



KAZATOMPROM
NATIONAL ATOMIC COMPANY

ЖИЗНЕННЫЕ РИСКИ ПРИ РАБОТЕ НА АЭС

Астана
2014



обратная сторона
обложки

ЖИЗНЕННЫЕ РИСКИ ПРИ РАБОТЕ НА АЭС

В результате деятельности человека во внешней среде появились искусственные радионуклиды и источники излучения. В природную среду стали поступать в больших количествах естественные радионуклиды, извлекаемые из недр Земли вместе с углем, газом, нефтью, минеральными удобрениями, строительными материалами.

За последние несколько десятилетий человек создал несколько тысяч радионуклидов и начал использовать их в научных исследованиях, в технике, медицинских целях и др. Это приводит к увеличению дозы облучения, получаемой как отдельными людьми, так и населением в целом. Иногда облучение за счет источников, созданных человеком, оказывается в тысячи раз интенсивнее, чем от природных источников.

ПОНЯТИЕ РИСКА. ПРИЕМЛЕМЫЙ РИСК

Термин «*риск*» широко употребляется как в научных дисциплинах – технических, социальных, экономических, политических, так и в быту, и как понятие имеет особое значение, поскольку является мерой опасности. Наибольшую универсальность для практического использования имеет определение, в котором под риском понимают величину, включающую:

- вероятность возникновения опасного воздействия;
- неблагоприятный эффект, связанный с этим воздействием.

В отличие от разного рода добровольных рисков существуют так называемые вынужденные риски, обусловленные, в основном, воздействием различных отраслей промышленности: химической, металлургической, энергетической и многих других.

Каждый человек имеет свою собственную, основанную на индивидуальном жизненном опыте, систему оценки риска неблагоприятных последствий, связанных с его участием в различных сферах деятельности. Особенно наглядно это проявляется в тех сферах деятельности, в которых он принимает участие на добровольной основе.

Многие охотно идут на большой риск ради развлечений, полагая, что удовольствие, которое они получают, было бы менее полным

без привкуса опасности. Другие пренебрегают опасностью из альтруистических побуждений. В то время как свобода рисковать собственной жизнью и здоровьем является неотъемлемым элементом личной свободы, принуждение к такому риску других людей есть покушение на личную свободу.

И то и другое всегда находит свое отражение в общественном мнении, которое всегда более враждебно воспринимает вынужденный риск. Если люди чувствуют себя к тому же беспомощными перед лицом грозящей им опасности, не имея возможности ее контролировать, либо не располагая средствами защиты от нее, они проявляют еще меньше терпимости.

Кроме того, люди опасаются катастроф и катаклизмов, даже если они случаются очень редко, больше, чем мелких опасностей, как бы ни были они распространены. Отношение людей к той или иной опасности определяется тем, насколько хорошо она им знакома. С одной стороны, имеются опасности, о существовании которых люди часто и не подозревают, и которые поэтому, к сожалению, почти не привлекают к себе внимания. С другой стороны, то, что слишком хорошо известно, перестает вызывать страх.

Определенные психологические трудности возникают в отношении риска, связанного с совершенно новыми видами деятельности. Общество принимает, хотя и выражает в некоторых случаях озабоченность, риск, связанный с привычной деятельностью, но часто отвергает существенно меньшие уровни риска, возникающие в новых областях деятельности. Примером может служить не вполне адекватная реакция общественного мнения на развитие ядерной энергетики.

Как и другие виды техногенных рисков, радиационный риск, обусловленный деятельностью предприятий атомной промышленности и энергетики, характеризуется вероятностью возникновения у человека или его потомства какого-либо вредного эффекта, вызванного облучением. Принципиальная невозможность достижения абсолютной безопасности приводит к установлению уровней приемлемого риска, который соответствует условию равновесия между риском негативных последствий и пользой от конкретного вида деятельности.

Уровень риска, обеспечивающий максимум пользы за вычетом суммы потерь и затрат, можно условно назвать *приемлемым риском*.

