

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА И ВРЕМЕНИ ПУСКА МЕХАНИЗМОВ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ БЛОКА АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

С.В. Бортник, проф. В.Е. Пустоваров, к.т.н. О.Ю. Кондратюк

*Проанализирован механизм пуска системы безопасности и предложены методы по сокращению времени пуска системы безопасности.*

**Постановка задачи.** Учитывая возможные наложения отказов активных устройств систем безопасности, основное направление оптимизации – максимальное ускорение запуска насосов аварийного впрыскивания бора TQ13(23,33) и TQ14(24,34) при условии включения без выдержки времени всех присоединений 380 В. Набор нагрузки дизель-генераторов (ДГ) тремя ступенями с общим временем 12 с, упрощение схемы автоматического ступенчатого пуска (АСП) за счет уменьшения числа ступеней с 7 до 3.

Потенциальное максимальное ускорение запуска насосов является обеспечением безопасности АЭС.

**Анализ публикаций.** При проектировании, строительстве, эксплуатации особое внимание уделяется развитию и обеспечению безопасности атомной электростанции (АЭС). Это объясняется тем, что **безопасность АЭС** – свойство (атомной станции) АС с помощью технических средств и специальных организационных мероприятий исключить превышение установленных доз по внутреннему и внешнему облучению персонала и населения, а также превышение установленных норм содержания радиоактивных продуктов в окружающей среде. **Авария (радиационная)** – нарушение пределов безопасной эксплуатации АС, при котором происходит выход радиоактивных продуктов и(или) ионизирующего излучения за предусмотренные границы в количестве, превышающем установленные для нормальной эксплуатации значения, и которое требует прекращения нормальной эксплуатации АС. Авария характеризуется исходными событиями, путями протекания и последствиями [1, 2].

Должны быть предусмотрены по меньшей мере две независимые системы (две независимые группы органов) воздействия на реактивность активной зоны, желательны основанные на различных принципах.

По крайней мере две из предусмотренных независимых систем воздействия на реактивность активной зоны должны быть способны независимо одна от другой обеспечивать переход из любого состояния нор-

мальной эксплуатации в подкритическое состояние и поддержание этого состояния при рабочей температуре теплоносителя и замедлителя [3, 4].

Переход в подкритическое состояние должен происходить достаточно быстро, чтобы предотвратить повреждение твэлов выше допустимых пределов при любом учитываемом исходном событии.

При определении необходимой и достаточной номенклатуры технических средств обеспечения безопасности анализировалось большое количество возможных аварийных ситуаций.

Аварийные ситуации, определяющие структуру и состав системы безопасности (СБ), могут быть сгруппированы по их признакам [5]:

1) аварийные ситуации, влияющие на реактивность активной зоны реактора, также, как неуправляемое движение вверх регулирующих органов систем управления защитой (СУЗ) реактора, непреднамеренная подача в активную зону реактора неборированной воды, принудительное расхолаживание I контура при работе реактора на мощности, в том числе из-за разрывов трубопроводов;

2) аварийные ситуации, связанные с разрывом трубопроводов I контура;

3) потери электропитания механизмов собственных нужд (полное обесточивание).

Необходимо отметить, что при анализе безопасности АЭС и выборе характеристик систем безопасности, в соответствии с действующими нормами, учитывали внешние воздействия и факторы, которые могут вызвать или сопровождать вышеперечисленные аварийные ситуации.

К внешним воздействиям и факторам можно отнести сейсмическую активность площадки АЭС, пожары на АЭС, наводнения и т.п.

Сочетания этих факторов с аварийной ситуацией выдвигают более жесткие требования к системе безопасности.

Учитывая возможные наложения отказов активных устройств системы безопасности, в проекте АЭС принята структура трех полностью независимых каналов системы безопасности, каждый из которых по своим характеристикам и набору оборудования достаточен для обеспечения безопасности АЭС в любом из аварийных режимов, предназначенные для предупреждения аварии и ограничения их последствий.

**Цель статьи.** Проанализировать процесс пуска механизмов системы безопасности блока атомной электростанции и показать преимущество трехступенчатого пуска механизмов СБ по сравнению с семиступенчатым.

