

УДК 614.87

ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ РИСКИ ПРИ АВАРИИ НА АТОМНОЙ СТАНЦИИ

*канд. техн. наук, доц. Н.Е. ЖУРАВСКАЯ, П.И. СТЕФАНОВИЧ, И.С. СТЕФАНОВИЧ
(Киевский национальный университет строительства и архитектуры)*

В статье рассматриваются характеристики аварии на ЧАЭС, особенности воздействия работы АЭС на окружающую среду, уделено внимание главным последствиям нарушения ядерно-радиационной техногенной безопасности и путям их решения. Проведена систематизация и предложен методический подход по конкретизации работ, связанных с радиоактивными загрязнениями участков леса. Представленную информацию рекомендуется использовать для специальных мероприятий с подготовкой личного состава при проведении спасательных, восстановительных работ на опасных участках с радиоактивным загрязнением территории.

Ключевые слова: техногенная безопасность, потенциальные риски, радиоактивное загрязнение, окружающая среда.

Введение. Атомная энергия несет огромные возможности, но одновременно и огромную опасность. Реалии сегодня таковы, что полностью отказаться от использования атомной энергии невозможно. Поэтому, нужно подробно изучать опыт эксплуатации АЭС (в том числе и трагический опыт Чернобыля) с целью избежать атомных аварий в будущем и устранить (или, по крайней мере, минимизировать) негативные последствия Чернобыльской аварии сегодня.

Проведенный анализ радиационной обстановки, складывающейся после аварий на атомных станциях, показывает, что почва, участки леса, которые оказываются на пути движения радиоактивного облака, подвержены радиоактивному загрязнению в 1,5–2 раза больше, чем открытая местность вне атомной станции. Основной причиной этого является удерживающая способность почвы, леса в силу большей поверхности соприкосновения с радиоактивным облаком. Поэтому важным является проведение оперативных спасательных и других неотложных работ при авариях на АЭС и решение задач по вывозу зараженного грунта, консервации загрязненных участков леса и обоснованию необходимых для этих работ сил и средств [1–5].

Авторы обращают внимание на радиационную безопасность после аварий на атомных станциях (в том числе и на аварию на ЧАЭС), ликвидацию последствий этих аварий, а также показывают возможные составляющие мероприятий по консервации загрязненного леса, отдельных участков леса и вывозимой почвы, а также подсыпку чистого грунта на эти участки.

Целью статьи является анализ сверхмощных аварий на атомных станциях, в том числе на Чернобыльской атомной станции, последствий и проблем радиационной безопасности и путей их решения, влияния атомных станций на окружающую среду, а также составление перечня работ по вывозу радиоактивного грунта и консервации загрязненных участков леса с использованием необходимых сил и средств.

Основная часть. По данным мировой статистики, которая фиксируется в Главной службе данных опасных инцидентов (The Major Hazard Incident Data Service – MHIDAS), крупные аварии на предприятиях и объектах различных типов, где линейные размеры зон действия поражающих факторов достигают нескольких сотен или даже тысяч метров, к счастью, достаточно редки. Однако, в мире в среднем в год происходят около 2–3 подобных аварий. Аварии с гибелью более 25 человек и числом раненых более 100 регистрируются MHIDAS в среднем раз в 2,5 года. В целом, как считают специалисты, наблюдается неуклонный рост числа промышленных и энергетических аварий, вызванный, с одной стороны, увеличением количества опасных объектов, с другой стороны, ростом удельной плотности населения в зонах развития промышленных и энергетических объектов.

Крупнейшая в истории человечества радиационная катастрофа на Чернобыльской АЭС произошла 26 апреля 1986 (рисунок 1). Несколько лет после катастрофы все официальные источники в СССР сообщали, что жертвами Чернобыля стали только 33 человека – в основном пожарные, участвовавшие в первых работах. Потом стали появляться отдельные сообщения о том, что от лучевой болезни погибло несколько десятков ликвидаторов, а заболели тысячи. О жертвах среди местного населения не говорилось вообще. Режим секретности по вопросам аварии на ЧАЭС, который существовал до 1991 года, не позволял воссоздать объективную картину масштабов поражения населения. По современным представлениям, авария на ЧАЭС имеет серьезные последствия пролонгированного действия, в том числе такие, которые могут проявляться на генетическом уровне.

По оценкам, в течение 1986 – 1987 гг. к ликвидации последствий аварии было привлечено около 350 000 человек («ликвидаторов») из числа военнослужащих, работников АЭС, местной милиции и пожарных служб. Достаточно высокие дозы радиации получили около 240 000 человек во время проведения работ по ликвидации последствий аварии в пределах 30-километровой зоны, выполнявшие работы по консервации аварийного 4-го блока АЭС – строительству «Саркофага», очистке крыш, созданию системы защиты водных объектов. Впоследствии число зарегистрированных ликвидаторов увеличилось до 600 000. Весной и летом 1986 г. 116 тыс. человек были эвакуированы из зоны Чернобыльской АЭС. В последующие годы было переселено еще 230 тыс. человек, но лишь небольшая их часть подверглась воздействию высоких уровней радиации.

