ПОСТРОЕНИЕ ДЕРЕВА СОБЫТИЙ И АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ АВАРИИ НА БАССЕЙНЕ ВЫДЕРЖКИ ЧЕТВЁРТОГО ЭНЕРГОБЛОКА АЭС «ФУКУСИМА - 1»

BUILDING A TREE OF EVENTS AND ANALYZING THE DEVELOPMENT OF THE ACCIDENT IN THE BASIN OF THE FOURTH UNIT OF THE NPP «FUKUSHIMA – 1»

УДК 629.039.58

Беляков Андрей Александрович, Студент магистратуры 2 курс, факультет «Энергомашиностроение», Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Belyakov Andrey Aleksandrovich (borisburdathegreat@gmail.com)

Аннотация

В данной работе построено дерево событий четвертого энергоблока бассейна выдержки АЭС «Фукусима – 1», а также приведен анализ полученных результатов, на основе которых был составлен список рекомендуемых мер по снижению риска возникновения аварии. За исходное событие принято комплексное внешнее воздействие «землетрясения и цунами». При построении использовался консервативный подход к построению дерева, ориентированный на оценку вероятностных показателей большого выброса в результате аварии.

Abstract

In this work, we constructed a tree of events of the fourth power unit of the spent fuel pool of the NPP “Fukushima-1”, as well as an analysis of the results obtained, based on which a list of recommended measures to reduce the risk of an accident was compiled. The complex external impact of "earthquake and tsunami" is taken as the initial event. The construction used a conservative approach to the construction of the tree, focused on the assessment of probabilistic indicators of a large release as a result of an accident.

Ключевые слова: АЭС «Фукусима – 1», бассейн выдержки, авария, дерево событий.

Keywords: NPP “Fukushima – 1”, spent fuel pool, accident, event tree

Вступление

Авария на АЭС «Фукусима – 1» показала необходимость рассмотрения бассейна выдержки как отдельного радиационно – опасного объекта, для которого необходимо проводить комплексную оценку вероятностных показателей безопасности. Поэтому в данной работе будет построено дерево событий и проведён анализ по снижению рисков аварии на бассейне выдержки четвертого энергоблока.

Дерево сценариев развития аварии представлено на рисунке 1. За исходное событие принято комплексное внешнее воздействие землетрясения и цунами. При построении использовался консервативный подход к построению дерева, ориентированный на оценку вероятностных показателей большого выброса в результате аварии.

Конечными событиями сценария являются:

- благополучный исход – состояние, при котором крайне маловероятно возникновение последующих отказов, приводящих к нарушению нормальной эксплуатации и большому выбросу;

- избыточное тепловыделение – состояние, при котором происходит плавление ТВС, выкипание теплоносителя, активное парообразование с последующем протеканием пароциркониевой реакцией:

$$Zr + 2H_2O = \mathrm{Zr}O_2 + 2H_2 + 6530\,\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}, \qquad (1)$$

в результате этого в бассейне выдержки образуется водород, при этом с возрастанием температуры – возрастает скорость протекания данной реакции.

