

УДК 539.172: 543.522

## ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ СПРИНКЛЕРНОЙ СИСТЕМЫ БЕЛОРУССКОЙ АЭС

Струй Е.В.

Научный руководитель – старший преподаватель Буров А.Л.,  
старший преподаватель Павловская А.А.

АЭС является источником риска для окружающей среды. Риск этот связан в основном с производством, удержанием и хранением радиоактивных веществ. Целью полномасштабного вероятностного анализа безопасности (ВАБ) является оценка этого риска [1].

Вероятностный анализ безопасности АЭС представляет собой комплексный всесторонний системный анализ безопасности. В процессе ВАБ разрабатываются вероятностные модели для определения конечных состояний с повреждением источников радиоактивности, конечных состояний АЭС с превышением установленных пределов по выбросам радиоактивных продуктов и радиационному воздействию на население и окружающую среду, определяются значения вероятностных показателей безопасности (ВПБ). Результаты ВАБ используются для качественных и количественных оценок достигнутого уровня безопасности, а также для выработки и принятия решений при проектировании и эксплуатации АЭС [2].

В зависимости от объема, целей и возможного использования результатов различают несколько уровней ВАБ.

ВАБ АЭС уровня 1 (ВАБ-1) — ВАБ, в процессе которого разрабатываются вероятностные модели для определения конечных состояний с повреждением источников радиоактивности и оцениваются значения частот или вероятностей их реализации. В качестве основных источников радиоактивности для АЭС с ВВЭР рассматриваются ядерное топливо в активной зоне реактора и отработавшее ядерное топливо в бассейне выдержки.

ВАБ АЭС уровня 2 (ВАБ-2) — ВАБ, в процессе которого разрабатываются вероятностные модели для определения размера (количества и состава) выбросов радиоактивных продуктов в окружающую среду, оцениваются значения частот или вероятностей реализации таких событий [2]. Исходные события, рассматриваемые при проведении ВАБ-2, получают в ходе ВАБ-1. В ходе ВАБ-2 разрабатывают технические средства и организационные меры, уменьшающие вероятность и количество радиоактивных выбросов в окружающую среду до значений, соответствующих требованиям нормативных документов [3].

ВАБ АЭС уровня 3 (ВАБ-3) — ВАБ, в процессе которого разрабатываются вероятностные модели для определения видов и размеров ущербов, вызванных радиационным воздействием на население и окружающую среду [2]. ВАБ-3 включает анализ распространения выбрасываемых АЭС радиоактивных веществ в окружающей среде, определение радиоактивного заражения местности, оценку доз облучения населения. Исходными данными для ВАБ-3 являются результаты ВАБ-2. В ходе ВАБ-3 рассматривают всевозможные пути распространения радиоактивных продуктов в окружающей среде, учитывают характерные особенности местных природных условий.

По результатам ВАБ-3 разрабатывают планы защиты населения и определяют риск от АЭС для населения, окружающей среды [3].

Спринклерная система (JMN) предназначена для выполнения следующих функций:

- снижение давления в режиме впрыска под защитную оболочку после аварии с целью поддержания давления в защитной оболочке ниже расчетного давления защитной оболочки при авариях;
- вывод продуктов деления из атмосферы защитной оболочки, снижая таким образом общее количество продуктов деления в воздухе, для предотвращения их утечки в окружающую среду;

- регулирование химического состава воды в баке-приямке за счет добавления химреагентов для длительного удерживания йода и предотвращения коррозии;
- отвода остаточного тепла от топливного бассейна при полной выгрузке активной зоны реактора совместно с одним из каналов системы охлаждения топливного бассейна (ФАК);
- обеспечение резерва системы охлаждения топливного бассейна (ФАК);
- заполнения шахты ревизии ВКУ при проведении работ по перегрузке топлива;
- заполнения шахты ревизии ВКУ через 24 часа после прохождения запроектной аварии, связанной с плавлением активной зоны реактора и выходом расплава за пределы корпуса реактора.