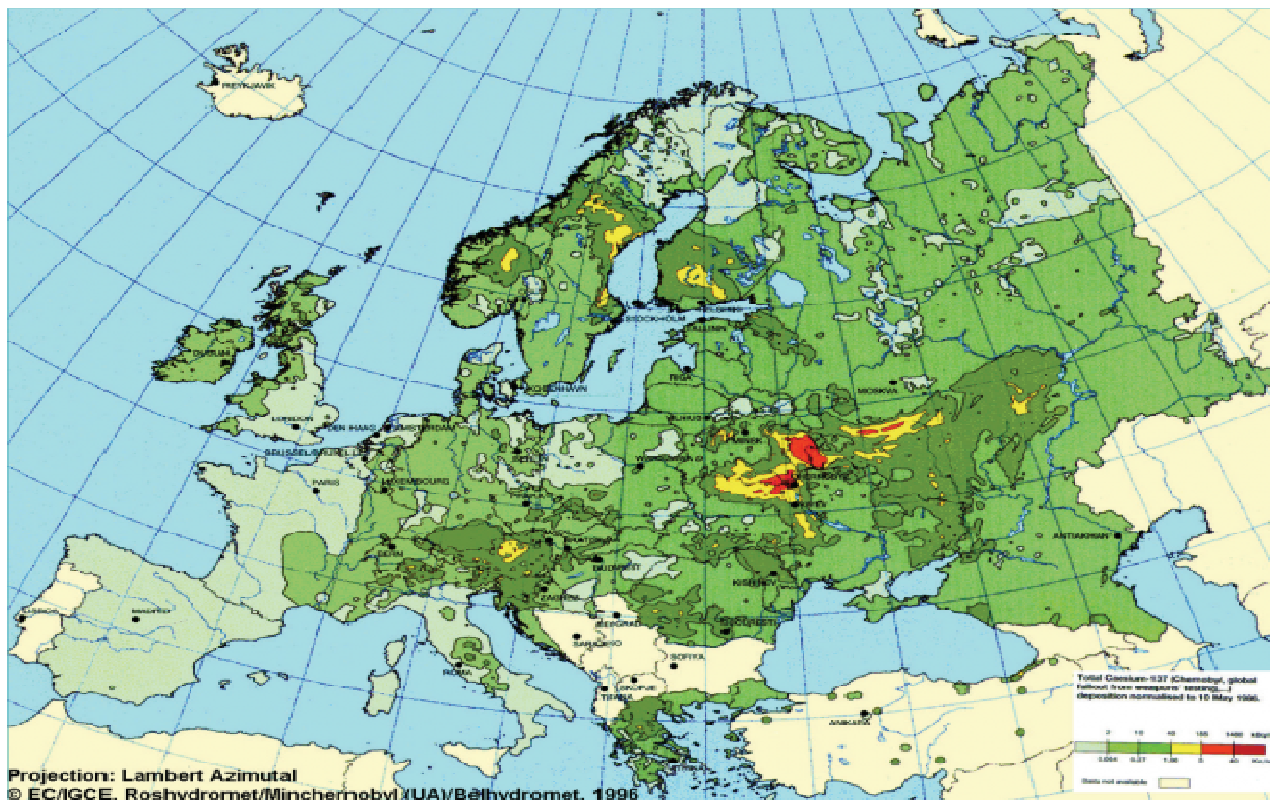


Рисунок 1. – Распространение радиоактивных выпадений на Европейском континенте 10 мая 1986 г. (цветом показана шкала активности выпадений ^{137}Cs в $\text{кБк}/\text{м}^2$, площади с желтым цветом – территории, не подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие аварии на Чернобыльской АЭС)

В настоящее время примерно пять миллионов человек проживают в районах Беларуси, Российской Федерации и Украины, где уровни радиоактивного загрязнения почв цезием превышают $37 \text{ кБк}/\text{м}^2$. Из них примерно 270 000 человек продолжают жить в районах, классифицированных советскими полномочными органами как зоны усиленного контроля (ЗПК), где заражения цезием (Cs) превышает $555 \text{ кБк}/\text{м}^2$.

В 2000 г. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) сообщила, что Чернобыль мог стать причиной гибели 50 тыс. человек (в том числе с учетом самоубийств). По инициативе «Чернобыльского форума» ООН ВОЗ в период с 2003 по 2005 год провела ряд совещаний экспертов для рассмотрения всех научных данных о медицинских последствиях, связанных с этой аварией. Группа экспертов ВОЗ использовала в качестве основы, доклад 2000 г. Научного комитета ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН), и в обновленный вариант доклада вошли критические обзоры опубликованной информации, представленной правительствами трех стран. Ученые, проводившие исследования в трех странах, а также эксперты из ряда стран мира вошли в состав группы экспертов ВОЗ. В результате ВОЗ опубликовала доклад «Медицинские последствия Чернобыльской аварии и специальные программы медико-санитарной помощи» [6].

