

АКУСТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ ПРИ КОНТРОЛЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

О.А. Доровская, О.Е. Коноваленко, проф. Г.И. Сидоров
(представил д.т.н., член-корр. НАНУ А.В. Мень)

Рассматриваются общие вопросы экологической безопасности в ядерной энергетике и конкретные результаты разработки акустического локатора «ИВА».

К концу 90-х годов в мире эксплуатировалось более 550-ти атомных реакторов, доля которых в мировой выработке электроэнергии составляет около 20 %. Только в США в промышленной эксплуатации находится 113 АЭС, производящих более 20 % потребляемой энергии, во Франции на АЭС было выработано 75 % электроэнергии, в ФРГ – 34 %, Японии – 28 %, Великобритании – 19,3 %. Крупные инциденты, связанные с АЭС (авария на Чернобыльской АЭС в 1986 г., выброс радиоактивных веществ в Тримайл-Айленде в 1979 г., в Сор-Ване (Израиль) – в 1990 г., в Сарагосе (Испания) – в декабре 1990 г.), конечно, обострили проблему обеспечения безопасности их работы, но не заставили мировую энергетику отказаться от использования АЭС. Многие специалисты считают, что АЭС более безопасны для здоровья людей и меньше загрязняют окружающую среду, чем электростанции, работающие на твердом топливе.

Имея в виду разнообразие проявлений воздействий строительства и эксплуатации АЭС при возможных режимах ее работы, разнообразие природного окружения АЭС, сооружаемых в разных регионах страны, различие технических решений отвода избытка тепла с АЭС и другие различия, не представляется возможным сформулировать общие для всех АЭС требования к защите их природного окружения. Не исключаются и разные требования местных органов власти, общественности к сохранности природного окружения АЭС. Поэтому необходимо для каждой АЭС иметь свою концепцию охраны окружающей среды, учитывающую особенности региона АЭС, действующее природоохранительное законодательство. В концепции охраны окружающей среды данной АЭС должны найти отражение требования местных органов власти и общественности к охране природы региона АЭС и установлен допустимый ущерб природному окружению при нормальной работе АЭС и авариях. Очевидно, что АЭС, удовлетворяющая требованиям концепции охраны окружающей среды, экологически нормальна.

Развитие радиационного мониторинга протекает в тесной связи с развитием средств контроля (детекторов ионизирующих излучений, ана-

лизаторов спектра и т.п.), средств обработки, хранения, передачи и отображения информации, а также с существующими методами идентификации, оценки и прогнозирования радиационной обстановки.

Выбрасываемое из АЭС распространяется и рассеивается в атмосфере постоянно существующими в ней турбулентными вихрями разных масштабов, причем интенсивность турбулентной диффузии определяется параметрами ветрового потока и вертикальным градиентом температуры, которые зависят от свойств подстилающей поверхности, динамических и температурных характеристик воздушных масс.

Оценку текущей радиационной обстановки в конкретной точке можно произвести на основе анализа данных физических измерений. Однако при оценке радиационной обстановки на больших ареалах и в целых регионах получение достаточно большого количества физических измерений становится задачей сложной и экономически неоправданной. При возникновении радиационных аварий очень важно предвидеть развитие ситуации с целью своевременного принятия необходимых для обеспечения безопасности населения мер. В связи с этим разработан ряд моделей распространения загрязнений [1, 2], которые с той или иной степенью адекватности описывают процессы переноса радиационного загрязнения среды (РЗС). Сложность моделирования РЗС переноса обусловлена, с одной стороны, многомерностью и анизотропностью среды распространения, а с другой – большим числом факторов, влияющих на процессы переноса РЗС, стохастическим характером их флуктуаций, в ряде случаев также невозможностью их прямого определения или однозначной интерпретации.

В настоящее время для описания распространения РЗС в микро (0 – 0,25 км) и локальных масштабах (0,25 – 50,0 км) создан ряд математических моделей, основанных на уравнении турбулентной диффузии. В этих моделях компоненты вектора скорости ветра и другие метеорологические характеристики определяются частично по данным измерений, а частично – на основе расчетов, таблиц или косвенных данных. С помощью таких моделей можно получить лишь осредненные результаты, не учитывающие детальную структуру фактического распределения РЗС. В основе значительной части моделей распределения примесей в атмосфере лежит гауссова модель, описываемая для одномерного случая выражением

$$\chi = \pi^{-1/2} Q \exp \left[-(\Delta x)^2 \right],$$

где χ – среднее значение концентрации РЗС в единице массы приземного слоя воздуха; $A = (4kt)^{-1/2}$ – климатологический параметр; k – коэффициент турбулентной диффузии; t – время, истекшее с момента выброса; Q – общее количество выброшенного РЗС; x – расстояние по оси X , совпадающей с направлением ветра, от точки, в которой вычисляется концентрация, до источника РЗС.

