

УДК 629.039.58:614.876:004.942

В. В. Турбаевский

ОП «Запорожская АЭС»

Системы поддержки принятия решения при радиационных авариях на АЭС: состояние и пути совершенствования

Рассмотрено текущее состояние и пути совершенствования систем прогнозирования и поддержки принятия решений (СППР) при ядерных и радиационных авариях на АЭС с учетом существующих и находящихся на стадии внедрения программно-технических средств. Выполнен анализ соответствия СППР международным требованиям.

Ключевые слова: системы поддержки оператора, радиационные аварии.

В. В. Турбаевський

Системи підтримки прийняття рішення при радіаційних аваріях на АЕС: стан і шляхи вдосконалення

Розглянуто стан і шляхи вдосконалення систем прогнозування та підтримки прийняття рішень (СППР) при ядерних та радіаційних аваріях на АЕС з урахуванням наявних і таких програмно-технічних засобів, що знаходяться на стадії впровадження. Виконано аналіз відповідності СППР міжнародним вимогам.

Ключові слова: системи підтримки оператора, радіаційні аварії.

© В. В. Турбаевский, 2011

В ГП НАЭК «Энергоатом» (далее — НАЭК) функционирует система аварийной готовности и реагирования (САР), целью которой является предотвращение и минимизация радиационного воздействия на персонал, население и окружающую среду в случае радиационных аварий на АЭС. САР объединяет силы и ресурсы аварийного реагирования, распределенные среди АЭС и других подразделений Компании, в единую систему.

Для обеспечения возможности информировать местные и центральные органы власти об ожидаемых дозовых нагрузках населения, а также для предоставления прогнозов и рекомендаций по защите персонала и населения атомные электростанции НАЭК используют системы поддержки принятия решений (СППР) в аварийных ситуациях, разработанные для зон наблюдения (ЗН) АЭС.

На Ровенской АЭС с 2003 г. применяется СППР «КАДО». Метеорологические данные измеряются с помощью стационарной метеостанции MAWS-301, стационарной системы высотного зондирования атмосферы SODAR PA5+RASS и двух мобильных контрольных постов: мобильной метеостанции MAWS-110 и мобильной станции SODAR PA0. Всего в состав автоматизированной системы контроля радиационной обстановки (АСКРО) входят 16 постов радиационного контроля на площадке АЭС и 13 постов в ЗН.

На Хмельницкой АЭС ведутся работы по модернизации существующей АСКРО и внедрению адаптированной для ХАЭС системы «КАДО». Оборудование для метеорологических измерений аналогично применяемому на Ровенской АЭС. В АСКРО входят четыре поста радиационного контроля на площадке АЭС и 11 постов в ЗН.

На Южно-Украинской АЭС применяется СППР «ВЫБРОС». Эта система является устаревшей, она не способна предоставлять качественную поддержку при принятии решений во время радиационной аварии. В настоящее время запланирована установка двух метеостанций MAWS-301 и SODAR PA-2. В АСКРО входят 12 постов радиационного контроля на площадке АЭС, 17 постов в ЗН, а также два мобильных поста.

На Запорожской АЭС используется СППР «InterRAS». Эта система также не может предоставлять качественную поддержку принятия решений во время развития радиационной аварии из-за наличия необходимости ручного ввода данных как о характеристиках и изотопном составе предполагаемого выброса (здесь и далее под выражением «выброс» подразумевается газо-аэрозольный выброс радиоактивных веществ в атмосферу, а под выражением «сброс» — жидкий сброс радиоактивных веществ на территорию промышленной площадки, включая водоем-охладитель ЗАЭС, или жидкий сброс в прилегающие водоемы), так и о состоянии атмосферы, причем изменение характеристик выброса и погодных данных в процессе прогнозирования не предусмотрено. Для метеорологических измерений используются две устаревшие метеостанции, введенные в эксплуатацию до 1995 г. Оборудование для измерения метеорологических параметров на различных высотах и мобильные установки для определения метеорологических и радиационных параметров в ЗН отсутствуют. В АСКРО входят четыре поста радиационного контроля на площадке АЭС и 14 постов в ЗН. Некоторое время назад была начата работа по разработке СППР «ПРОЗА», однако в связи с объективными причинами завершена разработка только нескольких модулей указанной СППР.