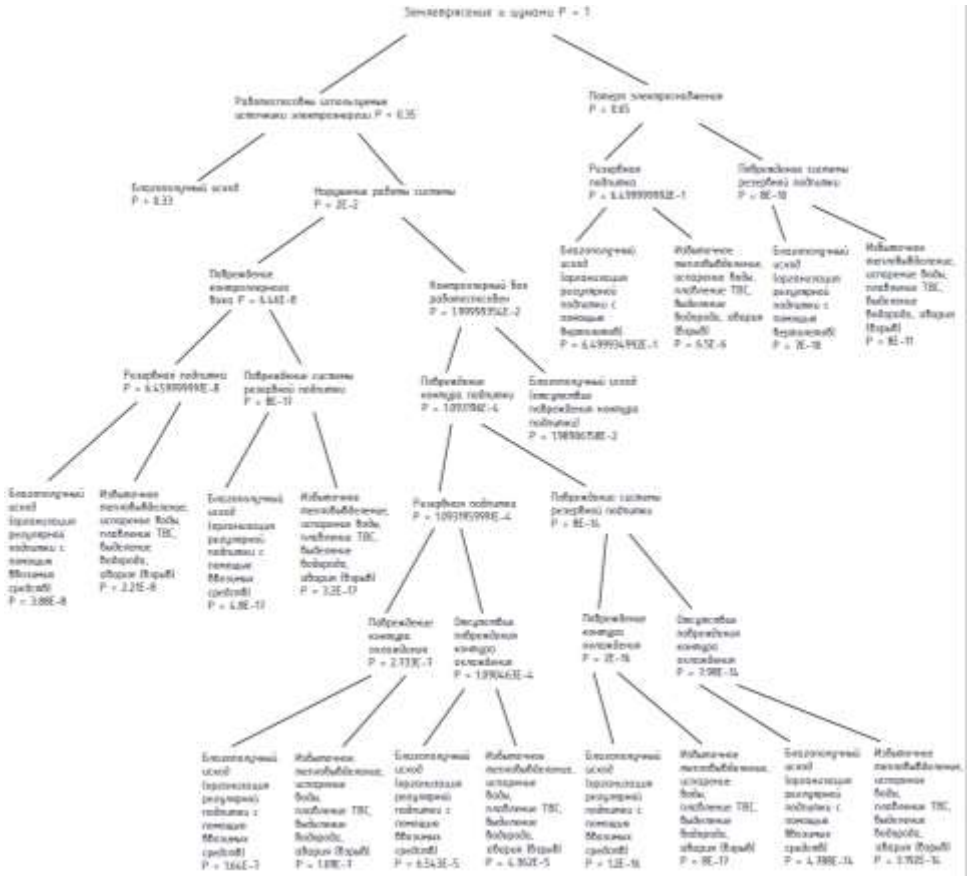


Рисунок 1 – Дерево событий развития аварийного процесса в системе хранения отработанного топлива на АЭС «Фукусима-1»

Краткий сценарий развития аварии на четвертом энергоблоке АЭС «Фукусима-1»

Опасность аварии, которая может произойти на АЭС связана, прежде всего с огромной радиоактивностью, накопленной за время работы реакторов в ядерном топливе, с его высокой температурой и остаточным тепловыделением. На момент аварии в бассейне выдержки находилось наибольшее количество ОЯТ (отработанного ядерного топлива) по отношению к другим бассейнам. При этом кассеты с тепло-выделительными элементами заняли почти 97% объема, предназначенного для хранения отработавшего топлива (таблица 1).

Таблица 1– Состояние блоков АЭС «Фукусима -1» на момент аварии

Блок	Состояние до начала землетрясения
Реактор 1	Эксплуатация (400 топливных сборок)