Питание потребителей 6 кВ надежного питания II группы осуществляется от секций надежного питания BV, BW, VX, расположенных на отметке +20,4. Каждая из секций запитана от секций 6 кВ машинного зала VA, VB, VC, соответственно. При обесточении последних, питание секций BV, BW, VX осуществляется от резервных дизель-генераторов

РДЭС 1, 2, 3, которые подают питание каждый на “свою” секцию BV, BW, VX в ячейку № 15.

От секций 6 кВ надежного питания напряжение подается на электродвигатели механизмов СБ и трансформаторы 6/0,4 кВ, питающие секции 0,4 кВ надежного питания потребителей II группы.

Все три канала СБ выполнены по идентичной схеме. Система включает в себя ряд подсистем: гидроаккумуляторы; аварийное расхолаживание; аварийное впрыскивание бора; спринклерную; аварийную подачу питательной воды; надежное водоснабжение; надежное электроснабжение; контроль сигнализации и управления.

По сигналу “снижение напряжения на секциях 6 кВ” надежного питания II категории до  $0,25U_{ном}$  с двухсекундной задержкой прошли команды на отключение секционных выключателей секций 6 кВ, включения ДГ. Время от момента обесточивания до подключения ДГ к секциям составило 17 секунд.

На Запорожской АЭС с энергоблоками типа ВВЭР-1000 пуск механизмов системы безопасности блоков № 1 – 5 при обесточивании по команде “аварийный ступенчатый пуск (АСП)” выполнен 7-ми ступенями. В 1989 г. на энергоблоке № 5 ЗАЭС были произведены испытания на основании технического решения 05.РЦ.ООТр.2666 “Об ускорении ступенчатого набора нагрузки дизель-генераторов системы безопасности”, принятого 20.04.89 г.

Испытания выполнены 11.07.89 г. на этапе физического пуска с параметрами I контура: температура – 86 °С, давление – 24 кг/см<sup>2</sup>. Насосы систем ТQ и ТХ включались на контур рециркуляции.

В процессе испытаний опробовался алгоритм трехступенчатого набора нагрузки, по которому:

- без выдержки времени включается основная часть механизмов с двигателями 380 В (механизмы I, IV, VII проектных ступеней и группы samozapуска);

- с выдержкой времени 5 с включаются механизмы II проектной ступени, кроме насоса ТQ 24Д01, включаемого без выдержки времени;

- с выдержкой времени 10 с включаются механизмы III, V, VI проектных ступеней.

В табл. 1 приведены системы семи- и трехступенчатого запуска механизмов системы безопасности, которые включаются по команде автоматического ступенчатого пуска.

В табл. 2 приведены результаты испытаний системы безопасности энергоблока № 5 ЗАЭС, в которой указаны максимальные (пусковые) и установившиеся значения изменения мощности дизель-генератора в процессе набора нагрузки.

Для ступеней I и II в качестве установившихся значений взяты значения мощности непосредственно перед включением следующей ступени. Эти значения лишь примерно могут быть взяты за установившиеся, так как пусковой режим еще не окончен.

Таблица 1

Перечень механизмов системы безопасности по команде АСП

Ступень	t (с)	Каналы			Ступень	t (с)	Каналы		
		I	II	III			I	II	III
I	0	UV40D01	UV40D02	UV40D03	I	0	UV40D01	UV40D02	UV40D03
		UV40D04	UV40D05	UV40D06			UV40D04	UV40D05	UV40D06
		SU11D01	SU12D01	SU13D01			TQ13D01	TQ23D01	TQ33D01
		SC10D11	SC10D21	SC10D31			TQ14D01	TQ24D01	TQ34D01
		TL47D01	TL47D02	TL47D03			TF31D01	TF32D01	TF33D01
		TL48D01	TL48D02	TL48D03			TY21D01	TY22D01	TY23D01
							TL12D02	TL13D02	TL14D02
							TL04D01	TL04D02	TL04D03
							TL01D01	TL01D03	TL01D05
							TL01D02	TL01D04	TL01D06
							TL05D01	TL05D02	TL05D03
							TL22D01	TL22D02	TL22D03
							TL47D01	TL47D02	TL47D03
							TL48D01	TL48D02	TL48D03
							SC10D11	SC10D21	SC10D31
			SC11D01	SC12D01	SC13D01				
				<b>TQS42</b>					
				<b>TQS49</b>					
				<b>TQS69</b>					
				<b>TQS75</b>					
				<b>TFS19</b>					
				<b>TYS25</b>					
				<b>TYF19</b>					
				<b>UVB273</b>					
			1TLS01	2TLS01	3TLS01				
			1TLB01	2TLB01	3TLB01				
			1TLB19	2TLB19	3TLB19				
			1TLB26	2TLB26	3TLB26				
			1TLB47	2TLB47	3TLB47				
			1TLB93	2TLB93	3TLB93				
			1TLB55	2TLB55	3TLB55				
II	5	TQ12D01	TQ22D01	TQ32D01	II	7	TQ12D01	TQ22D01	TQ32D01
		TQ13D01	TQ23D01	TQ33D01			TQ11D01	TQ21D01	TQ31D01
		TQ14D01	TQ24D01	TQ34D01				TQS93	
III	10	QF11D02	QF21D02	QF31D02			TQS95		
						TQS134			
IV	20	TY21D01	TY22D01	TY23D01			TQS99		
V	30	TQ11D01	TQ21D01	TQ31D01			TQS11	TQS21	TQS31
		TF31D01	TF32D01	TF33D01					
VI	40	TX10D01	TX20D01	TX30D01	III	12	TX10D01	TX20D01	TX30D01
							QF11D01	QF21D01	QF31D01
VII	45	TL01D01	TL01D03	TL04D05			QF11D02	QF21D02	QF31D02
		TL01D02	TL01D04	TL05D06				TXS07	
		TL04D01	TL04D02	TL04D03				TXS30	
		TL05D01	TL05D02	TL05D03				TXS34	
		TL22D01	TL22D02	TL22D03				VFS05	

