

ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

№ 1-2
2009

СЕРИЯ: АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Радияция и человек!

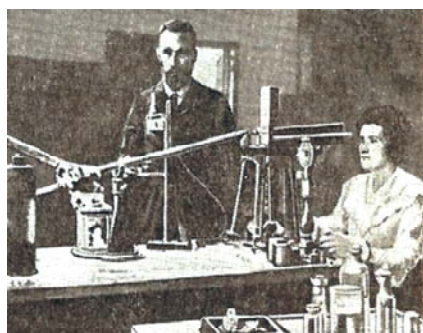
В современном мире вопросу влияния радиации на человека придается не меньшее значение, чем вопросам наркомании, алкоголизма и СПИДа, и о действии радиации на человека в литературе имеется много противоречивых данных. Особенно много споров в настоящее время ведется по вопросам, связанным с развитием атомной энергетики – благо это или зло для человечества.

Знание — лучшее противоядие от страха и подозрений. Чем больше люди знают о радиации, о той пользе, которую она дает, и об опасности, которую она влечет за собой, тем это лучше для психо-физического и морального состояния каждого отдельного человека. Поэтому важным является осознание того, что радиация – один из многих естественных факторов окружающей среды.

Действительно, и радиоактивность, и сопутствующие ей ионизирующие излучения существовали на Земле задолго до зарождения на ней жизни и присутствовали в космосе до возникновения самой Земли. С самого начала жизнь во всех ее проявлениях развивалась на Земле на фоне постоянно существующей радиации, и человек рождался и жил в условиях естественного радиоактивного излучения, даже не подозревая об этом.



Только в конце 1896 года французский физик Анри Беккерель обнаружил, что уран с постоянной интенсивностью испускает проникающее излучение. Так было



открыто явление радиоактивности. Вскоре была выявлена радиоактивность еще одного тяжелого элемента – тория. В 1898 году французские ученые Пьер и Мария Кюри открыли 2 новых химических элемента конца таблицы Менделеева — радий и полоний со значительно более интенсивным излучением, чем уран и торий. Несколько раньше немецким физиком Вильгельмом Рентгеном были открыты рентгеновские лучи. При дальнейшем изучении было установлено, что ядра тяжелых

элементов ряда урана и тория подвержены радиоактивному распаду. При каждом акте радиоактивного распада высвобождается энергия, которая и передается в виде излучения. Поэтому в научной литературе вместо слова радиация используется более конкретный термин — «ионизирующее излучение», поскольку именно оно способно разрывать химические связи молекул, составляющие живые организмы, и тем самым вызывать биологически важные изменения.

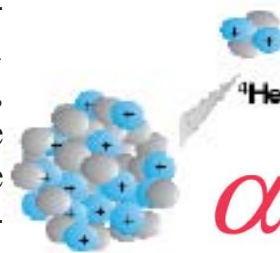
После открытия явления радиоактивности прошло уже более 100 лет, и не осталось областей народного хозяйства, где не применялись бы источники ионизирующих излучений (ИИИ). В промышленности и медицине, оборонном комплексе и транспорте, науке и сельском хозяйстве используются ядерные энергетические установки, мощные и малые, стационарные и передвижные гамма-установки, аппараты лучевой терапии, дефектоскопы, различные измерители и сигнализаторы, электрокардиостимуляторы и пр.; человек научился использовать энергию, заключенную в ядре для получения электрической и тепловой энергии.



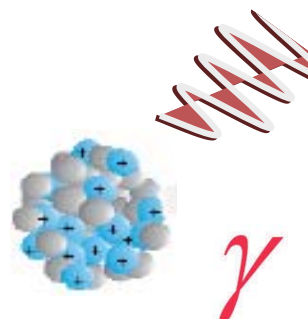
В процессе освоения энергии ядра человек убедился, что она может оказывать и отрицательное воздействие на его здоровье и среду его обитания. Беккерель один из первых столкнулся с воздействием радиоактивного излучения на ткани живого организма. Он положил пробирку с радием в карман и получил в результате ожог кожи. Это был первый факт, который доказал, что действие радиоактивного излучения может представлять опасность для человека.

Так что же такое это излучение, исходящее из атома, и какое влияние оно может оказывать на человека?

Различают три вида радиоактивного излучения – α , β и γ . Можно сказать (хотя это и не совсем строго), что испускание ядром частицы, состоящей из двух протонов и двух нейтронов, — это альфа-излучение. α -частица в действительности представляет собой ядро гелия, она задерживается, например, листом бумаги и практически не способна проникнуть через наружный слой кожи. Поэтому и не представляет опасности до тех пор, пока не попадет внутрь организма через открытую рану, с пищей или с вдыханием воздуха. В этом случае она становится очень опасной.



β -лучи представляют собой поток электронов — мельчайших отрицательно заряженных частиц. Они могут проходить сквозь руку человека, но если они не будут иметь очень высокую энергию, их может задержать барьер средней толщины. Часто нестабильный нуклид оказывается настолько возбужденным, что испускание частицы не приводит к полному снятию возбуждения. В этом случае он выбрасывает порцию энергии, называемую гамма-излучением, причем γ -лучи формируют часть электромагнитного спектра и имеют ту же природу, что и тепло или свет. Они способны проникать глубоко в вещество или проходить сквозь толстые барьеры.



Ионизирующее излучение, действуя на живой организм, вызывает в нем цепочку обратимых и необратимых изменений, которые приводят к тем или иным биологическим последствиям. Первичным этапом, инициирующим многообразные процессы, происходящие в биологическом объекте, является ионизация. В процессе ионизации происходит разрушение молекул вещества, образуются «свободные радикалы» и сильные окислители с высокой химической активностью.

Получающиеся в процессе радиолиза воды (в биологической ткани 60—70% по массе составляет вода) свободные радикалы и окислители, обладая высокой химической активностью, вступают в химические реакции с молекулами белка и других структурных элементов биологической ткани, что приводит к изменению биохимических процессов в организме. В результате нарушаются обменные процессы, замедляется и прекращается рост тканей, возникают новые химические соединения, не свойственные организму. Это приводит к нарушению жизнедеятельности организма в целом.

Специфика действия ионизирующего излучения на биологические объекты заключается в том, что производимый им эффект обусловлен не столько количеством поглощенной энергии в облучаемом объекте, сколько той формой, в которой эта энергия передается (индуцированные свободными радикалами химические реакции вовлекают в этот процесс многие сотни и тысячи молекул, не затронутых излучением).

Никакой другой вид энергии (тепловой, электрической и др.), поглощенной биологическим объектом в том же количестве, не приводит к таким изменениям, какие вызывает ионизирующее излучение.

Биохимические изменения могут произойти как через несколько секунд, так и через десятилетия после облучения и явиться причиной немедленной гибели клеток или таких изменений в них, которые могут привести к онкологическим заболеваниям.

Эффекты воздействия ионизирующего излучения на живой организм разделяют на две категории: соматические, которые возникают в организме человека, непосредственно подвергшегося облучению, и генетические, проявляющиеся у его потомков.

Тяжесть поражения организма, вызванного дозой радиации, зависит от того, получает ли ее организм сразу, или в несколько приемов. Большинство органов успевает в той или иной степени залечить радиационные повреждения, поэтому они лучше переносят серию мелких доз, нежели ту же суммарную дозу облучения, полученную за один прием.

Необходимо отметить, что органы и ткани человека имеют разную чувствительность к воздействию радиоактивного излучения. Наиболее уязвимы красный костный мозг, гонады, легкие. Менее восприимчивы печень, щитовидная железа, мышцы и другие внутренние органы. Например, при одинаковой дозе облучения возникновение заболевания легких более вероятно, чем щитовидной железы, а облучение гонад опасно из-за возможности генетических повреждений. Поэтому дозы облучения органов и тканей также следует учитывать с разными коэффициентами, так называемыми коэффициентами радиационного риска для различных органов и тканей. Умножив эквивалентные дозы на соответствующие коэффициенты и просуммировав их по всем органам и тканям, получим эффективную эквивалентную дозу, отражающую суммарный эффект облучения для организма; она измеряется в зивертах или бэрах ($1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ зиверта}$).

Необходимо отметить, что человек подвергается облучению двумя способами. Если радиация действует снаружи - это внешнее облучение, если же радиоактивные вещества, находящиеся в воздухе, пище, воде, попадают внутрь организма - это внутреннее облучение. Радиоактивные вещества способны поступать в организм:

- 1) через легкие при дыхании,
- 2) вместе с пищей,

3) через повреждения и разрезы на коже,



4) путем абсорбции через здоровую кожу.

Из всех путей поступления радионуклидов в организм наиболее опасно вдыхание загрязненного воздуха.

Степень радиационной опасности радионуклидов при внутреннем облучении человека определяет ряд параметров:

1) путь поступления радиоактивного вещества в организм (через органы дыхания, желудочно-кишечный тракт или непосредственно в кровь через повреждения кожи);

2) распределение радиоактивного вещества в организме;

3) продолжительность поступления радиоактивного вещества в тело

человека;

4) время пребывания излучателя в организме (определяемое периодом радиоактивного полураспада и периодом биологического полувыведения);

5) энергия, излучаемая радионуклидами в единицу времени (определяется произведением числа актов распада в единицу времени на среднюю энергию одного акта распада);

6) масса облучаемой ткани (зависит от проникающей способности излучения и локализации радиоактивного вещества в организме);

7) отношение массы облучаемой ткани к массе всего тела;

8) количество радионуклидов в органе, т. е. количество распада в единицу времени и вид излучения и др.

В настоящее время среди ученых нет единой точки зрения по вопросу о биологических последствиях малых доз облучения. Некоторые считают, что зависимость доза — эффект имеет линейный вид, другие полагают, что вредные эффекты облучения выявляются, начиная с какого-то определенного порога. Третьи полагают, что небольшие дозы даже полезны. По-видимому, существуют как положительные, так и отрицательные радиационные эффекты малых доз. Науке еще только предстоит выяснить, какие — полезные или вредные для человека — эффекты будут преобладать в каждой конкретной ситуации и определить границу доз, за которой отрицательные эффекты доминируют.

Необходимо подчеркнуть, что для основной массы населения самыми большими (в процентном отношении) источниками радиации являются вовсе не техногенные. Наибольшую дозу в течение своей жизни человек получает от естественных источников радиации.

Для справки: По данным ООН, вклад различных источников ионизирующего излучения в среднюю годовую эффективную эквивалентную дозу облучения среднестатистического человека выглядит следующим образом: *естественные источники — 2 мЗв (или 82,61%), техногенные — 0,421 мЗв (17,39%); в сумме 2,421 мЗв.*

При этом естественное (природное) облучение складывается из «земного» и «космического». *На долю «земного» приходится 1,675 мЗв (69,186%), в том числе*

на долю внутреннего облучения - 1,325 мЗв (54,729%), на долю внешнего - 0,35 мЗв (14,457%). А на долю космического - 0,315 мЗв (13,011%). Все % даны от общей суммы 2,421 мЗв.

Земные источники – это в первую очередь калий-40 и члены двух радиоактивных семейств — урана-238 и тория-232, среди которых наиболее значим природный радиоактивный газ радон (его вклад равен 2/3), присутствующий в воде, природном газе, горных породах (прежде всего в гранитах), различных строительных материалах.