Несмотря на то, что эффективные дозы большинства жителей загрязненных районов являются достаточно низкими, необходимо отметить, что в первые дни после аварии значительная часть населения Украины и Беларуси получила большие радиационные нагрузки на щитовидную железу в результате ингаляционного поступления радиоактивного йода (J-131) в организм при прохождении йодного облака и употребления в первый месяц после аварии молока, содержащего J-131 . Период полураспада данного соединения – 8 суток. Наблюдения ученых-медиков в течение всей жизни лиц, подвергшихся воздействию радиации в результате аварии, указывают на увеличение количества случаев смерти от рака. Можно определить, какие конкретные случаи рака были вызваны радиацией, количество таких случаев смерти можно оценить лишь статистически на основе информации и проекций, полученных при исследованиях людей, выживших после взрывов атомных бомб, и других испытаниях ядерного оружия (рисунок 2).

Грепреасе считает масштабы катастрофы более масштабными, доказывая, что только в Беларуси зарегистрировано 273 тыс. случаев рака, вызванного последствиями Чернобыля, утверждая, что более 90 тыс. из них могут быть фатальными. Организация «Врачи мира для предотвращения ядерной войны» (International Physicians for the Prevention of Nuclear War) считает, что число смертельных случаев может достигать 50–100 тыс. Однако, в 2007 г. были опубликованы результаты исследования Совета исследований окружающей среды (Natural Environment Research Council): риск от воздействия радиации на людей, ставших жертвами аварии на Чернобыльской АЭС, намного менее серьезен, чем принято считать. Авторы сопоставили разрушительный эф-

факт чернобыльской радиации и воздействие, которое оказывают на организм человека такие факторы, как загрязнение воздуха, курение и ожирение. Во всех этих случаях (в том числе и для Чернобыля) риск смерти человека увеличивается незначительно – примерно на 1%.

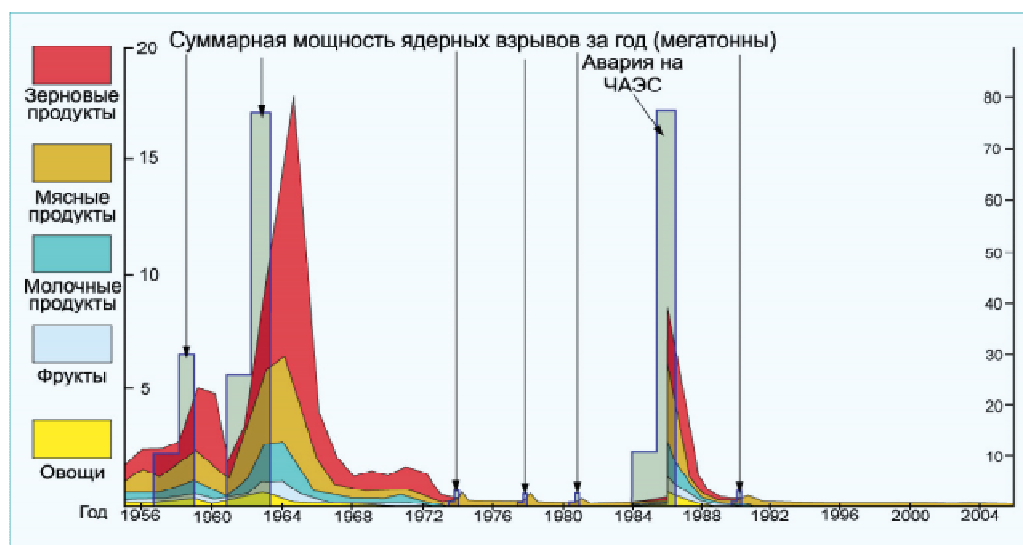


Рисунок 2. – Сравнительные данные по источникам радиоактивного загрязнения, формирующим дозовую нагрузку, обусловленную испытаниями атомного оружия и аварией на Чернобыльской АЭС

В результате трагедии население Украины и других государств сделало однозначный вывод: в случае подобной аварии человек лишается привычной жизни, а любая радиация – причина разнообразных болезней, генетических нарушений, смертельных онкологических заболеваний. Такое восприятие ядерной энергетики устойчиво и поддерживается в новых поколениях, что вызвало кризис доверия к данной отрасли.

