

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

© 2006 Д.О.Горбачев¹

В статье представлен сравнительный анализ радиационной ситуации на предприятиях нефтегазового комплекса Самарской области при воздействии на персонал источников ионизирующего излучения естественного и искусственного происхождения. Использование санитарно-гигиенических и статистических методов исследования позволило выявить наиболее неблагоприятный фактор радиационной природы, связанный с применением дефектоскопии. На основе полученных данных разработан комплекс профилактических мероприятий, снижающих радиационный риск.

1. Актуальность проблемы

Неизбежным следствием развития технологической цивилизации является все возрастающая опасность воздействия техногенных факторов на жизнь и здоровье человека. Одним из таких факторов является ионизирующее излучение. В настоящее время меняется концептуальный подход к проблемам контроля радиационной безопасности. Если раньше проблема радиационной безопасности сводилась в основном к обеспечению контроля радиационной безопасности ограниченного числа потенциально опасных объектов (предприятия ядерного топливного цикла, исследовательские и оборонные объекты соответствующего профиля и т.д.), то в настоящее время эта проблема приобретает глобальный характер. Интерес общества к проблемам радиационной безопасности населения и персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения, постоянно возрастает (особенно после аварии на Чернобыльской атомной станции). Целью государственной политики в области обеспечения безопасности в ядерной отрасли являются последовательное снижение до приемлемого уровня техногенного воздействия на население и окружающую среду радиационного фактора и снижение до допустимых норм воздействия природных источников ионизирующего излучения [1].

Основные факторы, придающие проблемам радиационной безопасности характер глобальной проблемы, разнообразны. Все возрастающее влияние "антропогенных нагрузок": деятельность угольной, нефтяной, горнодобывающей промышленности приводит к перемещению на поверхность глубинных пород с повышенным содержанием радионуклидов. Оценивая риск аварий на АЭС и на предприятиях ядерного топливно-энергетического цикла в целом, нужно исходить из того, что,

¹Горбачев Дмитрий Олегович, кафедра общей гигиены Самарского государственного медицинского университета, 443099, Россия, г. Самара, ул. Чапаевская, 89.

несмотря на все меры по повышению безопасности предприятий ядерной энергетики, вероятность аварий конечна, то есть не может быть исключена. Угроза "ядерного терроризма" увеличивает вероятность разового применения ядерного оружия, скорее всего небольшой мощности. В результате имеется риск возникновения радиационно-опасной ситуации в любой точке планеты. Это требует применения новых концептуальных подходов к проблеме регистрации ионизирующего излучения [2].

Увеличение добычи нефти и газа в нашей стране, развитие предприятий по переработке и транспортировке нефтепродуктов все более актуальным делают решение проблемы радиационной безопасности на данных объектах. В процессе добычи и транспортировки энергоносителей происходит облучение персонала предприятий природными радионуклидами, содержащимися в добываемом сырье, оседающими на промышленном оборудовании, присутствующими в промышленных отходах. Накапливаясь на территории предприятий, они создают угрозу радиоактивного загрязнения окружающей среды, облучения не только персонала, но и населения, проживающего на данной территории.

При добыче углеводородов с пластовыми водами на поверхность извлекаются нефтешламы с повышенным содержанием природных радионуклидов (ПРН) уранового и ториевого рядов. Общее количество отходов нефтегазового комплекса (НТК) Российской Федерации оценивается в 50 млн тонн с ежегодным увеличением почти на 1 млн. тонн [3]. В нефтяной промышленности США, по данным Агентства по защите окружающей среды, ежегодно образуется 250 000 тонн нефтешламов и 25 000 тонн твердых отложений с повышенной радиоактивностью. На национальном и на международном уровне образование радиоактивных нефтешламов признано одной из актуальных проблем радиационной безопасности. Начальные и заключительные этапы дезактивационных работ заключаются в проведении детальной радиометрической съемки и радиометрического опробования, позволивших проследить изменение радиационной обстановки с течением времени на объектах головных сооружений нефтедобывающих предприятий: нефтеловушках, на поверхности резервуаров вертикальных стальных (РВС) для отстаивания пластовой метанольной воды и на поверхности насосов для перекачки жидкого товарного пропана.