Уровень земной радиации неодинаков для разных мест и зависит от концентрации радионуклидов в том или ином участке земной коры или высоты местности над уровнем моря. На Земле существуют районы, где естественный уровень радиации в десятки раз превышает среднестатистический (например, Индия, Китай, высокогорные области). За многие годы наблюдений за жителями этих районов медики не смогли выявить каких-либо отклонений от среднемировых показателей ни по раковым заболеваниям, ни по генетическим отклонениям.

Проведенное в 1988 г. широкомасштабное эпидемиологическое обследование населения в районах с повышенной радиоактивностью почв (доза облучения населения при этом в 10 – 100 раз выше среднемировой дозы для районов с нормальным радиационным фоном) не выявило достоверных сдвигов в структуре заболеваемости и смертности населения.

В XX столетии человечество дополнительно к естественному радиационному фону приобрело новые источники облучения: медицину, атомное оружие, производство энергии. Они увеличивают дозы облучения как отдельных людей, так и населения Земли в целом и относятся к техногенным видам излучения. Техногенное облучение среднестатистического человека, в основном, складывается из облучения при медицинских обследованиях и лечении (0,4 мЗв; 16,522%, причем следует иметь в виду, что средние дозы в медицинской диагностике в разных странах неодинаковы и могут различаться в 3 раза) и облучения от радиоактивных осадков (0,02 мЗв; 0,826%). Одной из важных областей использования источников ионизирующих излучений является атомная энергетика. От источников ионизирующего излучения, связанных с атомной энергетикой, среднестатистический человек получает (0,001 мЗв; 0,041%).

Необходимо подчеркнуть, что наибольшие резервы уменьшения радиационного облучения населения заключены в некоторых «бесспорных» формах повседневной деятельности человека:

- использование воздушного транспорта, в особенности же постоянное пребывание в хорошо герметизированных помещениях, могут привести к значительному увеличению уровня облучения за счет естественной радиации;
- цветной телевизор стал членом почти каждой семьи, число телезрителей исчисляется многими миллионами. А между тем телевизор тоже является источником ионизирующего излучения, правда, довольно слабого. Тем не менее, трехчасовое «дежурство» в день у телевизора приводит к облучению дозой около 0,01 мЗв в год;
- использование фосфатов для производства удобрений и в качестве кормовых добавок, термальные водоемы могут привести также к увеличению радиационного облучения.

В приборостроении и в часовой промышленности часто применяются люминофоры. Светящиеся радиолюминесцентные циферблаты приборов и часов имеют известные достоинства, но для их изготовления применяются радиоактивные материалы. Коллективная эффективная доза населения, полученная от радиолюминесцентных циферблатов часов и приборов, близка к той, которую получают работники атомной промышленности или экипажи авиалайнеров.

В последнее время производственные помещения стали оснащаться противопожарной сигнализацией. В детекторах дыма системы сигнализации используются альфа-излучатели. При правильном хранении и эксплуатации детекторы не представляют радиационной опасности. Но при безграмотном и безалаберном использовании они могут причинить вред здоровью, вред может также нанести и неправильная утилизация люминесцентных ламп.

Непривычно воспринимать как источники радиационного воздействия угольные электростанции на органическом топливе. А дело в том, что каменные угли содержат естественные радиоактивные элементы, такие как калий-40, уран-238 и торий-232 в относительно небольших количествах, но из-за больших масс, сжигаемых в топках электростанций и в печах отопления, его вклад в облучение населения достаточно весом. Радионуклиды из сгоревшего в топке котла угля поступают во внешнюю среду или через трубу вместе с дымовыми газами или с золой и шлаками через систему золоудаления. Годовая доза в районе вокруг ТЭС на угле составляет 0,005—0,05 мЗв/год. Выяснилось, что печи домашнего отопления производят даже большее загрязнение радионуклидами, чем ТЭС, так как в них нет улавливания золы на выходе из труб, а невысокие трубы создают в жилых районах высокие концентрации угольной пыли. До недавнего времени на это обстоятельство не обращали внимания, но по оценкам, из-за сжигания угля в домашних условиях во всем мире ожидаемая коллективная эффективная эквивалентная доза облучения населения Земли почти в 50 раз больше, чем сжигания угля в топках электростанций.

Дозы от предприятий ядерного топливного цикла в 1990 г. с учетом выбросов от АЭС (в т.ч. аварийных) не превышали в среднем 0,001 мЗв/год. В отдельных районах Европы (северная, южная и центральная Европа) дополнительные дозы облучения, связанные с чернобыльскими выпадениями, достигали 1,0 - 1,2 мЗв/год (~50% естественного радиационного фона), в Юго-Западной Азии - 0,35 мЗв/год, в Западной Европе - до 0,15 мЗв/год. В большинстве районов северного полушария дополнительная доза за счет чернобыльских выпадений не превышала 0,03 мЗв/год (1,5% естественного радиационного фона).

Для сравнения приведем годовые дозы облучения производственного персонала в некоторых видах деятельности. Для экипажей авиатранспорта – 1 – 2 мЗв/год; для работников предприятий ядерного топливного цикла – не более 50 мЗв/год, для шахтеров (угольные и другие не урановые шахты) – 50 мЗв/год, для персонала курортов с радоновыми ваннами – более 300 мЗв/год.

Как это ни парадоксально, но величина коллективной эффективной эквивалентной дозы облучения от АЭС при нормальной эксплуатации в 5—10 раз ниже, чем от угольных электростанций. Приведенные цифры относятся к безаварийной работе реакторов современных АЭС. Но мы знаем, что предприятия ядерного топливного цикла были чудовищными источниками радиоактивного загрязнения и атмосферы, и водной среды, и почвы (аварии на объектах атомной промышленности и Чернобыльская АЭС).

Почти 40 лет атмосфера Земли очень сильно загрязнялась радиоактивными продуктами атомных и водородных бомб. С 1945 года по 1981 год в атмосфере было осуществлено более 400 взрывов ядерного оружия. «Передовиками» в этом ядерном безумии были СССР и США.

На территории ИАЭ им. И. В. Курчатова еще в 50-х годах был установлен контроль за выпадением радиоактивных осадков. Обычно их накопление от московских реакторов практически не отмечалось, но через несколько суток после проведения на восточном или северном полигоне очередного взрыва фиксировали большое количество радиоактивных осадков.

В радиоактивных осадках содержалось несколько сотен различных радионуклидов, однако большинство из них быстро распадались. Основной вклад в облучение давало и еще дает небольшое число долгоживущих радионуклидов, таких как цезий-137, стронций-90 и цирконий-95. Кроме того, при делении веществ, содержащихся в атомной бомбе, в момент взрыва происходит взаимодействие нейтронов с ядрами атомов воздуха, вследствие чего образуется радиоактивный изотоп водорода тритий с периодом полураспада 12,3 года и углерод-14 с периодом полураспада 5730 лет. Взрывы изменили равновесное содержание в атмосфере углерода-14 на 2,6%, а трития — почти в 100 раз. Наибольший вклад в ожидаемую эффективную эквивалентную дозу дает углерод-14, а также внешнее и внутреннее облучение радиоактивными продуктами деления. Обмен воздушными массами между северным и южным полушариями мал, поэтому выпадение радиоактивных осадков происходило в основном в том полушарии, где производились испытания. Среднее время пребывания продуктов взрыва в атмосфере от года до двух, и в течение нескольких лет на Земле происходило накопление радиоактивности. После прекращения испытаний в атмосфере радиационный фон стал снижаться. В настоящее время средняя мощность эффективной эквивалентной дозы, обусловленная продуктами взрывов, составляет величину около 0,01 мЗв/год.

Попавшие в организм радионуклиды распределяются или равномерно по всему телу (калий, цезий) или концентрируются в отдельных органах и тканях (стронций, радий — в костях, йод — в щитовидной железе).

Воздействие радионуклидов, единовременно поступивших внутрь организма, с течением времени уменьшается за счет радиоактивного распада и биологического выведения из организма естественным путем. Например, некоторые радионуклиды: йод-131, цезий-137 не накапливаются в организме, а сравнительно быстро выводятся из него.

К основным естественным и искусственным радионуклидам, ответственным за внутреннее облучение человека, относятся: калий-40, радий-226, полоний-210, радон-222, -220, йод-131, цезий-137, стронций-90. Их радиобиологические свойства приведены в таблице.

Таблица Радиобиологические свойства радионуклидов

Радиобиологические свойства			
Нуклид	Критический орган	Период полураспада	Эффективный период полувыведения
Естественные радионуклиды			
Калий-40	Всё тело	1,3 млрд. лет	58 суток
Уран-238	Всё тело	4,5 млрд. лет	235 лет
Радий-226	Всё тело	1620 лет	22 года
	Костные ткани		44 года
Полоний-210	Всё тело	138 суток	25 суток
	Костные ткани		20 суток
Радон-220	Лёгкие	55 сек	
-222		3,8 суток	
Искусственные радионуклиды			
Йод-131	Всё тело	8 суток	
	Щитовидная железа		7,6 суток
Цезий-137	Всё тело	30 лет	70 суток
Стронций-90	Костные ткани	29 лет	18 лет

Для оценки в мировом масштабе доз облучения, их эффекта и связанного с ним риска Генеральной Ассамблеей ООН в 1955 году был создан Научный Комитет по действию атомной радиации (НКДАР). Он объединяет крупных ученых из 20 стран и является одним из наиболее авторитетных учреждений такого рода в мире. Эта организация не устанавливает норм радиационной безопасности и даже не дает рекомендаций по этому поводу, а служит лишь источником сведений по радиации, на основе которых такие органы, как Международная Комиссия по защите от радиоактивного излучения (МКРЗ) и соответствующие Национальные Комиссии, вырабатывают соответствующие нормы и рекомендации. Комитет изучает широкий спектр естественных и созданных искусственно источников радиации, собирает всю доступную информацию об источниках радиации, ее воздействии на человека и окружающую среду и анализирует её. Раз в несколько лет Комитет публикует доклады, содержащие подробные оценки доз радиации, их эффекта и опасности для населения от всех известных источников ионизирующих излучений. Многолетний опыт позволил медикам получить обширную информацию о реакции тканей человека на облучение.

При установлении норм радиационной безопасности МКРЗ был взят за основу следующий принцип: «Обеспечить защиту от ионизирующего излучения отдельных лиц, их потомство и человечество в целом, и в то же время создать соответствующие условия для необходимой практической деятельности человека, во время которой люди могут подвергаться воздействию ионизирующих излучений». Исходя из этого МКРЗ установила систему дозовых пределов, которые легли в основу национальных норм радиационной безопасности – НРБ, причем, дозовые пределы не включают дозы за счет естественного фона излучения и рентгенодиагностических процедур.

В заключении можно подчеркнуть, что радиация — это один из многих естественных факторов окружающей среды. Дополнительное облучение от техногенных источников радиации в глобальных масштабах пока еще невелико. Однако некоторые виды человеческой деятельности могут давать существенный вклад в естественный фон.

Уравновешенный взгляд на радиацию должен включать понимание существенной пользы от применения атома как в медицине, так и во всех сферах человеческой деятельности.