1. Проблемы радиационной безопасности и пути их решения. Сегодня атомные электростанции планируются, строятся и работают таким образом, чтобы и персонал, и население были уверены в защищенности от вредных излучений. Вероятность серьезной аварии, способной вызвать выбросы значительного количества радиоактивных продуктов в атмосферу, будет постоянно снижаться через внедрение различных защитных мер и систем безопасности на АЭС третьего и последующих поколений. Основными направлениями, реализующими широкий комплекс технических и организационных мероприятий, направленных на минимизацию неблагоприятного радиационного воздействия на человека и окружающую среду, являются:

- реализация глубоководной многобарьерной защиты в системе распространения радиоактивных веществ и систем защиты и контроля этих барьеров;
- применение технических средств высокой степени надежности и использование систем управления и контроля процессов радиационной обстановки, построенных на принципах резервирования;
- обеспечение безопасности при всех экстремальных природных и техногенных воздействиях с вероятностью 1 раз в 10 000 лет;
- применение технических систем, обеспечивающих преодоление нарушений нормальной эксплуатации, и специальных систем безопасности, направленных на преодоление аварий с высокой степенью резервирования и реализацию защиты даже без участия персонала;
- применение технических решений, которые минимизируют образование радиоактивных отходов за счет совершенствования технологических процессов, систем очистки радиоактивно загрязненных сред с возвращением очищенных сред в технологический цикл;
- обязательная очистка загрязненных сбросов и выбросов, недопущение неконтролируемых выбросов в окружающую среду.

В составе проектов АЭС предусматриваются обязательные специальные анализы безопасности, основанные на современных методах детерминистического и вероятностного анализа с обоснованием требований нормативных документов, в том числе в части воздействия на окружающую среду. Согласно проектам на современных АЭС уровень воздействия на окружающую среду при нормальной эксплуатации существенно ниже критериев радиационного воздействия на человека и окружающую среду, установленных в нормативных документах. Это положение обеспечивается для всех действующих АЭС, в том числе и в Украине. При эксплуатации АЭС газо-аerosольные выбросы в них значительно ниже проектных, а другие радиоактивные выбросы и сбросы практически исключены. Так, суточные газо-аerosольные выбросы на АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 на Хмельницкой и Запорожской АЭС составляют для радиоактивных благородных газов лишь 1,5%, для йода-131 – 0,4%, для долгоживущих изотопов – 0,02% от нормативных.

В процессе развития атомной энергетики наблюдается неуклонная тенденция снижения вероятности неблагоприятных последствий даже в случае очень редких аварийных событий. Согласно проектам современных АЭС даже при указанных выше чрезвычайно редких аварийных событиях не требуется применения специальных мер относительно временного отселения людей за пределы расстояний 1-2 км от АЭС.

С учетом потенциальной опасности, вся дальнейшая деятельность в атомной энергетике Украины должна быть направлена на решение следующих задач:

1. Повышение уровня безопасности действующих АЭС с использованием дополнительных мероприятий (в настоящее время реализуется специальная программа), продолжение работ с учетом опыта эксплуатации, путем совершенствования нормативной базы [7–9].
2. Реализация технических решений, направленных на минимизацию РАО, создание государственной системы обращения с РАО, включая все стадии обращения с минимизацией последствий для окружающей среды.
3. Использование современных энергоблоков с самыми высокими показателями безопасности, достигнутыми в атомной энергетике, при создании новых мощностей.
4. Совершенствование системы контроля и мониторинга, в том числе окружающей среды.
5. Создание системы максимальной открытости атомной энергетики для широкой общественности.

Роль атомной энергетики в сохранении и дальнейшем развитии цивилизации невозможно переоценить. Уже сейчас очевидно, что экономически выгодных и одновременно экологически «чистых» энергоносителей быть не может. Но с ростом масштабов развития атомной энергетики в мире увеличивается воздействие излучения на население в результате попадания радионуклидов в окружающую среду. Поэтому, дальнейшее развитие атомной энергетики требует всестороннего повышения уровня ее безопасности и усиления международного сотрудничества для использования достигнутых высоких стандартов, а также критического отношения к недостаточно надежным технологическим систем и их элементам.

2. *Влияние АЭС на окружающую среду.* Атомная энергетика прошла путь от первых лабораторных экспериментов и установок (1890 – 1940 гг.) до строительства и эксплуатации крупных атомных электростанций (АЭС) различных типов и мощностей (с 1954 гг. до настоящего времени). Атомные станции сегодня, в основном, используют четыре типа реакторов первого – третьего поколений:

1. Легководные реакторы (LWR) двух модификаций – корпусные, с водой под давлением (PWR), и кипящие (BWR), а также разновидность LWR – водоохлаждаемые реакторы с графитовым замедлителем (LGR), которые используются преимущественно в России и постсоветских странах.
2. Тяжеловодные реакторы (HWR), в основном типа CANDU (Canadian D2O Uranium).
3. Газоохлаждаемые реакторы на природном (MAGNOX) или обогащенном уране (AGR – Advanced Gascooled Reactor).
4. Реакторы на быстрых нейтронах типа БН.

Сейчас наибольшая доля электроэнергии в мире производится на АЭС с легководными реакторами, мощность которых превышает 1300 ГВт (эл). С 1960 по 2010 год в мире было построено более 540 ядерных реакторов на АЭС (около 100 реакторов по разным причинам были закрыты). Эксплуатация ядерных реакторов в мире обеспечивается работой почти 250 заводов ядерного топливного цикла. В процессе реализации ядерных программ для научных целей был построен 651 исследовательский ядерный реактор, из которых сейчас работают 284, в том числе 2 в Украине.

