

# **ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, ВЫЗВАННЫЕ АВАРИЯМИ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ. ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АВРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

**А.И. Сидорин;**

**Б.В. Заборский, кандидат технических наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Разработана методика оценки радиационной обстановки, позволяющая обосновать управленческие решения для определения состава и технического оснащения аварийно-спасательных групп. Задача решается путем анализа статистических данных и построения адекватной математической модели. В качестве объекта исследования выступает Ленинградская атомная электростанция, расположенная в г. Сосновый Бор.

*Ключевые слова:* Ленинградская атомная электростанция, радиационная обстановка, радиационно-опасный объект

## **EMERGENCY SITUATIONS CAUSED BY ACCIDENTS ON THE NUCLEAR POWER PLANT. OPTIMIZATION OF THE ADMINISTRATIVE DECISION WHEN CARRYING OUT THE WRECKING**

A.I. Sidorin; B.V. Zaborsky. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

In work the technique of an assessment of a radiation situation allowing to prove administrative decisions for definition of structure and hardware of rescue groups is developed. The problem is solved by the analysis of statistical data and creation of adequate mathematical model. Quantitative values of indicators of efficiency are received. The Leningrad nuclear power plant located in Sosnovy Bor acts as object of research.

*Keywords:* Leningrad nuclear power plant, radiation situation, radiation-hazardous object

В настоящее время человек не мыслит себя без такого источника энергии, как атомное ядро. Считается, что те большие запасы энергии, которые содержатся внутри ядер, являются практически неисчерпаемыми. Однако если при сегодняшнем росте населения земного шара не будет осуществлен достаточно быстрый переход на ядерный источник энергии, то когда-нибудь настанет такое время, когда закончится природное топливо, и с этого дня история людей, населяющих нашу планету, начнет неудержимо и безвозвратно продвигаться к своему логическому завершению.

Для того чтобы реально оценить такое положение вещей, необходимо проанализировать ситуацию в области применения атомной энергии.

Атомная энергия достаточно широко используется во многих отраслях промышленности. Получение новых полимеров, определение структуры сплавов и их дефектов, исследование смазочных материалов в отдельных частях машин, холодная стерилизация перевозочных материалов и лекарственных средств и многое-многое другое осуществляется с наибольшим успехом непосредственно при участии ядерной энергии.

Атомная энергия может быть переработана в другие виды энергии, например, в электрическую энергию, необходимую для движения ледоколов или подводных лодок. Благодаря тому, что тот же ледокол оснащен ядерным реактором, он имеет возможность плавать круглый год и, следовательно, может совершать навигации в северных просторах и не дозаправляться часто природным топливом.

Медицина тоже широко и небезуспешно использует достижения в области атомной энергетики, например, при лечении тех или иных болезней, особое место среди которых занимают злокачественные образования и неопухолевые заболевания. Так, при лечении рака энергия, которая возникает при распаде радионуклидов, используемых в медицине, поражает генетический аппарат трансформированных клеток, в результате чего останавливается их рост.

В органической и неорганической химии при исследовании механизмов реакций используют метод меченых атомов. Данный метод сыграл немалую и очень важную роль в обнаружении новых закономерностей в области физики, медицины, металлургии, биологии. Например, определить генетический код ученые смогли только после появления радиоавтографического анализа.

Обзор положительных аспектов использования атомной энергии выглядит достаточно утешающим, но для оценки объективной ситуации, которая сложилась в настоящее время, нельзя не учитывать и те негативные ситуации, которые могут проявить себя при определенных условиях и привести к трагическим и непредсказуемым результатам.

Наиболее чудовищным и смертельно опасным применением энергии ядер для всего населения земного шара является развязывание атомной войны. Вспомнить хотя бы бомбардировку г. Хиросимы и г. Нагасаки в 1945 г., которая унесла 300 тыс. людских жизней. Сразу понятно опасение всего мирового сообщества перед лицом этой грозной силы. Логично, что чем больше энергия, которую используют во благо, тем больше ее может быть использовано и во зло.