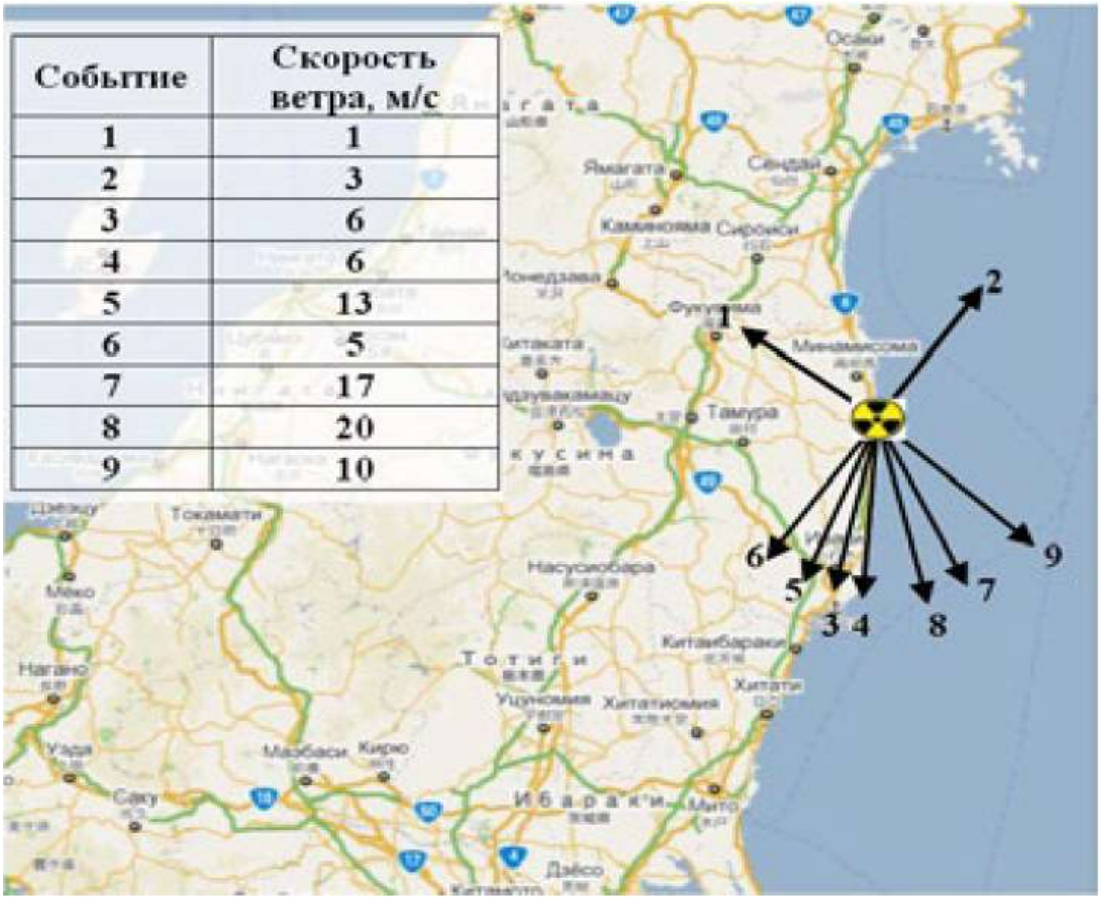
Бассейн отработавшего топлива	392 топливные сборки (в том числе 100 свежих)
Реактор 2	Эксплуатация (548 топливных сборок)
Бассейн отработавшего топлива	615 топливных сборок (в том числе 28 свежих)
Реактор 3	Эксплуатация (548 сборок, в том числе 32 сборки из МОХ-топлива)
Бассейн отработавшего топлива	566 топливных сборок (в том числе 52 свежих)
Реактор 4	Плановый технический осмотр (топливные сборки извлечены)
Бассейн отработавшего топлива	1535 топливных сборок (в том числе 204 свежих)
Реактор 5	Плановый технический осмотр
Бассейн отработавшего топлива	994 топливных сборок (в том числе 48 свежих)
Реактор 6	Плановый технический осмотр
Бассейн отработавшего топлива	940 топливных сборок (в том числе 64 свежих)

Общее станционное хранилище отработавшего топлива	6375 топливных сборок
В контейнерах сухого хранилища отработавшего топлива	408 топливных сборок

Авария на четвертом блоке атомной электростанции привела к серьезному заражению территории, как площадки атомной электростанции, так и окрестностей станции.

Направление и скорость ветра на момент взрыва 15 марта показаны на рисунке 1 (событие 6).

На рисунке 10 приведены мощности дозы на территории Японии 15 марта в 06:00 в районе аварийной АЭС, показания датчиков мониторинга радиационной обстановки на АЭС «Фукусима-2» и в префектуре Ибараки, а также мощность дозы (мкЗв/ч) от поверхности земли после прохождения радиоактивного облака.



Событие	Скорость ветра, м/с
1	1
2	3
3	6
4	6
5	13
6	5
7	17
8	20
9	10

Рисунок 1- Направления и скорости прогностического ветра в точке с координатами АЭС «Фукусима-1» с 11 по 16 марта 2011 г. [28]