Гауссова модель достаточно хорошо описывает распространение РЗС,

если параметры ветра и категория устойчивости атмосферы неизменны (т.е. шлейф выброса симметричен и монотонно расширяется) и $x \rightarrow 0$ при $t \rightarrow 0$, а сам источник РЗС является точечным и непрерывным. Для расчета трехмерного переноса РЗС гауссова модель приобретает вид [3]:

$$\chi(x, y, z, t) = \left(2\pi\right)^{\frac{3}{2}} Q \left(k_x k_y k_z t^3\right)^{\frac{1}{2}} \exp\left[\frac{-\left(x^2/k_x + y^2/k_y + z^2/k_z\right)}{4}\right],$$

где k_x, k_y, k_z – коэффициенты турбулентной диффузии вдоль соответствующих координатных осей для случая анизотропной среды.

В окончательном для практического использования виде гауссова модель обычно представляется следующим выражением для оценки концентрации РЗС в приземном слое воздуха в любой точке пространства в окрестностях источника выброса

$$\chi = 0.159Q(U\sigma_y\sigma_z)^{-1} \exp\left[-0.5(H/\sigma_z)^2 - 0.5(y/\sigma_y)^2\right],$$

где Q – «мощность» выброса (общая выброшенная активность); σ_x, σ_y – значения параметров дисперсии примеси (стандартные отклонения распределения концентрации) по соответствующим осям, являющиеся функциями расстояния x от источника РЗС по оси ветра; y – расстояние от точки, в которой определяется концентрация РЗС, до оси X (ось X совпадает с направлением ветра); H – высота выброса.

Эта модель является наиболее распространенной при оценке распределения РЗС на местности в радиусе 50 – 80 км от источника по следующим причинам:

- она является частным случаем решения уравнения диффузии Фика для случая постоянной скорости и направления ветра, а также параметров дисперсии и в этом смысле концептуально привлекательна;
- учитывает стохастическую природу турбулентности;
- достаточно легко математически реализуема;
- ее результаты при сравнении с данными фактических измерений на местности близки к результатам, полученным при использовании других моделей, причем эти последние более сложны и содержат больше эмпирики.

В гауссовой модели часть исходных данных непосредственно измеряется или оценивается на основе обработки данных измерений (Q, U, H, y), а параметры дисперсии вычисляются с помощью таблиц или графиков, а также ряда эмпирических формул, учитывающих класс устойчивости атмосферы, который, в свою очередь, определяется весьма условно и в основном по косвенным данным.

Даже в оптимальных условиях результат моделирования может в 2 – 4 раза отличаться от фактических данных измерений на местности. В наихудших случаях погрешность оценок может составить 2 порядка, причем в большей части – в сторону завышения результатов. Некоторое повышение точности оценок можно обеспечить, если класс устойчивости атмосферы определять не только по данным анализа температурного градиента, но и с

учетом целого ряда результатов непосредственных измерений таких переменных, как профиль поля ветра, инсоляция, чистая радиация, осадки и т.п. Для сложного рельефа, сложных метеоусловий, для случая коротких выбросов, в особенности если требуется расчет концентрации РЗС на значительных расстояниях от источника выброса, более реальными, хотя и намного сложнее, могут оказаться другие модели, такие как траекторные, «частиц в ячейках», сеточные, псевдоспектральные, Монте-Карло и другие. Эти модели требуют намного больших входных данных, большей емкости памяти ЭВМ и прочее. В то же время надежные оценки их точности пока отсутствуют, хотя на расстоянии порядка 100 км они показали хорошие результаты [4, 5].

Успешное использование моделей распространения РЗС, позволяющих перекрыть практически все диапазоны атмосферного переноса примесей, требует соответствующего информационного обеспечения, т.е. релевантных метеоданных и параметров выброса.

Все рассмотренные модели распространения РЗС включают в себя измерения скорости ветра на одной или нескольких высотах, причем адекватность данных моделей находится в зависимости от точности измерений скорости ветра. Таким образом, скорость и направление ветра в слое распространения – это первые параметры, которые необходимо знать при расчетах рассеяния примеси.

На рис. 1 представлена структурная схема информационно-измерительной системы (ИИС) контроля радиационной обстановки.

