

ПРОБЛЕМА ПОЛОНИЯ В ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ СО СВИНЦОВО-ВИСМУТОВЫМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

**Д.В. Панкратов, В.Н. Болховитинов, М.И. Бугреев, В.Д. Куранов,
Л.Д. Рябая, Г.И. Тошинский**

ГНЦ РФ-Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск



Излагается опыт проведения работ в условиях полониевого загрязнения на ядерных энергетических установках атомных подводных лодок и наземных стендов-прототипов с реакторами, охлаждаемыми сплавом свинец-висмут. Приведены некоторые результаты фундаментальных исследований, выполненных в ГНЦ РФ-ФЭИ и за рубежом, по изучению выхода полония из различных сплавов на основе свинца при их нагреве в вакууме и в атмосфере газа; его химических форм; закономерностей формирования радиационной обстановки.

Регулярные медико-биологические обследования персонала, участвовавшего в эксплуатации установок, ремонтных работах и ликвидации последствий аварий, не выявили случаев облучения полонием сверхустановленных санитарно-гигиенических норм.

Анализ изложенной информации позволяет сделать вывод: образование полония в свинцово-висмутовом теплоносителе не является доводом против его использования в реакторах ядерных энергетических установок.

ВВЕДЕНИЕ

Тяжелые аварии на реакторах Три-Майл-Айленд и Чернобыльской АЭС, более ранние аварии в Уиндскейле и на Урале в 1957 г., сопровождавшиеся радиоактивным загрязнением значительных территорий и большими социальными издержками, подорвали доверие к атомной энергетике.

В новых российских нормах радиационной безопасности НРБ-99 [1] сильно ужесточены требования по радиационной безопасности. Предел годовой дозы для населения установлен на уровне 1 мЗв (0,1 бэр), вместо 5 мЗв (0,5 бэр); для персонала – 20 мЗв (2 бэр), вместо прежних 50 мЗв (5 бэр). В 5 раз увеличен коэффициент радиационного риска на единицу коллективной дозы облучения населения.

Для обеспечения социальной приемлемости вновь разрабатываемых реакторов необходим глубокий и всесторонний анализ безопасности предлагаемых разработок, включая и очень маловероятные тяжелые аварии. Прогнозирование радиологических последствий эксплуатации реакторов и возможных аварийных ситуаций должно опираться на количественные знания о природе и механизмах выхода радиоактивности в окружающую среду, химических формах существования радионуклидов.

© **Д.В. Панкратов, В.Н. Болховитинов, М.И. Бугреев, В.Д. Куранов, Л.Д. Рябая,
Г.И. Тошинский, 2007**

Сказанное выше в полной мере относится к реакторам, охлаждаемым сплавом свинец–висмут, позволяющим создать ядерные энергетические установки, наиболее полно реализующие принципы внутренне присущей безопасности [2].

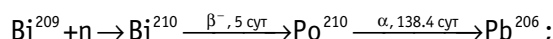
При использовании свинцово–висмутового теплоносителя (СВТ) в ядерных реакторах обращается внимание на высокую опасность полония, образующегося в свинце–висмуте при их работе. В значительной мере повышенное внимание к проблеме полония обосновано.

Po-210 ($T_{1/2} = 138,4$ дн.) – практически чистый α -излучатель, $E_{\alpha} = 5,3$ МэВ. Для полония-210 в НРБ-99 [1] установлены следующие пределы годового поступления (ПГП), допустимой среднегодовой объемной активности (ДОА) в воздухе и допустимой активности в питьевой воде (УВ):

- для персонала ПГП_{перс} = $6,7 \cdot 10^3$ Бк/год; ДОА_{перс} = $2,7$ Бк/м³;
- для населения ПГП_{нас}^{возд} = $2,5 \cdot 10^2$ Бк/год; ДОА_{нас} = $3,4 \cdot 10^{-2}$ Бк/м³;
- ПГП_{нас}^{пища} = $1,1 \cdot 10^2$ Бк/год; УВ_{нас}^{вода} = $0,12$ Бк/кг.

