

2. DBN V.2.5–67:2013. Opalennia, ventyliatsiia ta kondytsiuvannia povitria. – Chynni vid 2013-09-01. – Kyiv : Minrehionbud ta ZhKH Ukrainy, 2013. – 167 c.
3. Pyrkov V.V. Osoblyvosti proektuvannia suchasnykh system vodianoho opalennia / V.V. Pyrkov. – K. : II DP «Taki spravy», 2003. – 176 c.
4. Bohuslavskiy L.D. Enerhosberezhenye v systemakh teplosnabzheniya, ventyliatsyy u kondytsyonyrovaniya vozdukha : sprav. posob. / L.D. Bohuslavskiy, V.I. Lyvchak, V.P. Tytov y dr.; pod red. L.D. Bohuslavskoho y V. I. Lyvchaka. – M. : Stroyzdat, 1990. – 624 c.
5. Iaushovetts R. Hydravlyka – serdtse vodianoho otopleniya / R. Yaushovetts. – Herz Armaturen, Vena, 2005. – 201 c.
6. Liubarets O. P. Proektuvannia system vodianoho opalennia / O. P. Liubarets, O. M. Zaitsev, V. O. Liubarets. – Herz Armaturen, Viden – Kyiv – Simferopol, 2010. – 200 c.

УДК 697.1

М. Ф. Боженко канд. техн. наук, доцент, **Н. И. Новицкий**
Национальный технический университет Украины «КПИ»
ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ

Выполнены расчеты сравнительной эффективности двухтрубных и однотрубных вертикальных насосных систем водяного отопления. Доказано, что двухтрубная система отопления имеет меньшие приведенные затраты по сравнению с однотрубной. Получен комплексный безразмерный параметр оценки нагревательных приборов, который дает возможность выбора наиболее эффективных их типов.

Ключевые слова: система отопления, приведенные затраты, эксплуатационные расходы, капиталовложения.

Надійшла 25.11.2014

Received 25.11.2014

УДК 621.06

В.И. Коньшин, канд. техн. наук, доцент; **Р.П. Рыбинский**
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

**РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО АЛЬТЕРНАТИВНОМУ
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ
ПОЛНОГО ОБЕСТОЧИВАНИЯ АЭС**

Приведены варианты альтернативного электроснабжения оборудования при полном обесточивании АЭС. Выполнены расчеты частот повреждения активной зоны реактора ВВЭР-1000 для основных исходных событий с учетом предложенных вариантов. В настоящей работе проведено исследование существующего дефицита надежности обеспечения электроснабжением основных систем и элементов, в условиях полного обесточивания энергоблока. В результате анализа определены особенности предложенных вариантов аварийного электроснабжения, их преимущества и недостатки в условии аварии с полным обесточиванием энергоблоков АЭС.

Ключевые слова: полное обесточивание энергоблока, частота повреждений активной зоны, электроснабжение, исходное событие аварии.

Под полным обесточиванием понимается потеря секций нормального электроснабжения собственных нужд с наложением отказов трех дизелей системы надежного электроснабжения с невозможностью их восстановления [4]. Для возобновления электроснабжения возможны только альтернативные пути с подключением внешних источников к секциям надежного питания. В настоящей работе, в качестве внешних источников, рассмотрены:

- газотурбинная установка (ГТУ);
- дополнительный дизель-генератор (ДГ);

- общешлюзовая резервная дизельная электростанция (ОРДЭС).

Для исследования дефицита надежности используется существующая вероятностная модель для кода *SAPHIRE* (*System Analysis Programs for Hands-On Integrated Reliability Evaluations*) энергоблока №2 ХАЭС [1], которая адекватно отражает структуру электроснабжения всех основных элементов технологических систем, участвующих в ограничении последствий аварий. *SAPHIRE* – это интегрированный программный инструмент для вероятностного анализа риска, который дает возможность пользователю создавать и анализировать деревья отказов и деревья событий с помощью персонального компьютера.

Следует отметить, что существующее в рамках ВАБ (вероятностный анализ безопасности) дерево событий “Обесточивание всех секций нормальной эксплуатации” (код ИСА (исходное событие аварии) T1) [2] не подходит для настоящей работы, так как:

- описывает потерю электроснабжения собственных нужд при отключении энергоблока от сети и остановке турбогенератора с посадкой СК ТГ (стопорные клапаны турбогенератора). Причинами аварии, рассматриваемой в таком контексте, являются нарушения устойчивости энергосистемы, короткие замыкания во внешней сети или в электрооборудовании подстанций АЭС. Таким образом, отказ секций собственных нужд происходит не по причине отказа оборудования, а вследствие невозможности выполнения требуемой функции безопасности. При этом сами секции остаются потенциально работоспособными;

- запуск дизель - генераторов системы надежного электроснабжения происходит после обесточивания секций надежного питания 2-й категории;

- под восстановлением электроснабжения следует считать возможность возобновления подачи внешнего питания на работоспособные секции собственных нужд.