Применение рентгеновской и радионуклидной дефектоскопии на предприятиях нефтегазового комплекса (НГК) приводит к облучению персонала дозами, превышающими предельно допустимые уровни. Широкие масштабы использования данного метода неразрушающего контроля качества сварных швов и целостности производственного оборудования в отрасли требуют дальнейшего совершенствования системы радиационной защиты [4].

На сегодняшний день недостаточно работ, отражающих детальный анализ радиационной обстановки на предприятиях НГК в условиях воздействия естественных и искусственных источников ионизирующего излучения на персонал и окружающую среду, малочисленны исследования по оценке условий труда персонала предприятий при воздействии радиационного фактора и оценке уровней риска развития стохастических эффектов. Кроме того, недостаточно разработан комплекс профилактических мероприятий, направленных на снижение вредного воздействия источников ионизирующего излучения.

Перечисленный круг нерешенных вопросов определил актуальность, составил цель и задачи настоящей работы, которая проводилась в соответствии с программой "Государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной

безопасности Российской Федерации на период до 2010 года и дальнейшую перспективу”.

2. Материалы и методы

Исследование воздействия радиационного фактора на персонал предприятий НГК проводилось при проведении особо опасных работ (эксплуатация оборудования в стационарном режиме, выгрузка нефтешлама и зачистка буллита, ремонт и зачистка оборудования, демонтаж труб) на радиационно-загрязненном технологическом оборудовании НГДУ "Первомайнефть", "Богатовскнефть", "Сергиевскнефть" ОАО "Самаранефтегаз" с использованием дозиметров (СРП-88, ДРГ-01Т1). Объемная активность радона 222 в воздухе рабочих помещений и емкостях промышленного оборудования измерялась при помощи радиометра "AlphaGuard Mod.PQ 2000". Всего было проведено 650 измерений. Гаммаспектрометрический анализ нефтешламов, проб грунта (всего проанализировано 135 проб) проводился на комплексе "Прогресс". Оценка показаний индивидуальных дозиметров операторов предприятий и дефектоскопистов осуществлялась с помощью прибора ДВГ-02Т (оценены индивидуальные дозы 160 человек).

3. Результаты и их обсуждение

Основным источником загрязнения нефте- и газопромыслов радиоактивными изотопами, по мнению большинства исследователей [5], являются подземные воды. Радиоактивные пластовые воды являются источником радиоактивных отложений в нефтяных и газовых скважинах, а также на внутренних стенках трубопроводов, в нефтяном и газовом оборудовании, нефте- и песколоушках.

Радиоактивному загрязнению пластовых вод нефтяных месторождений много внимания уделялось еще в 20–30-х годах прошлого столетия. Работами Радиевого института АН СССР показано, что пластовые воды многих нефтяных и газовых месторождений отличаются повышенными концентрациями Ra-226, достигающими 1000 Бк/л. На предприятиях ОАО "Самаранефтегаз" суммарная активность природных радионуклидов на внутренней поверхности нефтяного оборудования, по данным дозиметрии и спектрометрии, в среднем составила по радию 226–89%, по торию 232–11% (рис 1).

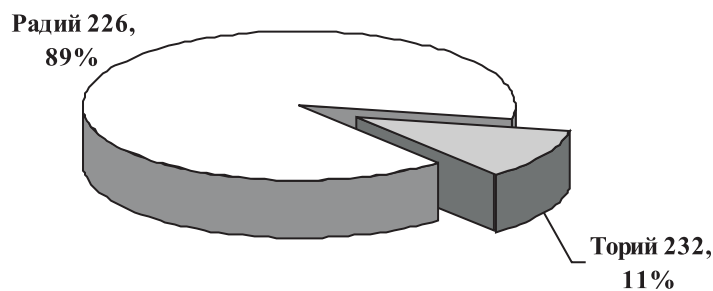


Рис. 1. Суммарная активность альфа-излучателей на внутренней поверхности нефтяного оборудования

Принято считать, что основными факторами, способствующими обогащению природных вод радием, является контакт пород, содержащих изотопы радия в рассеянном состоянии, с капиллярной и трещинной водой благоприятного физико-химического характера, а также устойчивость элемента в растворе. В водах нефтяных месторождений отмечается закономерное увеличение содержания радия с приближением к водонефтяному контакту.

