

СТАТЬИ

МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОГРАММЫ КАЧЕСТВА ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ *

А.П. Елохин, начальник лаборатории НТЦ ЯРБ Госатомнадзора России, д-р техн. наук

При осуществлении деятельности по регулированию безопасности в области использования атомной энергии Госатомнадзор России контролирует качество эксплуатации объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) [1], которое эксплуатирующие организации должны гарантировать в ходе выполнения программ обеспечения качества на всех этапах создания, эксплуатации и вывода из эксплуатации ядерной установки, радиационного источника и т.д. [2].

Качество эксплуатации ОИАЭ в соответствии с [3] Госатомнадзор контролирует с начала 90-х годов. Фундаментом контроля является нормативное обеспечение. Для АЭС им служат введенные Госатомнадзором федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии "Требования к программе обеспечения качества для атомных станций" [4]. Требования к другим программам обеспечения качества в настоящее время разрабатываются Госатомнадзором с учетом мнений заинтересованных организаций и ведомств.

Для управления качеством необходимы определенность и четкость представления области применения программы обеспечения качества, в которой описывают организационно-технические и другие мероприятия по обеспечению качества при реализации установленных критериев и принципов обеспечения безопасности ОИАЭ. Таким образом, программа обеспечения качества включает в себя план обеспечения качества, разрабатываемый и реализуемый в действующей в организации системе качества. В рамках системы качества отрасли разрабатываются документы по качеству, в которых содержатся процедуры выполнения работ (план работ, порядок выполнения работ, методы их осуществления), методы контроля выполнения работ с указанием контрольных сроков их осуществления, а также ответственные исполнители работ. В этих документах должны предусматриваться процедуры верификации и валидации проектных решений, программного обеспечения и расчетных методик, оценки и контроля проектного срока службы и прогнозирования остаточного ресурса ОИАЭ при эксплуатации, предупреждение возможных отклонений и несоответствий, оценки эффективности выполнения программы обеспечения качества и др.

Одна из наиболее важных проблем обеспечения радиационной безопасности ОИАЭ - радиационный мониторинг окружающей среды. Рассматривая вопрос программы обеспечения качества применительно к этой проблеме, в первую очередь необходимо ответить на следующие вопросы:

- что должна представлять из себя система радиационного мониторинга окружающей среды;
- каким должен быть минимальный приборный парк оборудования, обеспечивающий нормальную работу системы радиационного мониторинга, предусматривающую оценку и прогнозирование радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на работников АЭС (персонал) и население при авариях на ОИАЭ;
- каковы должны быть правила размещения приборов регистрации и диагностики ионизирующего излучения в районе расположения ОИАЭ;
- что должны представлять из себя необходимые и достаточные условия, определяющие нормальную работоспособность системы радиационного мониторинга;
- и, наконец, что должны представлять из себя методы и средства, определяющие выполнение программы обеспечения качества применительно к системе радиационного мониторинга окружающей среды.

К сожалению, в документе серии изданий МАГАТЭ по безопасности №50-C/SG-Q "Обеспечение качества для безопасности атомных электростанций и других объектов использования атомной энергии" этим вопросам уделено мало внимания, тогда как ответы на них дают возможность четкого представления о типе радиационного источника, методах его диагностики, об оптимизации указанных методов и средств, играющих значительную роль при оценке эффективности системы в плане цена-качество, а также при выполнении программы обеспечения качества в ходе соблюдения некоторых специальных требований, предъявляемых программой. Некоторые вопросы прогнозирования радиоактивного загрязнения окружающей среды при выбросах АЭС рассматриваются в документе серии изданий МАГАТЭ по безопасности №50-86-83 [5], но безотносительно к системе радиационного мониторинга. Разумеется, без четкого представления о составе системы радиационного мониторинга ОИАЭ не только трудно понять принципы расстановки приборных средств в районе расположения ОИАЭ, методы их оптимизации, но и нелегко сформулировать условия выполнения программы обеспечения качества. В связи с этим, используя результаты работ [6-11], на примере ОИАЭ типа АЭС проведем краткий анализ методов и средств, используемых для решения проблемы радиационного мониторинга окружающей среды, представленного в виде автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО). Анализ позволит сформулировать основ-

* Доклад на семинаре МАГАТЭ "Требования национального регулирующего органа по системе менеджмента качества и окружающей среде", состоявшемся 4 – 7 июня 2002 г. во ВНИИАЭС, по проектам технического сотрудничества МАГАТЭ RER и RUS/9/002.

ные требования к программе обеспечения качества, выполнение которой безусловно повысит надежность рассматриваемой системы радиационного мониторинга окружающей среды, что несомненно улучшит радиационную безопасность в целом.