СППР ЮУ АЭС и ЗАЭС используют различные расчетные методики и не способны обрабатывать метеорологические данные и данные, характеризующие радиационное состояние ядерной энергетической установки (ЯЭУ), помещений, зданий, сооружений и окружающей среды в целом в режиме реального времени, не в полной мере отвечают требованиям [1, п. 6.8.5] и [2, пп. 5.1.4—5.1.6, 5.2.4, 5.2.6].

Таким образом, в настоящее время в Украине отсутствует современная СППР для аварийного реагирования при радиационных авариях, предусмотренная требованиями [3, пп. 5.21, 5.22] и перечисленными выше требованиями [2], основанная на возможности:

получения исходных данных о характеристиках (включая изотопный состав) выброса и сброса радиоактивных веществ в режиме реального времени, что предусмотрено требованиями [2, п. 5.2.6];

использования численных прогнозов распространения радиоактивных веществ в атмосфере, гидросфере, осадения на поверхность земли и распространения по пищевым цепочкам;

прогнозирования погоды (для моделирования атмосферного рассеивания радионуклидов) с использованием данных реального времени от метеостанций с высотным зондированием атмосферы совместно с данными Госкомгидромета и программ прогнозирования, таких, как IMWM, WMO и им подобных;

использования данных реального времени, получаемых от систем радиационного и технологического контроля (СППР оператора ЯЭУ, СППР РБ, АСКРО) на АЭС, для автоматической или интерактивной корректировки прогнозов и предлагаемых мер, направленных на защиту персонала и населения [2, п. 5.2.6, 5.3.8]).

Системой, которая в наиболее полном объеме готова выполнять указанные выше функции, может быть СППР «RODOS».

Развитие СППР в НАЭК.

В настоящий момент НАЭК реализует программу совершенствования СППР на всех ОП АЭС, суть которой заключается в разработке и адаптации для всех площадок ОП АЭС программного расчетного комплекса «КАДО», разработчиком которого является НИИ радиационной защиты АТН Украины. Как было указано выше, программный комплекс находится в опытной эксплуатации на РАЭС. До 2013 г. запланирована установка и адаптация указанного комплекса на всех ОП АЭС Украины.

Кроме того, на завершающей стадии согласования с Еврокомиссией в рамках программы «мягкой» помощи находится техническое задание на совершенствование системы централизованного аварийного реагирования, базирующееся на европейской СППР «RODOS» [4] (модификации JRODOS). Сервер такой системы предполагается установить в кризисном центре (КЦ) НАЭК с рабочими местами пользователей на ОП АЭС и в аварийно-техническом центре (АТЦ). Проект должен обеспечить полную адаптацию системы RODOS ко всей территории Украины и к особенностям площадок всех украинских АЭС.

Проект создания центрального сервера «RODOS» в НАЭК находится в тесной взаимосвязи с проектом «мягкой» помощи Еврокомиссией Государственной инспекции ядерного регулирования (ГИЯР) УЗ.01/08 «Помощь

Госатомрегулирования во внедрении RODOS в Информационно-аварийном центре», при реализации которого указанная СППР будет адаптирована для всей территории Украины и для специфических условий Ровенской и Запорожской АЭС.

Следует отметить, что перечисленные выше программные комплексы, в соответствии с предварительными для RODOS техническими заданиями на их разработку, не классифицируются по [1], несмотря на то что непосредственно выполняют функцию радиационной защиты персонала и населения и, вероятно, должны относиться к классу 3 безопасности в соответствии с [1, п. 1.5 Приложения].

