

РАЗДЕЛ III. НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 551.55:621.039.58

Брюхань Ф.Ф.¹, Виноградов А.Ю.¹, Лаврусевич А.А.²

¹ООО НПО «Гидротехпроект» (г. Валдай, Новгородская область)

²Московский государственный строительный университет

МОНИТОРИНГ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НА ПЛОЩАДКЕ БЕЛОРУССКОЙ АЭС

Аннотация. Потенциальная опасность воздействия атомных электростанций (АЭС) на население и ландшафтные компоненты определяет необходимость их мониторинга на всех стадиях жизненного цикла АЭС. Особая роль в исследовании состояния природной среды принадлежит пограничному слою атмосферы (ПСА) – среде, через которую в большинстве случаев радионуклиды мигрируют в другие среды. Поэтому действующие нормы безопасности предусматривают проведение мониторинга ПСА на площадках АЭС. В статье изложена система мониторинга, основанная на дистанционном аэрологическом зондировании, введенная в эксплуатацию на площадке строящейся Белорусской АЭС. Система включает подсистему наблюдений температуры и ветра, а также подсистему обработки данных. Описывается технология архивации данных и их статистической обработки.

Ключевые слова: атомная электростанция, пограничный слой атмосферы, мониторинг, атмосферная дисперсия, дистанционное зондирование, обработка данных.

F. Bryukhan¹, A. Vinogradov¹, A. Lavrusevich²

¹*Gidrotehproekt Research and Development Association, Valday, Novgorod Region*

²*Moscow State University of Civil Engineering*

MONITORING OF THE ATMOSPHERIC BOUNDARY LAYER AT THE BELARUSIAN NPP SITE

Abstract. Potential hazardous effects of nuclear power plants (NPPs) on the population and landscape components determine the necessity of their monitoring at all stages of the NPP's life cycle. A special role in the study of the natural environment belongs to the atmospheric boundary layer (ABL), i.e., a medium through which radionuclides in most cases migrate to other media. Therefore, the existing norms for NPP safety provide the monitoring of the ABL at the NPP sites. The paper describes a monitoring system based on the remote aerological sound-

ing which was commissioned at the Belarusian NPP site construction. The system includes a subsystem of the temperature and wind observations, and a subsystem of the data processing. A technology of data archiving and its statistical processing is described.

Key words: nuclear power plant, atmospheric boundary layer, monitoring, atmospheric dispersion, remote sensing, data processing.

В последние годы в России и в других странах-членах МАГАТЭ требования к безопасности атомных электростанций (АЭС) ужесточаются. В частности, нормы безопасности АЭС предусматривают проведение мониторинга ландшафтных компонентов, в том числе и пограничного слоя атмосферы (ПСА) на площадках АЭС [5; 8; 9]. При этом особая роль в исследовании состояния природной среды принадлежит ПСА – среде, через которую в большинстве случаев радионуклиды мигрируют в другие среды. Именно состояние ПСА определяет условия атмосферной дисперсии радионуклидов в районе площадок АЭС и их потенциальное воздействие на население и ландшафтные компоненты.

Выполнение мониторинга ПСА предусматривается для основных стадий жизненного цикла АЭС (размещения, проектирования, строительства, эксплуатации, вывода из эксплуатации) [5]. Мониторинг ПСА проводится во взаимодействии с автоматизированной системой контроля радиационной обстановки. Его основные цели включают:

– определение характеристик ПСА, необходимых для расчетов потенциального радиационного воздействия на персонал, население и окружающую среду при нарушениях нормальной эксплуатации АЭС, включая аварии;

– прогнозирование и своевременное выявление тенденций и трендов изменения параметров ПСА;

– разработку рекомендаций по снижению негативного воздействия АЭС на окружающую среду.

Достижение этих целей предполагает выполнение текущих наблюдений за состоянием ПСА, в первую очередь, за скоростью и направлением ветра, а также за температурой воздуха, которые определяют режим атмосферной дисперсии. Помимо средств дистанционных измерений, система мониторинга предусматривает архивацию данных, их статистическую обработку, контроль стабильности параметров ПСА во времени, а также выявление негативных изменений этих параметров [5; 9].