Поступление ПРН в воды связано с процессами растворения и выщелачивания их из горных пород, контролируемых рядом факторов: составом отложений, формой нахождения в них радиоактивных элементов и свойствами самих вод. Для вмещающих пород месторождений нефти и газа повышенные концентрации ПРН, как правило, нехарактерны. Осадочные породы в определенной степени наследуют радиоактивность изверженных и метаморфизованных горных пород, из которых они формируются, что можно объяснить адсорбцией радия на постепенно осаждающейся гидроокиси железа. Об этом может свидетельствовать факт регистрации в ряде морских донных осадков повышенных концентраций радия. Большинство промышленных месторождений угля, нефти и горючих сланцев отличаются невысоким содержанием урана. Исключение составляют горючие и черные углистые сланцы с содержанием урана до 0,1% [6]. Согласно современным представлениям, распределение радиоактивных элементов в подземных водах подчиняется общей гидрохимической зональности осадочной толщи, возникающей в эпигенетическую стадию развития системы "твердое вещество–раствор". Поземные воды глубоких горизонтов характеризуются высокой минерализацией, хлоридкальциевым составом, присутствием углеводородных газов и относительно большим количеством углеводородов. Процесс выщелачивания радия из пород и минералов в пластовую воду, названный И.Е. Стариком миграцией второго рода, не связан с разрушением кристаллической решетки минералов. При этом радий, вероятно, скапливается в ее нарушениях или в капиллярах, заполненных водой. На процесс выщелачивания радия из пород и минералов большое влияние оказывает катионный состав вод. Чем ближе химическое сходство элемента и радия, чем ближе его ионный радиус к ионному радиусу радия, тем сильнее он вытесняет радий из минералов и пород. Существенно влияет на выщелачиваемость радия и концентрация солей в растворе. Так, например, на один-два порядка возрастает выщелачиваемость радия при увеличении концентрации хлористого натрия от 1 до 200 г/л. Сравнительно легкое выщелачивание радия из горных пород в подземные воды наблюдается в восстановительных условиях. С глубиной его содержание часто возрастает (удельная активность — 37 Бк/л). В этом же направлении происходит увеличение концентрации хлора, натрия и кальция. Эти элементы благоприятствуют десорбции и диффузии радия из поровых растворов в гравитационные воды [7]. В хлоркальциевых водах нефтяных месторождений радий и барий (ближайший химический аналог радия) находятся в растворенном состоянии, причем содержание бария часто также повышено и составляет 30–120 мг/л. В исследовании радиационного состояния объектов НГК, проведенных на территории ряда предприятий ОАО "Самаранефтегаз", были выявлены основные радиационно-загрязненные месторождения: Мухановское, Дмитровское, Сосновское, Яблоневый овраг. В таблице 1 приведены результаты дозиметрического исследования поверхности промышленного оборудования НГДУ "Первомайнефть".

Из всех газообразных ПРН наибольшую экологическую опасность представляет Rn-222 (периодом полураспада — 3,82 суток) — наиболее активный из газообразных ПРН, самый тяжелый и самый редкий элемент группы инертных газов. Не

Таблица 1

**Результаты дозиметрического исследования поверхности
промышленного оборудования**

Место измерения	Среднее значение, мкР/ч
Насос 1	
Вход	50
Выход	64
Насос 2	
Вход	132
Выход	85
Насос 3	
Вход	35
Выход	71
Насос 4	
Вход	62
Выход	52
Насос 5	
Вход	35
Выход	33
Буллит 3	
Днище	166
Задвижка	43
Водовод	90
Поверхность трубы (делитель фаз)	60