Целью настоящей работы является рассмотрение преимуществ и недостатков СППР, предполагаемых для использования как на ОП АЭС, так и в КЦ и АТЦ НАЭК. Кроме того, выполнен анализ соответствия предлагаемых для установки на объектах НАЭК СППР требованиям как национальной, так и международной нормативной документации в области аварийного реагирования. Рассмотрена применимость и быстродействие предлагаемых СППР, а также возможность их качественного использования при вероятных радиационных авариях на АЭС. Предложен вариант направления совершенствования системы аварийного реагирования как на ОП АЭС, так и в НАЭК, с учетом разрабатываемых и существующих систем.

Основные требования к СППР и возможности их реализации.

Основной сложностью при использовании аварийных СППР на АЭС при радиационных авариях является необходимость ручного ввода данных о характеристиках выброса, в частности об изотопном составе такового. Большинство используемых систем предполагают применение некоторого «стандартного» выброса для известных и прогнозируемых аварийных ситуаций, без учета реального состояния активной зоны и основного оборудования первого контура. Очевидно, что реальный, не контролируемый штатными средствами радиационного контроля (РК) выброс или сброс радиоактивных веществ может значительно отличаться от «стандартного» как по мощности, так и по составу.

Штатный радиационный контроль предполагает непрерывное измерение инертных радиоактивных газов (ИРГ), долгоживущих нуклидов (ДЖН) и йодной составляющей газо-аэрозольного выброса только через вентиляционную трубу энергоблока [5]. С другой стороны, возможно использование системы контроля содержания радионуклидов в воздухе герметичного ограждения ЯЭУ. Однако, в соответствии с действующими алгоритмами, такой контроль автоматически отключается при авариях на ЯЭУ, связанных с повреждением контура основного теплоносителя реактора или теплоносителя второго контура, что приводит к росту давления в герметичном ограждении выше 1,003 абс. атм.

Таким образом, для определения вероятного состава выброса и сброса целесообразно использовать как данные непрерывного химического контроля качества теплоносителя первого контура, так и данные периодического лабораторного контроля изотопного состава теплоносителя и, возможно, отложений на основном оборудовании первого контура. Анализ указанных показателей выполняется

Таблица 1. Сравнительные характеристики СППР при радиационных авариях

Характеристики	RODOS (план)	КАДО	ВЫБРОС	InterRAS	ПРОЗА
Область применения	КЦ и АТЦ НАЭК, РМ на ОП АЭС	ОП АЭС*	ЮУАЭС	ЗАЭС	ЗАЭС (частично)
Автоматический расчет вероятных характеристик выброса или сброса	+ (?) (PV.2.0 RODOS/RESY) [4]	—	—	—	—
Сценарии для наиболее вероятных аварий	?	?	?	+	—
Возможность адаптации данных о выбросе к результатам измерений в процессе развития аварии:					
— в автоматическом режиме	?	—	—	—	3
— в интерактивном режиме	?	?	?	—	3
Возможность адаптации данных о распространении РВ к результатам измерений в процессе развития аварии:					
— в автоматическом режиме	+	?	—	—	3
— в интерактивном режиме	+	+?	?	+	3
Расчет распространения РВ в атмосфере	+	+	+	+	+
Автоматический ввод данных о погоде (с высотным зондированием атмосферы)	+	+	—	—	3
Расчет распространения РВ в гидросфере	+	Для РАЭС и ХАЭС	—	—	+
Расчет предполагаемых доз облучения населения	+	+	+	+	3
Ввод результатов ИДК населения	—	—	—	—	—
Выработка рекомендаций по защите персонала и населения от выброса	+	+	+	+	3
— с использованием демографических данных	+	?	?	?	3
— с использованием критериев экономической эффективности	+	?	?	?	?

* В настоящий момент РАЭС и ХАЭС (частично).

Примечание. «+» — поддерживается, «-» — не поддерживается, «?» — информация отсутствует, «3» — запланировано.

лабораторией радиационной безопасности ЦРБ и водной радиохимической лабораторией ЗАЭС. Данные об используемом топливе и режимах его эксплуатации контролируются отделом ядерной безопасности ЗАЭС.