Для исключения недопустимого полониевого загрязнения обращение с радиоактивным свинцово-висмутовым теплоносителем требует достаточно высокой технологической культуры и принятия специальных мер обеспечения радиационной безопасности.

В реакторе полоний образуется в результате ядерной реакции на ядрах висмута:



его активность в насыщении может составлять $(4 \div 40) \cdot 10^{10}$ Бк/кг.

ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ НА ЯЭУ В УСЛОВИЯХ АВАРИЙНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЛОНИЕМ-210

Имеется почти 40-летний опыт работы со свинцово-висмутовым теплоносителем в реакторах атомных подводных лодок и наземных стендов-прототипов. В нормальных условиях работы, когда первый контур герметичен, полоний опасности не представляет. Опасность возникает при разгерметизации первого контура, возможной во время плановых ремонтов оборудования первого контура, перегрузках ядерного топлива или при аварийных проливах радиоактивного теплоносителя в обслуживаемое помещение.

Основной причиной опасности при этом являются α -радиоактивные аэрозоли полония в воздухе рабочих помещений и поверхностные загрязнения, как результат осаждения аэрозолей или контактного переноса α -активности.

Уникальный опыт работ в условиях полониевого загрязнения был получен, прежде всего, на первой реакторной установке со свинцово-висмутовым теплоносителем – стенде 27/ВТ ГНЦ ФЭИ (г. Обнинск), где в период освоения установки имели место многочисленные аварии с проливом теплоносителя. Там же проводились различные работы по обслуживанию и ремонту загрязненного полонием оборудования. Именно в этот период были отработаны основные организационно-технические мероприятия и средства защиты персонала от полония, которые в дальнейшем использовались на лодочных установках и позволили исключить случаи переоблучения персонала. Из них следует выделить:

- размещение основного оборудования первого контура в герметичной выгородке, находящейся под разрежением по отношению к атмосфере реакторного отсека;
- организацию зон строгого режима и строгого радиационного контроля в местах проведения работ;
- обеспечение местного отсоса воздуха от участков пролива и мест с повышенным поверхностным α -загрязнением с одновременным использованием аэрозольных фильтров из ткани Петрянова;

- удаление слитков застывшего радиоактивного сплава;
- дезактивацию загрязненных полонием поверхностей помещения и оборудования;
- нанесение легко удаляемых защитных полимерных покрытий на загрязненные полонием поверхности;
- исключение проведения огневых работ (резка, сварка);
- проведение работ в спецодежде (перчатки, бахилы и др.) с использованием индивидуальных средств защиты органов дыхания (респиратор типа «Лепесток» с тканью Петрянова, а в необходимых случаях – пневмокостюмов).

Авария с проливом 2000 кг радиоактивного сплава в обслуживаемое помещение имела место на головной АПЛ пр. 705 К (заказ 105) в 1982 г. В период проведения послеаварийных работ уровень α -загрязненности воздуха колебался в широких пределах, $4 \div 4 \cdot 10^3$ Бк/м³, в зависимости от характера проводимых работ. Наибольшая активность наблюдалась при механической рубке сплава, сопровождавшейся интенсивным образованием радиоактивных аэрозолей.

Хорошо зарекомендовали себя защитно-аккумулирующие покрытия, фиксирующие полониевое загрязнение, изменяющие его физико-химическое состояние и локализирующие загрязнение в небольшом объеме, предотвращая его рассеяние в окружающую среду. Экранирующее и дезактивационное действие этих покрытий основывается на явлениях сорбции, растворимости загрязнения в дисперсной среде и диффузионном переносе по всему объему покрытия. Время защитного действия пленки $250 \div 300$ сут, сорбционная емкость $\sim 4 \cdot 10^6 \div 4 \cdot 10^7$ Бк/кг.