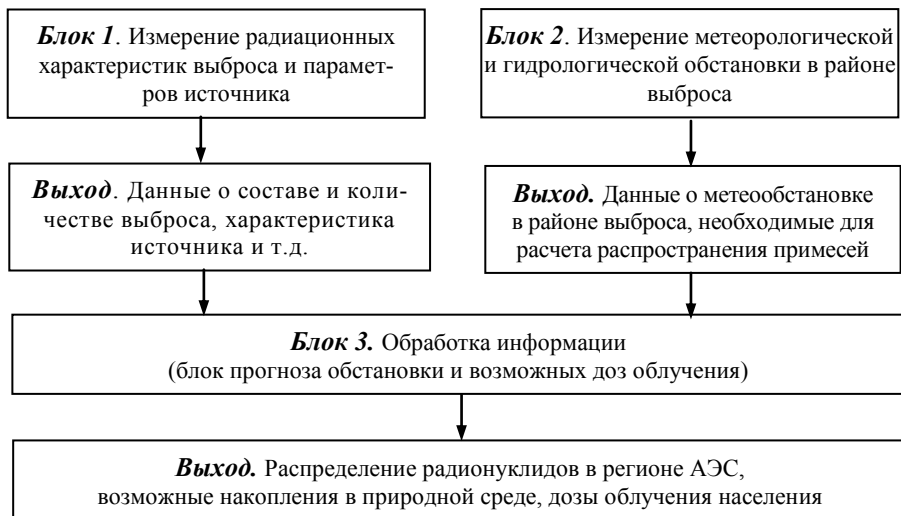


Рис. 1. Структурная схема ИИС контроля радиационной обстановки

Блоки 1 и 2 включают необходимое оборудование, которое позволяет измерять требуемые параметры для используемых моделей прогно-

зирования. Оба блока связаны с системой обработки.

В простейшем случае блок 1 представляет собой детектор γ -квантов, помещенных в поток радиоактивных газов внутри вентиляционной трубы или в поток сбросовых вод. Для газовых выбросов детектором может служить проточная ионизационная камера. Импульсы от детекторов через соответствующие преобразователи передаются в ЭВМ для обработки информации по программам, учитывающим радионуклидный состав примеси при различных режимах работы станции, и основные параметры истечения струи, рассчитывается активность отдельных нуклидов в выбросах на любой момент времени. Полученная таким образом информация передается в центральный блок для расчета поля концентрации радиоактивных веществ и оценки радиоактивной обстановки во внешней среде. Сюда же поступают данные о метеоусловиях приземного слоя атмосферы, полученные с помощью автоматической погодной станции. Описанный функциональный блок позволяет осуществлять непрерывный контроль за радиоактивностью веществ, сбрасываемых АЭС во внешнюю среду. Корректировку вычисляемых значений можно проводить по результатам ежемесячного анализа проб, отображенных с помощью штатных систем контроля.

В блок обработки информации входят:

- программы, обеспечивающие вычисление радиационных характеристик выбросов;
- программы, обеспечивающие расчет распределения радионуклидов в районе АЭС;
- программы, обеспечивающие расчет радиационной обстановки в регионе;
- справочная информация;
- программы, предусматривающие анализ радиационной обстановки и сигнализирующие о возможном превышении предельно-допустимых выбросов (ПДВ).

Следовательно, если знать количественный и качественный состав аэрозолей, выбрасываемых АЭС в атмосферу, а также реальную метеорологическую обстановку в районе АЭС, можно достаточно точно оценить радиационную обстановку. Таким образом, контроль за загрязнением окружающей среды вокруг АЭС может быть ограничен лишь контролем за выбросом на выходе из сбросового устройства. Этот метод, как известно, положен в основу действующих нормативов контроля радиоактивных веществ в атмосферу ядерно-энергетическими объектами.

Преимущества этого метода контроля по сравнению с прямыми измерениями во внешней среде состоят в следующем:

- все измерения производятся (с требуемой периодичностью) только в точке выброса;
- только с помощью этого метода можно оценить такие параметры радиационной обстановки, которые непосредственными измерениями получить невозможно, например, дозы внутреннего и внешнего облуче-

ния человека;

– этот метод позволяет получить оперативную информацию об радиационной обстановке (при аварийном выбросе такая информация является решающей) и в случае необходимости оптимально отрегулировать выброс примеси с учетом реальных условий ее рассеяния.

Данные для ИИС можно получить в первую очередь от стационарных постов контроля, расположенных в непосредственной близости вокруг источника выброса, в том числе от постов, измеряющих параметры выброса в вентиляционной трубе АЭС. Кроме того, нужная для моделирования информация (прямая или косвенная) может вводиться с радиозондов, от лазерных, инфракрасных и радиолокационных систем дистанционных измерений, а также искусственных спутников Земли.

