

УДК 621.321

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СХЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ТРЕТЬЕЙ ГРУППЫ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Кулыгин Д. С., Хилевич Р. А.

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

Потребители собственных нужд (с. н.) атомной электрической станции (АЭС), не предъявляющие повышенных требований к надежности электроснабжения, получают питание от трансформаторов собственных нужд (ТСН), присоединенных отпайкой к энергоблокам генератор – трансформатор.

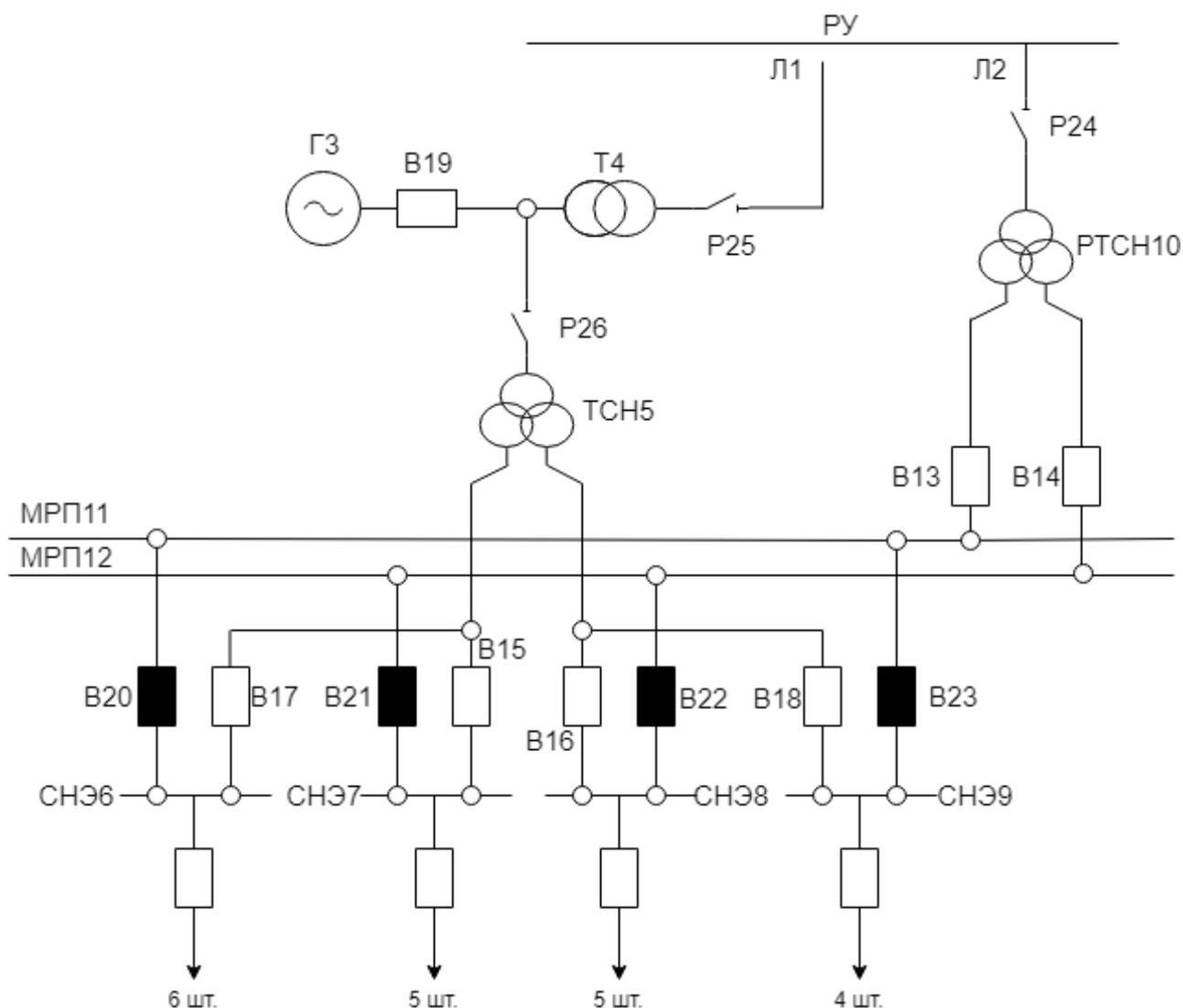


Рисунок 4 - Схема электроснабжения потребителей с. н. третьей группы одного блока АЭС с реакторами ВВЭР или РБМК

Список условных сокращений на схеме:

Л – линия; Г – генератор; Т – блочный трансформатор, СНЭ – секция нормальной эксплуатации; В – выключатель; Р – разъединитель, ТСН – трансформатор с.н.; МРП – магистраль резервного питания, РТСН – резервный трансформатор с. н., РУ – распределительное устройство.

На рисунке 1 показана схема электроснабжения потребителей с. н. третьей группы одного блока АЭС с ректорами ВВЭР или РБМК. Число секций 6 кВ нормально

эксплуатации – четыре (СНЭ6, СНЭ7, СНЭ8, СНЭ9). К ним присоединяются электродвигатели, конденсатные и циркуляционные насосы турбин, дренажные насосы, насосы технической воды неответственных потребителей, а также трансформаторы 6/0,4 кВ.

Каждая рабочая секция имеет ввод от резервной магистрали 6 кВ (МРП11, МРП12). Резервный трансформатор собственных нужд (РТСН10) присоединяется к сборным шинам распределительного устройства низшего из повышенных напряжений.