Покрытие проходило натурные испытания на стенде 27/ВТ-5 в 1968 г. при проведении длительных ремонтных работ со значительным выходом полония. При испытаниях выявлено, что нанесение покрытий толщиной 300 мкм в сильно загрязненных помещениях (до $1 \cdot 10^5$ α -част./мин·см²) резко улучшает радиационную обстановку, доводя уровень (снимаемого) поверхностного загрязнения до допустимых значений. Нанесенное покрытие способно эксплуатироваться в помещениях с повышенными температурами воздуха до 45°C до полугода и более, не изменяя своих свойств, за исключением сильно увлажненных участков.

Отработанные покрытия легко снимаются с поверхности, не являясь при этом источником радиоактивных загрязнений.

ОПАСНОСТЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЛОНИЕМ ВТОРОГО КОНТУРА

При нарушении герметичности трубок парогенератора и потере давления во втором контуре может происходить заброс сплава во второй контур и загрязнение воды полонием. При этом основное количество полония остается в сплаве, конденсат насыщается до удельной активности ($10^3 \div 10^4$) Бк/кг, а внутренние поверхности загрязняются за счет сорбции полония из воды.

Хотя в воде содержится малая часть заброшенного со сплавом полония, именно она, а также парения воды определяют радиационную обстановку в турбинном помещении при эксплуатации. Обескислороживающий и обессоливающий фильтры второго контура на порядок снижают равновесный уровень активности воды. Парения по тракту второго контура создают аэрозольную активность в воздухе турбинного отсека с присутствием газообразных соединений полония. Аэрозольная активность при этом присутствует постоянно, ее концентрация будет зависеть от величины протечек пара. Объемная активность аэрозолей полония в воздухе в районе выхлопа эжектора турбины достигала 4 Бк/м³, при активности полония в сплаве $\sim 4 \cdot 10^9$ Бк/кг.

Загрязненные внутренние поверхности второго контура создают радиационную опасность при ремонте оборудования. Оставшийся во втором контуре сплав является постоянным источником загрязнения воды. Простая замена воды и даже дезакти-

вация внутренних поверхностей без удаления сплава не приводит к желаемому результату. Таким образом, дезактивация второго контура в принципе возможна только после удаления сплава из второго контура.

При аварии с крупной межконтурной течью на АПЛ проекта 705 К (заказ № 105), благодаря сохранению более высокого давления во втором контуре, загрязнения воды второго контура полонием практически не произошло (максимальное значение альфа-активности воды в главном конденсаторе не превысило 5 Бк/кг).

РАДИАЦИОННАЯ ОБСТАНОВКА ПРИ ВЫГРУЗКЕ АКТИВНОЙ ЗОНЫ РЕАКТОРА

В октябре 1961 г. была произведена первая выгрузка активной зоны реактора стенда 27/ВТ в виде единой выемной части. Выгрузка выполнена с использованием переходной коробки и перегрузочного скафандра, не имеющего нижнего шибера. Общее время транспортировки с момента втягивания выемной части в скафандр до посадки ее на дно хранилища составило 30 мин. Остаточное тепловыделение активной зоны на момент выгрузки составляло 20–25 кВт. Температура воздуха, охлаждающего выемную часть при транспортировке, на выходе не превышала 100°C. По пути транспортировки выемной части от корпуса реактора до хранилища был сооружен поддон для сбора пролитого при транспортировке сплава. Количество сплава, вытекшего на поддон, не превышало 800 см³. Выгрузка выемной части проводилась с защищенного пульта управления при отсутствии персонала в центральном зале и в реакторном помещении.