С одной стороны, количество связанных с атомной энергетикой несчастных случаев на атомных электростанциях (АЭС) значительно меньше, чем в других областях деятельности человека, но, тем не менее, произошедшая несколько лет назад авария в г. Чернобыле не может не обратить особое внимание на организацию безопасной работы АЭС и защиту от неконтролируемого развития ядерной реакции. При этом стоит отметить, что несмотря ни на что количество жертв на Чернобыльской АЭС удалось значительно снизить, и это стало возможным благодаря самоотверженной работе спасателей, которые подчас, не жалея своей жизни, шли на риск во имя обеспечения нормальной жизни людей, проживавших в непосредственной близости от места трагедии.

Стремительное развитие техники и технологии, по всей вероятности, остановить невозможно, несмотря на трагические события истории прогресса, такие как авария на химзаводе в г. Бхопале, погубившая 2,5 тыс. человек, взрыв емкостей со сжиженным газом под г. Мехико, унесший 400 человек (еще более 4 тыс. были ранены), авария летательных аппаратов «Челленджер», «Титан», «Дельта». Подобные примеры убедительно и наглядно доказывают, что внедрение атомной энергетики – неизбежный процесс в период современного исторического развития общества. Замена ядерным топливом органического решит еще одну глобальную проблему экологии, которая связана с прогрессирующим загрязнением окружающей среды, уменьшением доли кислорода в воздухе и парниковым эффектом, возникшим в ходе использования нефти, мазута, угля в качестве топлива.

Аварии на радиационно-опасном объекте являются одной из самых опасных чрезвычайных ситуаций, приводящих к большим человеческим жертвам и значительному материальному ущербу. В общей сложности на десяти АЭС России эксплуатируется 35 энергоблоков установленной мощностью 26,2 ГВт. Ленинградская АЭС (ЛАЭС) – первая в стране станция с реакторами типа РБМК-1000 (реактор большой мощности канальный). В составе ЛАЭС эксплуатируются канальные реакторы кипящего типа с графитовым замедлителем и водяным теплоносителем.

ЛАЭС включает в себя четыре энергоблока. Электрическая мощность одного энергоблока – 1 000 МВт, тепловая – 3 200 МВт. Проектная выработка составляет 28 млрд кВт\ч в год. На собственные нужды станция потребляет около 8 % от производимой электроэнергии. ЛАЭС – крупнейший производитель электрической энергии на Северо-

Западе России. Станция обеспечивает более 50 % энергопотребления Санкт-Петербурга и Ленинградской области. В топливно-энергетическом балансе всего Северо-Западного региона на долю ЛАЭС приходится около 28 %. ЛАЭС является основным поставщиком тепловой энергии для населения и промышленных предприятий г. Сосновый Бор [1].

При аварии на радиационно-опасном объекте (РОО) происходит выброс долгоживущих радионуклидов в окружающую среду, что приводит к устойчивому радиоактивному заражению местности. Дезактивация – удаление радиоактивных веществ (РВ) с поверхности или из объема загрязненных объектов (техники, одежды, воды, продуктов питания и др.), кожных покровов человека и местности с целью предотвращения радиационных поражений людей и животных. Необходимость дезактивации возникает при радиоактивном загрязнении вследствие аварий на АЭС, нарушении техники безопасности при работе с радиоактивными изотопами или транспортировке радиоактивных отходов, а в военное время – в результате ядерных взрывов. Дезактивация является одним из элементов специальной обработки. Она может быть полной и частичной. Полная дезактивация проводится всеми возможными способами с использованием технических средств с целью снижения загрязненности объектов РВ до установленного уровня, не представляющего опасности поражения людей. Частичная дезактивация – это удаление РВ только из тех мест загрязненных объектов, с которыми люди соприкасаются при выполнении обязанностей, а также открытых частей тела и личной одежды. Проводится она простейшими методами (отряхивание одежды от пыли, мытье рук и лица, смывание пыли с оружия и орудий труда).