В первые годы (1945 – 1960 гг.) первые реакторы на АЭС обладали относительно высоким уровнем аварийности по технологическим параметрам, недостаточными требованиями к ядерной и радиационной безопасности, в том числе из-за несовершенства нормативной базы. В дальнейшем, совершенствование технологии и повышение безопасности обеспечили возможность строительства мощных АЭС на фоне уменьшения природных запасов органических энергетических ресурсов (угля, нефти и газа), и во второй половине XX в. атомная энергетика стала новой многообещающей энергетической альтернативой традиционным источникам энергии. Так, по запасам энергии, содержащейся в разведанных залежах урана, они более чем в 20 раз превышают разведанные запасы нефти, газа и каменного угля. В связи с этим, уран рассматривается как очень перспективный вид топлива, так как 1 кг природного урана заменяет около 20 т угля.

Интенсивным строительство АЭС с ядерными реакторами первого поколения было в 1970 – 1980 годах. Несмотря на жестокую конкуренцию с энергетическими компаниями, эксплуатирующими тепловые электростанции, средний прирост мощностей ядерных реакторов на АЭС составлял примерно 25% в год. В 1980 – 1990 гг. прирост мощностей новых ядерных реакторов на АЭС снижается до 6% в год. В этот период появляются реакторы второго поколения. Однако против развития атомной энергетики все активнее протестуют представители «зеленого» движения и «антиглобалисты». Их деятельность особенно резко активизировалась после Чернобыльской катастрофы. Авария на Чернобыльской АЭС резко сокращает строительство новых блоков АЭС, а в большинстве стран вообще был объявлен мораторий на их строительство. Принятые серьезные усилия по обеспечению безопасности эксплуатируемых АЭС позволили в начале XXI в. в значительной степени восстановить доверие общества к атомной энергетике.

В практике эксплуатации энергетических и промышленных объектов не существует технических систем со стопроцентной надежностью и у каждой из них есть своя доля риска. Анализ риска в виде возможных нега-

тивных последствий требует учета и соизмеримости с ним пользы, которую приносит тот или иной процесс хозяйственной деятельности. Все познается в сравнении, поэтому мы можем оценить только сравнительную безопасность любой деятельности по отношению к другим видам, принятым обществом [10]. Нужно помнить, что любой крупный энергетический или промышленный комплекс, АЭС и другие объекты инфраструктуры ядерно-топливного цикла (ЯТЦ) при их эксплуатации выступают источниками определенного техногенного воздействия на природную среду и системы жизнедеятельности человека. При изготовлении электроэнергии и тепла АЭС имеет ряд преимуществ по сравнению с тепловыми станциями:

- для производства одинакового количества энергии требуется в несколько тысяч раз меньше ядерного топлива, чем угля для ТЭС;
- значительно упрощается доставка топлива;
- период работы АЭС при разовой загрузке ядерного топлива гораздо более длительный (от года и более), чем для ТЭС;
- при нормальной эксплуатации АЭС гораздо безопаснее ТЭС за выбросами химических и радиоактивных загрязнителей;
- отсутствует выброс «парниковых» газов в окружающую среду.

Сегодня общество знает, что практически очевидно «экологически чистых» или «абсолютно безопасных» энергетических технологий не может быть. Использование каждой станции для выработки электроэнергии неизбежно сопровождается тем или иным видом негативных воздействий. Так, при строительстве и эксплуатации АЭС и ТЭС, производящих базовую электроэнергию, в большей или меньшей степени существуют негативные воздействия на окружающую среду: химическое, тепловое и радиоактивное загрязнение; шумовое и электромагнитное воздействие на обслуживающий персонал; изъятие земельных ресурсов под энергетическое строительство; использование водных ресурсов для производственных нужд; активизация экзогенных геодинамических процессов в системе «объект энергетики - геологическая среда».

В 60-70-х гг. прошлого века энергоблоки АЭС имели незначительную мощность и количество их на одной площадке составляло не более трех. Увеличение мощности АЭС до 4...6 блоков приводит к изъятию под эти объекты значительных территорий. Эксплуатация таких АЭС требует большого количества водных ресурсов. В зонах влияния мощных АЭС возникает потенциальная техногенная нагрузка (тепловое, химическое и радиационное) на окружающую среду, возможна активизация некоторых опасных геодинамических процессов, которые могут снижать уровень общей и радиационной безопасности, но, в значительной степени, эти взаимодействия характерны и для тепловой энергетики, использующей органическое топливо. Для минимизации негативного влияния процессов на окружающую среду и уменьшения его до допустимых параметров, обеспечения безопасности АЭС потребуются дополнительные затраты на соответствующие защитные меры. Также необходим постоянный контроль посредством комплексного радиоэкологического мониторинга.