обладая ни цветом, ни вкусом, ни запахом, способен распространяться на значительные расстояния от места образования. Радон превращается в бесцветную жидкость при температуре $-61,8^{\circ}\text{C}$, а замерзает при температуре -71°C . Плотность радона $-9,73 \text{ кг/м}^3$ — в 7,5 раз выше плотности воздуха ($1,29 \text{ кг/м}^3$). Содержание радона в подземных водах часто достигает 1000 Бк/л [8]. Ранее считалось, что радон не образует с другими атомами ионных (валентных, ковалентных) связей. Однако Б.А. Никитиным было установлено, что радон может образовывать клатраты с водой, фенолом, толуолом и, возможно, с другими органическими жидкостями и водными растворами солей. При сепарации газоконденсата из загрязненного ПРН природного газа также отделяется и радон. Точка кипения радона (конденсации) находится между точками кипения этана и пропана. Предполагается, что радоном более всего загрязнены установки с высоким выходом этана. Радон вообще не представляет опасности для здоровья обслуживающего персонала НТК, пока содержится в емкостях, оборудовании и трубопроводах. Даже если загрязненный радоном пропан вырвется в окружающую среду, то угроза пожара или удушья значительно перевесит опасность от кратковременного облучения. Особо опасным веществом радон непосредственно не является. Поскольку он химически неактивен, то не накапливается в организме. Опасность для здоровья,

связанная с облучением, возникает от продуктов распада радона (ППР). Эти долгоживущие радиоактивные элементы создают растущую проблему для нефтегазовой промышленности, особенно для персонала, контактирующего с загрязненным оборудованием, нефтешламами и другим отходами.

Известны три естественных изотопа радона, встречающихся в природе в измеримых количествах: Rn-222 (наиболее долгоживущий), торон (Rn-220) и актинон (Rn-219). Все изотопы радона распадаются с испусканием альфа-частиц с энергией около 6 МэВ. Продукты распада радона в основном являются положительными ионами. В атмосфере они могут находиться в свободном виде или присоединяться к атмосферным аэрозолям. В свободном виде продукты распада радона обычно окружены оболочкой из газовых молекул. Эти комплексы называются "свободными атомами". Торон (период полураспада — 3,92 с) — продукт распада изотопа Ra-224 (период полураспада — 5,75 лет), источник бета- и гамма-излучения. Значительных самостоятельных ореолов, как правило, не образует. Схемы распада радона и торона очень похожи, поэтому и химические свойства продуктов распада этих радиоактивных газов также во многом идентичны. Так, радон, подобно торону, не образует с другими атомами ионных (валентных, ковалентных) связей. Все изотопы торона распадаются с испусканием альфа-частиц с энергией около 6 МэВ.

В данном исследовании был проведен анализ концентрации содержания радона — 222 на рабочем месте операторов, проводящих очистку РВС и буллитов от нефтешламов. Эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) дочерних продуктов распада радона и торона составила в среднем 250-330 Бк/м³.

Таким образом, основными гамма-излучателями в радиоактивном ряду являются Ra-226 (период полураспада — 1602 года), имеющий мало интенсивную низкоэнергетическую линию 186,1 кэВ, и продукты распада Rn-222 (период полураспада 3,82 сут.). К ним относятся РЬ-214 и ВЬ-214 с интенсивными гамма-линиями в области энергий 0,2–1,8 МэВ.

В результате деятельности предприятий ОАО "Самаранефтегаз" образуется большое количество радиоактивных нефтешламов, удельная активность которых на определенных территориях превышает 20 кБк/кг, что относится к 3 классу радиоактивных отходов предприятий НГК. На рис. 2 представлены удельная активность нефтешламов и место образования радиационных аномалий.

Проводя расчет оценки доз облучения работников ОАО "Самаранефтегаз", имеющих контакт с природными источниками ионизирующего облучения, было выявлено: суммарные эффективные дозы работников предприятий обусловлены их внешним и внутренним облучением [9]. Внешнее облучение определяется средними значениями мощности дозы гамма-излучения на рабочих местах (профмаршрутах) и временем, в течение которого работники подвергаются облучению. Расчет эффективной дозы внешнего облучения ($E_{\text{внешн}}$) возможно проводить 2 способами: математическим способом по формуле:

$$E_{\text{внешн}} = kPT,$$

где k — дозовый коэффициент (из НРБ-99); P — мощность дозы гамма-излучения на рабочем месте, мкЗв/ч; T — время работы на конкретном участке в течение года, ч/год.