Материалы подготовлены в ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» НАН Беларуси по следующим источникам: «О радиации популярно. Е.К. Хандогина, Р.М. Бархударов, Е.М. Мелихова и др. М.: Издат. «Комтехпринт», 2006. 48с.; Бойко В. И., Кошелев Ф. П. Что необходимо знать каждому человеку о радиации: Издат. Томского Политехнического Университета, 1993; материалам сайтов: http://scavengerz.by.ru/_borders/tema/tema_1.htm, http://kursoviki.spb.ru/lekcii/lekcii_dozimet.php, <http://NuclearNo.ru>, <http://www.ecoatominf.ru/publishs/comp.htm> и др.

Материал подготовлен: Брылева В.А., Максимович Д.М., Шаталова Н.Н., Войтецкая Е.Ф.

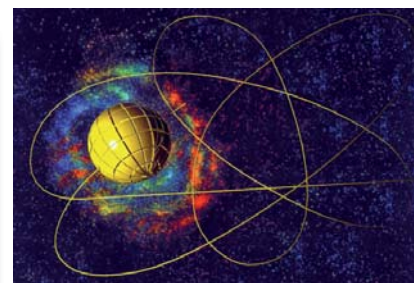
Адреса для контактов:

ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» НАН Беларуси, 220109, Минск, ул. академика А.К. Красина, 99
тел.: 299-47-61, 299-45-56, факс 299-43-55, E-mail: <http://www.sosny.bas-net.by>
E-mail: dimmax_50@list.ru

Для получения данного информационного бюллетня просим подать заявку в электронном виде с указанием своего электронного адреса

© При перепечатке ссылка обязательна

По заказу Министерства энергетики Республики Беларусь



ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

№ 3-4
2009

СЕРИЯ: АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Экология АЭС в вопросах и ответах

КАКИЕ ВИДЫ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ УЧИТЫВАЮТСЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ АЭС НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ?

Основными факторами потенциального воздействия АЭС на окружающую среду в период эксплуатации являются: радиационное, тепловое, химическое (сброс соленосодержащих вод в отводящий канал действующей АЭС и выпадение солей на почву из выбросов градирен). Отмечается также незначительное влияние электромагнитного излучения, шума (в основном от транспорта), выбросов в атмосферу примесей от вспомогательных зданий и сооружений, которое не выходит за границы промплощадки АЭС.

Влияние электромагнитного излучения при эксплуатации АЭС может быть снижено следующими мерами:

- ограждение территории с высоким напряжением, исключающее доступ посторонних лиц;
- организация маршрутов обхода для осмотра оборудования и маршрутов следования к рабочим местам, обеспечивающих безопасность персонала;
- экранирование участков маршрутов и рабочих мест, напряженность электрического поля на которых превышает 15 кВ/м;
- ограничение времени пребывания персонала на участках с высокой напряженностью электрического и магнитного полей в соответствии с требованиями нормативной документации (НД).

КАКОЕ ВЛИЯНИЕ ОКАЗЫВАЕТ СТРОИТЕЛЬСТВО АЭС НА ПРИРОДНЫЕ КОМПЛЕКСЫ?

В период инженерной подготовки территории и строительства АЭС неизбежно негативное воздействие на окружающую среду. Происходят: непосредственные изменения ландшафтного облика самой площадки строительства и сопредельных территорий; изменения растительного покрова; запыление воздуха; выбросы сварочных аэрозолей, сгоревших нефтепродуктов, окиси углерода, окислов азота и серы, аэрозолей свинца, углеводородов. Выбросы в атмосферу определяются, в основном, производством, сопутствующим строительным работам, объектами стройбазы и транспорта и связаны с созданием различных инженерных сооружений на территории площадки – зданий энергоблоков, трансформаторной станции, комплекса подсобных служб, системы дорожной сети, ЛЭП, водоподводящих и водоотводящих каналов, и др. Такая деятельность сопровождается нарушением почвенного покрова, сведением расти-



тельности, перемещением больших масс грунта, что приводит к изменению рельефа местности и нарушению сложившегося водного режима – поверхностного и подземного стоков. Интенсивность изменений зависит от величины воздействий и природных особенностей территории.

Значительное воздействие на природные комплексы на этапе строительства происходит при формировании котлованов под здания и сооружения. В результате образуются депрессионные воронки подземных вод, величина которых определяется размерами котлованов. Наиболее существенные изменения условий стока происходят вследствие строительства различного рода линейных сооружений – дорог, дамб, каналов. Эти изменения заключаются в перераспределении направления поверхностного стока. Созданный данными сооружениями подпор уровня грунтовых вод в местах, где он располагается близко к поверхности, может вызвать подтопление этих мест.

Воздействие на почвы, растительность, животный мир района в период строительства АЭС будет проявляться в виде трансформации земельных угодий, незначительного загрязнения воздушной и водной среды, почв и всех составляющих экосистем, прямых и опосредованных нарушений ландшафтных элементов и компонентов экосистем, складирования строительных и бытовых отходов, повышенной рекреационной нагрузки в районе строительства и т.д. В частности, произойдет полное сведение растительности на пятне застройки и размещения складских площадок для строительных материалов и техники, на трассах подъездных путей и прокладки линий электропередач и др.

Необходимо отметить, что эти изменения природной среды возможны только в пределах строительных площадок энергетического комплекса, которые находятся в промышленной зоне. Площадь этих строительных площадок по сравнению с нетронутыми природными территориями составляет десятые доли процента от контролируемой территории. Указанные изменения не принесут разрушительных тенденций в экосистемы, прилегающие к границам промплощадки.

Мероприятия, снижающие негативное воздействие на окружающую среду на стадии строительства АЭС:

- благоустройство строительных карьеров;
- пылеподавление;
- увлажнение открытых складов и дорог в летнее время;
- установка местной вентиляции и очистка выбросов;
- разработка оптимальной схемы движения транспорта и машин;
- регулировка двигателей транспортных средств и механизмов для достижения нормативных показателей по выбросам;
- рациональное складирование строительных материалов;
- вывоз, утилизация и/или захоронение отходов строительного производства и др.

КАКОЕ РАДИОАКТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ОКАЗЫВАЕТ РАБОТАЮЩАЯ АЭС НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЧЕЛОВЕКА?

При работе АЭС техногенные радиоактивные нуклиды поступают в окружающую среду с выбросами вытяжного воздуха из зданий станции через высотные вентиляционные трубы (высотой 100 м, по одной на каждый энергоблок) и сбросами нерадиоактивных вод.

Белорусская АЭС будет строиться по проекту АЭС нового поколения «АЭС-2006», разработанному ОАО «СПбАЭП» с реактором ВВЭР-1200.

Основные целевые технико-экономические характеристики и показатели АЭС:

- установленная номинальная мощность энергоблока - не менее 1170 МВт (э);
- число энергоблоков - 2 шт.;

- срок службы энергоблока - 50 лет и более;
- коэффициент полезного действия (нетто) - не менее 33,9 %;
- среднегодовой коэффициент готовности к работе на установленной номинальной мощности - 0,92;
- расход электроэнергии на собственные нужды станции - не более 7,48 % от выработки электроэнергии.

При разработке проекта «АЭС-2006» учитывались не только требования российских норм безопасности, но также рекомендации и нормы безопасности МАГАТЭ, публикации Международной консультативной группы по ядерной безопасности (INSAG), требования Европейских эксплуатирующих организаций к проектам атомных станций нового поколения с реакторами типа LWR (European Utility Requirements (EUR), Revision C).

Критерием приемлемости выбросов радиоактивных газов и аэрозолей АЭС в атмосферу является не превышение проектного расчетного уровня среднесуточного и среднемесячного допустимых выбросов радионуклидов в окружающую среду, регламентированных в санитарных правилах проектирования АЭС. Для оптимизации радиационной защиты при нормальной эксплуатации АЭС в нормативной документации в качестве нижней границы эффективной дозы облучения населения от отдельного радиационного фактора (выбросы и сбросы станции) принят предел 10 мкЗв/год.

В последние годы достигнут высокий уровень безопасности АЭС, разработанных в России, и фактически пренебрежимо малый уровень облучения населения (менее 10 мкЗв/год). Фактические годовые выбросы радионуклидов в атмосферу на действующих АЭС с реакторами ВВЭР находятся на уровне выбросов Европейских АЭС с РWR.

Для проекта «АЭС-2006», с учетом опыта эксплуатации действующих станций с реакторами ВВЭР-1000, установлены дополнительные целевые пределы по выбросам и сбросам в окружающую среду при нормальной эксплуатации и нарушениях нормальной эксплуатации. Они более чем на порядок ниже требований действующих российских норм:

- годовой газоаэрозольный выброс инертных газов в окружающую среду - не более 40 ГБк;
- годовой выброс аэрозолей и йодов (долгоживущих нуклидов) - не выше 0,8 ГБк;
- годовой сброс радионуклидов (за исключением трития) с нерадиоактивными водами - не более 10 ГБк. Эти показатели не противоречат и нормативным документам Республики Беларусь.

КАК НА АЭС ОРГАНИЗОВАНА СИСТЕМА РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ?

Общий подход, применяемый для детального изучения радиационного воздействия энергоблока в целом как на стадии проектирования и анализа безопасности, так и на этапе эксплуатации, основан на концепции глубокоэшелонированной защиты.

Концепция глубокоэшелонированной защиты применяется ко всем видам деятельности в области безопасности (организационным, поведенческим или связанным с проектированием) и обеспечивает такую глубину охвата перекрывающимися по своему действию мерами, при которой возникающий отказ будет обнаружен и скомпенсирован или устранен соответствующими средствами.

Суть принципа глубокоэшелонированной защиты состоит в применении системы барьеров на пути распространения ионизирующего излучения и радиоактивных веществ в окружающую среду, а также системы технических и организационных мер по защите барьеров и сохранению их целостности для обеспечения эффективности непосредственной защиты населения. Классическая схема глубокоэшелонированной защиты изображена на рисунке 1.

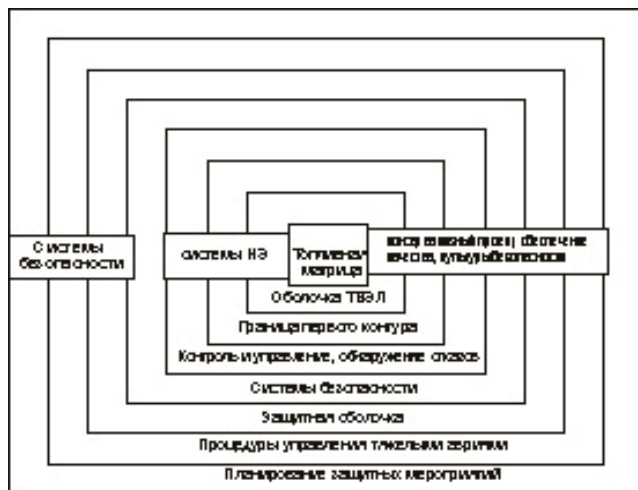


Рисунок 1. Схема глубоко эшелонированной защиты, где системы НЭ - системы нормальной эксплуатации.

Для обеспечения безопасности станции и смягчения последствий отказов барьеров должны выполняться основополагающие функции безопасности при эксплуатации, во время и после проектной аварии и, насколько это представляется практически возможным, при возникновении запроектных аварийных условий. К таким функциям относятся:

– управление реактивностью;

– отвод остаточного тепла из активной зоны;

– локализация радиоактивных материалов и контроль эксплуатационных сбросов, а также ограничение аварийных выбросов.

