

## АКТУАЛЬНАЯ ТЕМА

DOI 10.26163/GIEF.2019.23.1.001  
УДК 621.311.25:343.326

*V.S. Novikov, V.N. Bortnovskiy, K.N. Buzdalkin*

### **SIMULATION OF NUCLEAR POWER STATION ACCIDENT CAUSED BY TERRORIST ATTACK TO DECREASE RISKS OF DRASTIC CONSEQUENCES**

**Vasily Novikov** – vice-president of the Russian Academy of Natural Sciences, chairperson of the section of Interdisciplinary problems of science and education of Russian Academy of Natural Sciences, a recipient of the State Prize in Science and Engineering, Honored Science Worker, member of the Russian Academy of Natural Sciences, Doctor of Medicine, professor, St. Petersburg; **e-mail: raen.vsn@mail.ru.**

**Vladimir Bortnovskiy** – Head of the Department of Common Hygiene, Ecology and Radiation Medicine, Gomel State Medical University, PhD in Medicine, associate professor, Gomel, the Republic of Belarus, **e-mail: kafog2@mail.ru.**

**Konstantin Buzdalkin** – Head of the Laboratory of Dosimetry Problems, the State Environmental Scientific Research Institution Polesky State Radiation and Ecological Reserve, PhD in Engineering, associate professor, Khoyniki, Gomel region, the Republic of Belarus, **e-mail: buzdalkin@tut.by.**

*We develop the methodology to assess the consequences of nuclear and radiation accidents caused by a terrorist attack a few minutes after getting the automatically provided data concerning the amount of radioactive release and monitoring of weather conditions relevant for the time and place of the accident. We suggest training scenarios of possible accidents for nuclear power stations with pressurized water reactors aimed at immediate assessment of the consequences of nuclear power accidents. The assessment of short-term and long-term exposure to radiation in training scenarios is based on immediate forecasting of radionuclide contamination of the surface layer of the atmosphere, land, radiation dose. The models applied in training scenarios are identified for the assessment of the impact of radioactive fallout from pressurized water reactors of nuclear power stations.*

**Keywords:** nuclear power station; accidents; preparedness and response system; information support; design basis accident; forecasts of land contamination; radiation dose; protective measures; beyond design-basis accident.

*V.S. Novikov, V.N. Bortnovskiy, K.N. Buzdalkin*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИИ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ПРИ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОМ АКТЕ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ РИСКОВ ТЯЖЕЛЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ**

**Василий Семенович Новиков** – вице-президент РАЕН, председатель Секции междисциплинарных проблем науки и образования, лауреат Государственной премии РФ в области науки и техники, заслуженный деятель науки РФ, академик, доктор медицинских наук, профессор, г. Санкт-Петербург; **e-mail: raen.vsn@mail.ru.**

**Владимир Николаевич Бортновский** – зав. кафедрой общей гигиены, экологии и радиационной медицины Учреждения образования «Гомельский государственный медицинский университет» (УО ГГМУ), кандидат медицинских наук, доцент, г. Гомель, Республика Беларусь, **e-mail: kafog2@mail.ru.**

**Константин Николаевич Буздалкин** – зав. лабораторией проблем дозиметрии Государственного природоохранного научно-исследовательского учреждения «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник», кандидат технических наук, доцент, г. Хойники Гомельской области Республики Беларусь, **e-mail: buzdalkin@tut.by.**

*Разработана методология оценки последствий ядерных и радиационных аварий при террористическом акте в течение нескольких минут после получения данных о величине выброса радиоактивных веществ и результатов наблюдений за метеорологическими условиями, относящимися ко времени и месту чрезвычайной ситуации – необходимые сведения предоставляются по запросам пользователей в автоматизированном режиме. Предложены учебные сценарии возможных радиационных аварии для зоны наблюдения АЭС с водо-водяными энергетическими реакторами, направленные на выполнение оперативной оценки последствий радиационных аварий. Оценка краткосрочного и долгосрочного радиационного воздействия в учебных сценариях основывается на оперативном построении прогноза загрязнения радионуклидами приземного слоя атмосферы, земель, доз облучения. Модели, применяемые в учебных сценариях, идентифицированы для оценки воздействия радиоактивных выпадений от аварийных выбросов из водо-водяных энергетических реакторов АЭС.*

**Ключевые слова:** атомная электростанция; аварийные ситуации; система готовности и реагирования; информационное обеспечение; максимальная проектная авария; прогнозы загрязнения земель; дозы облучения; защитные мероприятия; запроектная авария.