Учитывая вышесказанное, дерево событий с кодом T1 не может быть использовано без модификации для адекватной оценки предлагаемых мероприятий;

Общий подход к моделированию межсистемных зависимостей, реализованный в интегральной модели для кода *SAPHIRE* энергоблока №2 ХАЭС [1], учитывает все возможные связи с системами электроснабжения в системных деревьях отказов технологических систем. Модель учитывает все возможные пути электроснабжения элемента независимо от наличия факта обесточивания.

Для каждого альтернативного пути восстановления электроснабжения разрабатывается соответствующая модель в расчетном коде *SAPHIRE*, которая количественно оценивается и анализируется по критериям вклада в риск.

Все рассматриваемые альтернативные варианты электроснабжения предназначены для восстановления питания секций систем нормальной эксплуатации (СНЭ).

Проведем качественный анализ предлагаемых путей внешних источников электроснабжения:

1. Использование ОРДЭС (Вариант 1):

Предлагаемый вариант делает возможным использование ОРДЭС в качестве источника для восстановления электроснабжения 2-й и 3-й секций САЭ (система аварийного электроснабжения), а именно *BW* и *BX*. Интерфейс разрабатывается таким образом, что любая из секций ОРДЭС *VJ* или *BK* может быть использована для питания любой из секций *BW* и *BX*. Поскольку мощность ДГ, установленных на секциях САЭ и СНЭ ВБ (важных для безопасности), является одинаковой, то такой вариант не ставит вопрос о выборе критической группы оборудования. Таким образом, весь комплекс оборудования, имеющего свое электропитание от САЭ, имеет возможность возобновить такое питание в полном объеме. Следует отметить, что ОРДЭС имеет свой собственный алгоритм АСП (автоматика ступенчатого пуска), реализуемый автоматически. Исходя из этого, питание секций СНЭ ВБ от ДГ будет также осуществляться автоматически. При этом предполагается, что алгоритм АСП САЭ сохранит свою работоспособность независимо от факта отказа собственных ДГ этих секций по причине того, что секции САЭ будут повторно запитаны. Таким образом, предлагаемый вариант в части своей функциональности не будет иметь отличий от базового варианта, за исключением того, что будут доступны только 2 из 3 секций САЭ. Также предполагается, что не потребуются действия персонала, связанных с реализацией такого алгоритма.

2. Использование газотурбинной электростанции ГТЭ-5 (Вариант 2):

Вариант учитывает использование внешнего источника электроснабжения, состоящего из газотурбинной электростанции и секции 6 кВ, через которую она осуществляет свой интерфейс с одной выбранной секцией САЭ *BW* или *BX*. Планируемая мощность устройства составляет 5000 кВт, что, в принципе, сопоставимо с ДГ, имеющим мощность 5600 кВт. Однако, возникающий дефицит мощности требует дополнительных исследований в части расчета требуемой мощности устройства по отношению к потребляемой мощности оборудования. Для целей настоящей работы предполагается, что мощность достаточна для всего комплекса оборудования, имеющего свое электропитание от САЭ, и подключение устройства создает возможность возобновить такое питание в полном объеме. Для практической реализации варианта с ГТУ потребуются выполнение определенных действий персонала, направленных

на ввод его в работу, подключение устройства, а также, на подключение технологического оборудования. Т.е., предполагается, что в случае отсутствия питания на секции САЭ, алгоритм АСП зависимо отказывает и потребуются действия оператора по вводу в работу ряда технологических систем после возобновления их электроснабжения.

3. Установка дополнительного ДГ (Вариант 3):

Рассматриваемый вариант предполагает установку дополнительного ДГ, который осуществляет выборочное электропитание одной из секций САЭ *BW* или *BX*. Мощность дополнительного ДГ полностью соответствует мощности системного ДГ САЭ и по этой причине полагается, что весь комплекс оборудования, имеющего электропитание от выбранной секции САЭ, имеет возможность возобновить такое питание в полном объеме. Однако до момента детальной разработки проекта не представляется возможным утверждать способ запуска данного устройства (автоматически или оператором) и возможность сохранения существующего алгоритма АСП для секций САЭ. Таким образом, для целей настоящего анализа консервативно полагается, что будут необходимы соответствующие действия персонала по вводу ДГ в работу и по запуску соответствующих технологических систем.

С учетом предложенных вариантов, были проведены расчеты вероятностной модели кодом *SAPHIRE* энергоблока №2 ХАЭС [2], которые показали следующие значения ЧПАЗ (частота повреждений активной зоны), представленные в таблице 1.

