

**ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ АГРЕГАТОВ  
БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ  
АВАРИЙНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ  
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД АЭС**

проф. В.Е. Пустоваров, Т.А. Писаренко, А.И. Емельянов

*Проанализирована реконструкция агрегатов бесперебойного питания (АПБ) системы аварийного электроснабжения потребителей собственных нужд атомных электростанций (АЭС) и осуществлена оценка надежности системы безопасности.*

**Постановка проблемы.** В связи с окончанием гарантийного срока эксплуатации агрегатов бесперебойного питания системы аварийного электроснабжения потребителей собственных нужд АЭС возникла необходимость полной или частичной замены отработавших свой ресурс АПБ, т.е. провести реконструкцию существующей системы аварийного электроснабжения потребителей собственных нужд. Необходимо оценить надежность реконструированной системы.

**Анализ литературы.** На анализируемой АЭС в качестве аварийных источников аварийного электроснабжения потребителей собственных нужд используются аккумуляторные батареи (АБ) и резервные дизельные электростанции (РДЭС). Основными потребителями аварийного электроснабжения являются: системы управления, автоматика защит и механизмы, обеспечивающие расхолаживание реактора и безопасность реакторной установки, а также контрольно-измерительные приборы [1].

Аварийное электроснабжение АЭС осуществляется тремя одинаковыми, нерезервируемыми каналами системы безопасности. Будем полагать, что совокупность элементов рассматриваемой системы позволяет выполнять заданные функции только при условии, что все элементы работоспособны. Вероятность безотказной работы канала системы безопасности будет зависеть от вероятности безотказной работы каждого входящего в нее элемента. Для оценки надежности аварийного электроснабжения полагаем, что справедлив экспоненциальный закон распределения времени безотказной работы; расчетный интервал принимается равным одному году; восстановление объектов не учитывается, рассматривается только момент включения [2].

В работе [3] проанализирована схема одного канала безопасности и оценена надежность существовавшей до реконструкции системы аварийного электроснабжения потребителей собственных нужд АЭС. Реконструкция в системе агрегатов бесперебойного питания заключается в замене в агрегатах бесперебойного питания выпрямителей и инверторов немецкой фирмы “BENNING” на аналогичные устройства швейцарской фирмы “GUTOR”. Замена выпрямителей и инверторов фирмы “BENNING” на устройства фирмы “GUTOR” выполнена на основании анализа, выполненного на АЭС, и рекомендаций, изложенных в [4, 5].

**Целью статьи** является оценка надежности системы безопасности атомной электростанции после выполнения реконструкции агрегатов бесперебойного питания.

Вероятность безотказной работы одного канала системы безопасности (рис.1) будет зависеть от вероятности безотказного отключения двух секционных выключателей  $P_I$  и безотказной работы: аккумуляторных батарей  $P_{II}$ ; резервной дизельной электростанции  $P_{III}$  и шкафов управления  $P_{IV}$ .



Рис. 1. Структурная схема надежности одного канала безопасности

Структурная схема надежности (ССН) – это математическая модель, построенная на основе логического анализа функциональной схемы системы безопасности [3] и отображающая влияние функционального назначения элементов и связей между ними на надежность всей системы. Так как отказы каждой из подсистем (рис.1) практически независимы друг от друга, то вероятность безотказной работы всей системы одного канала безопасности до реконструкции может быть определена по формуле [3]:

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

где  $P_I = 0,956$  – вероятность безотказного отключения двух секционных выключателей;  $P_{II} = 0,995$  – вероятность безотказной работы аккумуляторных батарей;  $P_{III} = 0,918$  – вероятность безотказной работы резервной дизельной электростанции;  $P_{IV} = 0,911$  – вероятность безотказной работы шкафов управления.

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

$$P_{\Sigma} = 1 - (1 - P)^3 = 1 - (1 - 0,7955)^3 = 0,9914. \quad (2)$$

После реконструкции изменится структурная схема надежности четвертого элемента канала безопасности – ССН подсистемы шкафов управления. Эта схема будет иметь теперь в своем составе одиннадцать последовательно соединенных элементов, которые учитывают вероятности безотказной работы шин постоянного тока, разъединителя, автоматического выключателя АЗ793С, кабельной линии 0,4 кВ (АВВГнГ 4x120), инвертора, тиристорного переключающего устройства, кабельной линии 0,4 кВ (АВВГнГ 4x120), шин 0,4 кВ, автоматического выключателя ВА55А31, автоматики ступенчатого пуска и вероятность безотказного включения ответственных потребителей аварийного электроснабжения. Для всех элементов схемы, кроме автоматики ступенчатого пуска, справедлив экспоненциальный закон распределения случайной величины, а для автоматики ступенчатого пуска – закон гамма-распределения. Данные интенсивности отказов для всех элементов подсистемы шкафов управления приведены в табл. 1 (для 11-го элемента приведена вероятность безотказного включения) [3, 5, 6].