Для выполнения функций безопасности применяются такие принципы проектирования как резервирование, разнопринципность, независимость, функциональное разделение и др., обеспечивающие повышение надежности АЭС при эксплуатации. Работа АЭС при нормальной эксплуатации обеспечивается соответствующими системами безопасности.

В проекте предусмотрено не превышение пределов безопасной эксплуатации и сохранение работоспособности АЭС в режиме нарушения нормальной эксплуатации и соблюдение установленных нормами и правилами эксплуатационного предела и предела безопасной эксплуатации в зависимости от степени повреждения ТВЭЛов при работе АЭС на мощности.

Для проектных аварий основная роль отводится третьему уровню глубокоэшелонированной защиты - задача реализации стратегии предотвращения развития аварий. Условия выполнения этой задачи следующие:

- введение в действие систем безопасности, ограничивающих развитие исходного события;
- использование, при необходимости, корректирующих действий персонала;
- не превышение проектного давления внутри защитной оболочки (ЗО) при тяжелой запроектной аварии с плавлением топлива и отказом спринклерной системы;
- приведение установки в конечное стабильное состояние, позволяющее выполнить восстановительные работы;
- ограничение радиационных последствий проектных аварий установленными критериями.

Реализация стратегии обеспечивается благодаря комплексу технических средств и организационно-технических мер, включающих системы безопасности (защитные, локализующие, управляющие, обеспечивающие), систему информационной поддержки оператора, свойства реакторной установки, обеспечивающие ее внутреннюю самозащищенность, комплекс технических средств и мер по подготовке персонала.

В проекте «АЭС-2006» реализованы не только традиционные системы безопасности (спринклерная, аварийного охлаждения активной зоны и т.д.), но и специальные пассивные системы, предназначенные для ликвидации последствий и управления запроектными авариями. В их число входят:

- система удаления водорода из защитной оболочки;
- система локализации расплава;
- системы пассивного отвода тепла от защитной оболочки - контейнмента (СПОТ ЗО) и парогенераторов (СПОТ ПГ) при запроектных авариях;
- система подавления образования летучих форм йода.

Предусмотрено функциональное резервирование систем безопасности для выполнения основных функций безопасности.

Пассивные системы управления запроектными авариями СПОТ 3О и СПОТ ПГ обеспечивают:

- отвод остаточных тепловыделений и расхолаживание реакторной установки в режимах полного обесточивания АЭС и полной потери питательной воды;
- сведение к минимуму выброса в окружающую среду радиоактивного теплоносителя при авариях с течами из первого во второй контур;
- обеспечение резерва активных систем безопасности, в случае их отказа, для аварийного расхолаживания реакторной установки при авариях с течами теплоносителя первого контура.

Соответствие данным целевым пределам гарантирует, что дозы для населения, формируемые за счет работы АЭС в режиме нормальной эксплуатации, будут существенно ниже минимально значимой дозы 10 мкЗв/год (для сравнения средний житель Беларуси в течение года получает от естественного природного фона на территории Беларуси около 2,4 мЗв/год).

В качестве предела доз для населения при всех возможных нарушениях нормальной эксплуатации в проекте установлен предел, регламентированный в российских санитарных правилах (СП АС-03) как верхняя граница облучения населения при нормальной эксплуатации (квота) - 100 мкЗв/год, что не противоречит соответствующему белорусскому документу ОСП-2002.

При нормальной эксплуатации АЭС происходящие выбросы радиоактивных веществ в окружающую среду не оказывают заметного влияния на растительный покров. Так, например, проведенные в зоне влияния Игналинской АЭС исследования показали, что ее выбросы не привели к внешне фиксируемым изменениям растительности. Это связано с приспособляемостью растений к малым дозам и радиорезистентностью их сообществ.

ВОЗМОЖНО ЛИ ПРЕВЫШЕНИЕ УСТАНОВЛЕННЫХ В НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТАХ ПРЕДЕЛОВ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НАСЕЛЕНИЕ И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПРИ РАБОТЕ АЭС?

Радиационное воздействие на население и окружающую среду выше установленных в нормативных документах пределов возможно только в случае запроектных аварий, сопровождающихся дополнительными отказами систем безопасности АЭС.

Цель обеспечения радиационной безопасности в проекте «АЭС-2006» достигается путем разработки инженерных и организационных средств обеспечения мероприятий, направленных на предотвращение аварий, ограничение их радиологических последствий, обеспечение «практической невозможности» аварии с серьезными последствиями. Вероятность превышения установленных значений предельного аварийного выброса (П АВ) для одного реактора должна быть ниже 10^{-7} в год. Атомная станция с ВВЭР-1200 спроектирована таким образом, что радиационное воздействие на население, вызванное аварийными выбросами радиоактивных газов и аэрозолей, на границе и за пределами промплощадки, ограничено в соответствии с требованиями нормативных документов.

Оценка радиационных последствий проводилась из предположения реализации в момент аварии наихудших, с точки зрения последствий, метеоусловий. Дозовые нагрузки определялись от всех видов воздействия, причем на ранней фазе учитывалось внешнее облучение от облака выброса и внутреннее - от ингаляции. На средней фазе (за ближайший послеаварийный год) - внешнее - от загрязненной поверхности и внутреннее - за счет потребления продуктов питания местного производства.

Оценочные расчеты при консервативных допущениях показали, что при проектных авариях, протекаемых по различным сценариям, ожидаемые эквивалентные дозы облучения критической группы населения на границе санитарно-защитной зоны (граница промплощадки АЭС) и за ее пределами в первый год после аварии не превысят 5 мЗв на все тело человека и 50 мЗв на отдельные органы и аварии на энергоблоке ВВЭР-1200 с РУ В-491 при работе систем безопасности и локализации в проектных режимах не выходят за рамки «серьезного инцидента» по шкале INES (3 уровень).

Для АЭС с ВВЭР-1200 для проектных аварий дополнительно установлены следующие целевые пределы: при авариях с вероятностью более 10^{-4} в год эффективная доза должна быть менее 1 мЗв на событие, с вероятностью менее 10^{-4} в год - менее 5 мЗв.

Основные технические решения, направленные на снижение вероятности превышения ПАВ и ограничение радиационного воздействия при расширенных проектных условиях, связаны с эффективным управлением тяжелыми авариями для обеспечения целостности защитной оболочки.

Системы отвода остаточного тепла от реакторной установки, реализованные в проекте, позволяют предотвратить плавление активной зоны реактора для большого числа возможных аварийных последовательных событий даже при возникновении дополнительных отказов, снижая таким образом интегральную вероятность повреждения активной зоны.

Вероятностные анализы безопасности первого уровня, выполненные для проектов АЭС с ВВЭР-1200 повышенной безопасности, подтвердили, что предел частоты повреждения активной зоны менее 10^{-5} на реактор в год надежно достигается; вероятность тяжелого повреждения активной зоны составляет менее 10^{-6} на реактор в год.

Анализ сценариев запроектных аварий показывает, что наихудшие радиационные последствия связаны со сценарием аварии, вызванной полным обесточиванием АЭС (проектная степень герметичности защитной оболочки при этом сохраняется). Авария имеет 5-ый уровень тяжести по шкале ИНЕС МАГАТЭ. Однако возникновение такой аварии практически невозможно из-за нереальности отключения всех независимых систем. Определение дозовых нагрузок на население при реализации запроектных аварий проводилось, на основе детерминистского подхода с использованием максимально консервативных исходных данных и предположений.

При запроектных авариях эквивалентные дозы облучения ограниченной части населения (критической группы) на границе и за пределами зоны планирования защитных мероприятий в соответствии с требованиями нормативных документов в первый год после аварии не превышают 5 мЗв на все тело и 50 мЗв на отдельные органы.

Для тяжелых запроектных аварий (вероятность аварийного выброса - 10^{-7} в год) в результате оценки и анализа прогнозируемых уровней выброса предложены ПАВ для радиационно-значимых нуклидов:

- на ранней фазе аварии, при утечках радиоактивных веществ через неплотности двойной защитной оболочки и байпаса контейнмента, приземный выброс ^{133}Xe не должен превышать 10⁴ТБк, ^{131}I - 50 ТБк, ^{137}Cs - 5 ТБк;
- на промежуточной и поздней фазах, при снижении давления в контейнменте, выбросы через вентиляционную трубу ^{133}Xe не должны быть выше 10⁵ ТБк, ^{131}I - не более 50 ТБк, ^{137}Cs - не более 5 ТБк.

В соответствии с международными рекомендациями и национальными требованиями для данного класса аварий не требуется проведения защитных мероприятий для населения и окружающей среды за пределами промплощадки.

Прогнозируемые уровни радиационного воздействия не достигают уровней вмешательства по введению обязательной эвакуации и отселению населения. Радиус зоны планирования защитных мероприятий (ЗПЗМ) может быть ограничен 5-7 км. Защитные мероприятия в ЗПЗМ ограничены укрытием и/или йодной профилактикой для населения. При этом необходимость введения защитных мер за пределами установленной зоны является маловероятной, за исключением обязательного местного контроля продуктов питания и ограничения их потребления, т.к. по оценкам прогнозируемая эффективная годовая доза облучения населения при запроектной аварии более чем на 99 % будет обусловлена потреблением местных «загрязненных» сельхозпродуктов.

По проведенным расчетам, миграция радиоактивных веществ с подземными и поверхностными водами и прямые аэрозольные выпадения из аварийного факела на поверхность водоемов не приведут к радиоактивным загрязнениям водоемов во все послеаварийные периоды, включая особо отдаленные.

Приведенные выше данные показывают:

- что проектные решения по АЭС-2006 обеспечивают полную радиационную безопасность населения при нормальной эксплуатации АЭС и достаточную степень его защищенности при возможных сценариях проектных и запроектных аварий;
- анализ дозовых нагрузок на местные биоценозы при проектных авариях на энергоблоках ВВЭР-1200, также как и при нормальной эксплуатации, носит формальный характер, поскольку уровни загрязнения природных сред техногенными радионуклидами (воздуха и почвы) очень низки и даже самая консервативная модель расчета доз не приводит к значимым результатам;
- ограничение радиационного воздействия энергоблоков ВВЭР-1200 на население и окружающую среду при авариях соответствует современным требованиям международной практики проектирования АЭС – EUR (European utility requirements for LWR nuclear power plants. Revision C).

КАКОЕ ВЛИЯНИЕ ОКАЗЫВАЮТ ГРАДИРНИ АЭС НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ?

Термодинамическая сущность выработки электроэнергии на электростанциях любого типа такова, что она не может быть осуществлена без вывода в окружающую среду определенного количества тепла. Т. к. коэффициент полезного действия современных АЭС 34–36%, то около 2/3 единиц тепла необходимо отвести. Для этой цели и используются естественные водоемы, находящиеся вблизи АЭС, градирни или пруды-охладители.

Для энергоблоков ВВЭР-1200 на площадке АЭС предусматривается оборотная система охлаждения с башенными испарительными градирнями.