События на АЭС Фукусима – 1 показали, что наложение нескольких ИСА возможно. В следствие этого, в данной таблице рассмотрены результаты расчета частот повреждения активной зоны для ИСА, что приводят к повреждению активной зоны в случае полного обесточиванию энергоблока.

Таблица 1

Результаты расчета частот повреждения активной зоны для ИСА

ИСА [1]	ЧПАЗ при полном обесточивании, 1/год	ЧПАЗ при реализации Варианта 1, 1/год	ЧПАЗ при реализации Варианта 2 при подключении к секции <i>BV</i> , 1/год	ЧПАЗ при реализации Варианта 2 при подключении к секции <i>BW</i> , 1/год	ЧПАЗ при реализации Варианта 2 при подключении к секции <i>BX</i> , 1/год	ЧПАЗ при реализации Варианта 3 при подключении к секции <i>BW</i> , 1/год	ЧПАЗ при реализации Варианта 3 при подключении к секции <i>BX</i> , 1/год
R	2,700E-07	2,700E-07	2,700E-07	2,700E-07	2,700E-07	2,700E-07	2,700E-07
S1	1,760E-04	7,207E-06	8,800E-05	8,800E-05	1,512E-05	8,800E-05	1,512E-05
S2	8,600E-04	8,806E-06	8,120E-05	8,127E-05	8,116E-05	8,127E-05	8,116E-05
S3	7,935E-02	8,707E-04	1,097E-02	1,097E-02	1,738E-03	1,097E-02	1,738E-03
S4	8,169E-01	6,100E-03	7,653E-02	7,653E-02	1,210E-02	7,653E-02	1,210E-02
T1	2,253E-02	1,864E-03	2,555E-02	2,517E-02	3,637E-03	2,517E-02	3,637E-03
T10	1,174E-02	1,617E-04	2,674E-03	2,501E-03	1,570E-03	2,501E-03	1,570E-03
T11	1,750E-01	2,411E-03	3,987E-02	3,730E-02	2,341E-02	3,730E-02	2,341E-02
T12	7,055E-02	9,729E-04	1,636E-02	1,532E-02	9,534E-03	1,532E-02	9,534E-03
T13	2,651E-05	2,278E-06	2,696E-05	2,656E-05	3,821E-06	2,656E-05	3,821E-06
T2	5,344E-03	8,204E-05	1,218E-03	1,139E-03	7,949E-04	1,139E-03	7,949E-04
T31	6,266E-01	8,634E-03	1,428E-01	1,336E-01	8,381E-02	1,336E-01	8,381E-02
T32	6,894E-02	5,386E-03	7,010E-02	6,909E-02	1,097E-02	6,909E-02	1,097E-02
T33	2,329E-02	3,667E-04	5,446E-03	5,448E-03	3,094E-03	5,448E-03	3,094E-03
T41	4,211E-01	3,371E-02	7,753E-02	3,739E-02	4,216E-02	3,739E-02	4,216E-02
T42	3,468E-02	1,410E-03	3,746E-03	1,830E-03	1,694E-03	1,830E-03	1,694E-03
T5	1,359E-02	1,458E-03	1,064E-02	9,958E-03	5,428E-03	9,958E-03	5,428E-03
T61	2,973E-02	3,192E-03	2,327E-02	2,179E-02	1,187E-02	2,179E-02	1,187E-02
T62	1,097E-03	1,227E-04	1,054E-03	1,054E-03	1,918E-04	1,054E-03	1,918E-04
T7	2,693E-05	2,314E-06	2,738E-05	2,698E-05	3,881E-06	2,698E-05	3,881E-06
T8	1,287E-02	1,146E-03	1,304E-02	1,281E-02	2,195E-03	1,281E-02	2,195E-03
T9	8,152E-02	6,368E-03	8,289E-02	8,169E-02	1,298E-02	8,169E-02	1,298E-02
Итог	2,496E+00	7,428E-02	6,039E-01	5,438E-01	2,273E-01	5,438E-01	2,273E-01

Где представленные в таблице ИСА: R – разрыв корпуса реактора, T1 – обесточивание всех секций нормального электроснабжения; S1 – большая течь первого контура; S2 – средняя течь первого контура; S3 – малая некомпенсируемая течь; S4 – малая течь, компенсируемая системой продувки подпитки; T10 – потеря промконтура; T11 – ложное закрытие локализирующей арматуры; T12 – потеря технической воды ответственных потребителей; T13 – потеря САОЗ НД (система аварийного охлаждения активной зоны низкого давления); T2 – разрыв линии подпитки; T31 – переходные процессы, требующие срабатывания аварийной защиты; T32 – отказ конденсатно-вакуумной системы;

