

УДК 628.58

А. Г. Трифонов, д-р техн. наук (БГТУ); Ю. Е. Крюк, канд. биол. наук
(ОИЭЯИ – Сосны НАН Беларуси)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ РАБОТНИКОВ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ И ДРУГИХ РАДИАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

В статье проанализированы современные международные подходы к установлению пределов доз облучения персонала. Показано, что существующая сегодня мировая тенденция ужесточения допустимых дозовых пределов для работников связана не с насущной необходимостью снижения негативных последствий облучения, а с техническими, экономическими, социальными аспектами и возможностями каждой отдельной страны. Проведенный сравнительный анализ показал, что наименее облученной категорией персонала являются работники современных АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000.

The analysis of the modern international tendencies in radiation dose limits was done. It's shown that the new restriction of dose limits doesn't connect with negative consequences of radiation exposure and depends on technical, economical and social conditions. The workers dose exposure was researched for different types of NPP and non-nuclear industrial projects. Comparatives analysis has shown the radiation safety level for workers of modern NPP is high then for other professionals.

Введение. При современном уровне знаний деятельность человека, связанная с источниками ионизирующего излучения (ИИИ), является одной из наиболее перспективных в плане ее дальнейшего практического использования для удовлетворения потребностей населения. Роль ионизирующего излучения в качестве источника энергии будет только возрастать по мере истощения запасов органического топлива. Постоянно растущий спрос на энергию в этих условиях вынуждает многие страны пересматривать национальные энергостратегии и делать ставку на ядерную энергетику. Жесткие квоты на выброс парниковых газов в атмосферу, рост цены на традиционные энергоносители только укрепляют основу для возрождения атомной энергетики во всем мире. В настоящее время во многих странах разработаны и реализуются проекты строительства атомных электростанций. Наряду с Россией новые энергоблоки активно строятся в Китае, Индии, США, Канаде, Японии, Иране, Финляндии и других странах. О своих намерениях развивать атомную энергетику заявили еще ряд стран, таких как Польша, Вьетнам, Турция, Марокко. В том числе и Республика Беларусь находится на пороге строительства новой атомной электростанции, несмотря на то что почти 25 лет этот процесс был заморожен.

Атомная энергетика должна удовлетворять запросы общества, соответствовать конкретным показателям безопасности, т. е. действующие станции должны постоянно подтверждать достигнутые уровни безопасности, а будущие – их непрерывно совершенствовать. Соответствие доз облучения работников установленным требованиям и рекомендациям по безопасности в отношении защиты от профессионального облучения вне зависимости от сферы деятельности является важнейшим компонентом, свидетель-

ствующим о достигнутых уровнях радиационной безопасности. Анализ величин профессионального облучения работников АЭС в сравнении с дозами облучения работников других организаций, использующих ИИИ, дает возможность соотнести достигнутые величины в атомной энергетике с дозами облучения в неядерной сфере и оценить тем самым уровень безопасности современных АЭС.

Материалы и методы. Профессиональное облучение может происходить в результате различных видов человеческой деятельности. К этим видам относятся работы, связанные со стадиями ядерного топливного цикла, с использованием радионуклидных источников в медицине, научных исследованиях, сельском хозяйстве и промышленности, а также профессиональная деятельность, в которой применяются материалы, содержащие повышенные концентрации природных радионуклидов. Радиационный контроль этой деятельности основывается на оценке величин соответствующих доз облучения.

Фундаментальной физической величиной в радиационной защите является поглощенная доза [1], определяемая как средняя энергия, переданная ионизирующим излучением массе вещества

$$D = \frac{\partial \varepsilon}{\partial m}, \quad (1)$$

где D – поглощенная доза, Гр; $\partial \varepsilon$ – средняя энергия, переданная ионизирующим излучением веществу, находящемуся в элементарном объеме, Дж; ∂m – масса вещества в этом элементарном объеме, кг.

Поглощенная доза – измеримая величина, и для ее измерения существуют первичные эталоны. Однако распределение поглощенной дозы в организме человека может быть крайне

неравномерным и зависит от особенностей органа или ткани и самого вида излучения.

Для связи дозы излучения и вреда, который она может нанести организму человека, используют эквивалентную и эффективную дозы.

Эквивалентная доза является мерой дозы на ткань или орган, предназначенной для отражения количества наносимого вреда

$$H_t = \sum_r w_r D_{tr}, \quad (2)$$

где H_t – эквивалентная доза на орган или ткань t , Зв; w_r – весовой множитель излучения для излучения типа r ; D_{tr} – поглощенная доза от излучения типа r , усредненная по ткани или органу t , Гр.

