

Оценка доз внешнего и внутреннего облучения населения, проживающего вокруг АЭС (на примере Ростовской АЭС)

К.Ю. Лебедев¹

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

Актуальность работы

В процессе эксплуатации атомных электростанций происходит накопление значительного количества радиоактивных продуктов. Вследствие этого АЭС представляют собой источник риска радиационного воздействия на персонал, население и окружающую среду. [1]

В 2004 году приказом Министра МЧС России № 506 «Об утверждении типового паспорта безопасности опасного объекта» [2] был утвержден типовой паспорт безопасности опасного объекта. На его основании тогда же был разработан Типовой паспорт безопасности критически важного (опасного) объекта Росатома [3] (далее – паспорт безопасности).

В соответствии с требованиями раздела II паспорта безопасности [3], необходимо проводить работы по оценке риска критически важных (опасных) объектов Росатома и оценке риска АЭС. Оценка доз облучения населения является составной частью оценки риска.

Следовательно, задача по оценке доз внешнего и внутреннего облучения населения, проживающего вокруг Ростовской АЭС, является актуальной.

Цель работы

Целью работы является оценка доз внешнего и внутреннего облучения населения, проживающего вокруг Ростовской АЭС при наиболее опасной аварии «Обесточивание АЭС с отказом ДГ и БРУ-А».

Научная новизна

В рассмотренной литературе оценка доз внешнего и внутреннего облучения, с учетом розы ветров, не рассматривалась. В данной работе предпринимается попытка оценить дозы внешнего и внутреннего облучения на примере Ростовской АЭС.

Практическая ценность

Практическая ценность заключается в том, что оценка доз является составной частью оценки риска. Основной целью анализа рисков является оценка численных значений дозы и ущерба, полученных населением и персоналом, а также разработка рекомендаций по их снижению.

Обзор литературы

Методология вероятностного анализа безопасности АЭС описана в работе [1]. Аварии относятся к категории случайных событий, которые характеризуются размерами последствий и величинами вероятностей их реализации. Понятие аварии составляет фундаментальную основу безопасности, как внутреннего свойства АЭС, и определяет вероятностную природу этого свойства [1].

В 2004 году приказом Министра МЧС России № 506 «Об утверждении типового паспорта безопасности опасного объекта» [2] был утвержден типовой паспорт безопасности опасного объекта. На его основании тогда же был разработан Типовой паспорт безопасности критически важного (опасного) объекта Росатома [3].

В соответствии с требованиями раздела II паспорта безопасности [3], необходимо проводить работы по оценке риска критически важных (опасных) объектов Росатома и оценке риска АЭС.

В федеральных законах [6] «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» и [7] «О техническом регулировании» вводятся основные понятия. Наиболее важными для данной работы являются понятия аварии и риска:

авария - разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ; [7]

риск - вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда. [6]

Методический подход для расчета доз внешнего и внутреннего облучения населения в кольцевом сегменте румба, с учетом розы ветров, был предложен в [4]. Этот подход был разработан для равномерного и дискретного распределения населения в кольцевом сегменте румба.

В качестве исходных данных был использован отчет по Ростовской АЭС [5].

Методический подход для расчета доз внешнего и внутреннего облучения населения в кольцевом сегменте румба с учетом розы ветров.

Равномерное распределение населения

При равномерном распределении населения в кольцевом сегменте румба [4]

$$D_E(R) = \frac{P_W}{R} \cdot \int_0^R N_{1/8}(r) \cdot D_{E(\text{year})}(r) \cdot dr, \quad (1)$$

где:

DE – годовая эффективная доза облучения (effective dose) населения в кольцевом сегменте румба, с учетом розы ветров;

R, r – расстояние от АЭС;

PW – вероятность направления ветра (probability of the wind direction);

N1/8 – количество людей в румбе;

DE(year) – годовая эффективная доза облучения всего населения.

Дискретное распределение населения

При дискретном распределении населения в кольцевом сегменте румба [4]

$$D_E(R) = P_W \cdot \sum_{i=1}^k N_{1/8(i)} \cdot D_{E(\text{year})(i)}, \quad (2)$$

где:

DE – годовая эффективная доза облучения населения в кольцевом сегменте румба, с учетом розы ветров;

R – расстояние от АЭС;

PW – вероятность направления ветра;

N1/8 – количество людей в румбе;

DE(year) – годовая эффективная доза облучения всего населения.

Данные формулы позволяют улучшить оценку годовой эффективной дозы облучения, поскольку они учитывают розу ветров.

Проведение оценки доз внешнего и внутреннего облучения населения

Исходные данные

В качестве исходных данных была использована работа [5].