За время выгрузки суммарный выброс полония в спецвентиляцию составил $\sim 5 \cdot 10^7$ Бк (без учета осаждения на воздуховоде). Объемная активность аэрозолей над реактором и в середине центрального зала в первые 30 мин операции выгрузки составляла 2370 и $(207 \div 925)$ Бк/м³ соответственно. В следующие 30 мин средняя активность аэрозолей полония в этих же точках была существенно меньше и составляла 81 и $(2 \div 11)$ Бк/м³. Через три часа концентрация аэрозолей еще снизилась до 7,8 и 0,4 Бк/м³; а спустя еще три часа, после закрытия крышки реактора, активность аэрозолей в воздухе над реактором снизилась до фоновых значений (0,4 Бк/м³).

После окончания перегрузки выемной части превышения загрязненности поверхностей не отмечено. Через 6 ч после окончания перегрузки концентрация аэрозолей полония во всех помещениях была менее 0,4 Бк/м³.

Таким образом, технические решения, заложенные в технологию выгрузки выемной части, с точки зрения обеспечения безопасности от полония в основном себя оправдали.

Аналогичная операция выгрузки активной зоны на другом стенде-прототипе в г. Сосновый Бор с использованием того же перегрузочного скафандра была выполнена спустя 26 лет, в июне 1987 г. Остаточное тепловыделение в активной зоне к моменту выгрузки составляло около 3 кВт, а удельная активность теплоносителя по Ро-210 была примерно равна $4 \cdot 10^9$ Бк/кг. Радиационная обстановка по Ро-210 при этой выгрузке была значительно лучше, чем в первом случае. В реакторном помещении и в центральном зале концентрации Ро-210 в воздухе не превышали 4 Бк/м³ ($DOA_{перс} = 2,7$), а выброс полония во внешнюю среду не превысил $4 \cdot 10^3$ Бк.

МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПОСТУПЛЕНИЯ ПОЛОНИЯ В ОРГАНИЗМ ПЕРСОНАЛА

В последнее время в среде специалистов ВМФ и судостроительной промышленности прошла волна слухов о якобы повышенном числе фатальных исходов в категории лиц, обеспечивающих в 1960–1990 гг. эксплуатацию, ремонт и базовое обслуживание ЯЭУ с жидкометаллическим теплоносителем свинец–висмут на атомных под-

водных лодках пр. 645, 705, 705 К. В связи с этим необходимо отметить следующее.

Высокая радиобиологическая опасность полония-210, образующегося под действием нейтронного потока в теплоносителе Pb–Bi во время работы ЯЭУ, с самого начала разработок и эксплуатации жидкометаллических установок потребовала большого внимания к этой проблеме специалистов ГНЦ РФ-ФЭИ, ФХИ им. Л.Я. Карпова, Института биофизики Минздрава СССР, НИИ гигиены морского транспорта Минздрава и других специализированных организаций с целью разработки эффективных мер обеспечения радиационной безопасности персонала ЯЭУ с ЖМТ.

В течение всего периода эксплуатации этих установок на АПЛ и наземных стендах-прототипах: 27/ВТ (г. Обнинск) и КМ-1 (г. Сосновый Бор) изучался и обобщался опыт работы в условиях полониевого загрязнения атмосферы воздуха и поверхностей оборудования и помещений в самых различных эксплуатационных ситуациях, включая проливы радиоактивного теплоносителя в реакторные помещения на начальных этапах эксплуатации ЯЭУ.

Гражданский и военный персонал, участвовавший в проведении работ, находился под постоянным контролем служб радиационной безопасности и медицинским контролем. По данным этого контроля за все время эксплуатации жидкометаллических установок не было выявлено случаев носительства инкорпорированного полония в организмах персонала сверх уровней, установленных национальными нормативными документами по радиационной безопасности, действовавшими в этот период.

Так при аварии на АПЛ пр. 705К (заказ № 105) в 1982 г. с проливом около 2000 кг радиоактивного сплава непосредственно в реакторный отсек АПЛ, концентрация радиоактивных аэрозолей в воздухе реакторного отсека не превышала 37 Бк/м³ ($\sim 10 \div 15$ ДОА_{перс.}). Содержание полония в критических органах у персонала АПЛ, определенное по объективным результатам анализа биопроб, не превышало 10% соответствующего допустимого содержания полония.