Для дезактивации используют различные методы: механический – удаление загрязненных РВ слоев, вытряхивание, отсасывание пылесосами и сметание пыли и др.; физический – обработка ультразвуком, электромагнитная сепарация, извлечение РВ растворителями и сорбентами и др.; химический – применение веществ, образующих с РВ малорастворимые комплексы, выпадающие в осадок; физико-химический – хемосорбция, коагуляция, покрытие загрязненных поверхностей полимеризующимися составами с последующим удалением образовавшейся пленки и др. На практике применяют последовательное сочетание различных методов дезактивации, например, после механического удаления основной массы РВ предметы моют растворами поверхностно-активных веществ и комплексообразователей; синтетические материалы дополнительно обрабатываются химическим методом (растворами щавелевой кислоты).

Дезактивация кожи, слизистых оболочек и волос человека затруднена ввиду того, что РВ сорбируются ими. Поэтому загрязненные кожные покровы неоднократно обрабатывают моющими средствами, сорбентами, комплексонами; слизистые оболочки промывают 2 % раствором натрия гидрокарбоната, а волосы удаляют. Для дезактивации жидкостей используют ионообменные смолы, средства для пенообразования, коагуляции, а для дезактивации воды – отстаивание, коагуляцию солями железа и алюминия и фильтрование через специальные фильтры. При дезактивации хорошо упакованных продуктов питания тщательно моют их упаковку; с неупакованных продуктов снимают верхний загрязненный слой, а малые их количества уничтожают. При загрязнении воды, продуктов питания и различных объектов быстро распадающимися РВ (с малым периодом полураспада) снижение радиоактивности происходит за счет интенсивного распада таких РВ до безопасного уровня.

В военно-полевых условиях частичная дезактивация осуществляется личным составом подразделений и частей без прекращения выполнения ими боевых задач, а полная – после выполнения задач на пунктах специальной обработки. В системе гражданской обороны частичная дезактивация проводится населением своими силами, а полная – специальными формированиями. Качество дезактивации контролируется радиометрическими приборами. Лица, осуществляющие дезактивацию, должны пользоваться индивидуальными средствами защиты, периодически подвергаться дозиметрическому контролю, а после выполнения задач – проходить санитарную обработку [2, 3].

Проанализируем статистику причин аварий на АЭС (табл. 1):

Таблица 1. Причины аварий на АЭС

Причина	%
Ошибка в проектах конструкций и их дефектах	30,7
Износ оборудования и коррозионные процессы	17,5
Ошибка оператора	14,7
Ошибка в эксплуатации реактора	14,5
Другие причины	11,6

Построим диаграмму по табл. 1, где наглядно видно, что чаще всего причиной аварии становится ошибка в проектах конструкций и их дефекты (рис. 1).