О надежности системы электроснабжения с.н. АЭС можно судить по тому, как система ведет себя при одновременном погашении одной, двух или трех секций надежного питания. При этом считается возможным проведение ремонтных работ на оборудовании открытого распределительного устройства высшего напряжения.

Проведем анализ структурной надежности систем электроснабжения потребителей СН, включающих в себя источники рабочего и резервного электроснабжения, передающие элементы, коммутационные аппараты и отдельных потребителей. Схема имеет радиальную структуру построения, при которой в любом установившемся режиме ее функционирования передача мощности к любому потребителю осуществляется лишь по единственно возможной цепи. При помощи программы REISS вычислим частоты и длительности перерывов электроснабжения одновременно произвольного количества потребителей, а также коэффициента неготовности данных потребителей в отношении такого события.

Значения λ и T в общем виде определяются по выражениям:

$$\lambda = \sum_{k=1} \lambda(k); \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{\lambda} \sum_k T(k)\lambda(k); \quad (2)$$

где $\lambda(k)$, $T(k)$ – частота и длительность смоделированных аварий k -го вида, приводящих к расчетному погашению,

$$\lambda(k) = q(k, j)\lambda(k, m) \prod_s Q(k, s); \quad (3)$$

$$T(k) = q(k, j)\lambda(k, m) \min \left\{ \frac{t(k, j)}{2}; t(k, j); t_{он} \right\} \prod_s Q(k, s); \quad (4)$$

$q(k, j)$ – относительная длительность ремонтного простоя j -го элемента, о. е.; $\lambda(k, m)$ – частота повреждения m -го элемента схемы, 1/год; $t_{он}$ – время оперативных переключений, ч; $Q(k, s)$ – вероятность отказа в срабатывании s -го устройства релейной защиты, коммутационных аппаратов или автоматического ввода резерва; $t(k, m)$, $t(k, j)$ – длительность послеаварийного восстановления m -го и j -го элементов схемы, ч.

Коэффициент неготовности потребителей k_H вычислим по формуле:

$$k_H = \frac{T\lambda}{8760} \quad (5)$$

Для расчета с использованием программы REISS необходимо пронумеровать все элементы схемы в строго определенном заранее порядке. Составляем матрицу связности: каждому коммутационному аппарату задается номер подходящих к нему узлов.

Исходные данные отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели надежности элементов собственных нужд электростанции

Элемент	Частота отказа λ , 1/год	Время послеаварийного восстановления T_v , ч	Частота планового ремонта $\lambda_{рем}$, 1/год	Длительность планового ремонта $T_{рем}$, ч
Линия	0,020	1,2	0,200	10
Генератор	0,550	91	1,000	540
Блочный трансформатор	0,008	60	0,250	6
Трансформатор с.н.	0,005	40	0,250	7,5
Сборные шины	0,090	2	0,498	15
Резервный трансформатор с.н.	0,008	60	0,250	6
Кабельная линия	0,005	4,4	1,000	2
Выключатель	0,010	10	0,200	10
Разъединитель	0,010	1,8	0,166	1,8

Результаты расчета сведены в таблицу 2.

Таблица 2. Результаты расчета схемы собственных нужд АЭС

Погашение секций	Суммарная частота события $\lambda_{сум}$, 1/год	Средняя продолжительность отключения T , ч	Коэффициент неготовности, о. е.
Одна секция шин (СНЭ6)	0,1016	1,829	$0,2122 \cdot 10^{-4}$
Две секции шин (СНЭ6, СНЭ7)	$0,5112 \cdot 10^{-3}$	0,5399	$0,3150 \cdot 10^{-7}$
Три секции шин (СНЭ6, СНЭ7, СНЭ8)	$0,1823 \cdot 10^{-3}$	0,6118	$0,1274 \cdot 10^{-7}$

Проанализировав результаты видим, что погашение одной секции шин возможно раз в 10 лет, что является довольно маловероятным событием. Вероятности погашения двух и трех секций шин ничтожно малы, поэтому можем считать, что они крайне маловероятно. Отсюда следует, что они могут не приниматься во внимание.

Выводы:

1. Выполнен расчет показателей надежности схемы электроснабжения собственных нужд третьей группы одного блока АЭС с реакторами ВВЭР или РБМК.
2. Опираясь на результаты расчета установлено, что вероятность полного погашения собственных нужд ничтожна мала. Это говорит о высокой надежности данной схемы собственных нужд третьего категории атомной электрической станции.

Литература

1. Гук, Ю. Б. Устройство, проектирование и эксплуатация схем электроснабжения собственных нужд АЭС / Ю. Б. Гук, В. М. Кобжув, А. К. Черновец. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 296 с.

2. Электрическая часть электростанций: учеб. для вузов / под ред. С. В. Усова. – 2-е изд. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 616 с.
3. Черновец, А. К. Элементы САПР электрической части АЭС на персональных компьютерах / А. К. Черновец. – СПб.: Санкт-Петербург. гос. ун-т, 1992. – 89 с.
4. Электротехнический справочник: в 4 т. / под общ. ред. В. Г. Герасимова [и др.]. – 9-е изд. – М.: МЭИ, 2003. – Т. 3: Производство, передача и распределение электрической энергии. – 2004. – 964 с.
5. Короткевич М. А. Анализ структурной надежности схем выдачи мощности от атомных электростанций / М. А. Короткевич // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. – Вып. 64: Надежность систем энергетики: достижения, проблемы, перспективы. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2014. – С. 67–71.