

УДК 621.3.019.34

**РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ СХЕМЫ СОБСТВЕННЫХ НУЖД БЛОКА
ВВЭР-1000 МЕТОДОМ ДЕРЕВА ОТКАЗОВ**

**CALCULATION OF THE RELIABILITY OF THE OWN NEEDS OF A
VVER-1000 UNIT BY THE FAILURE TREE METHOD**

А.И. Протасевич, И.М. Сергеенко, А.В. Старовойтов
Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
A. Protasevich, I. Sergeenko, A. Starovoitov
Supervisor – A.L. Starzhinsky, Candidate of Technical Sciences, Docent
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** была рассчитана надежность элементов схемы электроснабжения собственных нужд блока ВВЭР-1000 атомной электрической станции. В результате были определены основные показатели, характеризующие надежность: частота отключений потребителей. Полученные показатели показали высокую надежность рассчитываемой схемы.*

***Abstract:** The reliability of the elements of the power supply scheme for auxiliaries of the VVER-1000 unit of a nuclear power plant was calculated. As a result, the main indicators characterizing reliability were determined: the frequency and duration of consumer outages. The obtained indicators showed the high reliability of the calculated scheme.*

***Ключевые слова:** собственные нужды, надежность, АЭС, система электроснабжения, ВВЭР-1000.*

***Key words:** auxiliary needs, reliability, NPS, power supply system, VVER-1000.*

Введение

В связи с быстрорастущими потребностями в электроэнергии количество атомных электрических станций (АЭС) непреклонно растет, что в свою очередь увеличивает возможность возникновения различных техногенных катастроф. Во избежание этого следует досконально подходить к вопросу повышения надежности всех составных частей АЭС. К надежности питания элементов АЭС предъявляются повышенные требования, поэтому электрическая схема собственных нужд блока водо-водяного энергетического реактора мощностью 1000МВт ВВЭР-1000 должна обладать высоким уровнем надежности, так как это одна из важнейших частей электроснабжения АЭС.

Перед постройкой любого объекта и схемы следует знать вероятность выполнения (не выполнения) объектом изначально заложенных функций при определенных условиях, поэтому необходимо проводить расчет надежности оборудования [1].

Основная часть

Произвести расчет показателей надежности системы собственных нужд блока ВВЭР-1000 (рисунок 1) можно в программе "REISS". Алгоритм данной программы реализован на методе дерева отказов.