Как известно, прогнозирование радиоактивного загрязнения окружающей среды при авариях на АЭС, сопровождающихся выходом радионуклидов в атмосферу, осуществляется на основе математических методов при использовании тех или иных моделей переноса радиоактивной примеси в атмосфере и использовании показаний метеорологических датчиков и γ -датчиков системы АСКРО. Процедура прогнозирования сводится к оценке состояния устойчивости атмосферы, вычислению профилей метеорологических параметров атмосферы (скорости ветра, температуры, коэффициента турбулентной диффузии), расчету концентрации радиоактивных примесей в атмосфере и оценке радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды. Поэтому уточнение радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды требует уточнения нуклидного состава радиоактивной примеси, метеорологических параметров атмосферы, включая параметр, характеризующий состояние ее устойчивости, величины мощности выброса, являющейся одним из важных параметров уравнения переноса примеси в атмосфере, определяющей скорость поступления радиоактивной примеси в атмосферу P_v [Бк/с], что позволяет уточнить радиационные характеристики [6].

Рассматривая проблему радиационного мониторинга окружающей среды, нельзя не отметить возможность ее решения различными способами с привлечением различных приборных средств и математического программного обеспечения, т.е. верхний предел методов ее решения неограничен в обеспечении как приборными, так и финансовыми средствами, которые будут расти с развитием прогресса и по мере того, как будет увеличиваться стоимость жизни человека. Поэтому целесообразно говорить о нижнем пределе приборного парка оборудования и математического программного обеспечения, позволяющих с необходимой точностью и надежностью решить эту проблему. Структурная схема АСКРО, использующая минимум приборных средств и математического программного обеспечения, необходимого и достаточного для ее полнофункциональной деятельности, приведена на рис.1.

Выброс радиоактивной примеси характеризуется ее нуклидным составом. Последний должен быть получен на основе спектрометрических измерений соответствующих гамма-линий в рамках технического (радиационного) регламента, осуществляемого соответствующими службами (внешней дозиметрии) или в рамках АСКРО. В вентиляционной трубе в диапазоне $2,5 \cdot 10^4 \div 10^{13}$ Бк/м³ оценивают инертные радиоактивные газы (Ar, Xe, Kr), в диапазоне $25 \div 1,25 \cdot 10^5$ Бк/м³ - долгоживущие, короткоживущие нуклиды и в диапазоне $(0,3 \div 1,4) \cdot 10^5$ Бк/м³ - различные формы J^{131} . Знание каждой из указанных фракций необходимо для оценки величины мощности выброса, являющейся как одним из наиболее важных параметров, характеризующим безопасную работу АЭС, так и величиной, позволяющей уточнить радиационные характеристики при радиоактивном загрязнении внешней среды.

Повышение требований надежности и точности к измерению и контролю радиоактивного загрязнения внешней среды, особенно в реальном масштабе времени, наряду с экономическими факторами определяет требования и критерии при построении систем мониторинга окружающей среды и, в частности, систем типа АСКРО. Поскольку основным измерительным средством АСКРО является γ -датчик, требующий для нормальной работы линий связи (основной и дополнительной), электрического питания, автономного питания и другого оборудования, стоимость которых относится к основным затратам на систему, а увеличение количества измерительных постов датчиков, естественно, повышает надежность и достоверность информации о зоне и уровне радиоактивного загрязнения - основное требование экологии, то с целью уменьшения затрат встает целесообразный вопрос оптимизации системы - оптимизации количества датчиков АСКРО.

К размещению постов контроля в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) предъявляют демографические, экономические, экологические и физические требования. Демографические требования определяются критерием численности населения: пост контроля устанавливается в населенном пункте с числом жителей не менее 5 тыс. чел. [12]. Экономические требования сводятся к ограничению количества постов (датчиков), что обусловлено высокой стоимостью линий связи, оборудования (датчиков, приемопередающих устройств, систем персональных ЭВМ), зарплатой обслуживающего персонала, затратами на социальные нужды и т.д. Экологические требования состоят в обеспечении высокой степени информативности об уровнях загрязнения окружающей среды при любом направлении выброса, чего можно достигнуть увеличением количества постов контроля на промплощадке АЭС и в СЗЗ. Таким образом, количество постов контроля АСКРО играет значительную роль не только как одна из наиболее важных составных частей системы, но и как часть, формирующая стоимость системы в целом. Для определения необходимого и достаточного количества датчиков, способных зарегистрировать факел или облако радиоактивных выбросов, распространяющихся от источника при любом направлении ветра $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ и при любом состоянии устойчивости атмосферы, в качестве "дозовых критериев" выберем мощность дозы внешнего облучения, а в качестве порога - мощность дозы внешнего облучения для населения [8]. Количество постов контроля в этом случае найдем следующим образом. Положим, что радиоактивная примесь рассеивается с высоты $h_{эфф}$ при наихудших метеорологических условиях, в качестве которых можно рассматривать категорию устойчивости типа F из класса устойчивости модели Пасквилла-Гиффорда [5]. Этот класс характеризуется сильным ветровым переносом и слабой поперечной диффузией факела выбросов.