Система состоит из четырех одинаковых и полностью независимых один от другого каналов JMN10, JMN20, JMN30, JMN40.

В каждом канале предусматриваются:

- спринклерный насос JMN10(20, 30, 40)AP001;
- насос ввода химреагентов JMN15(25, 35, 45)AP001;
- коллектор со спринклерными соплами;
- арматура;
- трубопроводы.

Технологическая упрощенная схема спринклерной системы для каналов 1 и 2 представлена на рисунке 1.

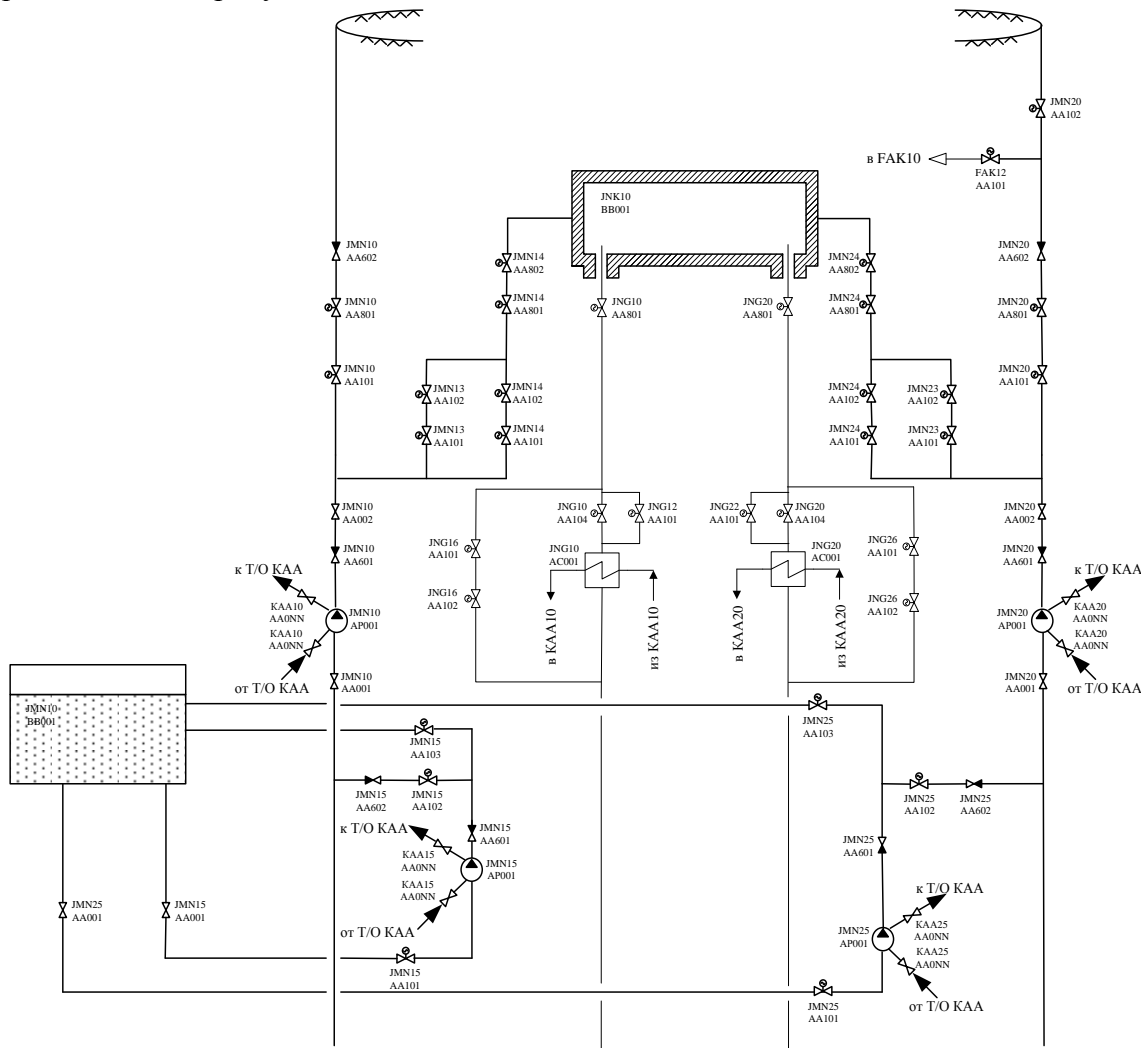


Рисунок 1. Упрощенная схема системы JMN (каналы 1 и 2)