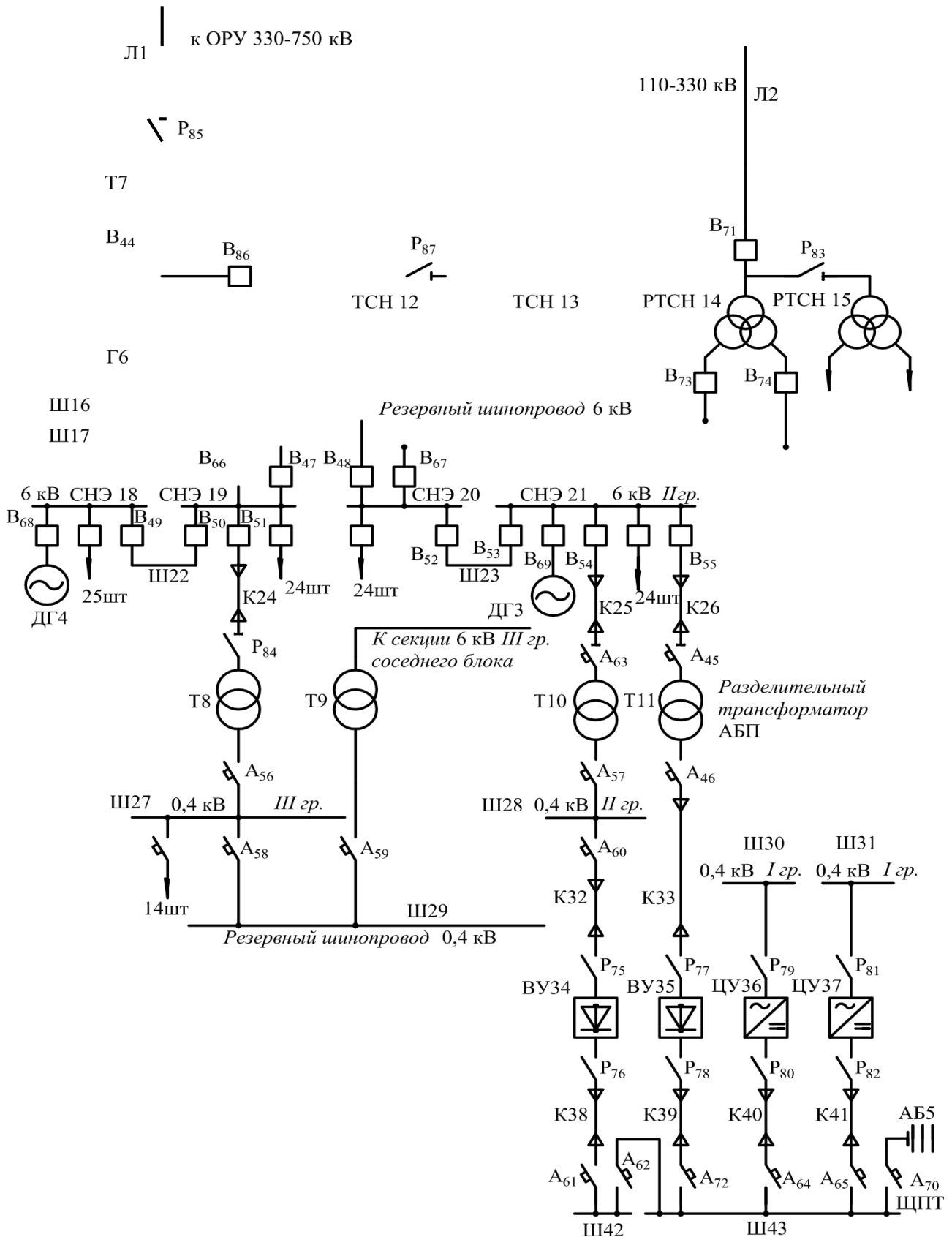


Рисунок 1 – Расчетная схема с нумерацией ветвей и узлов

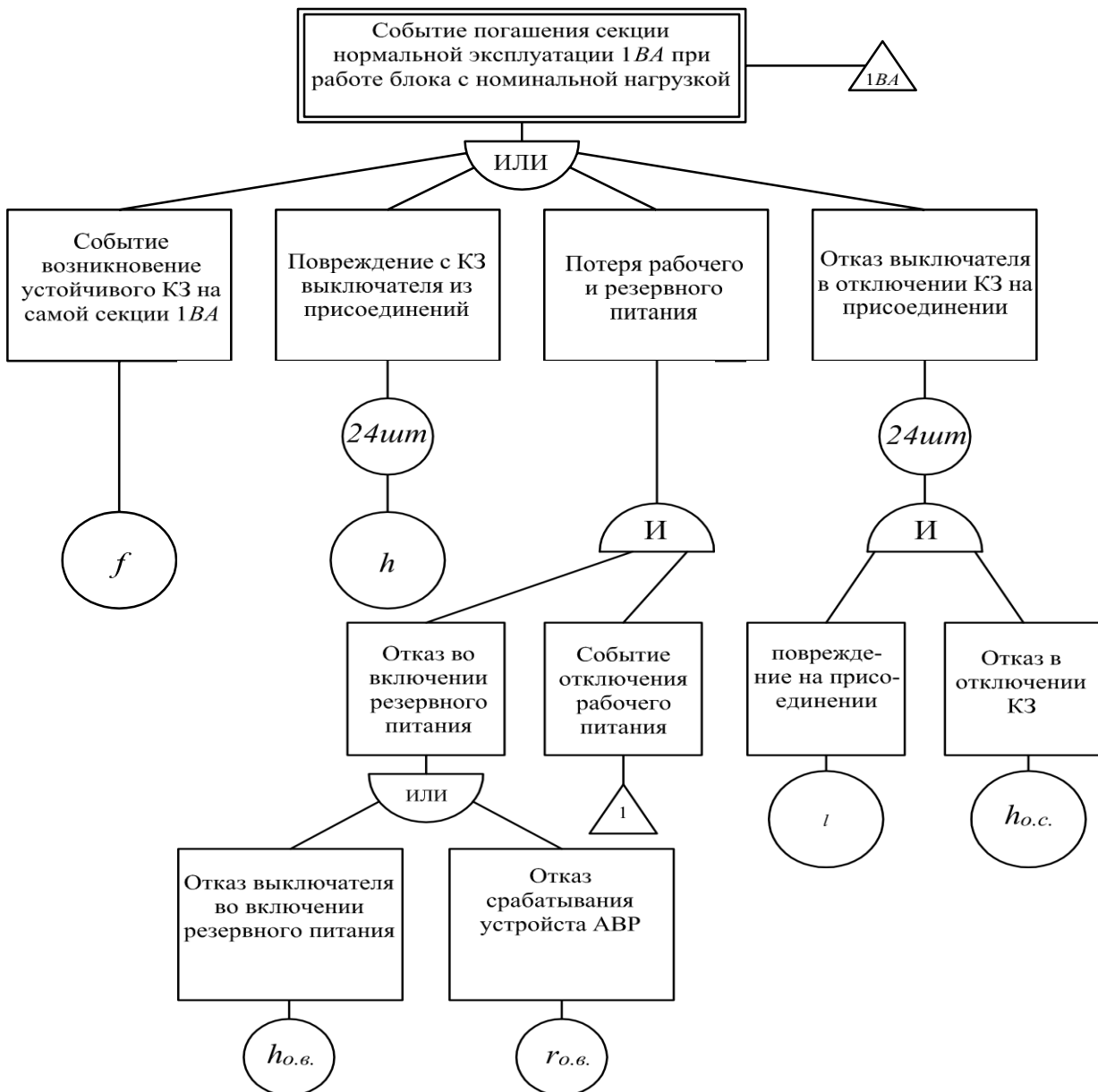


Рисунок 2–Схема дерева отказов для секции шин №19

Построенное дерево наглядно показывает слабые места в рассматриваемой системе, что позволяет принять правильные решения, связанные с дальнейшим применением рассматриваемой системы.

Программа «Reiss» реализует в своей работе модель структурной надежности, позволяющую производить вычисления длительности T и частоты λ отключений потребителей в нормальном и аварийном режиме работы. Кроме того, может быть исследована возможная вероятность отказов релейной защиты (РЗ), а также вероятность отказов, связанных с переключением на резервное электроснабжение, при отказах автоматики, автоматического ввода резерва (АВР) и вводов рабочего питания, а также резервных дизельных генераторов [2].

Значения λ и T можно определить по следующим формулам:

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

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

где $\lambda(k)$ – частота аварий k -го вида;

$T(k)$ – длительность аварий, приводящих к погашению.

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

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

Пример ручного расчета надежности для секции шин №18 и 19[1]:

$$\begin{aligned} \Lambda(19) = & \lambda(t) + 24\lambda(h) + 24\lambda(l)Q(h_{o.c}) + [Q(h_{o.c}) + Q(r_{o.c})] \cdot 3\lambda(h) + 2\lambda(t) + \\ & + \Lambda(x_{1.1}) + 3Q(h_{o.c})[\lambda(f) + 25\lambda(h) + 25\lambda(l)Q(h_{o.c})] = 3 \cdot 10^{-2} + 24 \cdot 2 \cdot 10^{-2} + \\ & + 24 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 2,7 \cdot 10^{-2} + 0,012 \cdot (6 + 2,4) \cdot 10^{-2} = (52 \pm 5) \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}. \end{aligned}$$