Анализ последствий тяжелой радиационной аварии на реакторе левого борта АПЛ проекта 645 в 1968 г., в результате которой погибло 7 членов экипажа, показал, что лучевое поражение было обусловлено гамма-излучением радиоактивных благородных газов (криптоном и ксеноном) от незащищенных трубопроводов газовой системы. В биопробах пострадавших содержание полония находилось в пределах допустимых норм.

Эти и другие результаты исследований полониевой проблемы на АПЛ с ЖМТ были изложены нами в научно-техническом отчете «Обобщение опыта эксплуатации и проведения ремонтов ЯЭУ с ЖМТ свинец–висмут, в части радиационной обстановки и дозовых нагрузок, обусловленных полонием-210 и тритием», выпущенном в 1992 г. совместно со специалистами Центральной медицинской лаборатории ВМФ и службой радиационной безопасности Ленинградского адмиралтейского объединения.

В этом документе специалистами-медиками ВМФ по результатам многолетних медицинских наблюдений за личным составом ВМФ сделано заключение о том, что «радиационно-гигиенические условия и заболеваемость личного состава на АПЛ с ЖМТ, по существу, не отличаются не только от заболеваемости личного состава АПЛ с водо-водяными реакторами, но и от заболеваемости специалистов береговых служб, дислоцированных в регионе базирования АПЛ, не связанных непосредственно с радиацией». Данный отчет был разослан в 1992 г. в адреса заинтересованных организаций.

В 1991 г. в США в журнале «Health Physics» (vol. 61, № 1) была опубликована статья «Mortality among a Control of Workers Monitored for Po-210 Exposure: 1944–1972 у.у.» (смертность среди группы работников, контролировавшихся по облучению Po-210 в 1944–1972 гг.). Авторы провели крупное эпидемиологическое исследование

(изучено свыше 160000 протоколов биопроб) последствий внутреннего облучения Po-210 группы мужчин в количестве 4402 чел. (104326 человеко-лет работы), занятых в 1944–1972 гг. в производстве Po-210 в Mound Facility при создании триггерных устройств (нейтронных источников) для ядерных зарядов.

Результаты наблюдений были сопоставлены с официальными данными о причинах смерти 987 чел. этой группы за весь период по январь 1984 г. по всем видам раковых заболеваний. Они также сравнили статистику по смертности этой группы с аналогичными данными двух контрольных групп лиц (средней по США и по штату Огайо) и сделали вывод об отсутствии связи между полученными дозами внутреннего облучения за счет инкорпорированного полония вплоть до 1 Зв (100 бэр) и уровнем смертности по причинам злокачественных образований.

Практически все тренды, характеризующие смертность от раковых заболеваний в изучавшейся когорте работников, были отрицательны, т.е. смертность была даже несколько меньшей, чем в двух контрольных группах, что может быть объяснено, по-видимому, более тщательным контролем здоровья персонала и лучшим медицинским обслуживанием работников предприятия.

С учетом изложенного, на сегодня нет основания полагать, что реакторные установки со свинцово-висмутовым теплоносителем по радиологическим параметрам обладают повышенным радиационным риском по сравнению с ЯЭУ других типов и являются неприемлемыми для использования в гражданской и военной атомной энергетике.

Кроме того, разрабатываемые в настоящее время реакторные установки с ЖМТ конструктивно выполняются в виде моноблоков, что практически исключает проливы радиоактивного теплоносителя.

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ ВЫХОДА Po-210 ИЗ ПОЛОНИЙСОДЕРЖАЩИХ СРЕД

В последние несколько лет в ГНЦ РФ-ФЭИ проводилась работа по обобщению опубликованных в отечественной и зарубежной литературе данных по выходу полония из полонийсодержащих сред, выполнены собственные экспериментальные и расчетные исследования.