Производительность каждого канала соответствует 50 % производительности системы, т.е. во всех аварийных режимах сохраняют работоспособность два канала системы. Таким образом, спринклерная система имеет структуру 4x50 % каналов.

Деревья отказов (ДО) выполнены при помощи компьютерного кода RiskSpectrum (смотри рисунки 2 - 4).

Поскольку ДО 1-го и 3-го, а также 2-го и 4-го каналов JMN одинаковы, ниже приведены ДО только для 1-го и 2-го канала. Также приведены ДО для функций системы в целом.

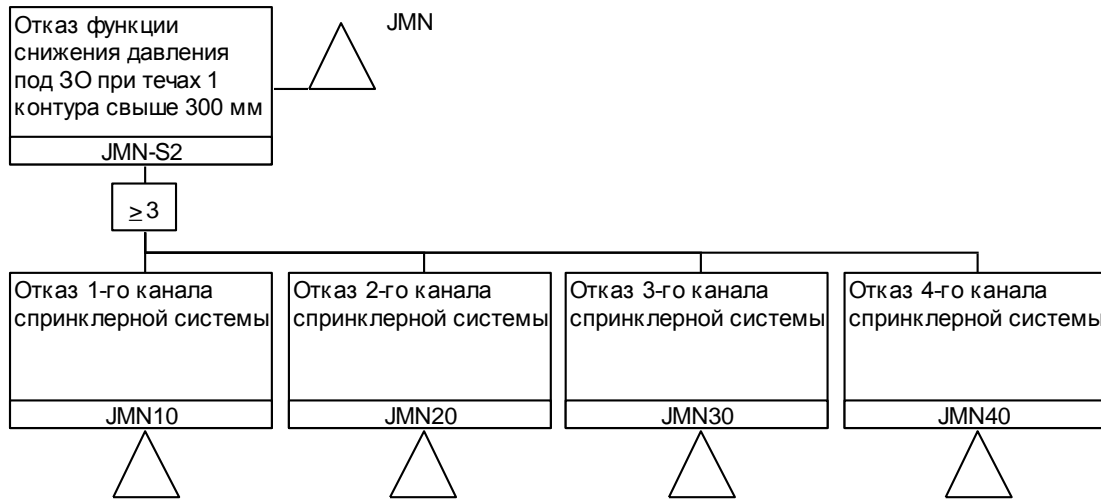


Рисунок 2. Дерево отказов «Отказ JMN при течах ГЦК Ду более 300 мм»