т.е. секция 19 отключается внезапно приблизительно один раз в два года.

Функция отказа для события погашения секции 18 при условии погашения секции 19:

$$\bar{Y}(18/19) = \bar{Y}(19)[h_{o.c}h_{o.c} + g_{o.в} + h_{o.в}]. \quad (5)$$

Частота этого события:

$$\begin{aligned} \Lambda(18/\bar{19}) = & \Lambda(\bar{19}) [Q^2(h_{o.c}) + Q(g_{o.в}) + Q(h_{o.в})] = \\ = & 0,52 [(2,7 \cdot 10^{-2})^2 + 1 \cdot 10^{-2} + 2,2 \cdot 10^{-3}] = 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}. \end{aligned}$$

Далее проведем сравнение результатов надежности, полученных путем ручного расчета и расчета на ЭВМ в программе “REISS”.

Таблица 1 – Результаты расчета надежности схемы

Секция	«Reiss»		Ручной расчет	
	Частота отказа λ , 1/год	Период отказа, год	Частота отказа λ , 1/год	Период отказа, год
Секция шин 6 кВ(№19)	0,2706	3,695	0,52	1,92
Секция шин 0,4 кВ(№27)	$2,8 \cdot 10^{-2}$	35,351	$1,8 \cdot 10^{-2}$	55,556
Секции шин 6 кВ(№18 и 19)	$1,09 \cdot 10^{-2}$	91,659	$6,2 \cdot 10^{-3}$	161,29
Секции шин 6 кВ(№18, 20 и 21)	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$2,701 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^{-12}$	$2,326 \cdot 10^{11}$
Секция шин 0,4 кВ(№31)	$2,2 \cdot 10^{-2}$	45,451	$1,27 \cdot 10^{-2}$	78,74
Секции шин 0,4 кВ(№27, 28 и 30)	$1,47 \cdot 10^{-4}$	$6,78 \cdot 10^3$	$2,05 \cdot 10^{-15}$	$4,89 \cdot 10^{14}$

Условные обозначения событий и состояний в программе “REISS”:

П – повреждение элемента с КЗ в обе стороны;

Р – состояние простоя элемента в ремонте;

Ов – отказ при отключении КЗ коммутационным аппаратом;

Оз – отказ при срабатывании РЗ отказавшего элемента;

Н – отказ при автоматическом вводе резервного питания в случае несрабатывания АВР, либо отказа выключателя при отключении ввода рабочего питания, либо отказа во включении выключателя ввода резервного питания.

