

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ АВАРИЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД АЭС

Т.А. Писаренко, проф. В.Е. Пустоваров, к.т.н. А.Д. Савоськин

Рассчитана вероятность безотказной работы аварийного электроснабжения потребителей собственных нужд атомной электростанции.

Одним из приоритетных направлений государственной политики Украины является энергосбережение. Это подразумевает решение проблем как энергетики, так и экономики. Важнейшей составляющей является энергетическая безопасность, которая проявляется как уровень обеспечения государства топливно-энергетическими ресурсами, которые гарантируют нормальную жизнедеятельность, и как уровень безопасности энергетического комплекса государства, в первую очередь – атомной энергетики [4].

Характерной особенностью АЭС, оказывающей первостепенное влияние на принципы построения схем электроснабжения потребителей собственных нужд, на выбор источников питания и кратности их резервирования, является наличие остаточных тепловыделений в активной зоне. После любой остановки блока АЭС, плановой или внеплановой аварии, надо обеспечить непрерывную циркуляцию теплоносителя через активную зону для отвода остаточных тепловыделений, а также работу теплообменных устройств для передачи энергии от теплоносителя в окружающую среду (воду или атмосферу).

В случае потери питания от рабочих и резервных источников расхолаживание реакторов осуществляется с привлечением независимых аварийных источников. На анализируемой АЭС в качестве аварийных источников используются аккумуляторные батареи (АБ) и резервные дизельные электростанции (РДЭС). Основными потребителями аварийного электроснабжения являются: системы управления, контрольно-измерительные приборы, автоматика защит и механизмы, обеспечивающие расхолаживание реактора и безопасность реакторной установки [1].

К системам аварийного расхолаживания АЭС предъявляются высокие требования в отношении надежности и эффективности срабатывания для всех ее элементов. Для оценки надежности рассмотрим структурную схему надежности (ССН), которая является математической моделью, построенной на основе логического анализа функциональной схемы системы и отображающей влияние функционального назначения элементов и связей между ними на надежность всей системы.

Аварийное электроснабжение АЭС осуществляется тремя одинаковыми, резервируемыми каналами системы безопасности. Схема одного из трех каналов безопасности представлена на рис. 1. Для удобства расчетов пронумеруем элементы на схеме, которые необходимо учитывать при оценке надежности, и сгруппируем их по назначению (табл. 1).

Таблица 1

Интенсивности отказов элементов одного канала безопасности

Наименование элементов	Номера элементов на схеме	Интенсивность отказов (1/год)
Автоматический выключатель переменного тока	19	0,0005
Автоматический выключатель постоянного тока	8, 11	0,001
Аккумуляторная батарея (АБ)	9	0,001
Асинхронный двигатель	21	0,003
Выключатель ВЭ-6	2, 4, 15, 16, 26	0,002
Дизель-генератор	22	0,01
Кабельная линия 6 кВ (разная длина участка линии)	3	0,000699
	14	0,00015
	17, 25	0,0009
Разъединитель	7, 10, 24	0,001
Сборные шины 0,4 кВ	6, 20	0,002
Сборные шины 6 кВ	1, 5, 23	0,02
Тиристорный преобразователь	12	0,0001
Трансформатор 6/0,4 кВ	13, 18	0,001

В случае полного обесточения питание осуществляется, на первых порах, от аккумуляторных батарей. Автоматика ступенчатого пуска (АСП) подает параллельный сигнал на отключение секционных выключателей, отключение нагрузки, запитанной от шин второй группы надежного питания 6 и 0,4 кВ, и включение дизель-генераторов. АСП находится в шкафах УКТС, которые подключены к шинам 0,4 кВ первой группы надежного питания. Пока дизель-генераторы не вышли на номинальные параметры, питание всех, оставшихся включенными потребителей осуществляется от аккумуляторных батарей. После подачи команды на включение дизель-генераторов, они в течение 15 сек, выходят на номинальные параметры и командой от АСП включаются на шину 6 кВ второй группы надежного питания. С этого момента все элементы аварийного электроснабжения получают питание от дизель-генераторов. Автоматика ступенчатого пуска ступенями включает асинхронную нагрузку.