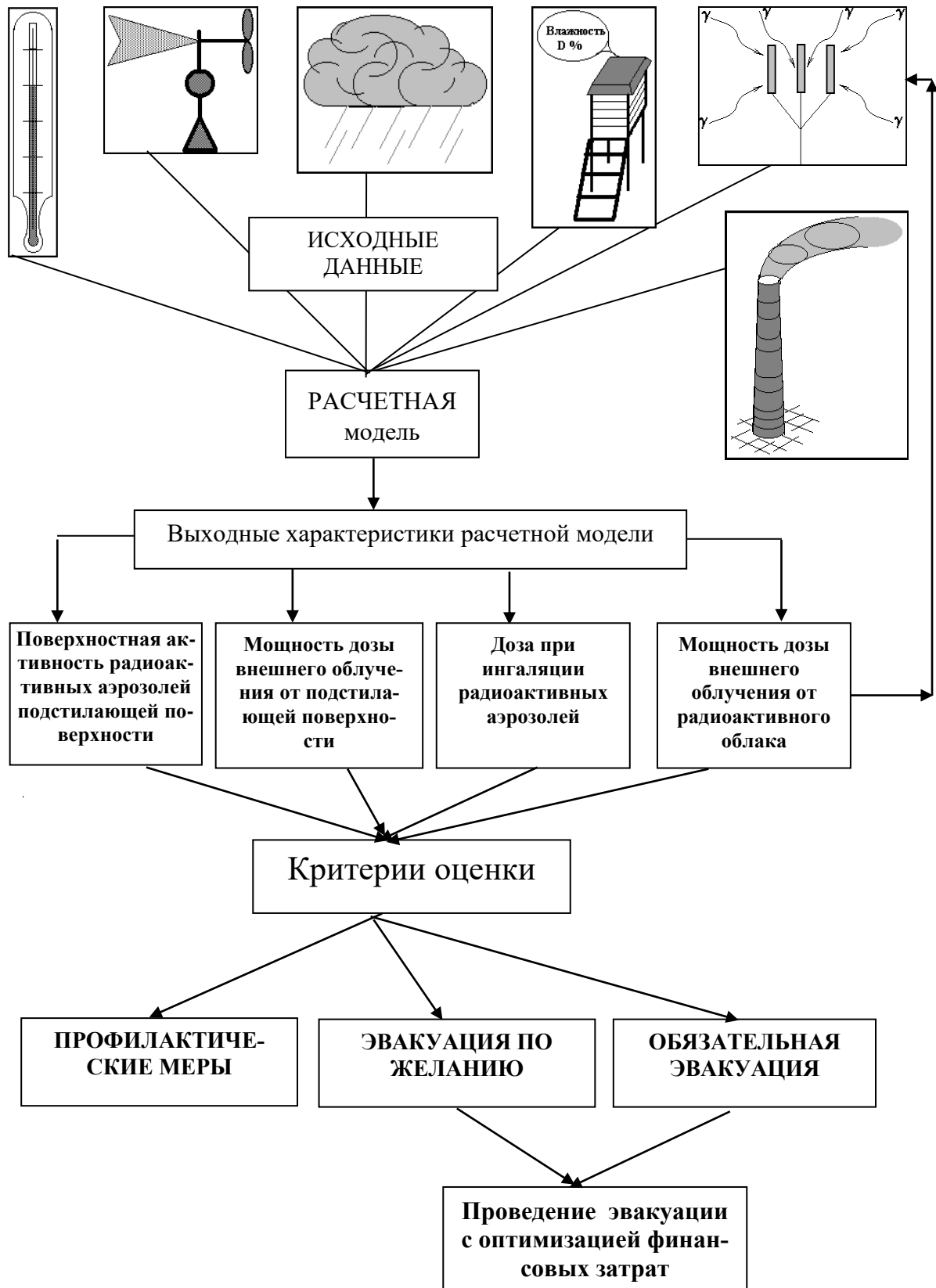


Рис.1. Структурная схема АСКРО

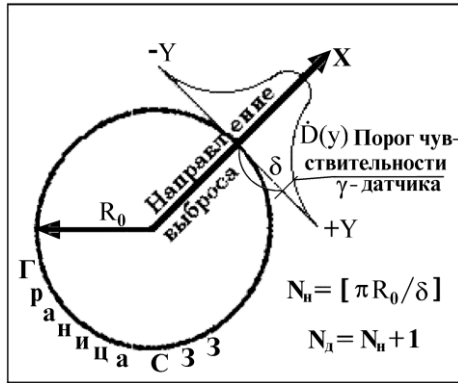


Рис. 2. Выбор оптимального количества гамма-датчиков АСКРО

примесей значительна, при неизменных остальных параметрах выброса (мощность выброса, нуклидный состав) $N_n = 14 \div 16$, что нетрудно понять из рис.3. Таким образом, наименьшее количество датчиков, размещаемых в СЗЗ и регистрирующих факел выбросов при любом направлении ветра, для категории устойчивости не ниже F равно $22 \div 25$. Следует отметить, что с повышением чувствительности датчика, т.е. с уменьшением порога до $0,01 \mu\text{Зв/ч}$ (последнее может быть получено за счет увеличения чувствительности непосредственно регистрирующего элемента и путем вычитания радиационного фона из измеренной величины мощности дозы), значение δ увеличится, а N_n уменьшится без потери чувствительности системы в целом (наглядный пример того, как повышение качества дает новый количественный результат).