Очевидно, что при возникновении и развитии потенциальной радиационной аварии на АЭС, связанной с повреждением ядерного топлива, одних данных о составе теплоносителя и характеристиках топлива и оборудования будет недостаточно. Необходима разработка или адаптация существующих расчетных кодов (таких, как «СЕЗАМ») для определения вероятных характеристик выброса или сброса [2, п. 5.2.6], [3, п. 4.66].

Следующим этапом работы СППР может стать корреляция и адаптация прогнозируемых данных выброса и (или) сброса к данным, полученным от систем непрерывного и периодического радиационного контроля как оборудования, помещений и промышленной площадки АЭС, так и окружающей среды (в том числе с данными, полученными в результате радиационной разведки территории зоны наблюдения АЭС), с корректировкой первых при вводе в систему прогнозирования распространения радиоактивных веществ в окружающей среде. На данном этапе целесообразно использование совместно с АСКРО мобильных систем РК [2, п. 5.3.7], [3, п. 4.67]).

Дальнейшим этапом может стать расчет доз радиоактивного облучения персонала и населения с выработкой рекомендаций по защите людей. При этом необходимо использовать как постоянно корректируемые данные о радиационной обстановке и прогнозе ее развития, так и данные о демографическом состоянии региона, подвергающегося воздействию потенциальной аварии.

Оптимальным может быть выполнение текущего индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) некоторой критической группы населения (включая ИДК внутреннего и внешнего облучения) для последующей аппроксимации данных для остальных групп [3, пп. 4.73, 4.77, 4.93].

В соответствии с рекомендациями МАГАТЭ и национальных регулирующих органов, система аварийного реагирования должна быть децентрализована для исключения возможности выхода из строя по причине единичного отказа [2, п. 6.1.1], [3, пп. 5.4, 5.5, 5.8–5.11].

Сравнительные характеристики действующих и предлагаемых к использованию в НАЭК СППР приведены в табл. 1.

Предполагаемый план реализации СППР на ОП АЭС и в НАЭК может включать следующие основные этапы:

1. Анализ мировой практики в области аварийного реагирования. Определение наиболее приемлемых систем (или требований к системам) поддержки принятия решения как с точки зрения достаточности и возможности ввода исходных данных, так и с точки зрения передачи данных в национальную и европейскую систему аварийного реагирования.

2. Определение основных характеристик выброса и сброса, на основании которых возможно определение вероятного распространения радиоактивного загрязнения и дозовых нагрузок персонала и населения.

3. Анализ возможности определения вышеуказанных характеристик автоматически или интерактивно (при использовании лабораторных измерений).

4. Составление входного перечня параметров для передачи в систему. При наличии параметров, требующих интерактивного ввода, создание баз данных для таких параметров с возможностью автоматической передачи данных в систему. При использовании автоматической передачи данных из СППР оператора или СППР РБ предусмотреть ведение архива данных и возможности его использования при потере связи.

5. Составление перечня параметров для передачи в национальную и европейскую систему аварийного реагирования. Предусмотреть ведение архива данных и возможности его использования при потере связи.

6. Разработка технических требований к программному комплексу, способному принимать, анализировать (с учетом выполнения требований табл. 1) и передавать данные как в процессе нормальной эксплуатации, так и при отклонениях от таковой. Предусмотреть резервирование данных и системы анализа, возможность восстановления после сбоя, проверку (корреляцию) результатов анализа обстановки с национальной и европейской системой, соответствие системы требованиям нормативной документации МАГАТЭ (GS-R-2, GS-G-2.1 и др.), модульную систему построения комплекса с возможностью свободного конфигурирования и расширения [2, пп. 6.6, 6.7, 7)].

7. Разработка и ввод в эксплуатацию программного комплекса для решения изложенных выше задач, в том числе с учетом требований [2, пп. 6.6, 6.7].