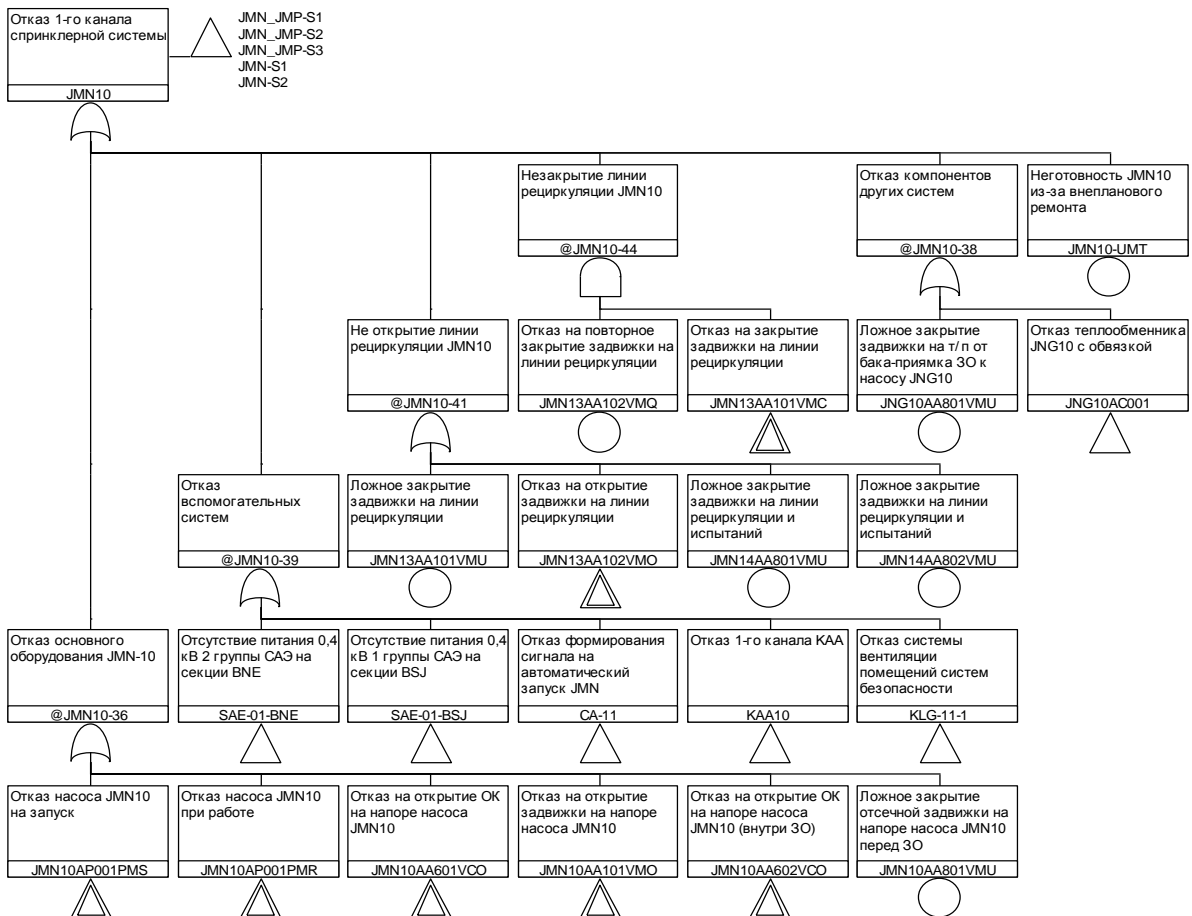


Рисунок 3. Дерево отказов «Отказ 1-го канала спринклерной системы»