В гигиенических нормативах, утвержденных Минздравом РК (ГН СЭТОРБ-2012), (п. 4) для доз $E < 200$ мЗв/год, которые считаются малыми дозами, приняты такие коэффициенты риска:

- для персонала – $r_{перс} = 5,6 \cdot 10^{-2} = 0,056 \text{ чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$;
- для населения – $r_{нас} = 7,3 \cdot 10^{-2} = 0,073 \text{ чел}^{-1} \cdot \text{Зв}^{-1}$.

Риск (или количество ожидаемых последствий облучения) R может быть рассчитан путем умножения эффективной дозы на принятое значение коэффициента риска.

Для персонала:

$$r_{перс} = 0,056 \text{ чел} \cdot \text{Зв}^{-1};$$

годовой предел дозы персонала составляет 20 мЗв.

Риск, которому подвергается персонал:

$$R_{перс} = 0,056 \text{ чел} \cdot \text{Зв}^{-1} \cdot 20 \text{ мЗв} \sim 1,1 \cdot 10^{-3} / \text{год}.$$

Для населения:

$$r_{нас} = 0,073 \text{ чел} \cdot \text{Зв}^{-1};$$

годовой предел дозы для населения составляет 1 мЗв.

Риск, которому подвергается население:

$$R_{нас} = 0,073 \text{ чел} \cdot \text{Зв}^{-1} \cdot 1 \text{ мЗв} \sim 7,3 \cdot 10^{-5} / \text{год}.$$

ГН СЭТОРБ-2012 (п. 5) накладывает ограничение на приращение пожизненного риска в условиях нормальной эксплуатации источников излучения, обусловленное облучением человека от техногенного облучения в течение года, поэтому, исходя из вышеприведенных расчетов, установлены следующие степени риска (округленно, в меньшую сторону):

- для облучения лиц из персонала – $1 \cdot 10^{-3}$ за год;
- для облучения населения – $5 \cdot 10^{-5}$ за год.

Эти цифры определяют границы приемлемых рисков для персонала и населения получить такое облучение, которое может привести к тяжелым последствиям.

Соответственно, величины, меньшие этих пределов, являются диапазоном приемлемого риска.

Для сравнения ниже (табл. 1) приведены данные по пожизненным рискам для жизни и здоровья среднего жителя РФ.

Таблица 1. Пожизненные риски людей (обобщенно)

Источник риска	Вероятность
Заболевание раком	$1,3 \cdot 10^{-3}$
Стихийные бедствия (наводнения, землетрясения, ураганы)	10^{-6}
Среда обитания (загрязнение окружающей среды, взрывы, пожары, отравления, ДТП и др.)	10^{-3}
Социальные проблемы (преступность, терроризм, военные действия, курение, алкоголизм, наркомания)	$10^{-4} - 10^{-2}$
Занятия экстремальными видами спорта	до 10^{-2}

Реальный масштаб «радиационной опасности» для населения России (аналогичных данных для Казахстана нет) наглядно виден в табл. 2, где сравниваются индивидуальные и популяционные риски от разных социальных и техногенных факторов.

Таблица 2. Индивидуальные и популяционные риски от социальных и техногенных факторов в России

Причины смерти	Находятся под риском, млн. чел	Индивидуальный риск	Популяционный риск (число умерших в год)
Все причины	69 (мужчин)	$1,5 \cdot 10^{-2}$ (среднее за 1996-1999 гг.)	1 060 000
Несчастные случаи	69 (мужчин)	$3,4 \cdot 10^{-3}$ (среднее за 1996-1999 гг.)	240 000
Сильное загрязнение воздушной среды вредными хим. веществами	70	$10^{-4} - 10^{-3}$	40 000 - 70 000
Гибель при пожаре	147	$1,4 \cdot 10^{-4}$	20 000
Проживание вблизи АЭС	0,5-1	$2 \cdot 10^{-8} - 2 \cdot 10^{-5}$	< 0,7

КАКОЙ УРОВЕНЬ РИСКА СЧИТАЕТСЯ МАЛЫМ?