Обеспечение радиационной безопасности при обязательном соблюдении всех международных правил и норм при эксплуатации АЭС является составной частью общей системы управления рисками. Учения и тренинги являются неотъемлемыми элементами системы обеспечения готовности к действиям по защите населения в зоне возможного аварийного воздействия объектов использования атомной энергии.

Цель работы – оценить риски превышения допустимого воздействия АЭС в результате гипотетической радиационной аварии и разработать прогностические критерии в процессе учений по противодействию последствий радиационной аварии при террористическом акте.

Для учений моделировался гипотетический сценарий террористической аварии с тяжелыми последствиями – разрушением действующего энергоблока. В качестве легенды учений предлагался сценарий террористического акта с минированием элементов защитной оболочки энергоблока, системы аварийного охлаждения и арматуры первого контура реактора АЭС. Предложенный сценарий может привести к потере теплоносителя, разрушению защитных оболочек и системы аварийного охлаждения. Кризисный центр, метеостанция и служба внешней дозиметрии АЭС оказываются блокированы. Кроме того, в результате террористического воздействия на АЭС происходит нарушение электроснабжения, выход из строя под-

станции, отключение от электроэнергетики ряда предприятий и жилого сектора [1].

В реальности риски радиационных аварий для современных типов водо-водяных энергетических реакторов исключительно малы (не более  $10^{-7}$  реактор/год).

Предложенный сценарий направлен на проверку готовности участников аварийного реагирования к оценке последствий возможной радиационной аварии для населения и к организации аварийно-спасательных работ. В ходе учений отрабатываются:

1. Построение прогнозов развития и последствий чрезвычайных ситуаций с наличием радиоактивных веществ.
2. Проведение радиационной разведки, определение качественного и количественного состава аэрозолей и выпадений.
3. Индивидуальный дозиметрический контроль и оценка ожидаемых доз облучения населения.
4. Радиационный контроль воздуха, продуктов питания и продовольственного сырья, питьевой воды, почвы спектрометрическими, радиохимическими и радиометрическими методами с помощью оборудования, имеющегося у участников учений; принятие решений о проведении мероприятий по защите населения.
5. Принятие решения.

Ожидается, что радионуклиды в аварийном выбросе будут представлены в форме частиц аэрозоля, радиоактивных благородных газов и газообразных форм йода. Механизмы образования радиоак-

тивных аэрозолей:

1. Диспергирование топлива при вводе избыточной реактивности, т.е. в результате разрыва топливных таблеток за счет выделения газообразных продуктов деления.

2. Взаимодействие пара с металлическим цирконием при температурах выше 1500°C, когда парациркониевая реакция может носить самоподдерживающийся взрывной характер с образованием мелкодисперсных уран-циркониевых частиц.

3. Высокотемпературное окисление фрагментов топлива в атмосфере.

4. Образование «конденсационных» аэрозолей из паров летучих радионуклидов.

5. Образование аэрозолей при формировании топливосодержащей массы.

Продолжительность 100% выброса летучих продуктов деления в окружающую среду за счет утечки через разломы контайнмента – 3÷24 часа. Свободный объем контайнмента принимается 71 тыс. м<sup>3</sup>, площадь поверхностей в контайнменте – 53 тыс. м<sup>2</sup> [3]. Выброс приземный, т.к. в этом случае формируются более высокие уровни доз облучения на значительном расстоянии от источника выброса. Может быть учтён эффект влияния обтекания зданий и сооружений воздушными потоками.