Рассмотренный выше принцип размещения постов контроля в СЗЗ целесообразен лишь при условии, если примеси при нештатной работе или аварийной ситуации выбрасываются из вентиляционных труб АЭС. В этом случае наиболее важные параметры выброса, такие, как начальные температура T_0 и давление P_0 струи, мощность выброса P_v , нуклидный состав примесей или спектральный γ -излучения, могут быть измерены специальными датчиками или их совокупностью, установленными в устье вентиляционной трубы. Иная ситуация возникает при несанкционированном выбросе примесей в виде перегретой газовой струи из отверстий, клапанов, неплотностей сосудов, рваных отверстий или щелей, возникающих в случае взрыва или разрыва резервуаров, находящихся под высоким давлением и высокой температурой. Тогда экспериментально почти невозможно определить ни параметры струи, выбрасываемой из отверстий, ни объемную активность примесей, ни их радиационные характеристики, поскольку неизвестен спектр или средняя энергия γ -излучения и, наконец, невозможно установить масштабы радиоактивного загрязнения окружающей среды и оценить его экологические последствия, так как подобные аварии крайне редки и не могут быть прогнозируемыми. Разработка же универсальной аппаратуры, которую можно было бы использовать для нахождения указанных параметров и характеристик в любых ситуациях, - задача почти невыполнимая и, кроме того, может привести к резкому удорожанию АЭС. Тем не менее радиоактивное загрязнение окружающей среды в случае мощного нестационарного импульсного выброса примесей через отверстия может быть успешно оценено при использовании показаний технологических датчиков, устанавливаемых в контайментах и определяющих температуру и давление среды, и показаний датчиков АСКРО, характеризующих мощность дозы внешнего облучения от облака, образовавшегося в результате выброса. При этом датчики на промплощадке и в СЗЗ должны быть расположены по соответствующему правилу, которое требует, чтобы расстояние от возможного источника радиационной опасности (АЭС) до любого датчика было строго различно (рис.4) [6,8,9]. Кроме того, физические критерии размещения гамма-датчиков системы АСКРО определяются следующим образом: расстановка гамма-датчиков вокруг радиационноопасного источника должна осуществляться таким образом, чтобы каждый датчик находился на прямой видимости из устья вентиляционной трубы. Последнее обусловлено тем, что при аварии вклад в мощность дозы внешнего облучения от радиоактивного облака будет определяться в основном нерассеянным гамма-излучением. Кроме того, для целей оповещения соответствующих служб о выходе радиоактивного облака во внешнюю среду при отключении вытяжных устройств вентиляционной трубы и возник-

На подстилающей поверхности на расстоянии $R_0 \sim 3 \text{ км}$ от источника на проекции оси выброса задают мощность дозы внешнего облучения, равную предельно допустимой для группы "Б" (население), полагая, что такую мощность дозы создает факел выброса, распространяющийся в заданном направлении, в выбранной точке (рис.2). Далее рассчитывают распределение мощности дозы в направлении, перпендикулярном радиусу, считая, что в максимуме распределения, т.е. на границе зоны по радиусу и достигается предельно допустимая мощность дозы. В полученном распределении находят расстояние, на котором мощность дозы оказывается равной порогу чувствительности датчика $(D_\gamma)_{\text{min}}$. Если это расстояние δ , то необходимое количество датчиков определится целой

частью отношения $N_n = [2\pi R_0 / 2\delta] = [\pi R_0 / \delta]$, а достаточное - на единицу больше $N_d = N_n + 1$. Значение N_n при категории устойчивости типа F равно $22 \div 24$. При иной категории устойчивости (например, А), когда скорость переноса невелика, но диффузия