Для оценки надежности аварийного электроснабжения будем считать, что справедлив экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы; расчетный интервал принимается равным одному году; восстановление объектов не учитывается, рассматривается только момент включения.

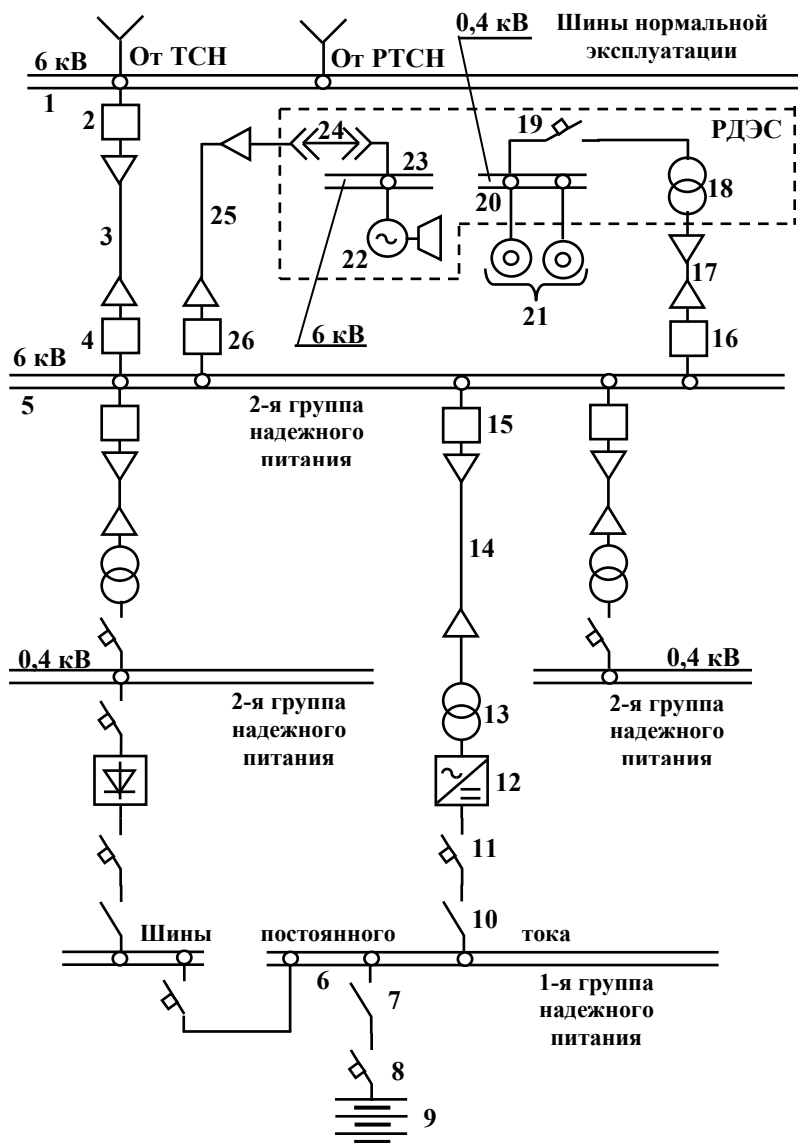


Рис. 1. Принципиальная схема одного канала системы безопасности

Вероятность безотказной работы одного канала системы безопасности будет зависеть от: вероятности безотказного отключения двух секционных выключателей P_I ; вероятности безотказной работы аккумуляторных батарей P_{II} ; вероятности безотказной работы резерв-

ной дизельной электростанции P_{III} ; вероятности безотказной работы шкафов управления P_{IV} .

Полагаем, что совокупность элементов рассматриваемой системы позволяет выполнять заданные функции только при условии, что все элементы работоспособны. Структурной схемой надежности такой системы, изображенной графически на рис. 2, является последовательное соединение 4 основных элементов (P_I ; P_{II} ; P_{III} ; P_{IV}), каждый из которых представляет отдельную подсистему ($ССН_i$).