В случае ядерной аварии может потребоваться проведение неотложного аварийного радиационного мониторинга на большой территории (до 1000 км<sup>2</sup>). Утечка из защитной оболочки происходит в сухих условиях, что типично при выбросе из активной зоны реактора при расплавлении активной зоны. Выброс в защитную оболочку реактора проходит через систему первого контура, не проходя через другие системы, которые могли бы осадить йод или другие летучие продукты деления. Концентрация йода и/или других летучих продуктов деления в защитной оболочке реактора может быть уменьшена перед тем, как попасть в атмосферу благодаря нескольким факторам: работе системы распылителей, фильтрации выброса и/или естественному процессу распада. Это уменьшение является функцией вре-

мени задержки. В расчётах же время задержки предлагается принимать равным нулю, т.е. утечка из реактора начинается немедленно. Системы вентиляции отключены, фильтры не работают, орошение отключено.

Приведённые условия соответствуют наихудшему сценарию радиационной аварии с 10÷50% расплавлением активной зоны и быстрому выбросу летучих продуктов деления, и более тяжёлым последствиям террористического акта [6].

Учения включают организацию функционирования формирований гражданской обороны. По итогам реализации каждого этапа учений оцениваются действия руководства и непосредственных участников аварийного реагирования.

Сигнальная информация о повышении мощности дозы гамма-излучения, предварительные оценки состава радиоактивной примеси в воздухе, результаты экспресс-измерений активности выброса и данные о метеоусловиях позволяют построить предварительный прогноз радиационной обстановки, оценить уровни и масштаб возможного загрязнения приземного слоя атмосферы и территории, ожидаемые дозы облучения и выбрать адекватный сценарий аварийного реагирования.

Моделируется выброс пара, сухой аварийный нагрев кориума и выход газоаэрозольной смеси топлива, продуктов деления и активации через разрыв трубопровода первого контура в образовавшиеся проломы в контайнменте. Учитываются мощность и продолжительность эксплуатации реактора, конструкционные особенности энергоблока, систем пассивной и активной защиты. Выброс радионуклидов в окружающую среду в результате аварии рассчитывается по стандартной в таких случаях процедуре, описываемой формулой:

$$A_i = FPI_i \cdot \prod_{j=1}^N RDF_{i,j} \cdot EF_i, \quad (1)$$

где  $FPI_i$  – общее количество радионуклида  $i$  в энергоблоке;

$RDF_{i,j}$  – доля активности радионуклида  $i$ , доступная для выброса после дейст-

вия механизма уменьшения  $j$ ;

$EF$  – доля активности, доступная для выброса, которая выброшена.

Оценка обстановки при возникновении радиационной аварии и построение прогноза её развития производится с использованием методов математического моделирования последствий возможных аварий на предприятиях атомной энергетики. Применяется методология, рекомендованная МАГАТЭ для расчёта распространения радиоактивных элементов, объёмной активности воздуха приземного слоя атмосферы и плотности загрязнения территории [4].

Наибольшие уровни радиоактивного загрязнения приземного слоя атмосферы, поверхности почвы и других объектов окружающей среды формируются в метеоусловиях, характеризующихся минимальным рассеянием радиоактивных веществ в атмосфере. Для моделирования переноса радионуклидов в атмосфере выбираются сценарии метеоусловий, при которых дозы облучения населения будут близки к максимально возможным. Время проведения учений – вегетационный период, когда ожидаются наибольшие уровни поверхностного загрязнения зелени и других сельскохозяйственных культур, молока [2].

Ожидается, что при тяжёлых авариях на атомных электростанциях с ВВЭР относительный вклад радиоактивного йода в суммарный выброс составит в среднем 53%, инертных радиоактивных газов – 39%, долгоживущих аэрозолей – 8%.