Известно, что полоний может находиться как в элементарной химической форме, так и в форме химических соединений: оксид полония, интерметаллические соединения, гидрид полония и др. Летучесть этих форм различна, зависит от температуры среды, плотности и вида газовой атмосферы над полонийсодержащим расплавом и ряда других параметров.

В одной из наиболее ранних публикаций по опыту работ с полонием в Mound Laboratory, вышедшей в США в 1956 г. [3], было показано, что летучесть полония из разбавленного раствора в висмуте существенно (в $\sim 10^3$ раз при 400°C) ниже давления паров элементарного полония, отнесенного к такой же его концентрации в висмуте. Это свидетельствует о том, что в изученной области температур ($450 \div 850^\circ\text{C}$) полоний находится в висмуте в виде менее летучего химического соединения.

В лабораторных опытах с нагревом полонийсодержащих образцов эвтектики $\text{Pb}_{83}\text{Li}_{17}$ Фойерштайн с коллегами из Ядерного Центра в Карлсруе [4] установил, что в диапазоне температур ($300 \div 800^\circ\text{C}$) скорость возгонки полония в вакууме была ниже примерно в 10^3 раз, чем рассчитанная для полония в элементарной форме. Авторами было высказано предположение, что полоний присутствует в свинцово-литиевой эвтектике в виде полонида свинца, имеющего существенно более низкую, чем элементарный полоний, упругость паров в рассматриваемом диапазоне температур. Наличие атмосферы инертного газа снижало скорость возгонки полония еще в $\sim 10^3$

раз. Таким образом, реально наблюдавшаяся скорость возгонки полония была в $\sim 10^6$ раз ниже скорости, рассчитанной для испарения элементарного полония в вакуум. Эффект экранировки газовой средой наблюдался и в опытах по испарению свинца и висмута из чистой (не содержащей Po-210) эвтектики.

Похожие результаты наблюдались в опытах Таппера из США [5] со свинцово-висмутовой эвтектикой, из которых он сделал вывод о том, что степень опасности полония в радиоактивной свинцово-висмутовой эвтектике часто преувеличивается; величина активности Po-210, выделяющегося из сплава в интервале температур $(300 \div 800)^\circ\text{C}$, не является препятствием к использованию сплава свинец-висмут в качестве теплоносителя реакторов.

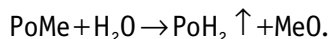
Исследования выхода полония из полонийсодержащих расплавов свинца-висмута, свинца и эвтектики свинец-литий при их нагреве в области температур $(300 \div 800)^\circ\text{C}$ проводились в ГНЦ РФ-ФЭИ в начале 90-х годов на специально созданной экспериментальной установке.

В результате исследований были сделаны следующие выводы:

- подтверждена теоретическая зависимость от температуры скорости возгонки полония в вакууме в форме его интерметаллического соединения со свинцом;
- наличие атмосферы инертного газа или воздуха существенно снижает скорость выхода полония из расплава по сравнению с вакуумом, что качественно совпадает с результатами работ Фойерштайна и Таппера.

Необходимо также обратить внимание еще на одну особенность полония, – его способность образовывать неустойчивое газообразное соединение – гидрид полония.

В опытах Н.Б. Борисова [6] (Физико-химический институт им. Л.Я. Карпова) при продувании влажного воздуха над полонийсодержащими препаратами при комнатной температуре наблюдалось образование газообразного соединения полония, причиной которого могла быть лишь реакция гидролиза бинарного соединения полония:



При этом с ростом влажности воздуха выход PoH_2 увеличивался. Этот интересный результат в значительной мере объясняет наблюдавшуюся в течение нескольких дней после аварии на заказе № 105 постоянную а-активность воздуха в реакторном помещении на уровне ~ 40 Бк/м³. По-видимому, имело место взаимодействие влажного воздуха с рыхлой окисной пленкой на поверхности застывшего сплава, содержащего интерметаллид полония, образование гидрида полония и его возгонка в атмосферу помещения.