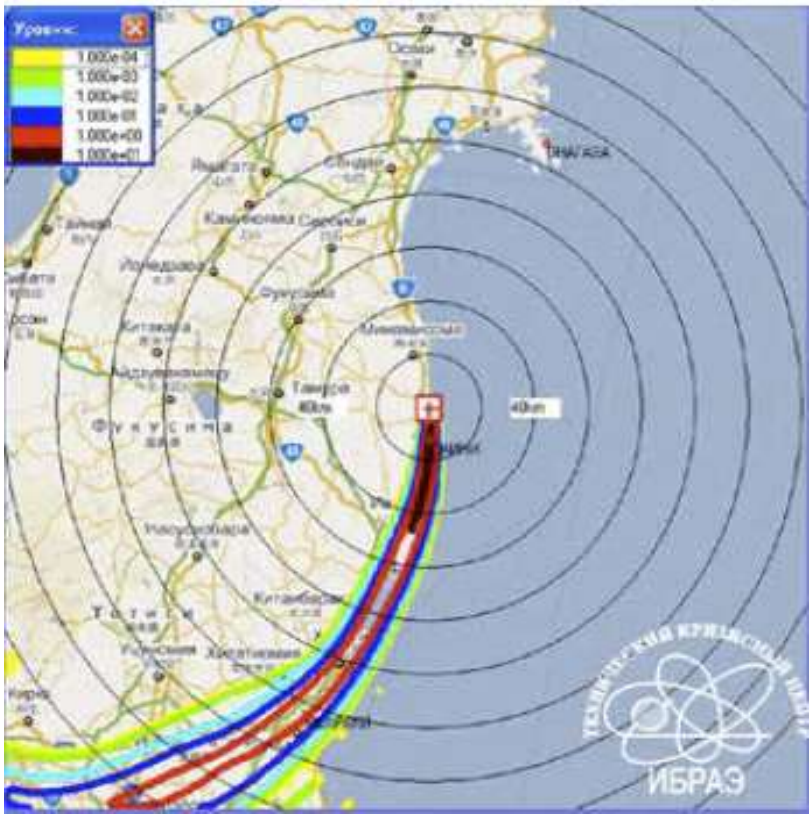


Рисунок 2 - Мощность дозы на территории Японии 15 марта 2011 г. (первая половина дня) [4]

Изотопный состав выброса пятнадцатого марта представлен в таблице 2.

Таблица 2 - Выброс в окружающую среду в первой половине дня 15 марта

Нуклид	Выход, Бк
^{85}Kr	$2,7 \cdot 10^{15}$
^{133}Xe	$1,7 \cdot 10^{17}$
^{135}Xe	$2,3 \cdot 10^{15}$
^{131}I	$7,5 \cdot 10^{15}$
^{132}I	$8,0 \cdot 10^{15}$
^{133}I	$1,7 \cdot 10^{15}$
^{132}Te	$7,8 \cdot 10^{14}$
^{134}Cs	$2,2 \cdot 10^{15}$
^{137}Cs	$1,4 \cdot 10^{15}$

Благодаря физико-химическим свойствам радионуклидов радиационные последствия аварии на АЭС «Фукусима-1» в первые дни и недели определялись изотопами йода и теллура (особенно 132I, 131I и 132Te), а затем основной вклад в величину мощности дозы гамма-излучения на местности стали давать 134Cs и 137Cs [1].

Утром 15 марта, около 06.00 на четвертом блоке сначала прогремел взрыв, разрушивший здание реактора, а потом друг за другом вспыхнули два пожара. Поскольку топлива в реакторе не было, а взрыв по всем признакам напоминал

взрыв водорода, были выдвинуты различные гипотезы о возможности образования и взрыва водорода непосредственно в бассейне выдержки четвертого блока [1].

Возможным источником водорода могли быть либо пароциркониевая реакция в бассейне выдержки блока № 4, либо накопление водорода под крышей энергоблока № 4 из-за поступления водорода по коммуникациям с здания блока № 3, в реакторе которого интенсивно шла пароциркониевая реакция с выделением водорода [2].

Только 20 марта 2011 года взрыв реакторных зданий открыл возможность осуществлять полив бассейнов выдержки отработанного ядерного топлива с вертолётов, а также пожарной техникой [3].

Меры по снижению риска аварии

1) Увеличить высоту волноломов. Данная мера могла бы предотвратить аварию 2011 года на стадии ее возникновения.

2) Включение добавочных ёмкостей в структурную схему системы, из которых самотёком будет осуществляться подпитка жидкости в бассейн выдержки (рисунок 2).