На ранней фазе доза внешнего облучения формируется, в основном, за счет  $\gamma$ - и  $\beta$ -излучений радиоактивных веществ, содержащихся в радиоактивном облаке. В ближней зоне возможно также значительное контактное облучение за счет излучения радионуклидов, осевших на кожу и слизистые. Внутреннее облучение обусловлено в основном ингаляционным поступлением радионуклидов из радиоактивного облака в организм человека.

В расчетах используются обычные в таких случаях допущения, которые позволяют научно обосновать верхние уровни доз облучения населения в результате

возможной аварии. Например, при расчете доз облучения не учитываются нахождения внутри помещения, защитные меры и применение индивидуальных средств защиты, т.е. выполняется консервативная оценка. Ожидаемые дозы внешнего и внутреннего облучения населения оцениваются для случаев его нахождения как в радиоактивном облаке в острый период аварии, так и на сформированном радиоактивном следе.

Наиболее неблагоприятным условием радиоактивного загрязнения окружающей среды считается выброс при большой величине осадения на прилегающие территории, что отмечается при преобладании неустойчивых категорий состояния атмосферы и под воздействием атмосферных осадков. В этом случае формируется загрязнение относительно небольших территорий на удалении до 30 км от аварийного реактора со значительными градиентами плотности загрязнения почвы. Важную роль в осаждении радиоактивной примеси играют шероховатость подстилающей поверхности, определяемая рельефом местности, особенностями хозяйственной деятельности, наличием определенных природно-растительных комплексов. Распространение радиоактивных выбросов находится в прямой зависимости от высоты их подъема, обусловленной разностью температур в источнике и окружающей среде.

Падение авиалайнера, теракт или военные действия, которые были предложены в качестве легенды в учебных сценариях, могут привести к разрушению защитных оболочек и неядерному взрыву (вспышке мощности) в хранилищах отработанного или свежего топлива, в корпусе реакторной установки. Могут произойти события, связанные с изменением взаимного расположения и нарушением целостности топливных сборок и оболочек тепловыделяющих элементов, извлечением органов регулирования на мощности, потерей теплоносителя и разрушением системы аварийного охлаждения.

В случае внешнего воздействия на АЭС, кроме перевода энергоблоков в безопасное состояние и переработки

большого количества образовавшихся радиоактивных отходов, на значительной территории могут потребоваться такие защитные меры, как эвакуация населения. Аварийно-спасательные работы должны жёстко нормироваться по времени нахождения персонала в зоне радиоактивного загрязнения.

След образовавшегося радиоактивного облака может распространиться на расстояние до 200 км при его ширине порядка 10 км. На территории следа эффективные дозы облучения щитовидной железы взрослых от ингаляционного поступления радиоактивного йода могут превысить 50 мЗв. В этом случае проводится йодная профилактика. В острую фазу на оси радиоактивного следа целесообразным могут быть признаны укрытие и эвакуация критических групп населения (детей и беременных женщин).

На территории радиоактивного следа может располагаться ряд городов. Превышение допустимых уровней содержания радионуклидов в продуктах питания и продовольственном сырье возможно и на большей территории. Не исключается временное выведение из хозяйственного оборота до 100 тыс. га земель [5].

Ожидается, что за пределами зоны планирования срочных защитных мер (радиусом 25 км) общая эффективная доза на организм, включая дозы от облака и в течение семи дней от выпадений, дозы от ингаляции радионуклидов в течение 50 лет, значительно ниже доз облучения щитовидной железы, и ниже общих критериев реагирования для защитных действий, планируемых как в целях предотвращения детерминированных эффектов, так и снижения риска стохастических эффектов [4].

В учениях предлагается отработать проведение радиационного контроля для оценки своевременности получения данных об ожидаемых дозах облучения. В острый период основная задача радиационного контроля заключается в оперативном обеспечении участников аварийного реагирования достоверными и полными данными о радиационной обстановке в зоне воздействия аварийного объекта в целях поддержки принимаемых решений

по защите населения.