Расчет пренебрежимо малого риска производится на основании того, что дозовая квота, т.е. ограничение воздействия АЭС на население за счет выбросов и сбросов составляет 20 мкЗв/год (нормативы обеспечения пренебрежимо малого риска).

При этих условиях риск составит:

$$R_{\text{нас}} = 0,073 \text{ чел} \cdot \text{Зв}^{-1} \cdot 20 \text{ мкЗв} \sim 1,4 \cdot 10^{-6}.$$

Поэтому округленная величина $1 \cdot 10^{-6}$ в большинстве стран считается уровнем *пренебрежимо малого риска*.

Пример: следующая деятельность, сопоставима с риском смерти 10^{-6} (данные МАГАТЭ)

- выкуривание 1,4 сигареты;
- 2 дня жизни в загрязненном городе;
- 6 мин путешествия в каное;
- 1,5 мин альпинизма;
- 480 км поездки в автомобиле;
- 1 600 км полета на самолете;
- 2 месяца жизни вместе с курильщиком;
- распитие 30 банок содовых напитков.

ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБЛУЧЕНИЕ

В промышленно развитых странах облучение персонала обычных промышленных предприятий дает вклад в годовую коллективную дозу дополнительно 0,5 чел·Зв на миллион жителей. Повидимому, облучению подвергаются многие тысячи рабочих, но об этом имеется мало сведений. Впрочем, число людей, получающих довольно высокие среднегодовые дозы (тех, например, кто участвует в производстве люминофоров с использованием радиоактивных материалов), сравнительно невелико.

В наибольшей степени здесь «отличается» нефтегазовый комплекс. Суть проблемы в том, что вместе с нефтью и газом из-под земли извлекаются природные радиоактивные вещества, например, радий. Эти изотопы оседают на внутренних поверхностях трубопроводов, насосов, емкостей и приводят к существенному повышению радиационного фона. Когда этой проблемой занялись вплотную,

выяснили, что дозы, получаемые сотрудниками нефтедобывающих предприятий, местами превышают предельные дозы для персонала АЭС, а миллионы тонн нефтешламов в соответствии с отечественными нормами должны рассматриваться как радиоактивные отходы.

Внизу, под землей, повышенные дозы получают шахтеры, добывающие каменный уголь, железную руду и т. д. Индивидуальные дозы сильно различаются, а при некоторых видах подземных работ (исключая работы в каменноугольных шахтах) эти дозы могут быть даже выше, чем в урановых рудниках.

В довольно примитивных условиях (например, непосредственно на строительных площадках) часто работают и установки промышленной дефектоскопии. Считается, что рабочие, обслуживающие эти установки, подвергаются наибольшему облучению, хотя доказать это не так просто. Во всяком случае, несомненно, что они могут получить избыточные дозы при работе на неисправных установках.

Очень высокие дозы – более 300 мЗв в год, что в 6 раз выше международного стандарта, принятого для работников атомной промышленности, – получает персонал курортов, где применяются радоновые ванны и куда люди едут, чтобы поправить свое здоровье.

Некоторые работники подвергаются воздействию более высоких доз *естественной* радиации. Самую большую группу таких работников составляют экипажи самолетов. Полеты совершаются на большой высоте, и это приводит к увеличению дозы из-за воздействия космических лучей. Примерно члены экипажей получают дополнительно 1-2 мЗв в год.

Самые большие дозы облучения, источником которого являются объекты атомной промышленности, получают люди, которые на них работают. Профессиональные дозы почти повсеместно являются самыми большими из всех видов доз.

Попытки оценить профессиональные дозы осложняются двумя обстоятельствами: значительным разнообразием условий работы и отсутствием необходимой информации. Дозы, которые получает персонал, обслуживающий ядерные реакторы, равно как и виды излучения, сильно варьируют, а дозиметрические приборы редко дают точную информацию о значениях доз; они предназначены лишь для контроля того, чтобы облучение персонала не превышало допустимого уровня.