В данном отчете есть данные о дискретном распределении населения, в зависимости от расстояния и направления сторон света, а также оценки средних суммарных эффективных доз облучения.

В таблице 1 приводятся данные о дискретном распределении населения, в таблице 2 — оценки средних суммарных эффективных доз облучения.

Таблица 1. Распределение населения, проживающего вокруг Ростовской АЭС.

Расстояние от АЭС, км	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
3-10	0	860	860	230	230	0	0	0
10-15	0	0	0	0	345	595	250	0
15-20	315	88	620	591	193	74 952	75 574	1 071
20-30	868	390	512	791	1 076	15 434	26 780	12 622
30-40	1 044	1 044	1 044	1 044	1 044	1 044	1 044	1 044
40-50	1 342	1 342	1 342	1 342	1 342	1 342	1 342	1 342
50-100	11 186	11 186	11 186	11 186	11 186	11 186	11 186	11 186

Таблица 2. Оценка средних суммарных эффективных доз облучения.

Расстояние от АЭС, км	Суммарная эффективная доза внешнего и внутреннего облучения, мЗв
3 и 10	10,5
10 и 15	1,91
15-20	1,04
20-30	0,596
30-40	0,32
40-50	0,203
50-100 км	0,105

Расчет доз внешнего и внутреннего облучения

На основании исходных данных из предыдущей главы и формулы из главы «Дискретное распределение населения» был проведен расчет доз внешнего и внутреннего облучения населения.

Расчет эффективной дозы проводился по следующей схеме:

1. Расчет доли населения, проживающего на определенном расстоянии, для заданного направления. (Таблицы 3-10)

2. Расчет эффективной дозы для конкретного румба. (Таблицы 11 и 12)

Таблица 3. Доли населения для Севера. Повторяемость ветра 8%.

Расстояние, км	Население, чел	Доля населения
3-10	0	0
10-15	0	0
15-20	315	0,021348695
20-30	868	0,058827516
30-40	1 044	0,070755676
40-50	1 342	0,09095222
50-100	11 186	0,758115893
ИТОГО	14 755	

Таблица 4. Доли населения для Северо-Востока. Повторяемость ветра 13%.

Расстояние, км	Население, чел	Доля населения
3-10	860	0,05767941
10-15	0	0
15-20	88	0,005902079
20-30	390	0,026156942
30-40	1 044	0,070020121
40-50	1 342	0,090006707
50-100	11 186	0,750234742
ИТОГО	14 910	

Таблица 5. Доли населения для Востока. Повторяемость ветра 20%.

Расстояние, км	Население, чел	Доля населения
3-10	860	0,0552557
10-15	0	0
15-20	620	0,0398355
20-30	512	0,0328964
30-40	1 044	0,0670779
40-50	1 342	0,0862246
50-100	11 186	0,7187098
ИТОГО	15 564	

Таблица 6. Доли населения для Юго-Востока. Повторяемость ветра 17%.

Расстояние, км	Население, чел	Доля населения
3-10	230	0,0151475
10-15	0	0
15-20	591	0,0389226
20-30	791	0,0520943
30-40	1 044	0,0687566

Расстояние, км	Население, чел	Доля населения
40-50	1 342	0,0883825
50-100	11 186	0,7366965
ИТОГО	15 184	

Таблица 7. Доли населения для Юга. Повторяемость ветра 10%.

Расстояние, км	Население, чел	Доля населения
3-10	230	0,014919564
10-15	345	0,022379346
15-20	193	0,01251946
20-30	1 076	0,069797613
30-40	1 044	0,067721847
40-50	1 342	0,087052413
50-100	11 186	0,725609756
ИТОГО	15 416	

Таблица 8. Доли населения для Юго-Запада. Повторяемость ветра 9%.

Расстояние, км	Население, чел	Доля населения
3-10	0	0
10-15	595	0,005690894
15-20	74 952	0,716880434
20-30	15 434	0,147618911
30-40	1 044	0,009985366
40-50	1 342	0,012835595
50-100	11 186	0,1069888
ИТОГО	104 553	

Таблица 9. Доли населения для Запада. Повторяемость ветра 15%.

Расстояние, км	Население, чел	Доля населения
3-10	0	0
10-15	250	0,0021519
15-20	75 574	0,650513
20-30	26 780	0,2305123
30-40	1 044	0,0089864
40-50	1 342	0,0115514
50-100	11 186	0,0962849
ИТОГО	116 176	

Таблица 10. Доли населения для Северо-Запада. Повторяемость ветра 8%.