На основании анализа результатов испытаний штатного и ускоренного алгоритмов пуска и набора нагрузки ДГ механизмов систем безопасности блока № 5 пришли к выводу, что на энергоблоке № 6 Запорожской АЭС в порядке накопления опыта необходимо внедрить алгоритм ускоренного пуска и набора нагрузки дизель-генераторов систем безопасности.

Таблица 2

Значения изменения мощности ДГ в процессе набора нагрузки

Ступень / время выдержки, с	Максимальное (пусковое), кВт		Установившееся, кВт	
	Фактическое	Допустимое	Фактическое	Допустимое
I / 0 с	2550	4000	475	1375
II / 5 с	2905	4500	815	1800
III / 10 с	3110	5100	1510	2000

**Выводы:** Внедрение алгоритма ускоренного пуска и набора нагрузки дизель-генератора, позволяет осуществить:

- ускоренный запуск дизель-генератора по факту отключения выключателей рабочего и резервного вводов секций 6 кВ нормальной эксплуатации;
- набор нагрузки дизель-генераторов тремя ступенями с общим временем 12 с и первоочередным включением насосов аварийной подачи бора TQ13(23,33)D01 и TQ14(24,34)D01;
- упростить схему автоматического ступенчатого пуска за счет уменьшения числа ступеней с семи до трех и исключением команды циркулярного отключения присоединений 380 В.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 26291-84. Надежность атомных станций и их оборудования. Общие положения и номенклатура показателей. – М.: Госстандарт. – 1987. – 14 с.
2. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций, ПБЯ РУ АС-89, ПНАЭ Г-1-024-90. – М.: ЦНИИ, 1990. – 25 с.
3. Общие положения по устройству и эксплуатации систем аварийного электрообеспечения атомных станций. ПНАЭ Г-9-026-90. – М.: ЦНИИ, 1991. – 20 с.
4. Правила проектирования систем аварийного электроснабжения атомных станций. ПНАЭ Г-9-027-91. – М.: ЦНИИ, 1992. – 23 с.
5. Запорожская АЭС. Обоснование экологической безопасности строительства и эксплуатации. Харьковский государственный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт. – Харьков, 1992. – 102 с.

Поступила 19.04.2004

**БОРТНИК Сергей Владимирович**, магистрант УИПА. Область научных интересов – электроэнергетика.

**ПУСТОВАРОВ Владимир Евгеньевич**, канд. техн. наук, профессор, профессор УИПА. В 1961 году окончил Харьковское ВАИВУ. Область научных интересов – радиоэлектроника и электроэнергетика. E-mail: [vladimir@ic.kharkov.ua](mailto:vladimir@ic.kharkov.ua).

**КОНДРАТЮК Ольга Юрьевна**, канд. техн. наук, ассистент кафедры «Электроэнергетика» УИПА. В 1995 году окончила ХГАГХ. Область научных интересов – электроэнергетика и светотехника.

---