Пример расчета надежности, выполненный программой “REISS” для секции шин №18 и 19 сведем в Таблицу 2:

Таблица 2 – Анализ вероятности перерыва электроснабжения одновременно шин №18 и 19

Совместные события, приводящие к перерыву электроснабжения	Частота события, 1/год	Длительность перерыва, ч
П -8 Ов -51 Н -68	$0,3920 \cdot 10^{-5}$	0,005
Р -68 П -8 Ов -51	$0,1162 \cdot 10^{-6}$	0,005
Р -4 П -8 Ов -51	$0,2000 \cdot 10^{-7}$	0,005
П -8 Оз -8 Н -68	$0,7840 \cdot 10^{-6}$	0,005
Р -68 П -8 Оз -8	$0,2323 \cdot 10^{-7}$	0,005
Р -4 П -8 Оз -8	$0,4000 \cdot 10^{-8}$	0,005
П -19 Н -68	$0,1568 \cdot 10^{-3}$	0,005
Р -68 П -19	$0,4647 \cdot 10^{-5}$	$0,4988 \cdot 10^1$
Р -19 П -68	$0,6830 \cdot 10^{-4}$	$0,8800 \cdot 10^1$
Р -4 П -19	$0,8000 \cdot 10^{-6}$	$0,8800 \cdot 10^1$
Р -19 П -4	$0,6830 \cdot 10^{-4}$	$0,1496 \cdot 10^2$
П -22 Ов -50 Н -68	$0,5880 \cdot 10^{-5}$	0,005
Р -68 П -22 Ов -50	$0,1742 \cdot 10^{-6}$	0,005
Р -4 П -22 Ов -50	$0,3000 \cdot 10^{-7}$	0,005
П -22 Оз -22	$0,3920 \cdot 10^{-5}$	0,005
П -24 Ов -51 Н -68	$0,9800 \cdot 10^{-6}$	0,005
П -24 Оз -24 Н -68	$0,1960 \cdot 10^{-6}$	0,005
П -49 Ов -50	$0,1000 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -49 Оз -22	$0,2000 \cdot 10^{-4}$	0,005
П -50 Н -68	$0,7840 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -50 Оз -19	$0,2000 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -51 Н -68	$0,7840 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -56 Ов -51 Н -68	$0,1960 \cdot 10^{-6}$	0,005
П -56 Оз -8 Н -68	$0,3920 \cdot 10^{-7}$	0,005
П -84 Ов -51 Н -68	0	0
П -84 Оз -24 Н -68	0	0
П -6 Н -68	$0,3920 \cdot 10^{-2}$	0,005

Продолжение Таблицы 2

П -12 Н -68	$0,4704 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -13 Н -68	$0,4704 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -20 Ов -48 Н -68	$0,7840 \cdot 10^{-6}$	0,005
П -20 Оз -20 Н -68	$0,1568 \cdot 10^{-6}$	0,005
П -47 Н -68	$0,7840 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -48 Н -68	$0,7840 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -52 Ов -48 Н -68	$0,3920 \cdot 10^{-5}$	0,005
П -52 Оз -20 Н -68	$0,7840 \cdot 10^{-6}$	0,005
П -86 Н -68	0	0
П -87 Н -68	0	0
П -1 Н -68	$0,7840 \cdot 10^{-4}$	0,005
П -7 Н -68	$0,1960 \cdot 10^{-2}$	0,005
П -44 Н -68	$0,3920 \cdot 10^{-3}$	0,005
П -85 Н -68	0	0

Суммарная частота события – $0,1091 \cdot 10^{-1}$ 1/год.

Средняя продолжительность отключения – 0,6449 ч.

Коэффициент неготовности – $0,8035 \cdot 10^{-6}$ о.е.

Заключение

В результаты произведенного расчета было выявлено, что отдельные секции нормальной эксплуатации могут быть погашены раз в несколько лет, однако одновременное погашение двух и более секций нормальной эксплуатации – практически невозможное событие. Это свидетельствует о высокой надежности схемы собственных нужд блока ВВЭР-1000 и о целесообразности ее применения.

Расхождение результатов ручного и машинного расчета можно объяснить не учетом частот и длительностей плановых ремонтов, а также некоторыми техническими ограничениями накладываемыми программой “REISS”.

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. Старжинский А.Л. Определение надежности схем электроснабжения собственных нужд атомной электрической станции. Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2015.