Индивидуальный дозиметрический контроль проводится инструментальными методами во всех формированиях, участвующих в учениях. Групповой контроль облучения ведется расчетным методом по категориям населения, находящегося в зоне радиоактивного загрязнения. Территориальные медицинские службы имитируют организацию регистрации доз облучения населения, обобщение и анализ информации о дозах с целью минимизации последствий аварии.

При оценках ожидаемых доз внутреннего облучения от перорального поступления радионуклидов используются фактические уровни потребления различных продуктов местного производства (из личных подсобных хозяйств) с учётом категории населения, сельского и городского проживания.

При прогнозировании загрязнения продуктов питания и продовольственного сырья учитываются почвенно-климатические особенности района размещения АЭС. Максимальные уровни содержания радионуклидов ожидаются сразу после аэральных выпадений вследствие их поверхностного осаждения на надземной фитомассе. Степень задерживания радионуклидов надземной фитомассой растений – до 70% зеленой массой и до 5% – зерном. В течение первого вегетационного периода после выпадений прогнозируется снижение активности радионуклидов за счет радиоактивного распада короткоживущих и удаления частиц с поверхности растений. Период «сухого» полураспада долгоживущих радионуклидов составляет ~20 суток и 6 суток – для  $^{131}\text{I}$ , при атмосферных осадках он сокращается пропорционально их количеству и интенсивности.

В последующие годы загрязнение сельскохозяйственной продукции определяется корневым поступлением радионуклидов. Наиболее значительное снижение активности радионуклидов в продуктах питания прогнозируется в первые годы, что связано с уменьшением корневого поступления вследствие интенсивной сорбции радионуклидов почвенно-поглощаю-

щим комплексом. При прогнозах загрязнения сельскохозяйственной продукции консервативно принимается, что загрязнению подверглась территория зоны наблюдения АЭС, имеющая максимальный риск загрязнения радионуклидами [2].

Учебные сценарии позволяют проводить отработку умений и навыков реагирования на ядерные и радиационные аварии с целью обеспечения готовности к действиям по защите населения в зоне возможного аварийного воздействия объектов использования атомной энергии. По результатам учений может проводиться анализ действий по оценке радиационной обстановки и защиты населения при аварии на АЭС и подготавливаться предложения по совершенствованию тактики их ведения, техническому оснащению участников аварийного реагирования (например, средств индивидуальной защиты, приборов радиационной разведки и дозиметрического контроля, другого оборудования). Путём проведения учений оценивается соответствие имеющихся мобильных измерительных средств наземной и воздушной разведки, стационарной автоматизированной системы радиационного контроля, оборудования, установленного в лабораториях, масштабу и изотопному составу возможных аварийных выбросов.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Бортновский В.Н.* Прогностическая оценка доз облучения персонала при авариях ядерных энергетических установок и

мероприятия по предупреждению радиационных поражений // Радиобиология: «Маяк», Чернобыль, Фукусима: материалы междунар. науч. конф. (24–25 сентября 2015 г.) / редкол.: А.Д. Наумов (гл. ред.) [и др.]. Гомель: Ин-т радиологии, 2015. С. 26–29.

2. *Бортновский В.Н., Новиков В.С.* Уровни облучения жителей белорусского Полесья, обусловленные глобальными и чернобыльскими долгоживущими радионуклидами // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. 2017. № 4. С. 94–102.

3. Готовность и реагирование в случае ядерной и радиационной аварийной ситуации. Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR PART 7. Вена: МАГАТЭ, 2016. 160 с.

4. *Новиков В.С., Лызикив А.Н., Бортновский В.Н., Вартамян К.Г.* Радиационная безопасность и здоровье населения Беларуси: монография. СПб.: АНО «Профессионал»; СПб.: Гомель, 2014. 264 с.

5. *Новиков В.С., Бортновский В.С.* Физиолого-гигиенические основы функционального питания человека при длительном воздействии ионизирующих излучений // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. 2016. № 4. С. 81–87.

6. Dispersion of radioactive material in air and water and consideration of population distribution in site evaluation for nuclear power plants. Safety standards series № NS-G-3.2. Vienna: IAEA, 2002. 32 p.