Градирня – это часть оборотной системы охлаждения – башня, в которой производится охлаждение воды. Вода подается в нее на некоторой высоте, поступает в распределительную систему и в виде струй стекает вниз, охлаждаясь по пути за счет испарительного охлаждения. В нижней части градирни она собирается и откачивается циркуляционными насосами к конденсаторам турбин. Холодный воздух поступает через окно ниже уровня воды и, двигаясь ей навстречу, нагревается за счет частичного испарения воды. Нагретый воздух выбрасывается в атмосферу через верх градирни, создавая естественную тягу. Поэтому тепловое влияние АЭС на микроклимат и атмосферные процессы осуществляется за счет выбросов тепла и влаги из башенных испарительных градирен.

Выполненные оценочные расчеты для четырех градирен (проект АЭС-2006 разрабатывается и в варианте с одной градирней на блок) показали, что в летний период максимальные концентрации наблюдаются в пределах до 3,5 км от источников и не превышают 134,78 мг/м³ для водяного пара и 6,29 мг/м³ для капельной влаги.

Максимальные концентрации сравнивались с рекомендуемыми (предполагаемыми) ПДК: для пара – 1000 мг/м³, для аэрозолей – 200 мг/м³.

Эти сравнения свидетельствуют о достаточно умеренном воздействии паровлажностных шлейфов испарительных градирен на климатические характеристики площадки.

Основной механизм влияния факела градирни на диффузию примеси заключается в значительном увеличении вертикальных турбулентных пульсаций скорости ветра в зоне теплового выброса градирни и, как следствие этого, более интенсивном рассеивании примеси (в вертикальном направлении) при ее распространении вблизи факела.

Выброс тепла в атмосферу из градирни одного энергоблока составляет менее 2000 Гкал. По оценкам, сброс дебалансных вод и продувки градирен от АЭС не повлияет на тепловой режим региона.

По словам Сержа Вижье – руководителя крупных проектов компании «Termal HAMON», вблизи градирен, используемых на АЭС Франции, возделывают виноград и занимаются овощеводством и животноводством. Опыт применения градирен, подобных тем, что предусмотрены на площадке ЛАЭС-2 (именно такой проект будет реализован в Беларуси), на многочисленных ТЭС, в т.ч. Северо-Западной ТЭЦ, ТЭЦ-14 в Санкт-Петербурге, Нововоронежской АЭС, Калининской АЭС, Ровенской АЭС, Армянской АЭС показывает, что эксплуатация градирен не оказывает значимого воздействия на окружающую среду.

КАКИЕ МЕРЫ ПРЕДУСМОТРЕНЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА ТЕРРИТОРИИ АЭС?

Для непрерывного контроля и прогнозирования радиационной обстановки на территории АЭС и в зоне наблюдения предусматривается:

- создание автоматизированной системы радиационного мониторинга и ввод в действие автоматической системы контроля радиационной обстановки (АСКРО);
- контроль всех радиационных параметров окружающей среды, в том числе радиационного фона, приземного слоя воздуха, атмосферных осадков, водной среды, почвы, растительности;
- проведение мониторинга здоровья населения;
- контроль производимых и потребляемых населением сельскохозяйственных продуктов и др.

ЧТО МОЖНО СКАЗАТЬ О ХИМИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЯХ ОТ ЭКСПЛУАТАЦИИ АЭС?

Химическое загрязнение атмосферы определяется выбросами автотранспорта АЭС, дизель-генераторов надежного питания собственных нужд АЭС, вентиляцией различных сооружений АЭС. По оценкам, все выбросы находятся в пределах ниже предельно-допустимых концентраций (ПДК) и локализованы (кроме автотранспорта) в пределах территории АЭС, поэтому не оказывают негативного влияния на окружающую среду.

При подготовке воды для подпитки оборотных систем контуров АЭС образуются шламовые и минерализованные воды. Температура сбросных вод 15 – 25⁰С.

Общий расход воды продувки из системы водоохлаждения АЭС (для поддержания необходимого уровня солесодержания) а также минерализованных и шламовых вод от водоподготовительных установок составляет от 1670 м³/ч до 3680 м³/ч в зависимости от сезона.



Для подготовки информационного бюллетеня использованы следующие источники:

«Проект «АЭС-2006»: радиационное воздействие на окружающую среду» /В.В. Безлепкина, С.Е. Семашко, А. С. Фролов (ОАО «СПбАЭП») // Безопасность окружающей среды.- 2009.-№3.- С. 135-137., <http://www.sbor.ru/file/910.doc> дата доступа 25.11.09;

http://www.palata-nn.ru/files/news/02_09_09/aps.pdf. дата доступа 25.11.09.

Материал подготовлен: Брылева В.А., Максимович Д.М., Шаталова Н.Н., Войтецкая Е.Ф.

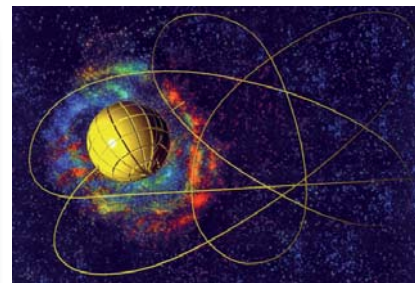
Адреса для контактов:

ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» НАН Беларуси, 220109, Минск, ул. академика А.К. Красина, 99
тел.: 299-47-61, 299-45-56, факс 299-43-55, E-mail: <http://www.sosny.bas-net.by>
E-mail: dimmax_50@list.ru

Для получения данного информационного бюллетеня просим подать заявку в электронном виде с указанием своего электронного адреса

© При перепечатке ссылка обязательна

По заказу Министерства энергетики Республики Беларусь



ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ

№ 5-6
2009

СЕРИЯ: АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Энергия атома на службе человека©

Достигая новых вершин научного знания и используя достижения технического прогресса, изобретательный ум человека открывает новые возможности применения источников ионизирующего излучения, получения и использования ядерной энергии. Одним из наиболее важных достижений научно-технического прогресса является разработка способов получения и использования ядерной энергии в мирных целях. Благодаря источникам ионизирующего излучения, можно вовремя распознать болезни и эффективно лечить людей, укротив энергию ядерного деления, обеспечить свет и тепло в домах людей, с помощью радиоактивных нуклидов — изучать протекание самых разнообразных процессов. Источники ионизирующего излучения помогают получать уникальную промышленную продукцию, повышать и сохранять урожай сельскохозяйственных культур.

Использование источников ионизирующего излучения в медицине, промышленности, науке и сельском хозяйстве.

Химическое сходство стабильных и радиоактивных изотопов элемента и высокая чувствительность методов определения радиоактивных нуклидов позволяют использовать их для изучения поведения атомов химических элементов в различных процессах.

Это открывает широкие возможности для применения радионуклидов в медицине, науке, промышленности, сельском хозяйстве.

Факторы, определяющие возможность применения радионуклидов:

- одинаковые химические свойства стабильных и радиоактивных изотопов химического элемента;
- определенная продолжительность и постоянство периода полураспада конкретного радионуклида;
- определенный вид излучения, испускаемого при радиоактивном распаде каждого радионуклида;
- наличие приборов, регистрирующих предельно малые количества радионуклидов по их излучению;
- различная степень поглощения излучения в средах разного состава и плотности;
- высокая проникающая способность гамма- и рентгеновского излучений.

Особенности радионуклидов позволяют с высокой точностью определить их количество и места нахождения. Особенности ионизирующего излучения позволяют изменять физические и химические свойства веществ при облучении.

Медицина

Источники ионизирующего излучения широко используются в медицине. Можно выделить следующие области их применения:

- лучевая диагностика;
- радиоизотопная диагностика;
- радиационная терапия.

Ежегодно большая часть населения проходит рентгенологическое обследование. Рентгеновские лучи обладают высокой проникающей способностью и дают возможность врачам «заглянуть» внутрь организма. При прохождении через тело рентгеновские лучи в большей степени поглощаются плотным веществом костной ткани и значительно слабее — мягкими тканями.

С помощью рентгеновского снимка можно выявить трещины и переломы костей, обнаружить камни в почках или желчном пузыре, выявить опухоли в органах и тканях.

Величайшим достижением явилась разработка такого метода диагностики заболеваний, как компьютерная томография. В 1979 году А. Кормаку и Г. Хаунсфилду, создателям метода компьютерной томографии, была присуждена Нобелевская премия.

Томография — метод неразрушающего послойного исследования внутренней структуры объекта посредством просвечивания его в различных направлениях (так называемое «сканирующее просвечивание»).

Первоначально компьютерный рентгеновский томограф был разработан для исследования головного мозга.

Электрические сигналы считываются и информация поступает в компьютер. В результате, с помощью компьютерной обработки получают изображение тонких слоев головного мозга на экране дисплея. Одновременно получают и общий вид исследуемой области с указанием положения отдельных слоев.



В настоящее время существует несколько разновидностей метода томографии:

- рентгеновская,
- ядерно-магнитнорезонансная (ЯМР),
- протонная,
- ультразвуковая,
- гамма-томография.

Радиоизотопная диагностика

Радиоактивные изотопы широко используются в медицине в диагностических целях. Радиоизотопная диагностика основана на регистрации излучения от введенных в организм человека радиоактивных препаратов (*in vivo*) или радиометрии взятых у пациента биологических проб при добавлении к ним радиоактивных веществ (*in vitro*).

Диагностика *in vivo* может быть использована для определения состояния различных органов и тканей, их функций, а также для изучения протекания важных биологических процессов в организме человека. Благодаря высокой чувствительности современных детекторов ионизирующего излучения, обследования проводятся при введении в организм человека небольших количеств радиоактивных веществ (около 1 мкг), что обуславливает получение относительно низких доз облучения органами или тканями.

Диагностика *in vitro* основана на радиометрии биологических проб пациента (образцов крови, желудочного сока, тканей и т. п.). Широкое распространение приобрел радиоиммунный анализ — высокочувствительный метод определения содержания в организме человека самых разнообразных гормонов (поджелудочной железы, щитовидной железы, гипофиза и др.), белков, сыворотки крови и ферментов.

Радионуклиды	Что помогают установить?
^{131}I	Состояние щитовидной железы
^{75}Se	Функционирование поджелудочной железы
^{24}Na	Скорость кровотока и проницаемость кровеносных сосудов
^{42}K	Нарушения биологических процессов с участием калия
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	Опухоли головного мозга, патологию слюнных желез, крупных сосудов, скелета, почек, печени, сердца

При проведении радиоиммунного анализа используется радиоактивное вещество, которое не вводят в организм человека, а добавляют к исследуемому биологическому образцу.

При осуществлении радиоиммунного анализа:

- пациент не подвергается риску облучения;
- метод позволяет диагностировать заболевания, связанные с нарушением гормонального обмена и деятельности иммунной системы.

Радиационная терапия

Широкое распространение получила лучевая терапия в онкологии. Терапевтическое действие радиации основано на способности ионизирующего излучения угнетать процессы деления клеток и, в конце концов, приводить к их гибели, что используется для уничтожения раковых клеток в организме пациента.

Облучение злокачественных новообразований с помощью гамма- и рентгеновских лучей, ускоренных электронов, протонов, альфа-частиц позволило добиться хороших результатов при лечении людей с онкологическими заболеваниями.

В радиационной терапии радионуклиды иногда вводят и внутрь организма. Так, при хирургическом удалении опухолей в организме может оставаться пораженная ткань. Чтобы избежать появления метастазов (разрастания раковых клеток), в организм вводят радионуклиды, которые концентрируются в больном органе, вызывая гибель раковых клеток.