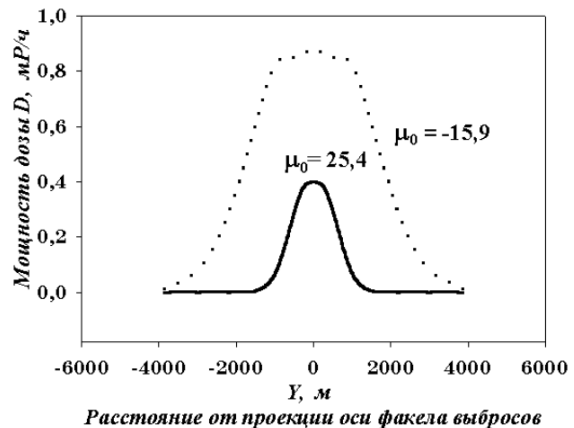


Рис.3. Распределение мощности дозы в направлении, перпендикулярном оси факела выбросов для $X = 2750 \text{ м}$ при устойчивом $\mu_0 = 25,4$ и неустойчивом $\mu_0 = -15,9$ состояниях атмосферы [6]

новении радиационной аварии на крыше зданий необходимо установить два гамма-датчика, показания которых в случае превышения контрольных уровней дадут возможность перевести работу всей системы АСКРО (сбор, обработка информации, прогностические оценки) в аварийный режим работы.

Уточнение метеорологических параметров атмосферы, к которым относятся скорости ветра в продольном и поперечном направлениях, температура, коэффициент турбулентной диффузии, энергия турбулентных пульсаций и т.д., необходимо проводить в связи с тем, что эти характеристики, полученные

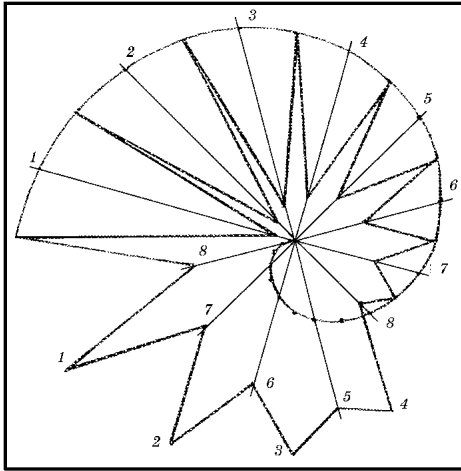


Рис.4. Возможное размещение γ -датчиков (1, 2, 3, ..., 8) АСКРО в СЗЗ по спирали Архимеда (на пересечении кривой с лучами) и многолучевой звездой в вершинах и основаниях лучей [8]

30 м при сравнении с распределениями работы [14] и 40, 30, 20 и 10 м при сравнении с распределениями работы [15]. Результаты экспериментальных и расчетных данных приведены на рис.5 для состояния устойчивости атмосферы $\mu_0 = 3,72$. В качестве критерия рассматривалась относительная погрешность отклонения расчетного значения скорости ветра от экспериментального $\delta = |(U_e - U_c)/U_e|$ на уровне 310 м, на котором эта величина максимальна для большинства распределений в силу их нелинейности. Выбирая минимальное значение δ_a , где a – индекс уровня нормировки, из получающейся выборки находят эффективную высоту метеомачты. Так, если окажется, что δ_{10} минимальна или незначительно превышает δ_{20} , δ_{30} и т.д., то в качестве метеомачты следует выбрать 10-метровую или в противном случае отказаться от нее. Как показали исследования, оптимальный уровень нормировки должен располагаться на высоте 30 м, что и определяло оптимальную высоту метеомачты 40 м.

Мощность выброса определяется как произведение объемной активности q_0 [Бк/м³] на секундный расход G [м³/с]: $P_v = q_0 G$. Объемная активность радиоактивных аэрозолей q_0 , распространяющихся в вентиляционной трубе, может быть оценена непосредственно по показаниям аспирационных приборов либо косвенно по оценке мощности дозы внешнего облучения, измеряемой ионизационной камерой, расположенной в вентиляционной трубе, в соответствии с выражением (1), расчет которого иллюстрируется рис.6.

$$D_v = q_0 K_\gamma \int_V \frac{B_D(\mu R) \exp(-\mu R)}{R^2} dv, \quad (1)$$

где $R^2 = \sqrt{r_m^2 + (h - h_0)^2}$; $0 \leq r \leq r_h$; $0 \leq \varphi \leq \pi$; $0 \leq h \leq H_0$; K_γ – керма-постоянная нуклида; μ – коэффициент линейного ослабления γ – излучения нуклида; $dv = d\varphi r dr dh$ (dv – элемент объема в цилиндрической

в результате натуральных измерений, справедливы лишь в локальной области, а интерполяция данных на более широкий диапазон может внести существенную погрешность, в результате которой возникает вероятность увеличения (от истинного) площади радиоактивного загрязнения в несколько раз, что может привести к выводу из оборота нормальной жизнедеятельности полезных площадей земли. В качестве расчетной модели переноса радиоактивной примеси в атмосфере использовалось решение уравнения турбулентной диффузии с метеорологическими параметрами, определяемыми в рамках модели пограничного слоя атмосферы [13].