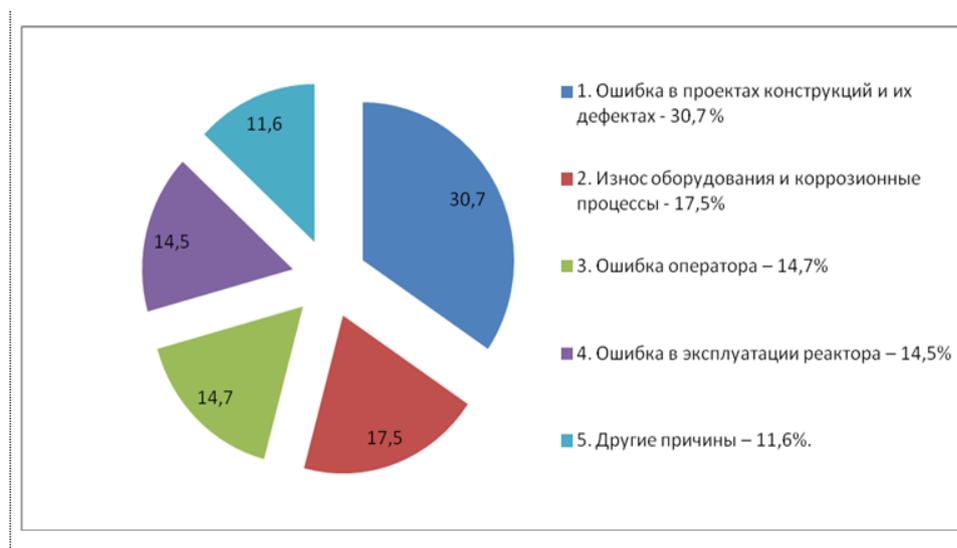


Рис. 1. Причины аварий на АЭС

При возникновении аварии на РОО главной задачей является своевременное оповещение населения и оптимизация принятия решения при проведении аварийно-спасательных работ (АСР). Это позволит сократить потери от поражающих факторов радиационной аварии. В настоящее время технологии позволяют передавать информацию на большие расстояния за считанные секунды.

Для оценки возможностей в этом вопросе было решено провести математическое моделирование аварии на РОО, то есть смоделировать данную аварию на ЛАЭС. Создание математической модели позволит наглядно оценить все факторы аварии и поможет сформировать правильное управленческое решение. Так создание модели позволит менять факторы, влияющие на развитие последствий аварии, а также по-разному оценивать развитие той или иной ситуации. Самым крупным городом, расположенным вблизи ЛАЭС, является Санкт-Петербург, поэтому особое внимание уделяется именно ему. Ключевым в данной ситуации будет скорость и направление ветра, а так же мощность взрыва. Именно эти факторы влияют на размеры зон заражения, а так же на направление радиоактивного облака. В зависимости от разных исходных условий события будут развиваться по-разному. Для решения поставленной задачи были получены необходимые сведения. А именно: получена статистика скорости ветра (рис. 2), направление ветра (рис. 3), солнечные, облачные и пасмурные дни (рис. 4) в г. Сосновый бор за последние 5 лет в зависимости от времен года [4]. По данной статистике основным направлением ветра является юго-восточный (Ю-В), поэтому радиационное облако будет уходить в сторону Финского залива.

Скорость ветра		Направление ветра		Метеоусловия	
Месяц	v ветра, м/с	Месяц	Направление	Месяц	Погода
Январь	3,06	Январь	Ю-В	Январь	Пасмурно
Февраль	3,0625	Февраль	Ю-В	Февраль	Пасмурно
Март	2,357	Март	Ю-В	Март	Облачно
Апрель	2,03	Апрель	Ю-В	Апрель	Облачно
Май	2,425	Май	Ю-В	Май	Солнечно
Июнь	2,76	Июнь	Ю-В	Июнь	Солнечно
Июль	2,54	Июль	Ю-В	Июль	Солнечно
Август	2,7	Август	Ю	Август	Солнечно
Сентябрь	2,9	Сентябрь	Ю-В	Сентябрь	Облачно
Октябрь	3,04	Октябрь	Ю	Октябрь	Облачно
Ноябрь	3,48	Ноябрь	Ю	Ноябрь	Пасмурно
Декабрь	3,16	Декабрь	Ю-В	Декабрь	Пасмурно

Рис. 2. Скорость ветра

Рис. 3. Направление ветра

Рис. 4. Метеоусловия

Составим математическую модель «запроектной» аварии [5], которая произошла в летнее время в 12:00 с исходными данными:  $m=15$  т,  $v=2,6$  м/с, переменная облачность, расстояние до СПб  $\approx 50$  км, направление ветра Ю-В.