ВЫВОДЫ

1. Опыт работ на реакторах АПЛ и наземных стендов-прототипов показал, что обращение с радиоактивным свинцово-висмутовым теплоносителем требует высокой технологической культуры и принятия специальных мер обеспечения радиационной безопасности. В нормальных условиях работы, когда первый контур герметичен, полоний опасности не представляет. Опасность возникает при работах с нарушением герметичности контура, возможным во время ремонтов оборудования контура, перегрузках ядерного топлива или при аварийных проливах радиоактивного теплоносителя в обслуживаемое помещение.

Научные исследования и строгий радиационный контроль, осуществлявшиеся в период ликвидации последствий аварийных проливов теплоносителя на стенде-прототипе и на АПЛ, позволили получить достаточные знания и отработать основные организационно-технические мероприятия и средства защиты персонала от полония, не допустить переоблучения людей.

2. Изучение и обобщение опубликованных в отечественной и зарубежной лите-

ратуре данных по выходу полония из полонийсодержащих сред, выполненные собственные экспериментальные исследования показали, что в диапазоне температур (300 ÷ 600)°C полоний в расплаве эвтектики свинец-висмут присутствует преимущественно в виде полонида свинца. Этим обстоятельством объясняется почти в 1000 раз меньшая скорость испарения полония с поверхности расплава в вакуум, наблюдаемая в этом диапазоне температур, по сравнению с расчетной скоростью для раствора элементарного полония в эвтектике Pb–Bi. Существенно снижает скорость испарения полония наличие над поверхностью расплава защитного газа (при давлении близком к атмосферному) или воздуха. Поэтому, реально наблюдаемая скорость выхода радиоактивного полония из расплава эвтектики в защитный газ или воздух в $10^5 \div 10^6$ раз ниже теоретической скорости испарения в вакуум элементарного полония той же молярной концентрации его в СВТ.

3. Знания о механизмах выхода полония из расплава Pb–Bi, его миграции в газовой системе контура и во внешней среде (воздух рабочих помещений, поверхностные загрязнения в них, объекты природной среды) позволили разработать расчетные математические модели для прогнозирования радиационной обстановки в реакторном помещении и за пределами реакторной установки, радиоэкологических последствий аварийного выброса полония в атмосферу.

4. Регулярный многолетний радиологический и медицинский контроль персонала ядерных энергетических установок с жидкометаллическим СВТ на стендах-прототипах и на атомных подводных лодках, длительное время принимавшего участие в эксплуатации, ремонтах и перегрузках ядерного топлива, ликвидации последствий аварий, связанных с проливом радиоактивного СВТ в реакторное помещение, не выявил случаев носительства Po^{210} в организме людей сверх уровней, установленных радиационно-гигиеническими нормами России. Отработанные в процессе освоения этих установок методы и средства индивидуальной и коллективной защиты от полония надежно обеспечивали радиационную безопасность персонала и защиту окружающей среды.

5. В качестве общего итога выполненного анализа может быть сделан обоснованный вывод о том, что образование полония в СВТ не является доводом против его использования в реакторах ЯЭУ.

Статья посвящается памяти профессора Б.Ф. Громова.

