

Возможности широкого мирного использования атомной энергии при обеспечении радиационной безопасности населения

Ю. А. ИЗРАЭЛЬ, Е. Н. ТЕВЕРОВСКИЙ

(Главное управление гидрометеорологической службы СССР)

В настоящее время ядерная энергетика базируется на АЭС, использующих деление U^{235} тепловыми нейтронами [1]. Будущее ее развитие связано с реакторами на быстрых нейтронах, использующими U^{238} . Ожидается, что общее потребление энергии к 2000 г. составит $2,1 \cdot 10^{10}$ т условного топлива. Мощность электростанций возрастет до $1,1 \cdot 10^7$ Вт, а доля АЭС повысится до 50% ($4,3-5,5 \cdot 10^6$ Мвт) [2, 3]. Электрический к. п. д. АЭС, достигающий 25—30%, повысится до 42—45% [2]. Кроме того, в ближайшие годы следует ожидать развития новых видов использования атомной энергии в промышленности и строительстве.

Чрезвычайно важно, чтобы развитие ядерной энергетики не привело к вредным или опасным последствиям за счет возможного выделения некоторого количества радиоактивных веществ во внешнюю среду. Этот фактор может оказать существенное влияние (а может быть, и решающее) на развитие ядерной энергетики. Хотя ни одна отрасль промышленности не имеет таких средств защиты против возможного загрязнения внешней среды, как ядерная энергетика [3], вопросам ее влияния на внешнюю среду уделяется все большее внимание [3, 4]. Применяются все более эффективные меры защиты, проводятся оценки доз от возможных выбросов в непосредственной близости от АЭС, сравнивается вред от выбросов АЭС и предприятий, работающих на обычном топливе. При этом учитывается естественная радиоактивность в выбросе от таких предприятий [3]. В некоторых случаях доза от естественной радиоактивности при работе на обычном топливе может даже превышать дозу от радиоактивных продуктов, выбрасываемых АЭС [5].

Однако для оценки перспективы развития ядерной энергетики нужны оценки глобального масштаба, т. е. оценки для обширных зон, охватывающих страны и материк. Необходимо иметь прогноз глобальной радиационной обстановки с учетом всех вероятных выбросов при осуществлении возможных программ развития. Необходимо определить абсолютные количества радиоактивных продуктов в природной среде, дозы от этих продуктов и сравнить возможные последствия загрязнения с последствиями

загрязнения природных сред нерадиоактивными вредными веществами.

Вредность при использовании обычного топлива связана главным образом с выбросом вредных веществ, образующихся при сгорании топлива в атмосферу. При работе электростанций и двигателей, использующих уголь, мазут и другие продукты переработки нефти, — это в основном сернистый ангидрид и зола, углеводороды, окислы азота, окислы свинца и т. п.

В последнее время во всем мире энергетическими установками выбрасывалось ежегодно 200—250 млн. т золы топлива в различной пыли и около 60 млн. т сернистого ангидрида. Содержание токсичных веществ в воздухе ряда больших городов значительно превышает допустимые значения [6].

В настоящее время выброс сернистого ангидрида при сжигании угля составляет 160—2040 г на 1 т сожженного топлива. Количество золы (с учетом золоулавливания) может превышать указанные величины в несколько раз [6]. По данным работы [6], приближенная формула для определения количества сернистого газа a , выбрасываемого электростанциями в атмосферу при сжигании мазута, имеет вид

$$a \sim 0,09\rho\alpha, \quad (1)$$

где a выражено в т/сутки; ρ — мощность станции, Мвт; α — содержание серы в мазуте, %.

Если принять среднее значение $\alpha = 2,5\%$, то в настоящее время ежегодный выброс сернистого ангидрида тепловыми электростанциями (в предположении одинакового выброса на единицу мощности при работе на жидком и твердом топливе при общей мощности $\sim 10^6$ Мвт) определяется равным примерно 80 млн. т, а в 2000 г. он составит около 450 млн. т SO_2 и около 1,5 млрд. т золы (при мощности $5,5 \times 10^6$ Мвт [2]). Конечно, это количество может несколько снизиться за счет применения высокоэффективных, но дорогостоящих средств очистки.

При работе АЭС радиоактивные продукты деления постепенно накапливаются в активной зоне реактора. Конструкция современных станций при их нормальной работе [4] практически исключает попадание таких продуктов в окружающую среду (проблема радиоактивных отходов в данном докладе не обсуждается). При этом в атмо-

сферу может попадать лишь незначительное количество газообразных изотопов наведенной активности — Ar^{41} , C^{14} и H^3 . Так, по данным работы [5], на некоторых атомных реакторах в США выбрасывается до 650 *кюри/сутки* Ar^{41} .