Ионизирующее излучение применяют также при лечении людей с другими заболеваниями. Так, для лечения больных суставов и нервной системы используют радоновые ванны. Людей с кожными и глазными заболеваниями лечат с помощью аппликаторов, содержащих радиоактивный стронций (^{85}Sr).

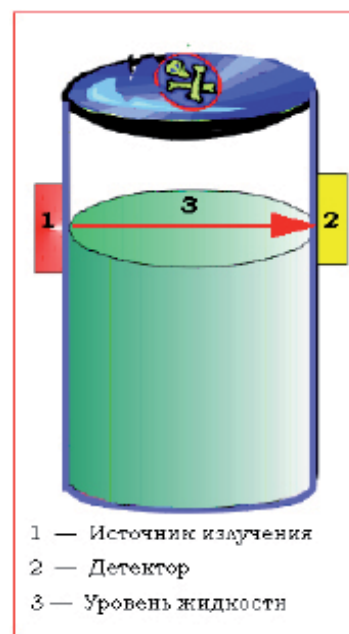
Промышленность

Источники ионизирующего излучения применяют в горнодобывающей промышленности, строительстве, машиностроении, химическом производстве, металлургии, целлюлозно-бумажной, стекольной промышленности и других отраслях производства.

- Обнаружение дефектов в промышленных изделиях.
- Контроль толщины различных материалов.
- Определение уровня жидкости в резервуарах.
- Контроль качества полупроводниковых кристаллов.
- Синтез новых веществ.
- Изменение структуры и свойств материалов.
- Контроль распределения легирующих добавок в сплавах.
- Определение равномерности распределения добавок при варке стекла.
- Контроль утечки токсичных веществ.
- Определение степени износа металлических деталей и истирания поверхностей механических устройств.
- контроль производственных технологических процессов.

С помощью источников ионизирующего излучения можно изменять свойства материалов (полимеров, лаковых покрытий, резины) и синтезировать новые вещества.

Схема устройства для контроля уровня токсичных жидкостей в замкнутых резервуарах



Научные исследования

Примером использования ионизирующего излучения в прикладных исследованиях является *рентгеноструктурный анализ*, в ходе которого с помощью рентгеновского излучения определяют особенности структуры кристаллических веществ.

Широкое применение в геологии, геохимии, космохимии имеет *активационный анализ*.

Метод *активационного анализа* позволяет определить содержание золота в золотоносных рудах порядка 10^{-4} %. Созданы также установки для экспресс-анализа веществ на содержание серебра, алюминия, меди, кремния и других элементов.

Область научных знаний	Что исследуется ?
Физика и химия	Строение химических соединений Механизмы и скорость химических реакций Растворимость веществ Процессы испарения, диффузии, сорбции
Биохимия	Обмен веществ в живом организме Строение и механизмы синтеза белков, нуклеиновых кислот, жиров и углеводов Скорость протекания биохимических реакций
Физиология	Процессы кровообращения, всасывания питательных веществ из желудочно-кишечного тракта, перераспределения различных соединений по организму Выявление роли микроэлементов в физиологических процессах
Фармакология и токсикология	Механизмы всасывания лекарственных препаратов, токсических веществ и их накопление в различных органах и тканях
Микробиология, иммунология и вирусология	Биохимические особенности жизнедеятельности микроорганизмов Механизмы протекания ферментативных и иммунологических реакций
Экология	Процессы миграции веществ в экосистемах

По содержанию долгоживущих радионуклидов естественного происхождения и продуктов их распада определяют возраст природных образований. В этом случае радионуклиды используют в качестве «геологических часов». Для определения возраста природных образований используются *свинцово-урановый, калиево-аргоновый, радиоуглеродный* и другие методы.

Радионуклиды широко используют в научных исследованиях в качестве радиоактивных индикаторов (метод «меченых» атомов).

Сельское хозяйство

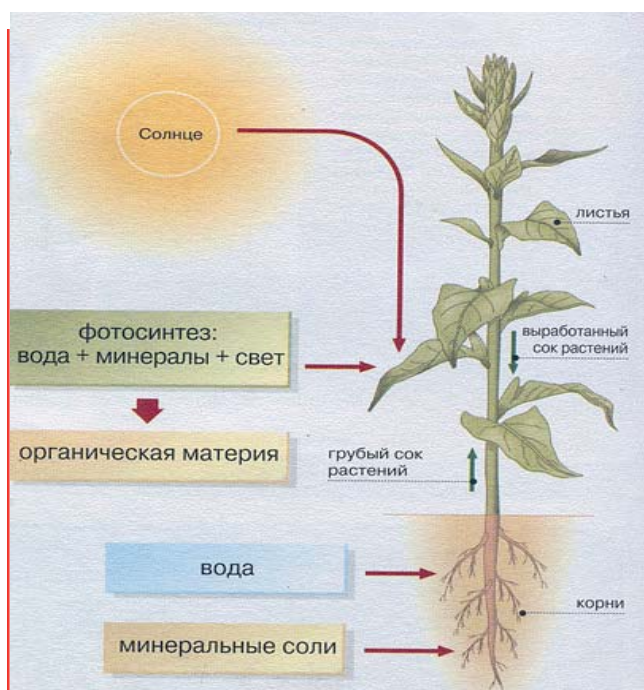
В сельском хозяйстве ионизирующее излучение от источников искусственного происхождения используют для:

- повышения урожайности сельскохозяйственных культур;
- выведения новых сортов растений — радиоселекции;
- радиационной стерилизации продуктов питания;
- обеззараживания стоков животноводческих комплексов.

Гамма-излучение применяют для выведения новых сортов пшеницы, фасоли, овса, картофеля, гречихи, фруктовых деревьев, чая, декоративных цветов и других видов растений. Новые сорта растений, полученные путем искусственно вызванных мутаций в растительном организме под действием облучения, относят к генетически модифицированным.

Традиционные методы стерилизации основаны на нагревании и химической обра-

Использование радиоактивного фосфора для изучения распределения фосфора в растениях



ботке продуктов, что зачастую приводит к разрушению витаминов, ухудшению вкусовых качеств. Радиационная стерилизация обладает высокой эффективностью, может проводиться для упакованного продукта, не меняет его цвета, запаха, вкуса. Поэтому облучение используют для продления сроков хранения мяса, рыбы, фруктов, овощей, грибов, ягод, приправ и специй.

Кроме использования внешнего облучения, в сельском хозяйстве применяют метод «меченых» атомов. Особенно широко его используют в науке. С помощью этого метода изучают:

- распределение элементов питания в растительных и животных организмах;
- влияние удобрений на развитие растений в зависимости от состава, формы и времени их внесения.

Атомные электростанции

При современном уровне потребления энергии невозобновляемые запасы органического топлива (угля, нефти, природного газа, торфа, сланцев) интенсивно сокращаются.

Энергетические установки, потребляющие возобновляемые ресурсы — энергию Солнца, ветра, воды (гидроэнергию), тепловую энергию земных недр (геотермальную) и другие виды энергии, пока используются в ограниченном масштабе. Современные энергетические установки не смогут удовлетворить растущие потребности жителей Земли в электрической энергии, когда запасы органического топлива окажутся истощенными. Если человечество не усовершенствует энергетические установки, потребляющие возобновляемые ресурсы, или не освоит альтернативные источники энергии, со временем его ожидает энергетический голод.

Одной из современных отраслей энергетики является ядерная энергетика, основанная на использовании энергии ядерных превращений для получения тепла и электроэнергии на атомных электростанциях (АЭС).

Деление атомного ядра — это вид ядерной реакции, в результате которой тяжелое атомное ядро делится на более легкие ядра, называемые осколками деления.

Существует критический размер ядра, при достижении которого ядро становится способным к самопроизвольному (спонтанному) делению. Критический размер характерен для ядер, содержащих ~ 110 – 120 протонов. Подобные сверхтяжелые ядра практически мгновенно делятся и не могут существовать в природных условиях.

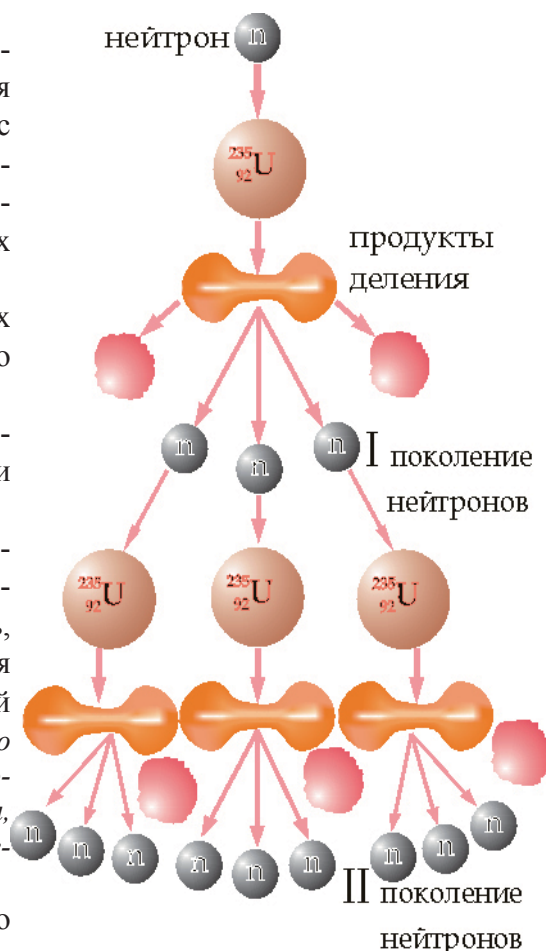
Из всех реакций ядерного деления наиболее широкое применение нашла реакция деления, вызываемая нейтронами. Это связано с тем, что при столкновении с тяжелыми положительно заряженными ядрами нейтронам не приходится преодолевать кулоновское отталкивание протонов. Им легче проникать в ядра атомов тяжелых элементов и инициировать их деление.

В процессе ядерного деления и сопровождающих его других ядерных превращений образуется множество разнообразных продуктов.

Типичным примером реакции ядерного деления является расщепление ядра $^{235}_{92}\text{U}$ на ядро криптона (^{92}Kr) и бария (^{141}Ba).

Каждый акт деления ядер ^{235}U происходит с освобождением 2 – 3 нейтронов. Эти нейтроны могут взаимодействовать с другими ядрами ^{235}U и, в свою очередь, вызывать их деление. В результате, число актов деления возрастает и становится возможным протекание цепной реакции ядерного деления. (Реакция названа цепной по аналогии с цепными химическими реакциями, в которых продукты, образующиеся в результате химического превращения, могут взаимодействовать с другими молекулами исходных веществ).

В результате реакции деления тяжелое атомное ядро распадается на ядра-осколки, которые уносят основную часть энергии, выделяющейся в процессе деления. Например, осколки деления ядер ^{235}U образующиеся в каждом акте ядерного деления, уносят энергию ~ 200 МэВ.