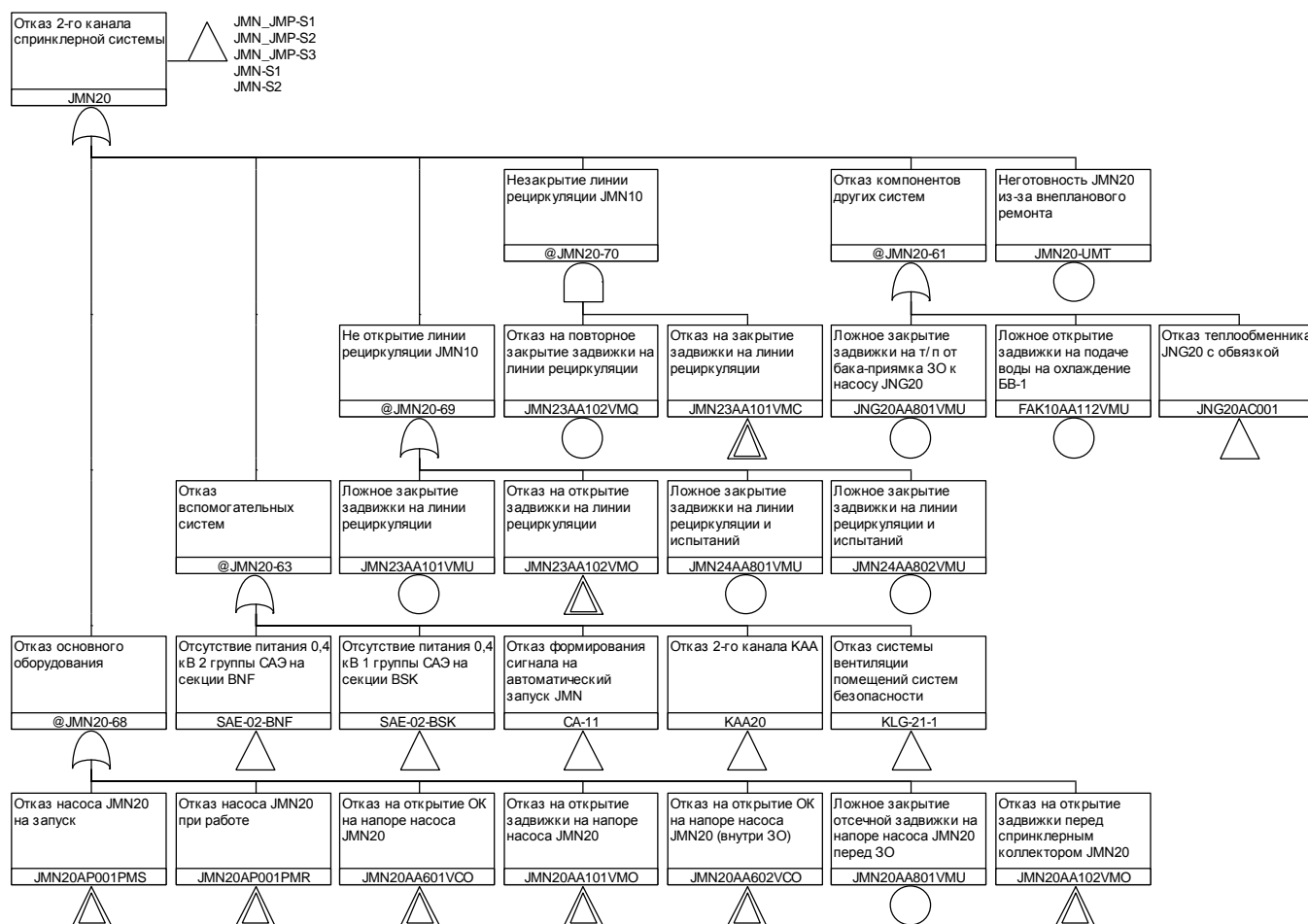


Рисунок 4. Дерево отказов «Отказ 2-го канала спринклерной»

Для определения показателей надежности системы все деревья были модифицированы таким образом, чтобы исключить влияние на результат обеспечивающих систем и ошибок персонала.

Были проведены отдельные расчеты для каждой функции с соответствующими критериями успеха.

Расчет проводился исходя из критерия успеха 2 из 4-х каналов и рассматриваемого времени работы 24 часа.

Среднее значение вероятности отказа системы по функции JMN-S1 равно:  $8,39 \cdot 10^{-4}$ .

В результате анализа неопределенности получены следующие параметры распределения вероятности отказа системы:

Нижняя граница (5 %):  $8,41 \cdot 10^{-5}$ .

Медиана:  $4,88 \cdot 10^{-4}$ .

Верхняя граница (95 %):  $2,46 \cdot 10^{-3}$ .

### Литература

1. Острейковский, В.А. Безопасность атомных станций. Вероятностный анализ / В.А. Острейковский, Ю.В. Швыряев. – Москва: Физматлит, 2008. – 352 с.
2. Вероятностный анализ безопасности атомных станций (ВАБ): учеб. пособие / В.В. Бегун и [др.]. – Киев, 2000. – 568 с.
3. Солонин В.И. Безопасность и надежность реакторных установок: учебное пособие по курсу «Расчеты и проектирование ядерных энергетических установок» / В.И. Солонин. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1996. – 80 с.
4. АЭС с реактором типа ВВЭР-1000. От физических основ эксплуатации до эволюции проекта / С. А. Андрущечко [и др.]. - Москва : Логос, 2010. - 603 с.