Оценки показывают, что доза, которую получают рабочие урановых рудников и обогатительных фабрик, составляет в среднем 1 чел·Зв на каждый гигаваатт-год электроэнергии. Примерно 90% этой дозы приходится на долю рудников, причем персонал, работающий в шахтах, подвергается большему облучению. Коллективная эквивалентная доза от заводов, на которых получают ядерное топливо, также составляет 1 чел·Зв на гигаваатт-год (табл. 3).

На самом деле эти цифры представляют собой средние данные. Для ядерных реакторов индивидуальные различия еще больше. Например, проведенные измерения показывают, что для водо-водяных реакторов, с водой под давлением, коллективные дозы на гигаваатт-год вырабатываемой электроэнергии различались в сотни раз. Для новых электростанций, в целом, характерны меньшие дозы, чем для старых. Наиболее типичное значение среднегодовой коллективной эффективной эквивалентной дозы для реакторов составляет 10 чел·Зв на гигаваатт-год электроэнергии.

Таблица 3. Среднегодовые дозы получаемые персоналом, обслуживающим АЭС с реакторами PWR и BWR (чел·Гр), в 1977-1979 гг. в США

Технический персонал	97,5
Администрация	15,5
Операторы	13,5
Дозиметристы	10,5

Дозы, которые получают люди, занятые научно-исследовательской работой в области ядерной физики и энергетики, очень сильно различаются для разных предприятий и разных стран. Коллективная доза на единицу полученной электроэнергии для разных стран может различаться в 10 раз. В Японии и Швейцарии, например, она мала, а в Великобритании – относительно высока. Разумная оценка в среднем по всем странам составляет ~ 5 чел·Зв на гигаваатт-год.

Все эти величины добавляют к среднегодовой коллективной эквивалентной дозе меньше 30 чел·Зв на каждый Гвт-год электроэнергии, что за 1979 год дает 2000 чел·Зв.

Это составляет примерно 0,03% дозы, получаемой от естественных источников.

Оценка, распространяющая коллективную профессиональную дозу на все население, не отражает того факта, что люди, работающие на предприятиях атомной энергетики, получают по роду своей

деятельности большую дозу, чем от естественных источников. При этом самые высокие средние дозы – в шесть раз выше естественного фона – всегда получали рабочие подземных урановых рудников, но сейчас аналогичные дозы характерны и для рабочих других заводов. При разработках открытых месторождений, а также на АЭС с PWR, BWR и HWR персонал получает профессиональную среднюю дозу, вдвое большую, чем от естественных источников. И только персонал АЭС, в которых применяются реакторы с газовым охлаждением, и работники заводов по производству ядерного топлива получают дополнительные средние дозы, приблизительно равные дозам от естественных источников. Понятно, что средние оценки профессиональных доз не отражают большого разброса индивидуальных доз.

НОРМИРОВАНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА АЭС

Дозы облучения персонала на АЭС строго регламентируются государственными нормативными документами в области радиационной безопасности. В Республике Казахстан пределы для профессионального облучения установлены гигиеническими нормативами, утвержденными Минздравом РК (ГН СЭТОРБ-2012). На основе рекомендаций медиков,

ГН СЭТОРБ-2012 вводит так называемые «допустимые уровни» облучения. Как утверждают результаты медицинских исследований, долговременное облучение человека в пределах допустимых уровней не может принести вреда его здоровью. Превышение допустимых уровней законодательно запрещено при любых видах работ на АЭС и во всех областях деятельности людей, где возможно облучение.

Доза облучения персонала АЭС может несколько изменяться с изменением режима работы реактора. Например, она заметно возрастает при проведении ремонтных и профилактических работ. Однако и в этих случаях индивидуальные дозы персонала никогда не превышают безопасные допустимые значения. Также, доза облучения персонала зависит от типа реактора атомной станции. Так, например, на АЭС с реакторами ВВЭР, работающих по двухконтурной схеме, дозы облучения персонала в несколько раз меньше, чем на АЭС с одноконтурными реакторами РБМК.

ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА АЭС

За прошедшие 20 лет на атомных станциях РФ не было серьезных инцидентов, сопровождающихся радиационными последствиями. Так, например в 2007 году среднее значение индивидуальной дозы, полученной персоналом АЭС и подрядных организаций, не превысило 1,65 мЗв, что значительно меньше предела дозы 20 мЗв/год, установленного Федеральным законом РФ «О радиационной безопасности населения» для персонала атомных станций (см. рис 1.). Снижение уровня облучения персонала происходит благодаря выполнению на АЭС плановых организационных и технических мероприятий по улучшению состояния радиационной безопасности.

ПОДВЕРГАЮТ СЕБЯ БОЛЬШОМУ РИСКУ РАБОТНИКИ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ?

Говоря о профессиональном риске, необходимо выделить два периода существования атомной отрасли. Период становления был связан с массовым производством ядерного оружия. В то время специалисты еще не обладали глубокими знаниями о вредном воздействии радиации. В более поздний период атомная отрасль была переориентирована, главным образом, на выработку тепла и электроэнергии.

На протяжении последних десятилетий прилагались значительные усилия по повышению уровня безопасности ядерных объектов, в первую очередь, АЭС, совершенствовались способы обращения с источниками излучения и разрабатывались меры по снижению уровней облучения персонала. И, если раньше для работников первых радиохимических производств вероятность появления злокачественных образований была примерно в два раза выше, по сравнению со средним уровнем, то сейчас ситуация кардинально изменилась. По результатам проведенных многочисленных исследований уровень заболеваний среди людей, работающих с радиацией, даже ниже по сравнению с контрольной группой.

Для наглядности, приведем обзор данных по облучениям персонала российских АЭС (табл. 4).

Как видим, приведенные данные сопоставимы по величине с дозами облучения населения от природных источников (среднемировое значение ~ 2,4 мЗв/год).

Таблица 4. Средние годовые индивидуальные дозы облучения персонала и лиц, командированных на АЭС РФ, мЗв/год

АЭС	1991	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Балаковская	0,8	1,4	1,0	1,0	1,2	1,0	0,8	0,7	0,7	0,7
Белоярская	1,8	1,6	1,6	1,3	2,2	1,4	1,8	1,7	1,6	1,0
Билибинская	9,7	8,8	11,5	6,0	6,9	5,8	4,9	5,3	5,2	4,4
Волгодонская								0,02	0,07	0,10
Калининская	2,3	1,8	1,5	1,4	1,2	1,2	1,2	1,0	0,7	0,6
Кольская	4,0	3,0	3,2	1,8	2,0	3,2	2,0	2,1	1,8	1,9
Курская	16,0	11,0	9,8	7,9	6,2	6,9	5,9	4,3	4,4	3,6
Ленинградская	5,2	7,1	6,6	5,8	4,9	3,5	3,9	4,0	3,5	3,5
Нововоронежская	4,8	4,9	2,9	2,8	2,3	3,5	2,3	3,1	2,7	2,6
Смоленская	4,6	4,3	3,8	4,6	5,4	5,2	4,8	4,6	4,6	2,3

Средняя доза облучения работников российских АЭС в 2010 году составила 1,4 миллизиверта в год (средняя эффективная доза облучения в мире – 2,4 мЗв/год). Самый высокий уровень облучения получили работники Билибинской АЭС (3,35 мЗв/год).