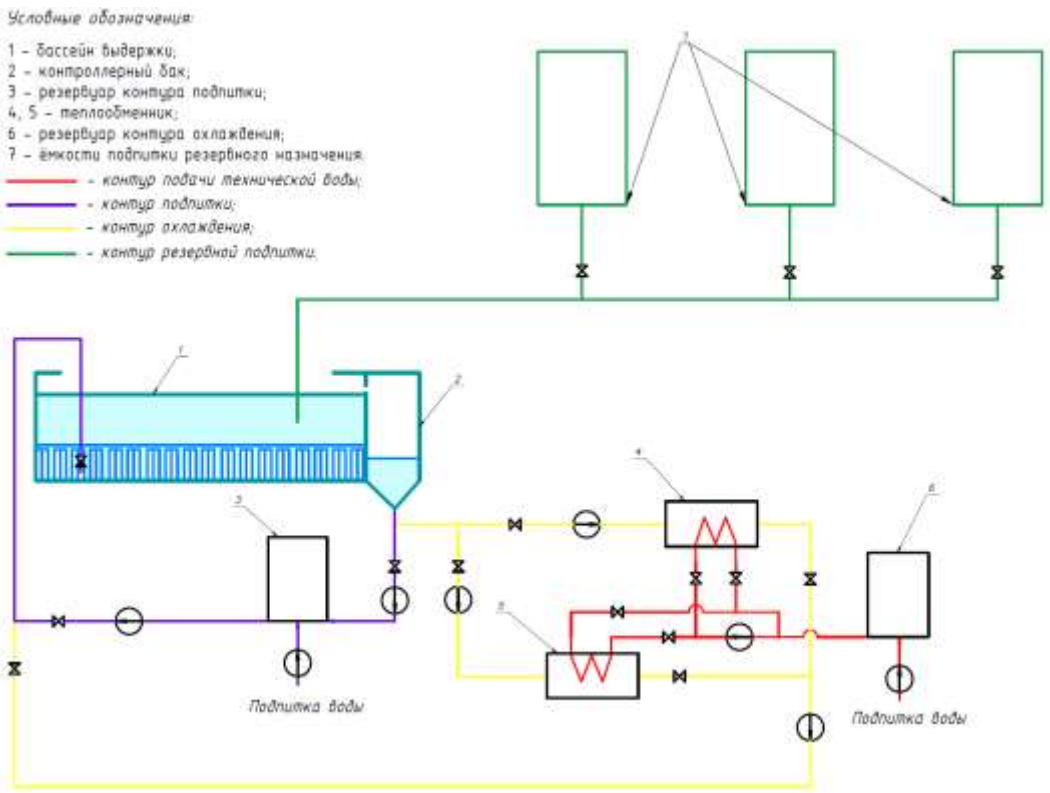


Рисунок 2 – Новая схема подпитки бассейна выдержки

Исходя из особенностей протекания аварийного процесса в системе, было бы рациональнее расположить резервные ёмкости и связующее оборудование этажами выше бассейна выдержки, для обеспечения своевременной подачи воды, даже в условиях полного обесточивания энергоблока.

Таким образом, из вышеизложенного можно сделать вывод, что необходимо рассматривать бассейн выдержки, как отдельный радиационно – опасный объект и проводить вероятностную оценку показателей безопасности. А также применить рекомендуемые меры по снижению риска при проектировании подобных конструкций и систем бассейна выдержки.

Список использованных источников

1. Труды ИБРАЭ РАН / под. общ. ред. чл.-кор. РАН Л. А. Большова; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. - М.: Наука, 2007 - Вып. 13: Авария на АЭС «Фукусима-1»: опыт реагирования и уроки / науч. ред. Р. В. Арутюнян. - 2013. - 246 с.
2. Авария на АЭС «Фукусима-дайити». Доклад Генерального директора / Международное агентство по атомной энергии. — Вена, 2015. — 278 с.
3. Системный анализ причин и последствий аварии на АЭС «Фукусима-1» / Р. В. Арутюнян, Л. А. Большов, А. А. Боровой, Е. П. Велихов; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. — М.: 2018. — 408 с.

List of sources used

1. Proceedings of IBRAE RAN / under. total ed. Corresponding Member RAS L. A. Bolshova; Institute for the Problems of Safe Development of Nuclear Power Engineering of the Russian Academy of Sciences. - Moscow: Nauka, 2007 - Issue. 13: The Fukushima-1 NPP Accident: Response Experience and Lessons / Sci. ed. R.V. Harutyunyan. - 2013 .-- 246 p.
2. The accident at the Fukushima Daiichi nuclear power plant. Report by the Director General / International Atomic Energy Agency. - Vienna, 2015 .-- 278 p.
3. System analysis of the causes and consequences of the accident at the NPP "Fukushima-1" / R. V. Arutyunyan, L. A. Bolshov, A. A. Borovoy, E. P. Velikhov; Institute for the Problems of Safe Development of Nuclear Energy of the Russian Academy of Sciences. - M .: 2018 .-- 408 p.