Для решения этой задачи [6,10] использовались результаты работ [14,15], в которых проводились исследования нижнего 300-метрового [15] слоя атмосферы и метеорологические наблюдения на Останкинской телебашне в 500 – метровом слое для различных сезонов: зима, весна, лето, осень [14]. Определяя по графикам значения скорости ветра и температуры на уровнях 40, 30, 20 м и на уровне земли и используя методику градиентных наблюдений [13], рассчитывали профили продольного $U(Z)$, поперечного $V(Z)$ ветра и коэффициента турбулентной диффузии $K(Z)$. Найденные распределения для надежности нормировали (находили поправочный коэффициент) на показания датчиков (скорости ветра и температуры), расположенных на различных уровнях: 45, 40 и

30 м при сравнении с распределениями работы [14] и 40, 30, 20 и 10 м при сравнении с распределениями работы [15]. Результаты экспериментальных и расчетных данных приведены на рис.5 для состояния устойчивости атмосферы $\mu_0 = 3,72$. В качестве критерия рассматривалась относительная погрешность отклонения расчетного значения скорости ветра от экспериментального $\delta = |(U_e - U_c)/U_e|$ на уровне 310 м, на котором эта величина максимальна для большинства распределений в силу их нелинейности. Выбирая

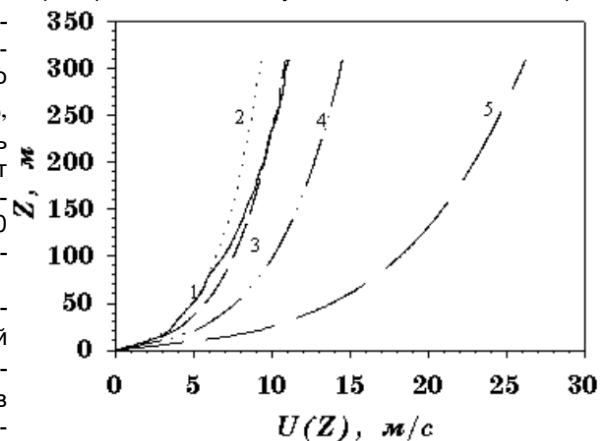


Рис. 5. Сравнение экспериментальных (1) [15] и расчетных (2-5) данных автора [6,10] по скорости ветра $U(Z)$ как функции высоты Z при $\mu_0 = 3,72$ и нормировке на показания датчиков скорости ветра, расположенных на уровне: 40 м – (2); 30 м – (3); 20 м – (4); 10 м – (5)

геометрии); $r_m^2 = r_1^2 + r^2 + 2r_1r \cos(\varphi)$; $B_D(\mu, R)$ – фактор накопления, обусловленный отражением γ -квантов от поверхности стен вентиляционной трубы; V – область интегрирования.

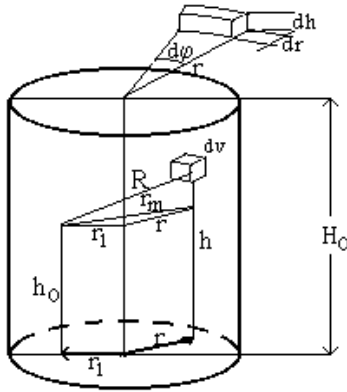


Рис.6. Геометрия расчета мощности дозы внешнего облучения в вентиляционной трубе [6]

$$r_h = \begin{cases} r_0 = \text{const, для цилиндрической трубы.} \\ r_0 - \chi h, \chi = (r_0 - r_H)/H_0, \text{ для трубы типа усеченного конуса.} \end{cases}$$

Если D_v определена, то значение q_0 может быть найдено из выражения:

$$q_0 = D_v / \pi K_\gamma \cdot \Psi(H_0, h_0, r_1), \quad (2)$$

где $\Psi(H_0, h_0, r_1) = \int_{-h_0}^{H_0-h_0} \ln \frac{\theta_1 + \sqrt{\theta_1^2 + 1}}{\theta_2 + \sqrt{\theta_2^2 + 1}} du$; H_0 – высота вентиляционной трубы; h_0, r_1 – координаты точки размещения детектора $A(r_1, h_0)$;

h – текущая координата высоты; $u = h - h_0$;

$$\theta_1(u) = \frac{(r_0 - \chi h_0)^2 - r_1^2 + u^2}{2r_1 u}; \quad \theta_2(u) = \frac{u^2 - r_1^2}{2r_1 u}.$$

Нетрудно показать, что если в выбросе присутствуют короткоживущие и долгоживущие нуклиды, то объемная активность радиоактивного воздушного потока, распространяющегося в вентиляционной трубе, может быть найдена из выражения:

$$q_0 = D'_v / (\pi \Psi [k_{sl} K_\gamma^s + K_\gamma^l]), \quad (3)$$

где D'_v – мощность дозы внешнего облучения, регистрируемая гамма-датчиком; k_{sl} – коэффициент отношения суммарных активностей короткоживущей и долгоживущей компонент, измеряемых в рамках технического регламента с использованием спектрометрических средств; K_γ^s, K_γ^l – эффективные керма-постоянные соответственно короткоживущей и долгоживущей компонент; Ψ – интеграл, определяемый по формуле (2).