Эффективная доза – это мера дозы, отражающая степень радиационного ущерба, который может быть получен от дозы

$$E = \sum_t w_t \sum_r w_r D_{tr}, \quad (3)$$

где E – эффективная доза, Зв; w_t – тканевый весовой множитель для ткани t .

Эффективная доза связана с величиной риска, установленной на основе изучения последствий облучения всего тела.

Величины эквивалентной и эффективной доз называют защитными [2] и используют для установления пределов дозы, обеспечивающих удержание выхода стохастических эффектов ниже приемлемых уровней, и предотвращения тканевых реакций. Определения этих величин основаны на средней поглощенной дозе в объеме данного органа или ткани (или в другом заданном отделе – мишени организма) при воздействии излучения определенного вида. Излучение задается своим видом и энергией и может быть падающим на поверхность тела снаружи – внешнее облучение, или быть испущенным радионуклидами, находящимися внутри организма – внутреннее облучение. Для оценки суммарного облучения с учетом всех путей внутреннего и внешнего облучения используют эффективную дозу. Определение эффективной дозы как меры вреда позволило применить ее в качестве инструмента защиты: существующие ограничения, дозовые пределы представлены в единицах эффективной дозы условного человека, непревышение которых гарантирует отсутствие детерминированных эффектов от воздействия ИИИ.

Пределы доз – верхняя граница приемлемости вредного воздействия ИИИ на человека [1].

В соответствии с рекомендациями Международной Комиссии по Радиологической защите (МКРЗ) и МАГАТЭ радиационную защиту необходимо оптимизировать таким образом,

чтобы получаемые на практике дозы облучения были ниже пределов на столько, насколько это будет оправдано с учетом экономических и социальных затрат на защиту [1, 2, 3].

Требованием оптимизации является и необходимость уменьшать число людей, подвергающихся облучению. Для соотнесения в процессе оптимизации получаемых индивидуальных доз и количества привлекаемого к работам персонала используют понятие коллективной эффективной дозы, представляющей собой произведение средней эффективной дозы в данной группе на число лиц в группе

$$S = \sum_i E_i N_i, \quad (4)$$

где S – коллективная эффективная доза, чел/Зв; E_i – средняя эффективная доза на группу i , Зв; N_i – число людей в группе i .

Использование в анализе рассмотренных дозовых величин и учет их соответствия принятым дозовым пределам дает возможность сравнивать достигнутые уровни радиационной безопасности в различных сферах использования ИИИ.

Анализ пределов доз облучения персонала. За исторически короткий промежуток времени, с начала открытия радиоактивности, допустимые уровни профессионального облучения были снижены более чем в 150 раз.

В первые годы процесс снижения шел очень быстро. В 1902 г., т. е. спустя 6 лет после открытия радиоактивности, безопасным считалось воздействие, соответствующее уровню ~100 мЗв/сут. В 1934 г. МКРЗ рекомендовала принять в качестве допустимой дозу в 2 мЗв/сут. Два года спустя это значение было снижено в два раза, т. е. в 100 раз ниже первоначального уровня. Рекомендованный годовой предел составил 300 мЗв/год.

Накопление радиобиологических данных, особенно по действию хронического облучения, привело к дальнейшему снижению дозовых пределов. В 1948 г. МКРЗ рекомендует снизить предельно допустимую дозу до 150 мЗв/год и уже в 1958 г. принимает решение об утверждении новых предельно допустимых уровней профессионального облучения в 50 мЗв/год, что позволяет учесть и вероятность возникновения генетических последствий. В СССР этот норматив был введен в 1960 г.

Введение дозового предела для персонала в 50 мЗв/год стало важным этапом на пути развития системы радиационной защиты. Многолетняя тенденция к снижению уровней профессионального облучения вывела систему радиационной защиты на этап, который призван исключить негативные последствия профессионального облучения. Указанный дозо-

вый предел действовал на протяжении 40 лет, вплоть до конца прошлого века.

В настоящее время основной дозовый предел для персонала составляет 20 мЗв/год в среднем за пять последовательных лет, но не более 50 мЗв в отдельно взятый год [4]. Этот предел рекомендован МКРЗ в 1990 г., однако в разных странах установление предела происходило в разное время. В нашей республике предел в 20 мЗв/год получил официальный статус с принятием норм радиационной безопасности НРБ-2000, в России и Украине – НРБ-99.