Таблица 1

Интенсивности отказов элементов ССН

Наименование элементов	Номера элементов	Интенсивность отказов (1/год)
Сборные шины 0,4 кВ	1	0,002
Разъединитель	2	0,001
Автоматический выключатель АЗ793С	3	0,001
Кабельная линия 0,4 кВ (разная длина участка линии)	4, 7	0,0001 0,00005
Инвертор	5	0,0000212
Тиристорное переключающее устройство	6	0,0000009
Шина 0,4 кВ	8	0,002
Автоматический выключатель ВА55А31	9	0,0000937
Автоматики ступенчатого пуска	10	0,0861
Включение ответственных потребителей аварийного электроснабжения	11	$P_{11} =$ $= 0,99999999392$

Вероятность безотказной работы первых девяти элементов подсистемы шкафов управления определяется по формуле [2, 3]:

$$P_{1-9} = e^{-\left(\sum_{i=1}^n \lambda_i\right) t} = \exp(-0,0062658) = 0,99335, \quad (3)$$

где  $t = 1$  год;  $\sum \lambda_i$  – сумма интенсивностей отказов элементов подсистемы (табл. 1), равная

$$\begin{aligned} \sum \lambda_i &= 0,002 + 0,001 + 0,001 + 0,001 + 0,0000212 + 0,0000009 + \\ &+ 0,00005 + 0,002 + 0,0000937 = 0,006258 \text{ 1/год.} \end{aligned}$$

Вероятность безотказной работы 10-го элемента подсистемы шкафов управления определяется по формуле [2]:

$$P_{10} = e^{-\lambda t \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!}} = e^{-0,0861 \sum_{i=0}^{k-1} \frac{(0,0861)^i}{i!}} = \exp(-0,0074132) = 0,99238, \quad (4)$$

где  $\lambda = 0,0861$ ;  $k = 2$ ;  $t = 1$  год.

Вероятность безотказной работы подсистемы шкафов управления определяется по формуле [2]:

$$P_{1Y} = P_9 \cdot P_{10} \cdot P_{11} = 0,99335 \cdot 0,99238 \cdot 0,99999999392 = 0,98578 \approx 0,986.$$

Из сравнения значений вероятностей безотказной работы подсистемы шкафов управления  $P_{1Y}$  после реконструкции (0,986) и до нее (0,911) видно, что значение  $P_{1Y}$  после реконструкции увеличилось на 0,075 или на 8,2 %.

Так как отказы каждой из рассмотренных подсистем практически независимы друг от друга, то вероятность безотказной работы одного канала безопасности  $P_{KB}$  после реконструкции может быть определена по формуле (1):

$$P_{KB} = \prod_{i=1}^n P_i = 0,956 \cdot 0,995 \cdot 0,918 \cdot 0,986 = 0,86099 \approx 0,861.$$

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

$$P_{CB} = 1 - (1 - P)^3 = 1 - (1 - 0,861)^3 = 0,9973.$$

**Выводы.** Проведенная реконструкция агрегатов бесперебойного питания системы аварийного электроснабжения потребителей собственных нужд АЭС повысила:

– вероятность безотказной работы подсистемы шкафов управления на 8,2 %;

– вероятность безотказной работы одного канала безопасности на 8,2 %;

– суммарную вероятность безотказной работы системы безопасности на 0,6 %;

Таким образом, полученный результат показывает, что реконструкция агрегатов бесперебойного питания обеспечила надежность системы аварийного электроснабжения потребителей собственных нужд атомной электростанции несколько выше той, которая была до реконструкции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гук Ю.Б. *Устройство, проектирование и эксплуатация схем электроснабжения собственных нужд АЭС.* – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 296 с. – (Б-ка эксплуатационника АЭС; Вып. 32).
2. Гук Ю.Б. *Теория надежности в электроэнергетике: Учеб. пособие для вузов.* – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 208 с.
3. Писаренко Т.А., Пустоваров В.Е., Савоськин А.Д. *Оценка показателей надежности аварийного электроснабжения потребителей собственных нужд АЭС // Системы обработки інформації.* – Х.: НАНУ, ПАНМ, ХВУ. – 2002. – Вып. 3 (19). – С. 150 – 154.
4. *Технико-экономический анализ агрегатов бесперебойного питания мощностью 80 – 200 кВА, имеющих на мировом рынке; подготовка исходных данных к выбору зарубежных партнеров по разработке, изготовлению и поставкам отдельных видов оборудования систем гарантированного электропитания по программе обновления АБП на АЭС Украины. Отчет.* – Акционерная компания ЭНПАС-ЭЛЕКТРО. – К., 1995. – 44 с.
5. *Инвертор GUTOR типа WDW3xxx-200/400-EAN. ТУ У 31282244.002-2001.* – 63 с.
6. *Выпрямитель GUTOR серии SDC. ТУ У 31282244.001.* – 2001. – 68 с.

Поступила 4.06.2003

**ПУСТОВАРОВ Владимир Евгеньевич**, канд. техн. наук, профессор УИПА. В 1961 году окончил Харьковское высшее авиационно-инженерное военное училище. Область научных интересов – радиоэлектроника и электроэнергетика.

E-mail: [vladimir@ic.kharkov.ua](mailto:vladimir@ic.kharkov.ua).

**ПИСАРЕНКО Татьяна Александровна**, аспирант Украинской инженерно-педагогической академии. В 2002 году окончила магистратуру УИПА. Область научных интересов – электроэнергетика.

**ЕМЕЛЬЯНОВ Александр Иванович**, старш. мастер ЭЦ ОП ЗАЭС. В 2003 году окончил УИПА. Область научных интересов – электроэнергетика.

E-mail: [emelianov@ntline.net](mailto:emelianov@ntline.net).