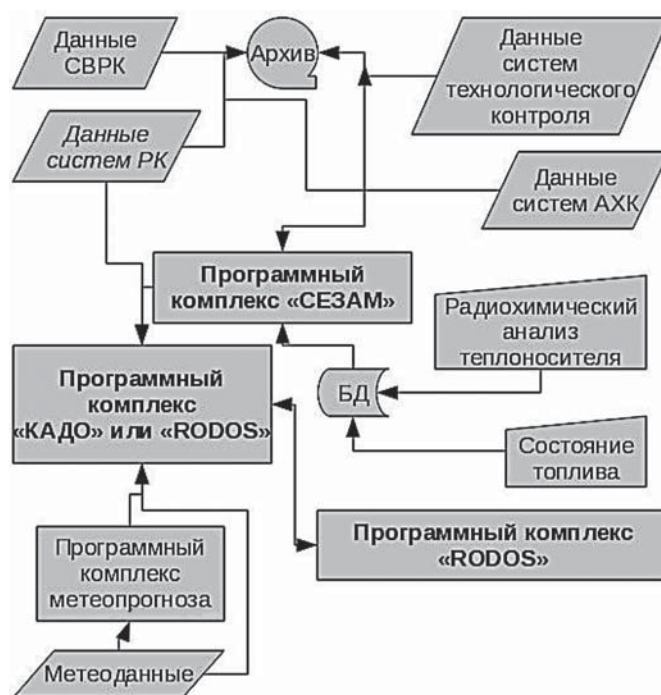


Рис. 1. Общий вид комплекса средств поддержки оператора при радиационных авариях:
СВРК — система внутриреакторного контроля;
РК — радиационный контроль;
АХК — автоматический химический контроль;
БД — база данных

8. Обучение персонала.

По окончании разработки принципиальная схема комплекса может иметь вид, представленный на рис. 1.

Использование в процессе построения комплекса уже разработанных (и внедренных в НАЭК), запланированных к внедрению или существующих у сторонних производителей программно-технических средств (таких, как ПК «СЕЗАМ» для получения основных характеристик выброса, ПК «КАДО» — для определения дозовых нагрузок и выработки контрмер, ПК «RODOS» — для решения вопросов аварийного реагирования при радиационной аварии в национальном масштабе) позволит получить значительную экономию финансовых средств как за счет отсутствия необходимости разработки новых систем, так и за счет минимального объема необходимой дополнительной подготовки персонала.

Выводы

В настоящий момент на ОП АЭС НАЭК отсутствует используемая или предполагаемая к использованию СППР, способная выполнять функцию поддержки оператора (принятия решения комиссией по аварийному реагированию) при вероятной радиационной аварии в полном объеме в автоматическом или полуавтоматическом режиме, как это предусмотрено требованиями [1]–[3].

В связи с изложенным, автором, при поддержке руководства ЗАЭС, был предложен проект темы для работы в рамках программы сотрудничества с Еврокомиссией, направленный на устранение дефицита безопасности

в области аварийного реагирования ОП АЭС НАЭК. Предварительные слушания в дирекции НАЭК в январе 2011 г., совместно с представителями ЕК, подтвердили возможность включения проекта в программу сотрудничества с ЕК в 2011 г.

Независимо от окончательного решения о включении проекта в программу сотрудничества, автор намерен продолжать работу в области совершенствования аварийной готовности и радиационной защиты АЭС, о результатах которой можно будет узнать на страницах данного и иных периодических специализированных изданий.

Список литературы

1. *НП 306.2.141–2008*. Общие положения безопасности атомных станций / ГКЯРУ. — 2008. — 36 с.
2. *ГСТУ 95.1.01.03.024–97*. Автоматизированные системы контроля радиационной обстановки для атомных станций. Основные положения / ГНИЦСКАР. — 1997. — 21 с.

3. GS-R-2. Готовность и реагирование в случае ядерной и радиационной аварийной ситуации. — Вена: МАГАТЭ, 2004. — 104 с.

4. Ehrhardt J. The RODOS system: decision support for off-site emergency management in Europe / Nuclear Technology Publishing. — 1997. — № 1–4. — С. 35–40.

5. 00.РБ.ХQ.Рг.01.А. Регламент радиационного контроля при эксплуатации объектов ОП ЗАЭС / ОП ЗАЭС. — 2010. — 267 с.

Надійшла до редакції 07.02.2011.