Литература

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). Государственные санитарно – эпидемиологические правила и нормы. СП 2.6.1.758-99. – Минздрав России, 1999.
2. Concept of safety ensuring. Use of lead-bismuth coolant in nuclear reactors and accelerator-driven systems//Nuclear Engineering and Design. – 1997. – 173. – P. 207-217.
3. Harvey V. Moyer POLONIUM. – Oak Ridge, Tennessee. July 1956.
4. Feuerstein H., Oschinski J. and Horn S. Behavior of Po-210 in molten Pb–17Li// Journal of Nuclear Materials. – 1992. – 191-194, North-Holland.
5. Tupper R.B., Minuskin B., Peters F.E., Kardos Z.L. Polonium Hazards associated with Lead-Bismuth used as a Reactor Coolant/ International Conference on Fast Reactors and Related Fuel Cycles Current Status and Innovations Leading to Promising Plants (October 28 – November 1, 1991. Kyoto, Japan). – Proceeding. – V. IV.
6. Петрянов И.В., Борисов Н.Б., Чуркин С.Л., Борисов Л.И., Старостина И.А. Образование и выделение газообразной фракции полония из твердых препаратов/Доклады Академии наук СССР. – 1992. – Т. 322. – № 3.

Поступила в редакцию 1.09.2006

ABSTRACTS OF THE PAPERS

УДК 621.039

Boris Fedorovich Gromov. From a Student to Principal Scientific Leader\G.I. Toshinsky; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2007. – 7 pages. – References – 2 titles.

The article describes some biographical features of B.F. Gromov's activity and initiation of a principally new nuclear power installation with lead-bismuth liquid metal coolant. The complicated problems which had to be solved by many organizations and, first of all, by IPPE under B.F. Gromov's scientific supervision are presented. The causes of failures of reactor installations, the methods of elimination of those causes during the process of mastering the nuclear power technology, which was and is remaining unique in the world, have been considered.

УДК 621.039.52

NPP Technical Diagnostics. Excursion to a History\V.N. Bogomolov; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2007. – 9 pages, 1 illustration. – References – 2 titles.

The history of occurrence of the NPP technical diagnostics as a new scientific branch is described. The B.F. Gromov's role is stated, who right away put a practical sense and orientation into the direction. The description of diagnostic algorithms of NPP with liquid metal are resulted.

УДК 621.039.534.6

Capsule Solid Electrolyte Gauges for the Control of Oxygen in Metal Melts and Combustible Gases in an Atmosphere\ P.N. Martynov, M.E. Chernov, V.M. Shelemetev, A.N. Storozhenko, R.P. Sadovnichiy; – Obninsk, 2007. – 6 pages, 4 illustrations. – References – 7 titles.

Results of researches on development of gauges of thermodynamic activity of oxygen in lead containing metal melts, and also gauges for early detection and the control of oxygen, hydrogen and other combustible gases in an atmosphere are resulted. Developed solid electrolyte gauges of oxygen have passed metrological certification and are brought in the State registry of means of measurements. It is shown, that gauges for the control of the maintenance of oxygen over gas, including combustible impurity, possess an opportunity to make early detection of small concentration of such impurity.

УДК 621.039.534

Problem Polonium in Nuclear Power Plant with Lead-Bismuth as a Coolant\ D.V. Pankratov, V.N. Bolchovitinov, M.I. Bugreev, V.D. Kuranov, L.D. Ryabaya, G.I. Toshinsky; Editorial board of journal «Izvestia visshikh uchebnikh zavedeniy. Yadernaya energetika» (Communications of Higher School. Nuclear Power Engineering). – Obninsk, 2007. – 8 pages. – References – 6 titles.

The paper presents experience of performing works at the nuclear submarines' nuclear power installations and at the ground facilities-prototypes with lead-bismuth cooled reactors in polonium contamination conditions. The certain results of fundamental researches realized in SSC RF - IPPE and abroad concerning investigations in polonium release out of lead-based polonium-containing media being heated in vacuum and gas atmosphere, studies of chemical forms of polonium, laws of forming the radiation conditions are described.

The regular medical and biological examinations of the personnel who took part in operating the installations, repair works and liquidation of the accidents' consequences have not revealed the casualties of polonium irradiation over the established sanitary standards.

The analysis of the information presented makes it possible to conclude: formation of polonium in lead-bismuth coolant is not an argument against its use in reactors of nuclear power installations.