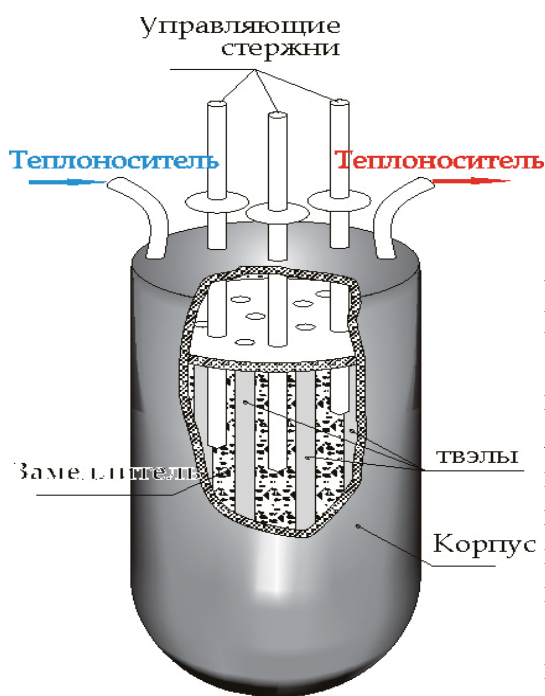
Ядра-осколки в столкновениях с другими ядрами передают им часть своей энергии, при этом кинетическая энергия осколков преобразуется в тепловую энергию.

Полная энергия, выделяющаяся в процессе ядерного деления, включает:

- кинетическую энергию осколков ядерного деления;
- энергию *гамма*-излучения, сопровождающего деление ядер;
- кинетическую энергию нейтронов, освобождающихся в результате ядерного деления;
- энергию *гамма*-, *бета*- и *альфа*-излучений, сопровождающих распад осколков деления и ядерные превращения исходных и промежуточных продуктов деления.

Основные элементы ядерных реакторов

В ядерном реакторе происходит преобразование ядерной энергии, освобождающейся в процессе регулируемой цепной реакции деления ядер атомов тяжелых элементов, в тепловую энергию.



Основными элементами ядерного реактора являются:

- активная зона,
- замедлитель,
- управляющие (контрольные) стержни,
- отражатель,
- теплоноситель.

Активной зоной в ядерных реакторах является та его часть, в которой происходит реакция ядерного деления. В этой части реактора размещается ядерное топливо.

По способу размещения топлива реакторы делят на гетерогенные и гомогенные. В гетерогенных реакторах ядерное топливо распределено по активной зоне неравномерно — в виде отдельных блоков. Топливо находится в герметичной защитной оболочке из термостойкого циркониевого сплава. Такие элементы конструкции получили название тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов).

В гомогенных реакторах ядерное топливо равномерно распределяется по активной зоне.

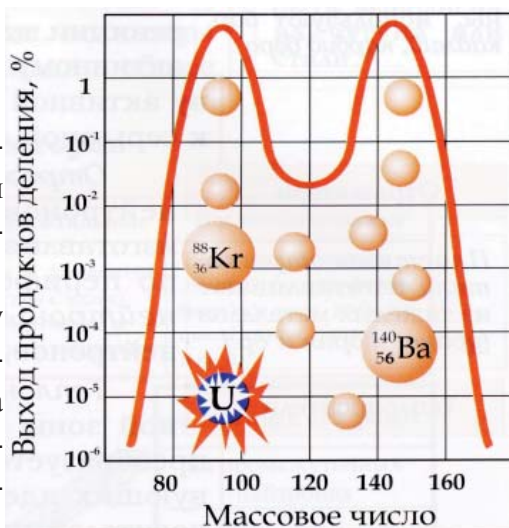
Исследования показали, что наиболее целесообразно использовать в качестве ядерного горючего ^{235}U , делящийся при взаимодействии с тепловыми нейтронами, получить которые технически несложно. Однако для обеспечения цепного процесса необходимо, чтобы содержание ^{235}U в природном уране было повышено, по крайней мере, до 2 %.

В настоящее время в качестве топлива для ядерных реакторов, в основном, используют урановое топливо в виде диоксида урана (UO_2), в котором содержание ^{235}U достигает 2 – 4 %.

Делящиеся ядра ^{235}U наиболее эффективно захватывают тепловые нейтроны. Чтобы получить тепловые нейтроны в количестве, достаточном для поддержания цепной реакции деления ядер урана, в реакторе применяют замедлители.

Замедлители — это вещества, которым быстрые высокоэнергетические нейтроны и промежуточные нейтроны средних энергий передают часть своей кинетической энергии, превращаясь в медленные тепловые нейтроны.

В качестве замедлителей используют графит (C), воду (H_2O) и тяжелую воду, в которой атомы обычного водорода — протия (^1H) заменены атомами тяжелого водорода дейтерия (D или ^2H). В гетерогенных реакторах замедлитель располагают между ТВЭЛами. В гомогенных реакторах замедлитель смешан с ядерным топливом и равномерно распределен по активной зоне.



Продукты деления урана

В зависимости от состава используемого замедлителя реакторы подразделяют на

- графитовые,
- водные,
- тяжеловодные.

В зависимости от типа теплоносителя реакторы подразделяют на:

- водяные,
- жидкометаллические,
- газовые,
- органические.

Поскольку все происходящие в реакторе ядерные превращения сопровождаются гамма-излучением, любой реактор является источником проникающей радиации. Чтобы обеспечить безопасность персонала и нормальное функционирование контрольно-измерительной аппаратуры, ядерный реактор имеет систему защиты от излучения.

Система защиты ядерного реактора выполняет следующие функции:

- снижает мощность излучения до уровня, допустимого для работы персонала (биологическая защита);
- предохраняет ответственные элементы конструкции ядерного реактора от чрезмерного перегрева и радиационных повреждений (радиационно-тепловая защита).

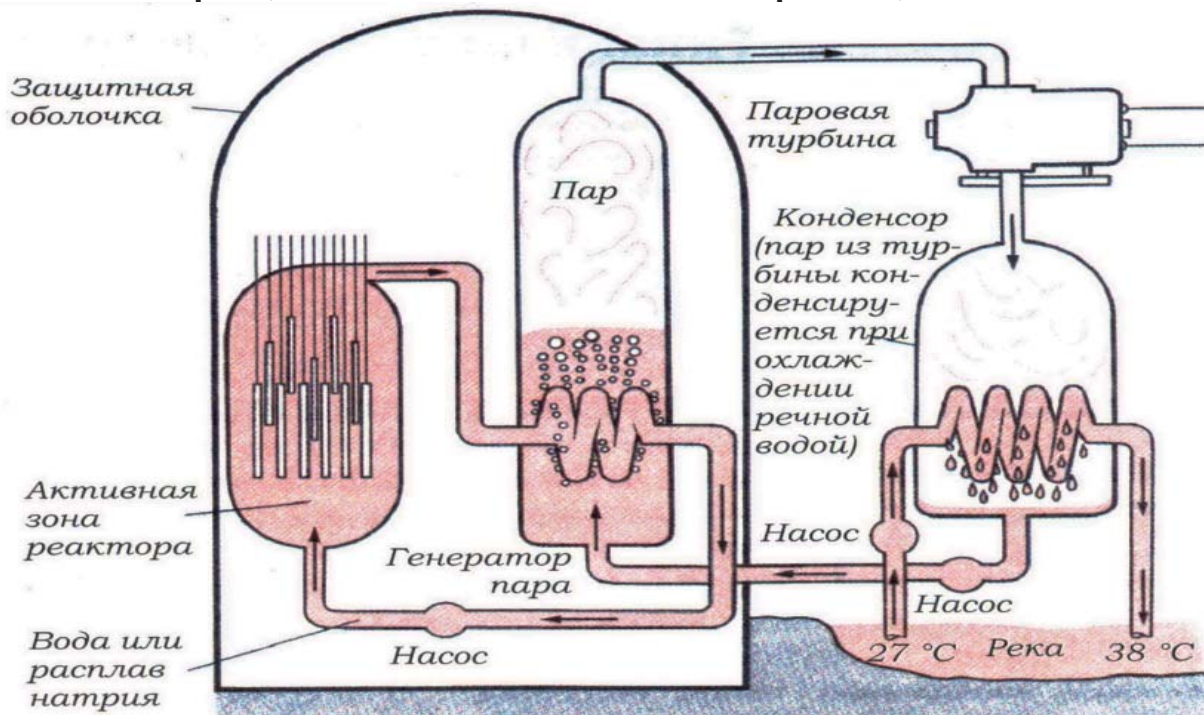


Управляющие (контрольные) стержни состоят из веществ, которые хорошо поглощают нейтроны. С их помощью регулируют процесс ядерного деления. Они поддерживают определенное содержание нейтронов в активной зоне, обеспечивая протекание цепной реакции ядерного деления, препятствуя чрезмерно активному прохождению процесса деления и перегреву активной зоны реактора, который может привести к серьезной аварии.

Отражатели применяют для уменьшения потерь нейтронов, участвующих в делении. Отражатели изготавливают из тяжелых металлов и располагают по периферии активной зоны. Они возвращают нейтроны в активную зону, увеличивая число нейтронов, участвующих в делении.

Теплоноситель используют для отвода из активной зоны реактора тепловой энергии, в которую преобразуется энергия ядерного деления и сопутствующих ядерных превращений. В качестве теплоносителей применяют воду, жидкие металлы (калий, натрий и др.), газы (воздух, азот, диоксид углерода, гелий и др.), и даже некоторые органические вещества.

Принципиальная схема атомной электростанции



Работа АЭС во многом аналогична работе тепловой электростанции, только здесь вместо тепловой энергии, получаемой путем сжигания органического топлива, используют энергию, выделяющуюся при осуществлении управляемой цепной реакции деления ядер атомов тяжелых элементов. Энергия, выделяющаяся в процессе деления ядерного «горючего», преобразуется в реакторе в тепловую энергию, которая идет на нагревание воды и ее превращение в пар. Водяной пар вращает турбину, связанную с генератором, вырабатывающим электрическую энергию.

Мощность современных атомных электростанций достигает нескольких гигаватт (ГВт). В таких странах, как Бельгия, Франция и Литва, значительная часть электроэнергии (60 – 82 % от общего производства) вырабатывается на атомных электростанциях.

На территории Республики Беларусь нет атомных электростанций. Однако вблизи ее границ располагается четыре АЭС: Игналинская в Литве, которую предполагается вывести из эксплуатации в ближайшее время, Чернобыльская (выведена из эксплуатации в 2000 году) и Ровенская в Украине, Смоленская в России.

После Чернобыльской катастрофы до 2006 года в Республике Беларусь действовал мораторий на строительство АЭС. Однако уже сейчас, ведутся предварительные работы по строительству АЭС в нашей республике.

Типы серийных ядерных реакторов для АЭС

Наиболее простым в техническом отношении является уран-графитовый реактор с водяным охлаждением. Реакторы этого типа использовали на первой в России АЭС в г. Обнинске, а позднее на Белоярской и Выборгской АЭС. На их основе был сконструирован серийный реактор типа РБМК (реактор большой мощности канальный).

В странах СНГ для получения электрической энергии, наряду с реакторами типа РБМК, мощностью до 1500 МВт (РБМК-1000, РБМК-1500), используют и различные модификации водо-водяного энергетического реактора, в основном, мощностью 440 (ВВЭР-440) и 1000 МВт (ВВЭР-1000).

В активной зоне реактора типа ВВЭР размещают топливные сборки ТВЭЛов. В качестве замедлителя нейтронов и теплоносителя в реакторе ВВЭР используют воду (именно поэтому его и называют водо-водяным).