Дальнейшее снижение ограничений доз облучения работников было предпринято Европейской Комиссией и касалось рекомендаций по ограничению доз облучения персонала для вновь вводимых в эксплуатацию АЭС [5]. На сегодняшний день рекомендованные значения составляют 5 мЗв/год. В Российской Федерации, где существует разделение работников на две категории – А и Б, в новейшей редакции норм радиационной безопасности НРБ-2009 для категории А (лица, работающие с техногенными источниками излучения) устанавливается предел в 20 мЗв/год, для категории Б (лица, находящиеся по условиям работы в сфере воздействия источников) – 5 мЗв/год [6].

В США и Китае по-прежнему придерживаются норматива 50 мЗв/год, полагая, что его изменение не имеет под собой достаточно веских научных оснований и экономически нецелесообразно.

Таким образом, если в первые годы работы отрасли ужесточение нормативов было обусловлено насущной необходимостью снижения негативных последствий для здоровья персонала, то в настоящее время при снижении дозовых пределов в большей степени руководствуются иными обстоятельствами — техническими, экономическими, социальными аспектами и возможностями страны.

Анализ доз облучения персонала АЭС. Ни МАГАТЭ, ни другие международные организации не ведут точной статистики по количеству людей, занятых в атомной отрасли.

По существующим оценкам на 2007 г. на всех АЭС, действующих в мире, было занято в общей сложности 250 тыс. человек, а суммарное количество людей, связанных с атомной тематикой, составляло свыше 1 млн.

В связи с отсутствием сегодня в Беларуси атомной энергетики рассмотрим дозы облучения работников АЭС на примере соседних стран – России и Украины. Общее историческое прошлое с нашей страной и развитая атомная энергетика этих государств позволяют выявить тенденции в облучении персонала АЭС и сделать прогноз для условий нашей республики.

Согласно данным Росэнергоатома, в Российской Федерации в атомной отрасли работает около 350 тыс. человек [7]. Средние годовые индивидуальные дозы облучения персонала на разных АЭС варьируются от 0,07 мЗв/год до 5,20 мЗв/год и сопоставимы по величине с дозами облучения населения от природных источников (рис. 1). Средневзвешенное значение доз облучения персонала АЭС составляет 2,8 мЗв/год, а среднее мировое значение облучения населения составляет 2,4 мЗв/год.

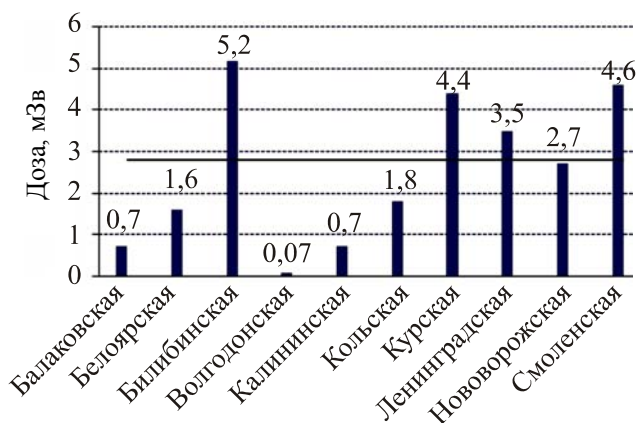


Рис. 1. Средние годовые индивидуальные дозы облучения персонала на АЭС России

При этом наиболее высокие значения доз облучения получают работники атомных станций с реакторами типа РВМК-1000, таких как Курская, Ленинградская, Смоленская, а также Билибинская (с водно-графитовыми гетерогенными реакторами канального типа).

Облучение работников станций с реакторами типа ВВЭР-1000 соответствуют значениям, допустимым для облучения населения.

Еще один важный показатель – коллективная доза на один работающий блок. Это общемировой показатель, по которому сравнивается работа атомных станций всех стран. В среднем по атомной энергетике России он равен 1,9 чел/Зв. Для сравнения: на АЭС Германии – 1,2 чел/Зв, на американских – 1,4 чел/Зв, на шведских – 0,5–0,6 чел/Зв.

Количество персонала на атомных электростанциях Украины составляет 48 598 человек [8]. Значения индивидуальных доз облучения работников Запорожской, Ровенской, Южно-Украинской и Хмельницкой АЭС в Украине не превышает 2 мЗв/год, что практически соответствует допустимому пределу для облучения населения (рис. 2).

Большинство этих станций с реакторами ВВЭР-1000, а Ровенская АЭС включает четыре блока с реакторами ВВЭР-440.

Следовательно, как в Российской Федерации, так и в Украине дозы облучения персонала соответствуют новейшим международным и европейским требованиям.

При этом наиболее высокие уровни безопасности работников достигнуты на АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000.