Если $W(r)$ – радиальное распределение продольной скорости воздушного потока в устье вен-

тиляционной трубы, то секундный расход G находят как интеграл $G = 2\pi \int_0^{r_0} W(r) r dr$. Считая воздушный

поток на выходе из вентиляционной трубы, т.е. в ее устье, установившимся, в качестве $W(r)$, можно использовать известную [16] эмпирическую зависимость вида

$$W(r) = V_* (5,75 \lg [V_* (r_0 - r) / v_k] + 5,5), \quad (4)$$

где V_* – динамическая скорость; v_k – кинематическая вязкость; r_0 – внутренний радиус вентиляционной трубы; r – текущий радиус $0 \leq r \leq r_0$.

Таким образом, измерение скорости воздушного потока (для определения секундного расхода в устье вентиляционной трубы) в силу его вихревого, стохастического характера необходимо проводить в течение определенного промежутка времени хотя бы в одной точке (отнормироваться на показания датчика). Это даст возможность установить динамическую скорость V_* , полностью найти функцию распределения $W(r)$ и, в конечном итоге, рассчитать величину секундного расхода:

$$G = \pi V_*^2 r_0^2 \left[13,225 \ln \left(V_* r_0 / v_k \right) + 4 \right].$$

Радиационные характеристики можно уточнить путем корректировки их значений при использовании показаний гамма-датчиков мощности дозы, расположенных на местности. Используя свойства линейности уравнения переноса радиоактивной примеси в атмосфере и линейные свойства функционалов, определяющие значение мощности дозы в заданной точке, корректировку осуществляют следующим образом. Рассчитывают значение мощности дозы в точке расположения гамма-датчика, ближайшего к оси следа выброса (рис.7), при единичной мощности выброса, сравнивают это значение с измеренным и находят поправочный коэффициент, на который умножают все остальные радиационные характеристики.

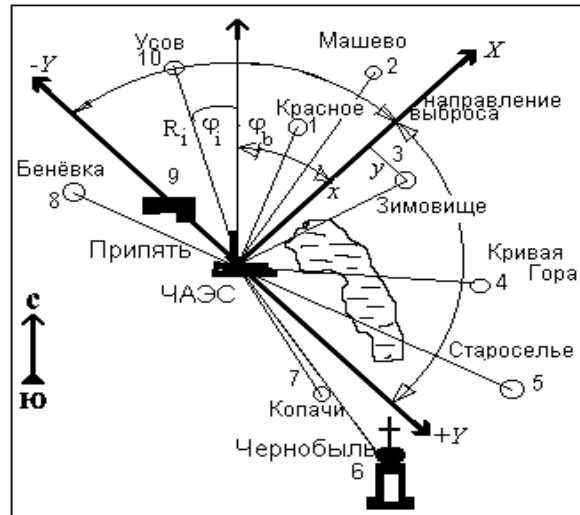


Рис.7. Геометрия определения координат и номера датчика, ближайшего к оси факела выброса радиоактивной примеси.
Отсчет датчиков, установленных в определенных точках (1,2,3,...,10), осуществляется по азимуту с севера на юг по часовой стрелке

Таким образом, минимальный парк оборудования, позволяющий решить проблему радиационного мониторинга ОИАЭ (на примере АЭС), представляет собой следующее:

- гамма-датчики в рамках выше определенного достаточного их количества, располагающиеся вокруг АЭС по установленному правилу и контролирующие мощность дозы внешнего облучения от объемного источника и подстилающей поверхности при радиационной аварии на АЭС, сопровождающейся выходом радионуклидов во внешнюю среду;
- метеорологические датчики, располагающиеся на метеомачте и служащие для определения метеорологических параметров и состояния устойчивости атмосферы, используемых в дальнейшем для оценки и прогнозирования переноса радиоактивных аэрозолей в атмосфере;
- технологические датчики, определяющие давление и температуру в реакторном пространстве, показания которых необходимы для оценки эффективной высоты подъема радиоактивной струи в случае разгерметизации защитных оболочек реактора;
- датчики мощности дозы, давления (атмосферного) и температуры, размещаемые в вентиляционных трубах АЭС и служащие для оценки начальной скорости воздушного потока (секундного расхода), выходящего из вентиляционной трубы, и, таким образом, определяющие эффективную высоту подъема радиоактивной струи, выходящей из вентиляционной трубы;
- спектрометр гамма-излучения, устанавливаемый в вентиляционных трубах АЭС и служащий для определения нуклидного состава радиоактивных аэрозолей, выбрасываемых из вентиляционных труб АЭС;
- пакет математического программного обеспечения, позволяющий решать задачи переноса радиоактивной примеси в атмосфере с точечным и объемным источниками и выполнять оценки дозовых нагрузок на персонал и население, а также оценивать спектральный состав или среднюю энергии гамма-излучения радиоактивных аэрозолей, распространяющихся в атмосфере, в случае отсутствия информации об их нуклидном составе, но используя показания гамма-датчиков системы радиационного мониторинга, располагающихся вокруг АЭС по указанному выше правилу;
- ряд вспомогательных программ и баз данных, осуществляющих стыковку и накопление измеряемых величин и передачу их в рабочие файлы данных пакета программ с целью обеспечения работы системы в режиме on-line.

