.002	-
Выкл. 220 кВ	0.003	40	0.2	40	0.002	-

Для анализа результатов расчета надежности рассмотрим несколько вариантов, сведенных в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты анализа надежности

Код аварии	Суммарная частота, 1/год	Среднее время восстан., ч	Коэф. неготовности
6Г 12Л	6.9	187.37	0.148
6Г 12Л 1РТСН	0.382	89.34	$3.89 \cdot 10^{-3}$
6Г 12Л 2РТСН	$0.116 \cdot 10^{-1}$	8.89	$1.177 \cdot 10^{-5}$
6Г 12Л 3РТСН	$0.185 \cdot 10^{-6}$	1.0	$2.112 \cdot 10^{-11}$

Таким образом, наиболее вероятно произойдет отказ 6Г 12Л.

#### Литература

1. Рожкова Л. Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций Энергоатомиздат, 1987 г.
2. Электротехнический справочник: В 4 т. Т3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под ред. В. Г. Герасимова, А. И. Попова. – 9-е изд. Издательство МЭИ, 2004.