Расчет размера зоны заражения определяется по формулам [6]:

$$L''=L*\sqrt{(m'*v_b')/(m*v_b)} \text{ и } B''=B*\sqrt{(m'*v_b')/(m*v_b)},$$

где  $L$  – длина зоны заражения;  $B$  – ширина зоны заражения;  $m'$  – табличное значение массы радиоактивного выброса для запроектной аварии;  $v_b$  – табличное значение скорости ветра для запроектной аварии;  $m$  и  $v_b$  – реальная масса и скорость ветра соответственно.

Для реактора типа РБМК-1000 характерны четыре зоны заражения. На основе математического моделирования получены следующие данные: длина зоны заражения от слабого до опасного уровня составила соответственно: 305,72 км; 84,9 км; 20,376 км; 6,792 км. Ширина зон от слабого до опасного соответственно: 20,38 км; 4,528 км; 0,79 км; 0,679 км.

Полученные расчетные значения параметров зон заражения позволяют решить задачу оптимизации структуры и организации АСР. С помощью математической модели можно изменить направление и скорость ветра, что приведет к другим управленческим решениям. Так, если принять направление ветра Ю-З, то время подхода облака к границе города рассчитаем в соответствии с формулой [6] и оно будет приближенно равно 4 ч 25 мин.:

$$\tau_{\text{подх}}=CR/v_b,$$

где  $C$  – коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости атмосферы, равный 0,13 при инверсии, 0,23 – при изотермии и 0,24 – при конвенции;  $R$  – расстояние от объекта до эпицентра выброса, км;  $V_b$  – скорость движения воздуха на высоте 10 м, км/ч.

Санкт-Петербург попадает в зону сильного заражения. В соответствии с этим проинтерполируем между границами слабого и сильного заражения значение радиации в городе и получим  $P=8,2 * 10^{-3}$  Гр/ч.

Заметим, что по имеющейся статистике (рис. 3) направление ветра чаще южный (Ю) – Ю-В, поэтому радиационное облако пойдет на север (С) – северо-запад (С-З) и по ширине фронта не затронет Санкт-Петербург.

Кроме того, следует иметь в виду, что выброс основной массы радионуклидов продолжается около 10 дней. Произведем расчет дозы облучения за 10 сут по формуле [6]:

$$D=80*P,$$

где 80 – коэффициент для расчета дозы облучения за 10 сут;  $P$  – уровень радиации в городе. Получим  $D=656$  мГр.

Учитывая защищенность населения города и персонала предприятий от радиационного воздействия при нахождении в защитных укрытиях, жилых домах и производственных зданиях:

$$D_{\text{полг}}=D_{240\text{ч}}/8,$$

получим  $D_{\text{полг}}=656/8=82$  мГр.

Поскольку нижний предел критерия принятия решения при возникновении аварии на РОО [6] равен 50 мГр, а полученное значение равно 82 мГр, то должно быть принято решение об эвакуации населения.

### **Литература**

1. Атомные электростанции России // РОСЭНЕРГОАТОМ. URL: [http://www.rosenergoatom.ru/stations\\_projects/russian\\_nuclear/](http://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/russian_nuclear/) (дата обращения: 17.12.2015).
2. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. М., 1986.
3. Защита от оружия массового поражения / А.Н. Калитаев [и др.]. М., 1984.
4. Статистика городов России. URL: [http://www.atlas-yakutia.ru/weather/spravochnik/wdsp/climate\\_sprav-wdsp\\_2289702910.php/](http://www.atlas-yakutia.ru/weather/spravochnik/wdsp/climate_sprav-wdsp_2289702910.php/) (дата обращения 17.12.2015).
5. О радиационной безопасности населения: Федер. закон Рос. Федерации от 9 янв. 1996 г. № 3. Доступ из информ.-правового портала «Гарант».
6. Мастрюков Б.С. Опасные ситуации техногенного характера и защита от них: учеб. М.: Изд. центр «Академия», 2009. 320 с.