Например, на метеостанции при АЭС в пос. Ясловские Богуницы (Словакия) построена двухсотметровая вышка, оснащенная метеодатчиками, расставленными на нескольких ярусах. Результаты измерений всех датчиков автоматически вводятся в единую систему регистрации и обработки данных на базе современной ЭВМ. К ЭВМ поступает информация от датчиков АЭС, а также по телефонной линии связи обеспечен доступ к базе метеоданных страны. Это позволяет проводить оперативный контроль параметров атмосферы и с учетом данных о выбросах АЭС прогнозировать загрязнения как в обычных режимах, так и в чрезвычайных ситуациях.

Учитывая высокую стоимость строительства и оснащения метеовышек, в настоящее время уделяется особое внимание использованию дистанционных методов контроля загрязнения, в частности, для оперативного контроля параметров атмосферы.

В дальнем зарубежье непременным атрибутом каждой АЭС, промплощадки крупных предприятий и площадок нефте- и газохранилищ является акустический локатор (сонар), позволяющий вести метеорологический мониторинг состояния атмосферы, а при нештатных ситуациях – турбулентную диффузию и горизонтальный перенос примесей, попавших в атмосферу в результате чрезвычайных ситуаций.

В России в 1988 году были проведены эксперименты в г. Кемерово по совместному применению содара и аэрозольного лидара, что позволило визуализировать распределение аэрозольных шлейфов в атмосфере. Также были проведены содарные исследования пограничного слоя атмосферы над Москвой. Оценка высоты слоя перемешивания по содарным данным основывается на возможности идентификации инверсий и определений степени устойчивости пограничного слоя атмосферы по факсимильным данным, причем сопоставляются содарные, лидарные и температурные данные.

Использование содаров в исследованиях распространения загрязнений в атмосфере имеет ряд преимуществ над традиционными измерениями:

- относительная дешевизна прибора;
- экологическая чистота;
- работа в режиме «реального времени»;

- охват крайне важного диапазона высот с большим разрешением как по высоте, так и по времени;
- возможность автоматизации наблюдений и дистанционного управления ими.

Для этих целей в составе ИИС АЭС может быть использован разработанный в ХНУРЭ содар «ИВА» [6], предназначенный для оперативного контроля параметров атмосферы вблизи мощных ветроустановок, АЭС и других объектов теплоэнергетики. Стандартный комплект содара включает три приемно-передающие антенны и аппаратную часть. В полустационарном варианте антенны располагаются на специальных основаниях, а аппаратная часть – в помещении; в передвижном варианте антенны могут располагаться на автомобильном прицепе, транспортируемом автофургоном, в котором расположена аппаратура. Управление работой содара и обработка данных осуществляется с помощью ЭВМ, снабженной пакетом прикладных программ. Содар «ИВА» имеет следующие технические характеристики:

дальность зондирования, м	–	до 200;
диапазон измеряемых скоростей ветра, м/с	–	от 0 до 25;
разрешение по дальности, м	–	17, 34;
время усреднения параметров ветра, мин	–	от 0 до 10.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Теверовский Т.Н. и др. Допустимые выбросы радиоактивных и химических веществ в атмосферу.* – М.: Атомиздат, 1980. – 231 с.
2. *Уорк К., Уормер С. Загрязнение воздуха. Источники и контроль.* – М.: Мир, 1980. – 374 с.
3. *Базяев В.В. и др. Охрана окружающей среды при эксплуатации АЭС.* – М.: Атомиздат, 1990. – 281 с.
4. *Скорер Р. Аэрогидродинамика окружающей среды.* – М.: Мир, 1980. – 427 с.
5. *Еремеев И.С. Автоматизированные системы радиационного мониторинга окружающей среды.* – М.: Энергоиздат, 1990. – 195 с.
6. *Алехин В.И., Рыженко А.И., Доровская О.А. и др. О некоторых результатах измерений характеристик ветра в рамках программы “JABEX-89” // Оптика атмосферы.* – Томск: РАН. – 1991. – Т.4, № 11. – С. 63.

Поступила 19.08.2002

***ДОРОВСКАЯ Ольга Анатольевна**, ст. научный сотрудник кафедры РЭС Харьковского Национального университета радиоэлектроники. В 1979 году окончила Харьковский институт радиоэлектроники. Область научных интересов – акустическое зондирование атмосферы.*

***КОНОВАЛЕНКО Ольга Евгеньевна**, преп. каф. Харьковского военного университета. В 1983 году окончила мехмат Харьковского государственного университета. Область научных интересов – обработка результатов экспериментов.*

***СИДОРОВ Геннадий Иванович**, канд. техн. наук, профессор, зав. кафедрой РЭС Харьковского Национального университета радиоэлектроники. В 1960 году окончил Харьковский политехнический институт. Область научных интересов – акустическое и радиоакустическое зондирование атмосферы.*