Достоинства и недостатки атомных электростанций

Современные АЭС проектируются таким образом, чтобы:

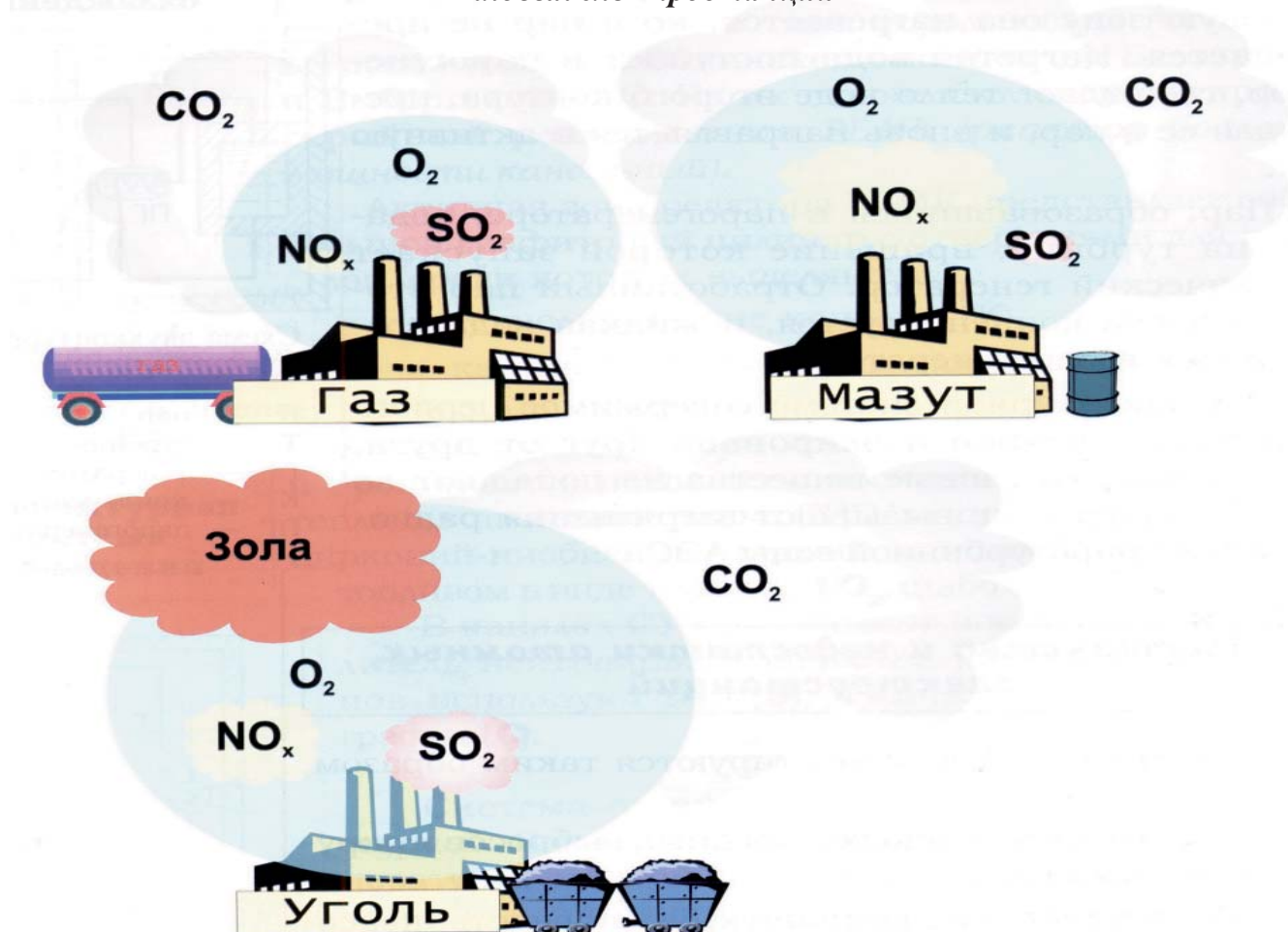
- не допускать опасных и вредных выбросов в окружающую среду;
- обеспечивать радиационную безопасность персонала и населения.

При нормальной работе АЭС значительно меньше загрязняют окружающую среду по сравнению с тепловыми электростанциями.

Выбросы вредных веществ в окружающую среду при нормальной работе атомной электростанции примерно в 100 раз меньше, чем при работе обычной тепловой электростанции.

Так, современная тепловая электростанция мощностью 1 ГВт в течение года потребляет около 3 млн. тонн угля и выбрасывает в атмосферу около 165 тыс. тонн различных отходов. В каменном угле содержатся естественные радиоактивные нуклиды (^{210}Po , ^{226}Ra , ^{40}K и др.), которые концентрируются в золе и шлаках.

Выбросы газообразных продуктов и потребление кислорода при работе тепловых электростанций



Достоинством АЭС является и сравнительно небольшой объем необходимого ядерного горючего. Так, АЭС мощностью 1 ГВт потребляет за год менее 100 тонн ядерного топлива, а тепловая электростанция такой же мощности — ~ 3 млн. тонн угля.

Однако, наряду с достоинствами, ядерной энергетике свойственны и недостатки. При использовании ядерной энергии возникают проблемы, связанные с:

- тепловым загрязнением окружающей среды;
- переработкой высокоактивных отходов и их длительным хранением и/или захоронением.

В настоящее время особое внимание уделяется:

- разработке способов эффективного использования сбрасываемого тепла, например, путем создания агробиологических и рыбоводческих комплексов для производства сельскохозяйственной и рыбной продукции;
- усовершенствованию методов переработки радиоактивных отходов и их изоляции в течение длительного времени, вплоть до полного распада радионуклидов.

Тем не менее, ядерная энергетика, подобно другим видам промышленного производства, остается потенциально опасной для человека и окружающей среды. На существующих предприятиях ядерной энергетике по тем или иным причинам неоднократно возникали аварийные ситуации, в том числе и с выбросом радиоактивных веществ в окружающую среду.

Предотвращение загрязнения окружающей среды радиоактивными отходами является одной из важнейших проблем ядерной энергетики.

Для безаварийной работы АЭС требуется обеспечить:

- надежность ядерных реакторов и систем их защиты;
- подготовку квалифицированных специалистов;
- соблюдение обслуживающим персоналом правил техники безопасности.

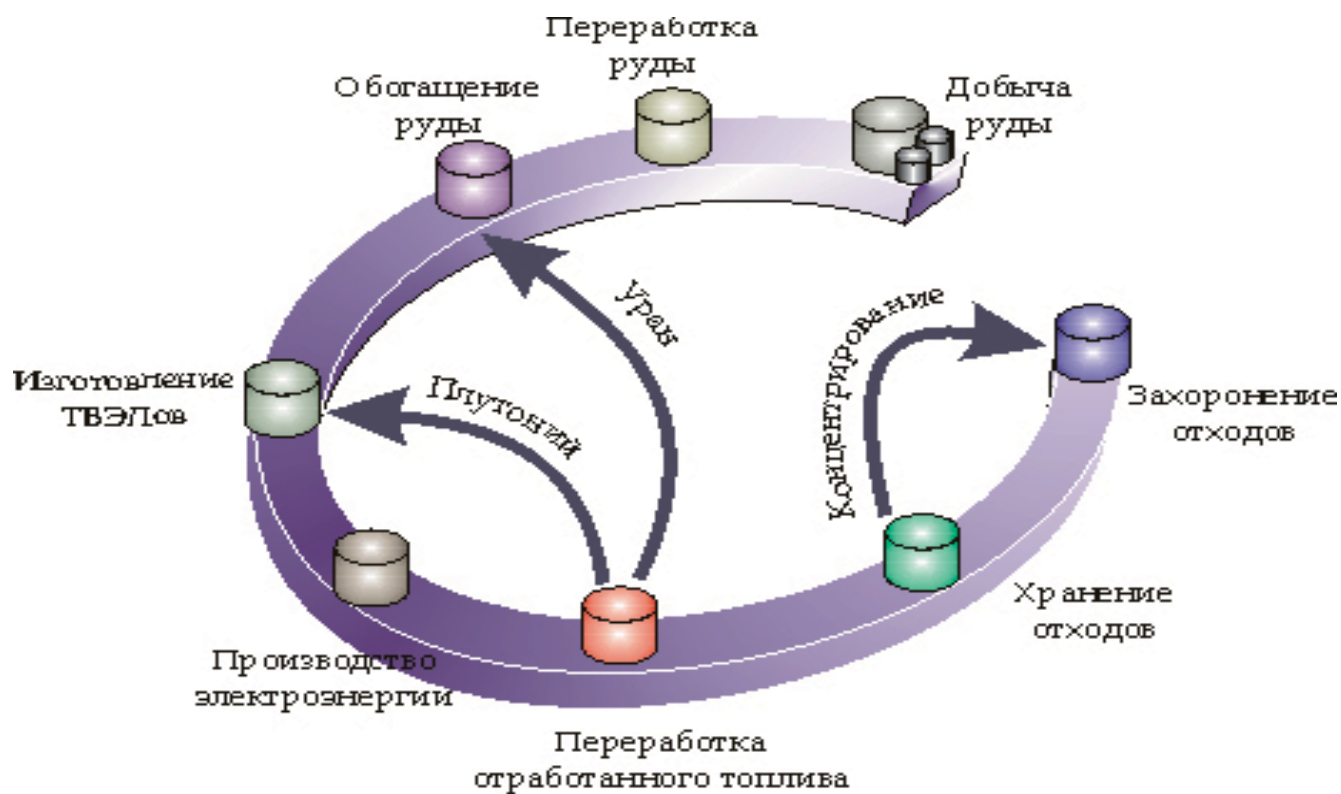
Ошибки и просчеты в работе персонала АЭС, нарушения ими правил безопасной работы недопустимы, так как могут привести к созданию аварийной ситуации.

Ядерный топливный цикл и проблема радиоактивных отходов

Ядерная энергетика — это не только атомные электростанции, составляющие лишь верхушку айсберга обширной отрасли энергетического производства. Его подводная часть — это добыча и обогащение урановых руд, получение ядерного топлива, его транспортировка и использование на АЭС, а также регенерация отработанного ядерного топлива на специальных заводах, хранение и захоронение радиоактивных отходов.

Весь процесс получения тепловой и электрической энергии за счет деления тяжелых атомных ядер — от разработки урановой руды до утилизации радиоактивных отходов — называют ядерным топливным циклом (ЯТЦ).

Типичный пример ядерного топливного цикла с основными видами предприятий схематически представлен ниже.



© Основы радиоэкологии и безопасной жизнедеятельности: пособие для учителей общеобразовательных учреждений/ — Минск; Тонпик, 2008.

Материал подготовлен: Брылева В.А., Максимович Д.М., Шаталова Н.Н., Войтецкая Е.Ф.

Адреса для контактов:

ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» НАН Беларуси, 220109, Минск, ул. академика А.К. Красина, 99
тел.: 299-47-61, 299-45-56, факс 299-43-55, E-mail: <http://www.sosny.bas-net.by>
E-mail: dimmax_50@list.ru

Для получения данного информационного бюллетня просим подать заявку в электронном виде с указанием своего электронного адреса

© При перепечатке ссылка обязательна

По заказу Министерства энергетики Республики Беларусь