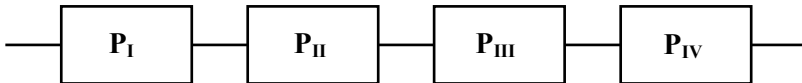


Рис. 2. Структурная схема надежности канала безопасности

Сначала вычислим для каждой из четырех подсистем вероятность ее безотказной работы P_i и вероятность отказа Q_i [2, 3], а затем полученные данные применим для расчета показателей надежности одного канала безопасности.

Структурная схема надежности подсистемы секционных выключателей ($ССН_1$) состоит из последовательного соединения ее элементов (рис. 3), характеризующихся вероятностями безотказной работы: P_1, P_5 – шин 6кВ нормальной эксплуатации и 6кВ надежного питания; P_2, P_4 – безотказного отключения секционных выключателей ВЭ-6 между шинами 6кВ; P_3 – кабельной линии 6кВ. В табл. 1 приведены данные интенсивности отказов для всех элементов системы, которые изображены на рис. 1 и учитываются при расчете показателей надежности одного канала безопасности [2, 3].

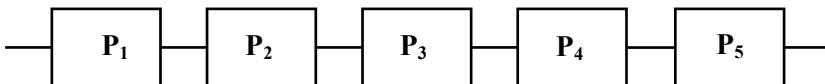


Рис. 3. Структурная схема надежности подсистемы секционных выключателей ($ССН_1$)

Вероятность безотказной работы подсистемы секционных выключателей определяется по формуле [2, 3]:

$$P_I = e^{-\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i\right)t} = \exp(-0,044699) = 0,956,$$

где $\sum \lambda_i$ – сумма интенсивностей отказов элементов подсистемы (табл. 1),

$$\sum \lambda_i = 0,02 + 0,002 + 0,000699 + 0,002 + 0,02 = 0,044699 \text{ 1/год};$$

$t = 1$ год.

Вероятность отказа первой подсистемы равна

$$Q_I = 1 - P_I = 1 - 0,956 = 0,044.$$

Аналогичным образом рассчитаны вероятности безотказной рабо-

ты остальных подсистем и приведены в табл. 2.

Таблица 2

Вероятности безотказной работы подсистем

Подсистема	Вероятность безотказной работы	Вероятность отказа
1-я	0,956	0,044
2-я	0,995	0,005
3-я	0,918	0,082
4-я	0,911	0,089

Так как отказы каждой из подсистем практически независимы друг от друга, то вероятность безотказной работы всей системы канала безопасности может быть определена по формуле [2, 3]:

$$P = \prod_{i=1}^n P_i = 0,956 \cdot 0,995 \cdot 0,918 \cdot 0,911 = 0,7955.$$

Учитывая, что на АЭС имеется трехкратное резервирование канала безопасности, суммарная вероятность безотказной работы системы, состоящей из трех каналов безопасности, будет равна

$$P_{\Sigma} = 1 - (1 - P)^3 = 1 - (1 - 0,7955)^3 = 0,9914.$$

Таким образом, полученный результат показывает, что надежность системы аварийного электроснабжения потребителей собственных нужд атомной электростанции является высокой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гук Ю.Б. Устройство, проектирование и эксплуатация схем электроснабжения собственных нужд АЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 296 с.
2. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике: Учеб.пособие для вузов. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
3. Савоськин А.Д. Основы теории надежности и эффективности систем электроснабжения: Учебное пособие. – Х.: ХВВКУ, 1979. – 206 с.
4. Энергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М.П. Ковалко, С.П. Денисюк. – К.: УЕЗ, 1998. – 506 с.

Поступила 29.04.2002

ПИСАРЕНКО Татьяна Александровна, магистр Украинской инженерно-педагогической академии. В 2001 году окончила УИПА. Область научных интересов – электроэнергетика.

ПУСТОВАРОВ Владимир Евгеньевич, канд. техн. наук, профессор, профессор УИПА. В 1961 году окончил Харьковское высшее авиационно-инженерное военное училище. Область научных интересов – радиоэлектроника и электроэнергетика. E-mail: vladimir@ic.kharkov.ua.

САВОСЬКИН Александр Дмитриевич, канд. техн. наук, доцент, доцент Харьковского военного университета. В 1964 году окончил Харьковское высшее военное командное училище. Область научных интересов – электроэнергетика и системы управления ею.