Однако, по данным работы [7], доза облучения даже в зоне АЭС не превышает 1% допустимой. Тритий образуется в реакторах в результате деления и нейтронного захвата ядрами дейтерия и Li^6 (примерно в равных количествах), в атмосферу попадает до 10—30 *кюри/Мвт·год* [8].

Необходимо отметить, что при растворении отработанных твэлов на радиохимическом производстве выход Kr^{85} (единственного долгоживущего инертного газа) в атмосферу, по-видимому, неизбежен. В этом случае в расчетах следует учитывать, что при полном делении 1 т U^{235} (примерно на 800 *Мвт·год* произведенной электроэнергии на АЭС) образуется 4,2·10⁵ *кюри* Kr^{85} .

При аварийной ситуации на АЭС возможен выброс в атмосферу изотопов иода и других относительно летучих изотопов. Наибольший выброс за всю историю реакторостроения (не менее 10³ реактор·лет [3]) имел место при аварии в Уиндскейле, сопровождавшейся пожаром активной зоны: 2·10⁴ *кюри* I^{131} ; 1,2·10⁴ *кюри* Te^{132} ; 6·10² *кюри* Cs^{137} ; 80 *кюри* Sr^{89} ; 2 *кюри* Sr^{90} [9]. По оценкам, приведенным в работе [10], частота аварий на реакторах составляет менее 10⁻² на один реактор·год. Вероятность больших выбросов I^{131} чрезвычайно мала. В работе [11] предполагается, что крупная авария (с выбросом нескольких тысяч *кюри* I^{131}) может произойти один раз за тысячу лет работы реактора. Кривая, оценивающая возможность выделения другого количества I^{131} (зависимость количества выброса I^{131} от количества лет работы реактора) описывается законом $t^{0,6}$. Величина опасности числа случаев рака щитовидной железы для районов с высокой плотностью населения (до 5000 человек/км²) максимальна при выделении 10³ *кюри* I^{131} и составляет три случая [12].

Для оценки глобальной радиационной обстановки за счет развития ядерной энергетики будем исходить из следующих предположений: 1) к 2000 г. будет введено в действие около 5·10³ реакторов со средней мощностью 10³ *Мвт* каждый; 2) распределение реакторов по территории суши более или менее равномерно; 3) число значительных аварий с выходом около 10³ *кюри* I^{131} равно примерно пяти (одна авария на 10³ реактор·год) или меньших аварий

с выходом 10² *кюри* I^{131} — около 30 в год. Таким образом, в атмосферу будет выбрасываться в год в зависимости от времени работы реактора до 5·10³ *кюри* I^{131} , 30—140 *кюри* Cs^{137} , 4—7 *кюри* Sr^{89} , 0,1—1,0 *кюри* Sr^{90} [8]. Указанные выше изотопы будут в течение нескольких дней осаждаться на поверхность всей суши (с учетом скорости эффективного осаждения равной 0,1—1 *см/сек*), не успев распространиться по всему земному шару. При расчетах можно полагать также, что все эти изотопы осадят либо на площади всей суши, либо в зоне аварии реакторов (около 10⁷ км² без учета возможного перекрытия).

Наиболее опасным изотопом при аварии (за счет ингаляционного поступления и поступления с молоком) является I^{131} , остальные изотопы представляют опасность главным образом за счет внешнего облучения (Cs^{137}) или при попадании в организм с водой и пищей (Sr^{89} , Sr^{90}). Согласно нашим расчетам и данным работы [8], загрязнения земной поверхности, приводящие к предельной дозе облучения для населения (за год), составляют для Cs^{137} 1,0—2,0 *кюри/км²*, Sr^{90} 0,06—0,6 *кюри/км²*, а для I^{131} 50 *микюри/км²* (для детей).

При растворении твэлов в атмосферу может поступать около 3·10⁹ *кюри* Kr^{85} в год (по уровню работ АЭС к 2000 г.). Долгоживущие изотопы трития и Kr^{85} будут равномерно перемешиваться в нижнем слое атмосферы всего Земного шара. Доза от трития значительно ниже, чем от Kr^{85} , и составит к 2000 г. для всего населения в среднем 10⁻³ *мр/год* [13].

Осредненные по площади локального воздействия (10⁷ км²) данные для различных изотопов (наиболее опасных) приведены в таблице.