Значительная часть дополнительных средств используется на внедрение более совершенных систем безопасности АЭС, в том числе на защиту окружающей среды для штатных и аварийных условий эксплуатации этих объектов. Тепловое загрязнение является одним из серьезных негативных факторов воздействия на окружающую среду при функционировании АЭС. При КПД современных АЭС 33–35% около 65% тепловой энергии попадает в окружающую среду. В технологических схемах АЭС мощными открытыми источниками тепла являются градирни, водоемы-охладители (рисунок 3), брызгательные бассейны. Их эксплуатация, как правило, приводит к изменению микроклиматических характеристик, вызывает потепление водоемов, влияет на процессы жизнедеятельности флоры и фауны прилегающих к АЭС экосистем.



Рисунок 3. – Общий вид промплощадки Запорожской АЭС (Украина)

В качестве примера приведем данные о тепловом воздействии на окружающую среду Запорожской АЭС (ЗАЭС) – самой мощной по электрической мощности (6000 МВт) станции в Европе.

Изменение отдельных параметров микроклимата локализуются, преимущественно, в пределах санитарной защитной зоны ЗАЭС и связаны с поступлением в пограничный слой атмосферы значительного количество тепла и влаги, что обусловлено функционированием комплексной системы охлаждения, в состав которой входят водоем-охладитель, брызгательные бассейны, башенные градирни-охладители. Тепловое воздействие водоема-охладителя на атмосферу по данным мониторинга фиксируется в течение всего года, достигая высот 250–300 м и более, простираясь на расстоянии до 10 км. В теплый период года влияние водоема на смену температур воздуха незначительно: в малооблачную погоду на расстояниях до 100–200 м отмечается повышение температуры на 1,6 °С, в пасмурную – на 1,1 °С. В холодный период года при достаточно высокой влажности воздуха над водоемом образуются туманы, распространяющиеся на побережье, – в отдельные дни на расстояние 2,0–2,5 км от береговой линии. При этом зона ухудшенной видимости (менее 1 км) может отмечаться на расстоянии до 5 км. В зоне туманов наблюдается повышенная влажность воздуха, прекращается инсоляция, возникают гололедно-заморозковые явления, повышается интенсивность коррозионных процессов металлических и бетонных конструкций. Влияние брызгательных устройств на температуру воздуха максимально в холодный период: в ближайшей стометровой зоне температура воздуха повышается в среднем на 2,0–3,0 °С; на расстояниях 1–2 км – на 2,5–1,0 °С. При этом относительная влажность воздуха повышается соответственно на 8–10% и 4–5%. Охлаждение воды с помощью двух башенных испарительных градирен приводит к потере воды летом на 15%, зимой – на 1,3%. Последствиями выброса тепла и влаги градирнями-охладителями являются:

- формирование пароконденсатных факелов, распространяющиеся в холодный период года на расстояние до 2–3 км и более при устойчивой стратификационной атмосфере, а также до 0,5–0,7 км в летний период;
- «затмение» подстилающей поверхности и снижение в связи с этим на 30–50% прихода прямой солнечной радиации в ближней к факелам зоне;
- снижение дальности метеорологической видимости в экстремальных условиях до 2–4 км, а при «застойных» явлениях в холодный период года – менее 0,5 км.

Системы охлаждения ЗАЭС также влияют на гидрохимический и экологический режим прилегающих к площадке водоемов. Так, вода из брызгательных устройств, градирен и водоема-охладителя постоянно испаряется, а соли остаются. Это приводит к увеличению жесткости воды, используемой для охлаждения, что отрицательно влияет на работу оборудования и требует принятия специальных технологических мероприятий. Поэтому для сохранения солевого баланса часть воды из водоема-охладителя постоянно сбрасывается и заменяется свежей днепровской водой. Процесс замещения воды в водоеме-охладителе называется «продувкой». Расход продувки меняется в зависимости от времени года и составляет от 6 до 20 м³/с. При осуществлении плановых режимов продувки водоема-охладителя ЗАЭС распространение ореолов «теплого пятна» в акватории Каховского водохранилища с превышением температур на 3 °С фиксировалось на удалении до 300–500 м от водовыпуска, что соответствует требованиям Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами, согласно которым температура воды в водоемах не должна повышаться по сравнению с естественной температурой более чем на 5 °С, с общим повышением не более чем до 28 °С летом и 8 °С зимой.

Продувка водоема-охладителя ЗАЭС согласно технологическому регламенту осуществляется в течение 9 месяцев в году, кроме периода нереста рыбы в Каховском водохранилище с апреля по июнь, когда перегретые воды, поступающие из скудного канала ЗАЭС, полностью локализуются в водоеме-охладителе. Процесс продувки и качественный состав сбрасываемой из водоема-охладителя ЗАЭС воды, поступающей в Каховское водохранилище, постоянно контролируются комплексным экологическим мониторингом, а также организациями Минприроды, Минздрава и Комитета по водному хозяйству.

Среди наиболее крупных аварий на АЭС, произошедших в различные периоды истории атомной энергетики, можно назвать ряд инцидентов, случившихся в разных регионах мира.