Аэроклиматические условия территории

Площадка Белорусской АЭС расположена на северо-востоке Беларуси в Гродненской области. По классификации климатов Б.П. Алисова территория площадки АЭС находится в умеренном климатическом поясе, где преобладают воздушные массы умеренных широт [1]. Согласно климатическому районированию территории Беларуси для строительного проектирования [6], площадка расположена во втором климатическом районе (подрайон II-B). В зависимости от происхождения воздушных масс (морского или континентального) в умеренном поясе выделяют морской и континентальный типы климата. Характер и интенсивность основных климато-

образующих факторов существенно различается по сезонам года. Аэроклиматические характеристики ПСА определялись в рамках инженерно-гидрометеорологических изысканий по данным аэрологической станции Минск [7].

Условия атмосферной дисперсии определяются различными аэроклиматическими характеристиками, в том числе повторяемостью, мощностью и интенсивностью приземных и приподнятых температурных инверсий, скоростью и направлением ветра на высотах ПСА, степенью развития турбулентности и др. Исследования условий загрязнения атмосферы позволили выявить следующие неблагоприятные синоптические ситуации:

- малоподвижный антициклон или гребень;
- размытое безградиентное барическое поле;
- периферия циклона или гребня.

Над территорией Республики Беларусь преобладают воздушные массы, перемещающиеся с Атлантического океана. Их перенос происходит при различных циркуляционных процессах в результате деятельности циклонов, которые смещаются сериями, и антициклонов или гребней высокого давления, формирующихся в тылу циклонов. Циклоны, перемещающиеся преимущественно с запада на восток, приносят с собой морской воздух, характеризующийся большими запасами влаги. В большинстве случаев циклоны, движущиеся на восток, заполняются или не меняют своей интенсивности, и лишь некоторые, проходя над территорией Беларуси, продолжают углубляться. Иногда циклоны, заполняясь, становятся малоподвиж-

ными, и тогда зимой в течение нескольких дней наблюдается пасмурная погода с умеренными морозами и слабыми снегопадами. В летние месяцы часты ситуации, когда пасмурная дождливая погода по мере прогревания воздуха сменяется неустойчивой погодой с ливневыми дождями и грозами. Во все сезоны года повторяемость циклонической формы циркуляции над территорией Республики Беларусь, в том числе и над исследуемой территорией, больше антициклонической. На погоду часто влияют и периферийные части циклонов и антициклонов. В среднем за год циклонические процессы наблюдаются до 200 дней, а антициклонические – до 150 дней.

Методика

Система мониторинга ПСА, организованная в августе 2014 г. на площадке строящейся Белорусской АЭС, включает подсистему наблюдений и подсистему обработки данных. В свою очередь, обработка результатов измерений температуры воздуха, скорости и направления ветра предусматривает ведение базы текущих данных и разработку программ расчета статистических характеристик ПСА.

Подсистема наблюдений построена на основе измерительного дистанционного комплекса SODAR/RASS [10], разработанного немецкой компанией «МЕТЕК». Этот комплекс представляет собой совокупность акустической системы SODAR (производная от словосочетания **SO**n**ic** **D**e**t**e**c**t**i**o**n** **A**n**d** **R**a**n**g**i**n**g** **s**y**s**t**e**m) и радиоакустической системы RASS (производная от словосочетания **R**a**d**i**o** **A**c**o**u**s**t**i**c **S**o**u**n**d**i**n**g **S**y**s**t**e**m).

Для детектирования неоднород-

ностей атмосферы, обусловленных турбулентностью, «содары» используют акустические волны. Большинство «содаров» работают, излучая за короткие промежутки времени акустический пульсирующий сигнал, и затем принимая отраженный сигнал. По интенсивности и частотному сдвигу отраженного сигнала после его обработки с помощью встроенных в систему программ определяются скорость и направление ветра, а также характеристики турбулентности.