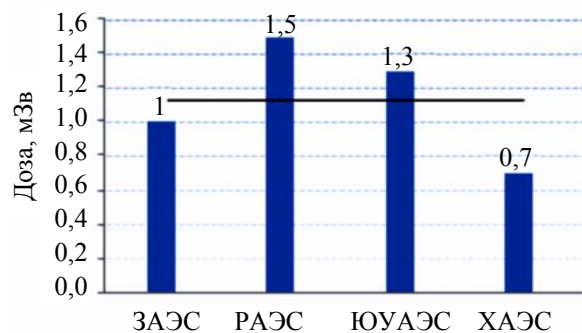


Рис. 2. Средние годовые индивидуальные дозы облучения персонала на АЭС Украины

Облучение персонала Беларуси. На сегодняшний день в нашей стране зарегистрировано 2048 человек, находящихся на индивидуальном дозиметрическом контроле. Из них 82% являются сотрудниками лечебно-профилактических организаций, остальные – работники различных отраслей промышленности и научно-исследовательских институтов. На рис. 3 по информации Регионального центра контроля и учета индивидуальных доз представлены среднегодовые дозы облучения на одного работника.

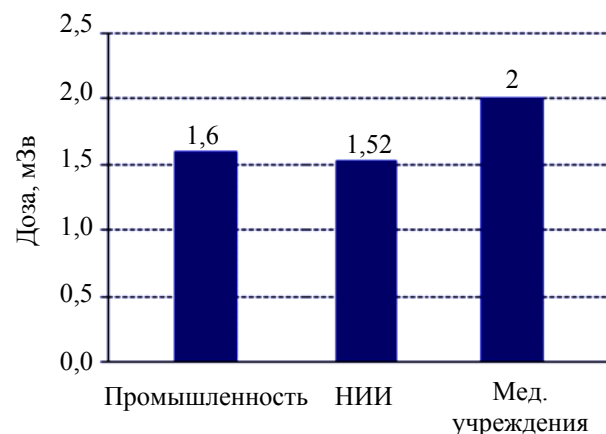


Рис. 3. Средние годовые индивидуальные дозы облучения персонала в Республике Беларусь

Средневзвешенное значение облучения персонала Беларуси равно 1,7 мЗв/год. Это значительно ниже существующего сегодня в нашей стране предела в 20 мЗв/год. Однако в сравнении с дозами облучения работников

АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000 эта цифра выше.

Заключение. В данной работе проведен сравнительный анализ доз облучения работников АЭС и других спецподразделений, который показал, что существующие мировые тенденции направлены на ужесточение пределов доз облучения для работников АЭС. При этом ужесточение связано не с насущной необходимостью снижения негативных последствий облучения, а с техническими, экономическими, социальными аспектами и возможностями каждой отдельной страны.

Достигнутый на АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000 уровень доз облучения работников в соседних государствах – России и Украине – свидетельствует о возможности реализации самых жестких требований к безопасности современных АЭС. Проанализировав существующую ситуацию профессионального облучения в Республике Беларусь, можно сделать вывод, что дозы, планируемые для персонала первой Белорусской АЭС, будут ниже, чем у работников других спецподразделений.

Литература

1. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection / Annals of the ICRP Publication; ed. J. Valentin [et al.]. – Oxford: Elsevier, 1991. – № 60. – P. 201.
2. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection / Annals of the ICRP Publication; ed. J. Valentin [et al.]. – Oxford: Elsevier, 2007. – № 103. – P. 332.
3. Оптимизация радиационной защиты при контроле облучения персонала / Серия докладов по безопасности МАГАТЭ; ed. R. T. Hogan [et al.]. – Вена: МАГАТЭ, 2003. – № 21. – P. 81.
4. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2000). – Минск, 2000. – С. 115.
5. Revision of European commission technical recommendations on individual monitoring of external radiation exposure // Radiation Protection Dosimetry. – 2009. – № 133 (3). – P. 127–129.
6. Нормы радиационной безопасности (НРБ-2009). – Москва, 2009. – С. 115.
7. Соловьев, В. Н. Ближайшие медицинские последствия радиационных инцидентов за полувековой период деятельности атомной отрасли / В. Н. Соловьев, Л. А. Ильин, А. А. Баранов // Бюл. по атомной энергии. – 2003. – № 9. – С. 50–52.
8. Бережная, Т. А. Безопасность АЭС: влияние на человека и окружающую среду / Т. А. Бережная // Энергоатом Украины. – 2009. – № 1 (27). – С. 30–32.

Поступила 31.03.2010