12 декабря 1952 вошло в историю как дата первой в мире серьезной аварии на атомной электростанции. Причиной стала ошибка технического характера, которую допустил персонал АЭС в штате Онтарио (Канада). Произошел перегрев и частичное расплавление активной зоны. Земля недалеко от реки Оттава, впитала в себя около 3800 м³ радиоактивно загрязненной воды. 10 октября 1957 г. произошла крупная авария на АЭС Виндскейле-Пайл (Великобритания). Из-за ошибки, допущенной при эксплуатации одного из двух реакторов по наработке оружейного плутония, резко увеличилась температура топлива в реакторе. Возник пожар в активной зоне, который длился четыре дня. Во время пожара сгорело 11 тонн урана. Радиоактивное облако дошло до территории Германии, Дании, Бельгии и Норвегии. В 1969 году произошла авария на АЭС Святой Лаврентий во Франции (рисунок 4). Из-за невнимательности оператора ночной смены был неправильно загружен топливный канал, что привело к взрыву запущенного реактора мощностью 500 МВт. Как следствие – элементы перегрелись и расплавились, около 50 кг жидкого топлива вытекло наружу. Десять миллионов долларов стоил пожар на реакторе Браунс Ферри в Алабаме (США), который произошел 22 марта 1975 г. Рабочий с зажженной свечой в руках решил проверить попадание воздуха через бетонную стену. Благодаря сквозняку огонь распространился через кабельный канал. Это «приключение» на год вывело АЭС из строя. Авария в 1979 году на атомной электростанции Айленд стала самой масштабной в истории США. По вине грубых ошибок операторов и серии сбоев в работе оборудования активная зона второго энергоблока АЭС была расплавлена на 53%. Из пострадавшего района были эвакуированы 200 тыс. человек. Кроме того, в атмосферу были выброшены инертные радиоактивные газы – йод и ксенон. В реку Сукуахана попало 185 м³ радиоактивной воды.



Рисунок 4. – Авария на АЭС Святой Лаврентий во Франции

Крупнейшая ядерная авария за всю историю человечества произошла в ночь с 25 на 26 апреля 1986 г. На четвертом блоке Чернобыльской АЭС частично была разрушена активная зона реактора. В результате аварии население Чернобыля ощутило на себе облучения в 90 раз больше, чем бомба, упавшая на Хиросиму. Общая площадь загрязнения составляет 160 тыс. км².

Крупнейшая ядерная авария в истории Японии произошла 30 сентября 1999 года. Из-за ошибки персонала на заводе, который специализируется на изготовлении топлива для АЭС в городе Токаймура началась неконтролируемая цепная реакция, которая продолжалась 17 часов. Дозу, превышающую ежегодно допустимый уровень, получили 119 человек. Всего были облучены 439 рабочих. Из трех людей, получивших критическую дозу, двое умерли. 9 августа 2004 г. в 320 км к западу от Токио, на острове Хонсю, произошла авария на АЭС Михама. Сверхмощный выброс раскаленного пара (около 200 °С) произошел в турбине третьего реактора. Сильные ожоги получили все сотрудники, которые были рядом. В момент аварии около 200 человек находилось в здании, где расположен третий реактор. Погибли 4 человека, пострадали еще 18 сотрудников. По количеству жертв эта авария стала самой серьезной в Японии. Вследствие мощнейшего за всю историю Японии землетрясения 11 марта 2011 г. была разрушена турбина на АЭС «Онагава» (рисунок 6). Возникший пожар был быстро ликвидирован. Гораздо серьезнее сложилась ситуация на АЭС «Фукусима-1», где из-за отключения охлаждающей системы расплавилось ядерное топливо в реакторе блока № 1. В связи с выявленной утечкой была проведена эвакуация в десятикилометровой зоне вокруг АЭС.



Рисунок 5. – Авария на АЭС «Онагава» в Японии

3. *Перечень работ по вывозу радиоактивного грунта и консервации загрязненных участков леса.* Радиоактивное загрязнение почвы является следствием аварии на радиационно-опасных объектах (РНО), АЭС, транспортных средствах с ядерными энергетическими установками. Наиболее опасными в плане загрязнения почвы и лесов являются аварии на АЭС. Исследования и опыт консервации радиоактивного леса и почвы показывают, что в зоне аварии на АЭС наиболее рациональным является засыпка спиленных деревьев, веток, вывоз радиоактивного грунта за пределы зараженной зоны и подсыпка нового растительного грунта.

После аварии на ЧАЭС в атмосферу было выброшено около 450 различных радионуклидов, многие из которых короткоживущие – ниобий-95, йод-131, стронций-89 и другие. Но, после распада основного количества короткоживущих радионуклидов остались долгоживущие – стронций-90 (период полураспада – 29,12 года), цезий-137 (30 лет), плутоний-238 (87,74 года), плутоний-239 (24 065 лет), плутоний-240 (6537 лет) и другие [11–12]. Поэтому оптимальной для проведения консервации загрязненных участков леса и вывоза радиоактивного грунта будет организация радиационной разведки, наблюдения и лабораторного контроля специальными службами радиационной безопасности и радиационной разведки.