Максимальные дозы, которые могут получить отдельные работники атомной станции из числа персонала, ограничиваются контрольными уровнями, устанавливаемыми администрацией атомной станции. Контрольные уровни обычно устанавливаются исходя из фактических значений доз, полученных за предыдущие периоды эксплуатации станции, с учетом достигнутого уровня радиационной безопасности. Контрольные уровни устанавливаются как для доз внешнего облучения, так и для величин поверхностного загрязнения радиоактивными веществами помещений, территории, спецодежды, которое обуславливает внешнее и внутреннее облучение. В условиях нормальной эксплуатации АЭС контрольные уровни облучения всегда ниже предельно допустимых уровней, установленных гигиеническими нормативами. Так, например, для АЭС РФ значения контрольных уровней для индивидуальных доз облучения персонала составляют 15-20 мЗв/год.

Любые случаи облучения работников АЭС выше контрольных уровней, а также загрязнения радиоактивными веществами помещений, территории и личной одежды выше значений контрольных

уровней являются серьезным происшествием и расследуются администрацией АЭС. По данным концерна «Росэнергоатом», только 2% персонала получают повышенную дозу радиации, превышающую средние значения.

Для сравнения на рис. 1 приведены данные о среднегодовых эффективных дозах, которые получает персонал на АЭС Германии, – стране, имеющей значительный опыт эксплуатации АЭС и известной своим приверженностью принципу поддержания высокого уровня культуры безопасности. Как видно из рисунка 1, значения эффективных доз как для собственного, так и для привлекаемого по контрактам персонала, в среднем по всем АЭС не превышают величины 1 мЗв/год.

Многочисленные экспериментальные данные, накопленные в ведущих научных центрах мира, свидетельствуют о том, что достоверно установленные отрицательные последствия облучения для организма обнаруживаются лишь при дозах, в десятки раз превышающих вышеуказанное значение уровня индивидуальной дозы. По мнению многих специалистов, действующие сегодня во многих странах мира, в том числе и в России, дозовые нормативы, основанные на «беспороговой концепции» воздействия излучения на организм человека, являются необоснованно консервативными.

И, тем не менее, на российских АЭС проводится целенаправленная работа по снижению доз облучения персонала. На рис. 1. показаны среднегодовые значения коллективных доз персонала АЭС РФ с 1996 по 2007 год.

Меры по снижению индивидуальных и коллективных доз персонала АЭС:

- Нормирование уровней облучения персонала, в соответствии с принятыми государственными нормативными документами;
- Зонирование помещений АЭС (зона свободного режима / радиационно-опасная зона, помещения постоянного пребывания персонала, периодически обслуживаемые /необслуживаемые помещения, разделение помещений по классам опасности выполняемых работ);
- Тщательная организация процедуры допуска персонала в условиях воздействия ионизирующих излучений, включающая обучение методам безопасной работы, проведение инструктажей

по общей и радиационной безопасности, регулярные проверки знаний, регулярные ежегодные медосмотры.

- Применение нарядно-допускной системы с ограничением времени радиационно-опасных работ по дозиметрическим показанием;
- Применение основных и дополнительных средств индивидуальной защиты от воздействия ионизирующих излучений, санитарных барьеров, защитных приспособлений и дистанционных устройств;
- Организация производственного радиационного контроля;
- Эффективное управление контрольными и административными уровнями облучения персонала и административное регулирование необходимости повышенного облучения, превышающего контрольные уровни;
- Оптимизация дозовых затрат в период планово-предупредительных ремонтов.