Сущность радиоакустического метода зондирования атмосферы состоит в том, что системы RASS излучают электромагнитные волны, которые отражаются от атмосферных неоднородностей, создаваемых акустическими волнами, излучаемыми «содарами». Эти волны на пути своего распространения создают периодические изменения диэлектрической проницаемости воздуха, которые способны рассеивать электромагнитные волны с когерентным сложением рассеянной энергии. Электромагнитное излучение, отраженное от таких структурных неоднородностей, представляющих собой дифракционную решетку, проявляет эффект дифракции и принимается приемной антенной системы RASS. По принимаемому антенной сигналу можно определить скорость звука на различных высотах, а следовательно, и температуру воздуха. Обработка принимаемых сигналов и расчет вертикальных профилей температуры производится с помощью встроенных программ.

Эксплуатация комплекса измерительных блоков SODAR/RASS на площадке Белорусской АЭС показала, что во многих случаях имеют место зна-

чительные ошибки измерения температуры воздуха. Ранее аналогичный факт был установлен в работе [3], где было показано, что измерения температуры имеют систематическую составляющую. Что же касается измерений скорости и направления ветра, то было установлено, что комплекс SODAR/RASS позволяет получать вполне достоверные результаты. Так, согласно [4] погрешность измерения скорости ветра оценивается в 0,25 м/с, а погрешность измерения направления ветра – в 2°.

Измерительные комплексы SODAR/RASS уже нашли широкое распространение для мониторинга ПСА на площадках АЭС (Балаковской, Курской, Нововоронежской АЭС-2, а также на многих зарубежных). Позитивный опыт их эксплуатации позволяет считать такие комплексы оптимальными для целей мониторинга ПСА. Следует также отметить экономические преимущества комплексов SODAR/RASS перед традиционными методами исследований состояния пограничного слоя – системами радиозондирования и метеорологическими мачтами. Кроме того, значительный высотный предел измерений (до 500-900 м) обеспечивает преимущества SODAR/RASS перед метеомачтами.

Подсистема обработки данных предусматривает ведение базы текущих данных измерений температуры воздуха, скорости и направления ветра, а также разработку программ расчета статистических характеристик ПСА. Дистанционное зондирование ПСА и накопление первичной информации производится в автоматическом режиме, а регистрация результатов измерений производится через

каждые 10 минут. По мере накопления результатов измерений осуществляется текущее ведение базы данных. Массивы данных формируются по текущим месяцам. Программы обработки данных предусматривают их контроль и интерполяцию на высоты с шагом 10 м, а также расчет следующих характеристик:

- средних значений температуры воздуха на высотах;
- повторяемостей классов устойчивости атмосферы;
- средних значений вертикального градиента температуры в вертикальных слоях;
- повторяемостей и средних значений мощности и интенсивности приземных и приподнятых инверсий в вертикальных слоях;
- средних скоростей ветра на высотах;
- скоростей и направлений среднего результирующего вектора ветра на высотах;
- среднеквадратических отклонений составляющих вектора ветра на высотах;
- повторяемостей направлений ветра в 16 румбах и штилей на высотах;
- средних скоростей ветра в 16 румбах на высотах;
- массива совместных повторяемостей классов устойчивости атмосферы, скоростей и направлений ветра в 16 румбах на высотах 0 и 100 м для среднегодовых условий.

Результаты и обсуждение

В августе 2014 г. специалистами ООО НПО «Гидротехпроект» были выполнены монтаж, наладка и тестирование измерительного оборудования, после чего было начато непре-

рывное зондирование ПСА. С учетом форматов выходных данных результатов измерений были разработаны программы их статистической обработки. К сожалению, встроенные в комплекс SODAR/RASS программы предусматривают вывод результатов измерений температуры и ветра в разных файлах. В тоже время для расчета некоторых характеристик ПСА необходимо представление данных одновременных измерений температуры и ветра в одной строке. Необходимость построения такой архитектуры данных создает серьезные трудности при разработке программ статистической обработки и требует создания промежуточного файла с данными одновременных наблюдений температуры и ветра.