Расстояние, км	Население, чел	Доля населения
3-10	0	0
10-15	0	0
15-20	1 071	0,0392811
20-30	12 622	0,4629378
30-40	1 044	0,0382908
40-50	1 342	0,0492206
50-100	11 186	0,4102696
ИТОГО	27 265	

Таблица 11. Суммарная эффективная доза внешнего и внутреннего облучения для конкретного румба, мЗв.

Расстояние от АЭС, км	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
3 и 10	0	0,0787	0,116	0,027	0,0157	0	0	0
10 и 15	0	0	0	0	0,0043	0,001	0,0006	0
15-20	0,0018	0,0008	0,0083	0,0069	0,0013	0,0671	0,1015	0,0033
20-30	0,0028	0,002	0,0039	0,0053	0,0042	0,0079	0,0206	0,0221
30-40	0,0018	0,0029	0,0043	0,0037	0,0022	0,0003	0,0004	0,001

Расстояние от АЭС, км	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
40-50	0,0015	0,0024	0,0035	0,0031	0,0018	0,0002	0,0004	0,0008
50-100 км	0,0064	0,0102	0,0151	0,0132	0,0076	0,001	0,0015	0,0034

Таблица 12. Суммарная эффективная доза внешнего и внутреннего облучения, с учетом розы ветров и в зависимости от расстояния, мЗв.

Расстояние от АЭС, км	Суммарная эффективная доза внешнего и внутреннего облучения, с учетом розы ветров, мЗв
3-10	0,2375
10-15	0,0059
15-20	0,1909
20-30	0,0688
30-40	0,0166
40-50	0,0136
50-100 км	0,0584

Анализ полученных оценок доз облучения **Нормы радиационной безопасности**

В [8] установлены нормы как для нормальной эксплуатации источников излучения (таблица 13), так и для начального периода радиационной аварии (таблица 14):

Таблица 13. Основные пределы доз для нормальной эксплуатации источника излучения

Нормируемые величины	Пределы доз. Население
Эффективная доза	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза за год в хрусталике глаза	15 мЗв
коже	50 мЗв
кистях и стопах	50 мЗв

Таблица 14. Прогнозируемые уровни облучения, при которых необходимо срочное вмешательство

Орган или ткань	Поглощенная доза в органе или ткани за 2 суток, Гр
Все тело	1
Легкие	6
Кожа	3
Щитовидная железа	5
Хрусталик глаза	2
Гонады	3
Плод	0,1

Сравнение полученных оценок доз облучения с установленными нормами

Оценки, полученные в главе «Расчет доз внешнего и внутреннего облучения» не превышают не только радиационные нормы при аварии, но и нормы при нормальной эксплуатации.

Заключение и выводы

1. Рассчитанная оценка доз не выходит за установленные в [8] радиационные нормы.
2. Полученную оценку можно использовать для разработки рекомендаций по снижению частот и ущерба аварий.
3. Рекомендуется проводить оценку доз при проектировании АЭС нового поколения.

Литература

1. *Швыряев, Ю.В.* Вероятностный анализ безопасности при проектировании и эксплуатации атомных станций с реакторами ВВЭР: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.14.03 / Швыряев Юрий Васильевич. - М., 2004. - 340 с.
2. *Об утверждении типового паспорта безопасности опасного объекта:* [приказ МЧС России № 506 от 4 ноября 2004 г.]. - М., 2004. - 1 с
3. *Паспорт безопасности критически важного (опасного) объекта Росатома:* [приказ МЧС России № 506 от 4 ноября 2004 г.]. - М., 2006. - 9 с.

4. *Берберова М.А.* Оценка показателей риска для вторых очередей смоленской и курской АЭС: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических работ: 05.14.03 / Берберова Мария Александровна. – М., 2015. – 130 с.
5. *Разработка перечня мероприятий по управлению безопасностью и оценка показателей риска для АЭС с реакторами типа ВВЭР (Ростовская АЭС с реактором ВВЭР - 1000) / Кабанов Л.П., Деревянкин А.А., Жуков И.В., Чулкова Е.В., Берберова М.А.* – М.: Международный Центр по Ядерной Безопасности, 2010. – 132 с.
6. *О промышленной безопасности опасных производственных объектов:* [Федеральный закон № 116-ФЗ от 21.07.97 (ред. от 04.03.2013): принят Государственной Думой Российской Федерации 20 июня 1997 года]. - М., 1997. - 22 с.
7. *О техническом регулировании:* [Федеральный закон № 184-ФЗ от 27.12.02: принят Государственной Думой Российской Федерации 15 декабря 2002 года]. - М., 2002. - 84 с.
8. *Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009):* [санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09: утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ № 47 от 07.07.2009]. - М., 2009. - 75 с.