По данным разведки и наблюдения определяются границы зон загрязнения, в которых планируются и будут проводиться подсыпка сухого и чистого песка между деревьями с целью снижения уровня радиоактивного фона для обеспечения работы личного состава и вывоза загрязненного грунта. Также определяют и спиливаемые деревья, проводят засыпку ущипленного завала слоем почвы определенной толщины (0,4–0,7 м). При образовании насыпи делается подсыпка поверхности насыпи растительного грунта, посев травы, посадка кустов и деревьев (дубы). Площадь леса, подлежащего консервации, делится на участки с противопожарными полосами (ширина 3–5 м), проводится срезка радиоактивного грунта. Считается, сколько нужно самосвалов для вывоза радиоактивного грунта и завоза песка, засыпки участков, откуда вывезли радиоактивный грунт, и определяется количество бульдозеров для разравнивания грунта между деревьями (толщина присыпки 0,3–0,4 м). Для спила радиоактивных деревьев вычисляется количество пил с производительностью работы не менее $6\text{ м}^3/\text{ч}$ и коэффициентом использования $K_{\text{вп}} = 0,5$ и более, и время работы. При этом, необходимо опеределить количество личного состава (80–100 человек), работающего посменно, в том числе: 4–5 бульдозеристов, 35–55 водителей, 45–53 механика для работы с пилами, обязательно, 2–3 разведчика-дозиметриста.

Вывод. Таким образом, учитывая экономическую выгоду действия атомных электростанций, следует осознавать ряд неотъемлемых рисков эксплуатации данных объектов. К категории опасных последствий безусловно причисляются те, что связаны с возможной аварией и утечкой радиоактивных элементов в окружающую среду: период полураспада отдельных соединений может достигать десятков тысяч лет, а зараженные территории оказываются надолго отчужденными от экономики государства в силу абсолютной непригодности для жизни человека и ведения в их границах какой бы то ни было хозяйственной деятельности. Последствия аварий на АЭС имеют пролонгированный характер, что мы наблюдаем до сего дня на примере катастрофы на Чернобыльской АЭС. Современные АЭС имеют достаточно высокую степень защиты от возможности неконтролируемой цепной реакции, однако их содержание и эксплуатация требуют значительных затрат природных ресурсов и влекут неотъемлемое ухудшение экологической обстановки в местах размещения.

Перечень работ по вывозу радиоактивного грунта и консервации загрязненных участков леса, приведенный в статье, позволяет минимизировать негативные последствия аварий и рекомендуется для практического использования соответствующими службами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кодекс цивільного захисту України. – К., від 02.10.2012 року, № 5403 – УІ.
2. Про єдину державну систему запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру : Постанова Кабінету Міністрів України. – Київ, 03.08.1998 року. – № 1198.
3. Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру : Закон України. – № 1809 – III-К., 2000.
4. Про захист людини від впливу іонізуючих випромінювань : Закон України, 14 січня 1998 року, № 15/98 – ВР.
5. Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи : Закон України. – № 796 – XII – Київ, 1991 (зі змінами і доповненнями, внесеними відповідними Законами України).
6. Бубнов, В.П. Безопасность жизнедеятельности : пособие. В 3 ч. / В.П. Бубнов. – Минск : Амалфея, 2015. – Ч. 2. Радиационная безопасность. – 260 с.
7. Михнюк, Т.Ф. Безопасность жизнедеятельности : учеб. / Т.Ф. Михнюк. – Минск : ИВЦ Минфина, 2015. – 341 с.
8. Десять років після аварії на Чорнобильській АЕС / А.І. Авраменко [та інш.]. – Київ, 1996.
9. Бакуменко, В.Д. Сучасні підходи до вирішення проблем Чорнобильської Зони відчуження та безумовного (обов'язкового) відселення / В.Д. Бакуменко, М.І. Проскура, В.І. Холоша. – Київ, 2000.
10. Міністерства екології та природних ресурсів України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.menr.gov.ua/>.
11. Державна служба України з надзвичайних ситуацій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dsns.gov.ua/>.
12. Рада національної безпеки і оборони України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rainbow.gov.ua/>.

Поступила 13.05.2021

POTENTIAL RISKS IN AN ACCIDENT AT A NUCLEAR POWER PLANT

N. ZHURAVSKA, P. STEFANOVICH, I. STEFANOVICH

The article discusses the characteristics of the accident at the Chernobyl NPP, indicators of the effect of the NPP on the environment, the impact of the main consequences of nuclear-radiation technogenic safety and the ways of their solution are given. A systematization was compiled and a methodological approach was proposed to concretize the work related to radioactive contamination of forest areas. The information provided is recommended for special measures with the training of personnel when carrying out rescue recovery work in hazardous areas with radioactive contamination of the territory.

Keywords: *technogenic safety, potential risks, radioactive contamination, environment.*