При расчетах радиоактивных изотопов, для которых критической является концентрация в воздухе, мы предполагали их распространение (перемешивание) в нижнем 200-метровом слое атмосферы, для Kr^{85} и H^3 — в 500-метровом слое перемешивания (ввиду длительности пребывания их в атмосфере). При расчетах загрязнения обычными токсичными веществами предполагали их равномерное размешивание также в 200-метровом нижнем слое атмосферы. Приняв для SO_2 время жизни равное четырем суткам [15] и ожидаемое количество выброса его в атмосферу к 2000 г. 4,5·10⁸ *т/год*, нашли, что в воздухе над сушей в среднем будет иметь место постоянное десятикратное превышение среднесуточной предельно допустимой концентрации (ПДК), равной 0,05 *мг/м³*. Близкие цифры (по отношению к ПДК) получаются

Отношение расчетных концентраций q к предельно допустимым концентрациям при работе АЭС и электростанций на твердых или жидких топливах

q :ПДК	АЭС					Обычные электростанции	
	обычная работа		аварийная ситуация			SO ₂	летучая зола
	H3	Kr85	I131	Sr90	Cs137		
На земной поверхности В воздухе	5·10 ⁻⁶	3·10 ⁻³	7·10 ⁻⁴	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵	10	10
Максимальная величина для данного вида энергетики	3·10 ⁻³		~ 10 ⁻³			10	

Примечание. Величины q : ПДК получены для принятых величин высоты слоя перемешивания. При изменении высоты этого слоя эти значения изменяются, однако их отношения друг к другу (для обычных электростанций и АЭС) не меняются.

при расчете концентраций летучей золы и других токсичных веществ. Для радиоактивных веществ среднегодовая концентрация не превышает 10⁻³ от допустимой.

Данные, приведенные в таблице, показывают, что для вышеуказанной энерговыработки на обычных предприятиях для разбавления токсичных веществ до допустимого уровня требуется в 10³—10⁴ раз большее количество воздуха, чем при работе АЭС, причем это отношение уже не зависит от принятой высоты слоя перемешивания, в отличие от величин превышения допустимой концентрации. Хотя предельные уровни загрязнения радиоактивными и нерадиоактивными токсичными веществами базируются на несколько различных основах, следует иметь в виду, что выбросы токсичных веществ (как радиоактивных, так и нерадиоактивных) могут привести как к непосредственному вредному эффекту у части населения, так и к определенным генетическим эффектам [16].

Отметим также, что использование атомной энергии не требует расхода кислорода, необходимого для сжигания обычного топлива, и не ведет к непрерывному росту содержания углекислого газа в атмосферном воздухе.

Таким образом, можно сделать вывод, что развитие атомной энергетики обеспечивает сохранение достаточной чистоты внешней среды и, более того, замена энергии, вырабатываемой на обычном топливе, атомной энергией приведет к значительному уменьшению загрязнения внешней среды токсичными веществами и оздоровлению среды обитания.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Александров. «Атомная энергия», 25, 356 (1968).
2. С. И. Фейнберг. «Атомная энергия», 25, 363 (1968).
3. Nuclear Power and the Environment, IAEA Bulletin, 12, No. 5, 9 (1970).
4. А. М. Петросьянц. От научного поиска к атомной промышленности. М., Атомиздат, 1970.
5. J. Martin et al. Radioactivity from Fuel and Nuclear Power Plants. «Environment Aspects of Nuclear Power Stations», IAEA Symposium, New York, August, 1970.
6. Загрязнение приземного слоя атмосферы при температурных инверсиях. Под ред. А. И. Бурназяна, М., «Медицина», 1969.
7. H. Peterson et al. Environmental Tritium Contamination from Increasing Utilization of Nuclear Energy Sources. Environmental Contamination by Radioactive Materials, IAEA Seminar, Vienna, March, 1969.
8. А. М. Петросьянц. «Атомная энергия», 23, 1 (1967).
9. U.S. Reactor Containment Technology, 1, 1 (1969).
10. Ю. В. Сивинцев. Радиационная безопасность на ядерных реакторах. М., Атомиздат, 1967.
11. F. Farnet. In «Containment and Siting of Nuclear Power Plants». Proc. of Symposium, Vienna, IAEA, 1967.
12. I. Beattie. Ibid.
13. V. Bond. «Evaluation of Potential Hazards from Tritium Water». Environment Aspects of Nuclear Power Station, IAEA Symposium, New York, August, 1970.
14. Нормы радиационной безопасности (НРБ-69). М., Атомиздат, 1970; Основные нормы безопасности при защите от излучения МАГАТЭ, 1967.
15. Х. Юнге. Химический состав и радиоактивность атмосферы. Перев. с англ. М., «Мир», 1965.
16. Бергстрем, Хольхвист (Швеция). Третья женевская конференция (1964), доклад № 611.