Либо провести анализ данных индивидуальной дозиметрии (по показателям индивидуальных дозиметров). Данный способ измерения эффективной дозы внешнего излучения предпочтителен, так как при математическом расчете возникает

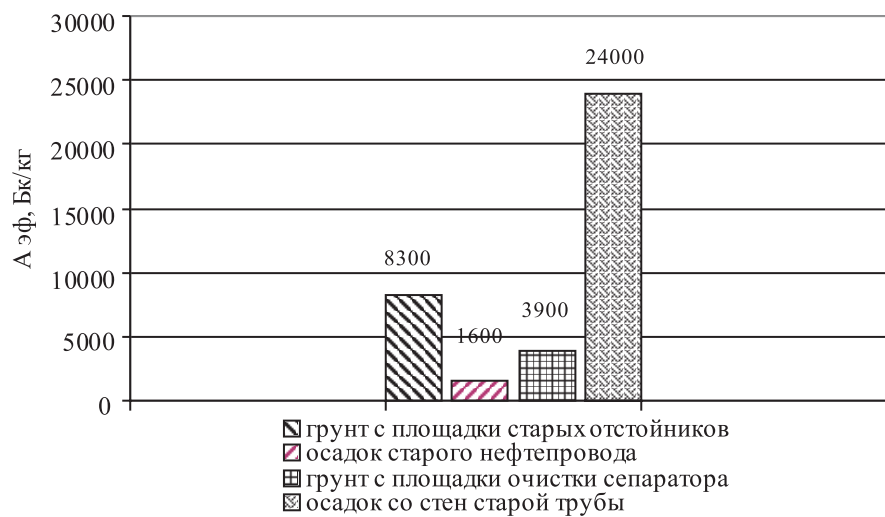


Рис. 2. Удельная активность природных радионуклидов в составе нефтешлама

погрешность, связанная с усреднением показателей мощности дозы гамма-излучения и временем работы на данном участке.

Проанализировав данные индивидуальной дозиметрии, выявлено: показатели дозы внешнего облучения на предприятиях ОАО "Самаранефтегаз" составили в среднем 2,5–5 мЗв/год. Данные показатели суммировались с расчетными единицами дозы внутреннего облучения, которая была получена математическими расчетами. В качестве исходной была использована формула:

$$E_{\text{внутр.}} = kCFVT,$$

где k — дозовый коэффициент (из НРБ-99); C — удельная активность радионуклидов в пыли, кБк/м³; F — средняя запыленность воздуха в мг/м³; T — время нахождения в зоне запыленности час/год; V — средняя скорость дыхания рабочего в м³.

Суммируя показатели, получаем итоговую формулу расчета индивидуальной дозы облучения:

$$E_{\text{общ.}} = E_{\text{внешн.}} + E_{\text{внутр.}}$$

Показатели индивидуальной дозы облучения работников предприятий НГК от естественных источников ионизирующего излучения составили в среднем 2,6–5,1 мЗв/год, что соответствует допустимым условиям труда. Коллективная доза составила 0,1 чел.- Зв/год.

В настоящее время одним из наиболее распространенных методов неразрушающего контроля качества проведенных сварных работ, оценки целостности промышленного оборудования является дефектоскопия. Основным способом получения информации о контролируемом объекте в дефектоскопии является просвечивание на рентгеновскую пленку вместе с усиливающими экранами. В качестве источников ионизирующего излучения служат такие радиоактивные изотопы, как Co^{60} , Ir^{192} , Cs^{137} (гамма-дефектоскопия) [10]. На предприятиях НГК имеется большое количество переносных гамма-дефектоскопов, с помощью которых осуществляется контроль сварки магистральных трубопроводов. В исследовании была проанализирована радиационная обстановка на предприятии "Самаратрансгаз" при проведении

дефектоскопических работ. Степень опасности дефектоскопического исследования с использованием открытых источников ионизирующего облучения выше, чем применение переносной рентгеновской дефектоскопии (табл. 2).