T33 – ложное срабатывание БЗОК (быстродействующий запорно-отсечной клапан); T41 – малая течь из 1 во 2 контур; T42 – средняя течь из 1 во 2 контур; T5 – разрыв паропровода питательной воды; T61 – непреднамеренное открытие БРУ-А (быстродействующая редуцирующая установка сброса пара в атмосферу) или ПК ПГ (предохранительный клапан парогенератора); T62 – изолируемый разрыв паропровода после БЗОК; T7 – потеря двух каналов системы технической воды ответственных потребителей; T8 – потеря одной секции системы безопасности; T9 – потеря технической воды неответственных потребителей.

В результате анализа ЧПАЗ от ИСА, при различных вариантах восстановления электроснабжения секций 6 кВ второй категории надежности систем безопасности, можно сделать выводы, что:

- вариант 1 восстановления электроснабжения «Использование ОРДЭС» предпочтительнее вариантов 2 и 3 с позиции понижения как суммарной ЧПАЗ, так и всех отдельно взятых ИСА;
- вариант 2 «Использование газотурбинной установки» эквивалентен варианту 3 «Использование дополнительного ДГ» как с позиции понижения суммарной ЧПАЗ, так и отдельно взятых ИСА. При выборе реализации восстановления электроснабжения секций 6 кВ СБ (систем безопасности) вариантов 2 или 3 с позиции риска, предпочтение следует отдать варианту с лучшими показателями надежности;
- при реализации вариантов восстановления электроснабжения, при которых возможно подключение только одной из трех систем безопасности, с позиции уменьшения величины суммарной ЧПАЗ, наиболее предпочтительным является восстановление электроснабжения третьего канала СБ, секции ВХ, при этом ЧПАЗ составит 0,2273 1/год. При восстановлении электроснабжения второго канала СБ, секции ВХ, величина ЧПАЗ составит 0,5438 1/год. При восстановлении электроснабжения третьего канала СБ, секции ВВ, величина ЧПАЗ составит 0,6039 1/год;
- при реализации вариантов восстановления электроснабжения, при которых возможно подключение только одной из трех систем безопасности, с позиции уменьшения величины ЧПАЗ для отдельных ИСА, наиболее предпочтительным является восстановление электроснабжения третьего канала СБ, секции ВХ, при этом ЧПАЗ для всех ИСА за исключением ИСА T41 «Малые течи из первого контура во второй» будет наименьшей. Для ИСА T41 «Малые течи из первого контура во второй» предпочтительнее восстановить электроснабжение второго канала СБ.

Список литературы

1. Хмельницкая АЭС. Энергоблок № 2. Окончательный отчет по анализу безопасности. Глава 19. Вероятностный анализ безопасности. Описание вероятностной модели. Количественная оценка. Анализ значимости, чувствительности и неопределенности. 43-923.203.021.АВ.00, 2005.
2. Хмельницкая АЭС. Энергоблок № 2. Окончательный отчет по анализу безопасности. Глава 19. Вероятностный анализ безопасности. Определение аварийных последовательностей (моделирование деревьев событий). 43-923.203.024.АВ.00. 2005.
3. Хмельницкая АЭС. Энергоблок №1. Анализ и разработка мероприятий, направленных на создание резервных возможностей для подачи энергоснабжения критических групп оборудования от соседних энергоблоков или сторонних источников в условиях обесточивания с отказом ДГ. 43-677.207.002.ОТ01, 2007.
4. Хмельницкая АЭС. Энергоблок №2. Отчет по анализу безопасности. Том 8. Глава 8. Электроснабжение. Часть 3. Система аварийного энергоснабжения. 43-923.203.254.ОБ.08.03.РЕД.1.Ф.

V.I. Konshyn, R.P. Rybinskiy

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute" DEVELOPMENT OF MEASURES FOR ALTERNATIVE POWER SUPPLY EQUIPMENT IN NUCLEAR POWER BLACKOUT

Powered options for alternative power supply equipment at nuclear power blackout. The calculation of core damage frequency VVER-1000 reactor core for initiating events considering the options. The aim of this work is to study the existing deficit reliability provide electricity main elements influencing the risk in a power blackout. An analysis of the features of the options defined emergency makeup, their advantages and disadvantages in the subject accident blackout NPP.

Keywords: blackout, core damage frequency, electric power supply, initiating event.

1. Khmelnytsky NPP. Power unit № 2. The final safety analysis report. Chapter 19. Probabilistic Safety Analysis. Description probabilistic model. Quantitative evaluation. Analysis of relevance, sensitivity and uncertainty. 923.203.021.AV.00 43, 2005.