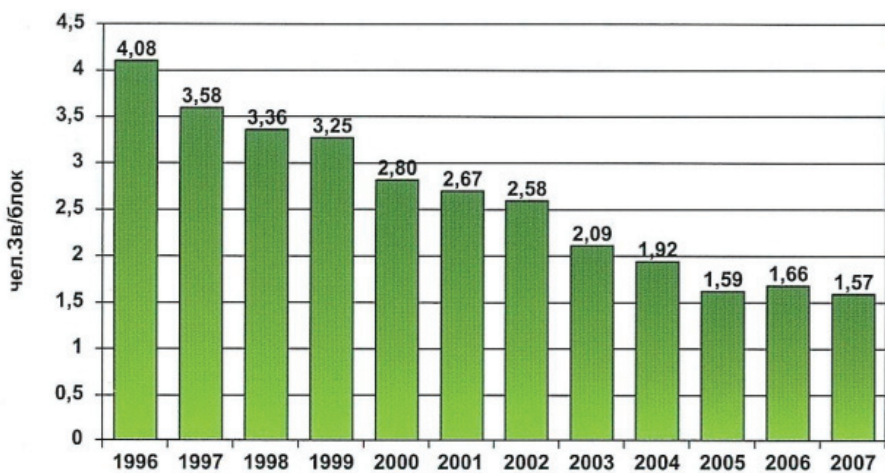


Рис. 1. Коллективная доза облучения персонала на АС РФ (ИБРАЭ)

Весь персонал АЭС проходит регулярные медицинские обследования, которые позволили установить весьма интересный факт: заболеваемость и смертность среди рабочих и инженеров ядерной отрасли, подвергающихся облучению, ощутимо меньше по сравнению с контрольной группой, в которую вошли люди из других сфер промышленности, не работающие с радиоактивными веществами.

Радиационная безопасность блоков АЭС-2006. Уровни доз облучения персонала

Проект АЭС-2006, по которому строятся новые российские атомные станции, базируется на критериях радиационной безопасности, содержащихся в нормативно-технической документации, действующей в РФ и международных рекомендациях EUR и МАГАТЭ. В этом проекте была выполнена оптимизация радиационной защиты, в соответствии с величиной прогнозируемой в проекте коллективной дозы облучения персонала при обслуживании реакторной установки, с учетом опыта эксплуатации реакторов ВВЭР. Предел коллективной дозы персонала, занятого на станции, в пересчете на 1 ГВт установленной мощности принят равным 5 чел·Зв/год. При проведении регламентных работ связанных с дозовыми затратами при осмотре, разборке, сборке оборудования и перегрузке топлива 0,5 чел·Зв/год. В связи с этим установлены следующие величины индивидуальных доз для персонала (группа А):

- эксплуатационный предел эффективной дозы – 5 мЗв/год;
- эксплуатационный предел средней эффективной дозы – 2 мЗв/год.

Опасны ли для здоровья дозовые нагрузки,
которые получает персонал АЭС?

Нет, не опасны. Современные нормы, принятые, в том числе, и в Республике Казахстан (ГН СЭТОРБ-2012), ограничивающие уровни облучения персонала АЭС – одни из самых жестких в мире. Так, Международное Агентство по Атомной Энергии (МАГАТЭ) признает безопасной для здоровья годовую дозу 50 мЗв. По казахстанским нормам предельная годовая доза для персонала группы А составляет 20 мЗв в среднем за любые последовательные пять лет – это эквивалентно, в первом приближении, 20 рентгеновским снимкам на устаревшем оборудовании. Облучение персонала контролируется с помощью современных индивидуальных дозиметров – специальных приборов, которые выдаются каждому сотруднику перед входом в «грязную» зону и выводят информацию на цифровое табло. Такие же дозиметры выдаются и экскурсионным группам, посещающим АЭС.

Необходимо также помнить, что на атомной станции достаточно большой штат сотрудников, много отделов, множество видов работ, в большей части которых исключены дозовые нагрузки. Например, персонал, работающий в административном корпусе, вообще не подвергается облучению. Самые большие дозы получают рабочие, которые выполняют ремонтные работы на радиоактивно загрязненном оборудовании – на них приходится более 70% коллективной дозы. Но и они получают меньше пороговой безопасной дозы 20 мЗв в год.



ДЛЯ ЗАМЕТОК

ДЛЯ ЗАМЕТОК



обратная сторона
обложки

Формат 148x210 мм
Гарнитура Arial, кегль 11
Тираж 2000.

Дизайн и верстка: Алиев С.А.

Отпечатано в типографии:
ТОО «Типография Форма Плюс», г. Караганда,
ул. Молокова, дом №106, корпус 2. КНП 710.