Как было уже отмечено выше, измерительный комплекс SODAR/RASS допускает значительные погрешности измерений температуры. Для исключения ошибочных значений температуры воздуха на стадии статистической обработки данных осуществляется контроль температуры исходя из климатических норм температуры для стандартных высот в различные месяцы года и соответствующих среднеквадратических отклонений. В настоящей работе такой контроль осуществлялся на основе правила «двух сигм», исключаяющего из выборки значения температуры, выходящие за пределы двух среднеквадратических отклонений от ее климатической нормы. Кроме того, осуществлялся синтаксический контроль данных на принадлежность скорости ветра интервалу [0-40 м/с] и направления ветра интервалу [0-360°].

Основная программа статистической обработки данных предназначена для расчета характеристик, ос-

редненных за заданный период. Хотя она и позволяет проводить расчеты за любой период наблюдений, она не является эффективной для выполнения расчетов среднесезонных или среднегодовых характеристик. Это обусловлено упомянутым выше фактом отсутствия записей одновременных наблюдений ветра и температуры в одной строке и необходимостью формирования промежуточного рабочего файла, что требует значительного времени работы программы. Поэтому по мере накопления результатов измерений данные обрабатываются по текущим месяцам, а результаты обработки оформляются в виде файлов *RESMM.txt* (здесь *MM* – текущий месяц). Затем эти файлы обрабатываются другими программами для получения среднесезонных и среднегодовых характеристик ПСА.

После расчета среднегодовых характеристик за текущие годы предусматривается подготовка ежегодных отчетов. Такие отчеты должны содержать расчетные характеристики, а также результаты анализа тенденций и трендов их изменения. К моменту написания данной статьи реализована архивация массивов данных за сентябрь и ноябрь 2014 г., а также расчет соответствующих среднемесячных характеристик ПСА. Необходимо подчеркнуть, что подобный мониторинг может быть полезным не только для АЭС, но и для других экологически потенциально опасных объектов, например, химических предприятий и тепловых электростанций, для которых характерен аналогичный механизм рассеивания загрязняющих агентов [2].

ЛИТЕРАТУРА И ИСТОЧНИКИ:

1. Алисов Б.П. Климатические области и районы СССР. – М.: Огиз, 1947. – 210 с.
2. Брюхань Ф.Ф. Оценка условий атмосферной дисперсии выбросов от высотного источника // Промышленное и гражданское строительство. – 2002. – № 7. – С. 30-32.
3. Карташов В.М., Куля Д.Н., Пащенко С.В. Алгоритм автосопровождения изменений информационного параметра сигнала радиоакустических систем // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 4/9 (58). – С. 57–61.
4. Красненко Н.П. Мощные направленные акустические излучатели в атмосферных приложениях // Материалы XXV сессии Российского акустического общества. – Таганрог: Технол. ин-т ЮФУ, 2012. – С. 129-133.
5. Мониторинг метеорологических и аэрологических условий в районах размещения объектов использования атомной энергии (РБ-046-08). – М.: Ростехнадзор, 2008. – 25 с.
6. Строительная климатология. – Минск: Минсктиппроект, 2001. – 37 с.
7. Bryukhan A.F. Investigation of the Atmospheric Dispersion for Nuclear Power Plants Siting // Materials of the 5-th International Research and Practice Conference «European Science and Technology». Vol. 1. – Munich (Germany): Vela Verlag Waldkraiburg, 2013. – P. 345-350.
8. Dispersion of Radioactive Material in Air and Water and Consideration of Population Distribution in Site Evaluation for Nuclear Power Plants // IAEA Safety Standards Series (№ NS-G-3.2). – Vienna: IAEA, 2002. – 32 p.
9. Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations: Specific Safety Guide // IAEA Safety Standards Series (№ SSG-18). – Vienna: IAEA, 2011. – 146 p.
10. The METEK Radio Acoustic Sounding System. – Elmshorn (Germany): METEK, 2013. – 25 p.