Приведенный парк приборного оборудования, позволяющий полностью решить большинство задач радиационного мониторинга окружающей среды, использован в ряде проектов АСКРО российских АЭС [11].

Возвращаясь к проблеме выполнения программ обеспечения качества эксплуатации ОИАЭ, считаем целесообразным предложить включить требования к обеспечению радиационного мониторинга ОИАЭ как одного из основных составляющих, ответственных за радиационную безопасность ОИАЭ, в виде отдельного раздела программы обеспечения качества на всех этапах создания, эксплуатации и вывода из эксплуатации ОИАЭ. Что касается международной деятельности, то в рамках деятельности МАГАТЭ предлагается в развитие идей, отвечающих вопросам радиационного мониторинга и изложенных в серии изданий МАГАТЭ по безопасности №50-C/SG-Q, внести соответствующие дополнения в разделы, в которых эти вопросы затрагиваются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон "Об использовании атомной энергии" от 21.11.95 №170-ФЗ, ст.35.
2. Калиберда И.В., Плеханов В.Ш. Нормативное регулирование качества на объектах использования атомной энергии. Конверсия в машиностроении. 2001, №4, с.37-38.
3. Требования к программе обеспечения качества для атомных станций. ПНАЭ Г-1-028-91.
4. Требования к программе обеспечения качества для атомных станций. НП-011-99.
5. Учет дисперсионных параметров атмосферы при выборе площадок для атомных электростанций. Руководство по безопасности (серия изданий по безопасности №50-86-83). Вена. МАГАТЭ. 1982.. 105 с.
6. Елохин А.П. Оптимизация методов и средств автоматизированной системы контроля радиационной обстановки окружающей среды. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. МИФИ. 2001. 325 с.
7. Елохин А.П., Рау Д.Ф., Рыжов Н.В., Скаткин В.М., Халупкова Г.И. Концепция создания автоматизированной системы контроля радиационной обстановки в районе размещения атомных станций России. Международный симпозиум по радиационной безопасности. Тез. докл. 4-9 сентября 1994. М.: МИФИ. 1994. Т.1. С.31.
8. Елохин А.П. Принципы размещения датчиков мощности дозы вокруг АЭС//Атомная энергия. - 1994. Т.76. Вып.3. С.188-193.
9. Система контроля радиационной обстановки в зонах размещения объектов атомной промышленности. Патент РФ №2042157, Бюл. №23 от 20.08.95./Елохин А.П., Рау Д.Ф. 13 с: ил.
10. Елохин А.П. Выбор оптимальной высоты метеомачты для задач прогнозирования радиоактивного загрязнения окружающей среды при выбросах АЭС// Научная сессия МИФИ 99: Сб. науч. тр. М.: 1999. Т.1. С.31-32.
11. Khalupkova G.I., Elokhin A.P., Raou D.F., Ryzov N. V., Skatkin V.M., Parishev V.Y. Tacis-91 Nuclear Safety. Project 1.11: Development of Automatic control system of Radiation dose level. Tasc1: Determination of Suitable Monitoring System-Prediction of Contamination. Moscow.-1995. Doc. №RGR0017. P.1-16.
12. Автоматизированная система контроля радиационной обстановки в районе расположения атомных станций (АСКРО). Общие технические требования. М.: Минэнерго СССР, ВНИИАЭС, 1987. Новая редакция – Автоматизированная система контроля радиационной обстановки в районе расположения атомных станций (АСКРО). Общие технические требования к системе и структуре размещения в районе расположения атомной станции. М.: Минатомэнерго СССР, 1988.
13. Лайхтман Д.Л. Физика пограничного слоя атмосферы. Л.: Гидромет, 1970, 340 с.
14. Бритаев А.С., Дмитриев А.А., Малинников В.А. Результаты статистических обобщенных данных высотных метеорологических наблюдений//Труды Центральной метеорологической обсерватории. М.: Гидрометеиздат, 1981. Гл.3. С.32-125.
15. Волковицкая З.И., Машкова Г.Б. О профилях ветра и характеристиках турбулентного режима в нижнем 300-метровом слое атмосферы. Исследование нижнего 300-метрового слоя атмосферы// Труды Института прикладной геофизики АН СССР. 1963. С.14-25.
16. Седов Л.И. Методы размерности и подобия в механике. М.: Наука, 1987. 430 с.