Таблица 2

**Сравнительная характеристика технологического процесса
при проведении дефектоскопических работ**

Рентгеновская дефектоскопия	Гамма-дефектоскопия
Транспортировка прибора к месту просвечивания	Транспортировка прибора к месту просвечивания
Установка прибора на сварном стыке	Установка прибора на сварном стыке
Просвечивание	Выведение источника в рабочее положение
	Просвечивание
	Закрытие затвора
Демонтаж дефектоскопа	Демонтаж дефектоскопа
Транспортировка прибора к следующему стыку	Транспортировка прибора к следующему стыку
Индивид. доза - 5-7 мЗв/год	Индивид. доза — 10-15 мЗв/год

При проведении рентгеновской дефектоскопии основная опасность облучения возникает в 3 фазу (просвечивание), при проведении гамма-дефектоскопии опасность сохраняется на протяжении всего технологического процесса, особенно в 3, 4, 5 фазу, когда радиоактивный источник находится в рабочем положении. Оценив показания индивидуальной дозиметрии дефектоскопистов предприятий НГК, можно сделать вывод: наибольший вклад в формировании дозы внешнего облучения вносит гамма-дефектоскопия, и поэтому она наиболее опасна для персонала (возможность острого и хронического облучения).

Обобщая данные, полученные в ходе исследования, можно сделать вывод: наибольшую радиационную опасность для персонала НГК представляет применение гамма-дефектоскопии (рис. 2)

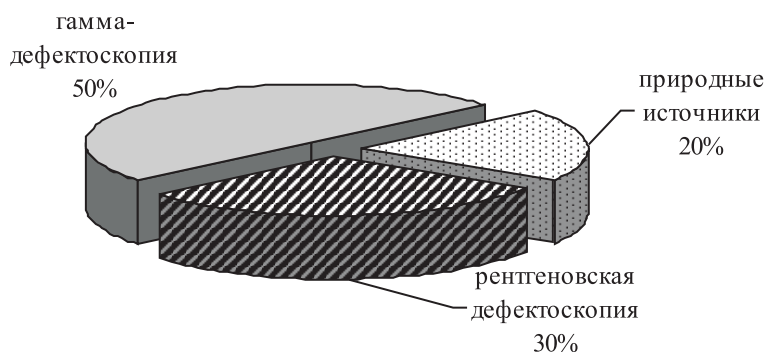


Рис. 3. Вклад основных источников облучения в коллективную дозу облучения персонала НГК (%)

Заключение

Таким образом, основной вклад в профессиональное облучение персонала НГК вносит воздействие гамма-дефектоскопии, при этом необходимо комплексно изучать особенности формирования радиационной обстановки с учетом особенностей технологического процесса, эксплуатации оборудования, проведения ремонтно-строительных работ на предприятиях НГК. Оценивая дозы внешнего и внутреннего облучения персонала, контактирующего с источниками ионизирующего излучения, осуществлять гигиеническую оценку условий и характера труда рабочих вышеуказанных специальностей в соответствии с Руководством Р 2.2.2006-05 "Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда" с целью разработки рекомендаций по рационализации производственной обстановки и создания более благоприятных условий трудовой деятельности.

Литература

- [1] Василенко, О.И. Радиационная экология / О.И.Василенко. – М.: Медицина, 2004. – 10 с.
- [2] Фоменко, О.И. Гигиена труда при работе с источниками ионизирующих излучений / О.И.Фоменко. – Астрахань: Астрахан. гос. мед. акад., 2002. – С. 14–15
- [3] Крапивский, Е.И. Радиоактивное загрязнение окружающей среды при добыче и обогащении твердых полезных ископаемых / Е.И.Крапивский, В.Н.Рыжаков // Обогащение руд. – 2003. – №2. – С. 252–255.
- [4] Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99). СанПиН 2.6.1.-99. – М.: Минздрав России, 1999. – 99 с.
- [5] Гуцало, А.К. О химической связи радиевых аномалий в подземных водах с нефтяными и газовыми залежами / А.К.Гуцало // Докл. АН СССР. – 1967. – Т. 172. – №5. – С. 1174–1176.
- [6] Готтих, Р.Н. Радиоактивные элементы в нефтегазовой геологии / Р.Н.Готтих. – М.: Недра, 1980. – 253 с.
- [7] К вопросу о содержании радия и урана в водах нефтяных месторождений / Ф.А.Алексеев [и др.] // Ядерная геофизика. – 1959. – Вып. 5. – С. 20–24.
- [8] Огородников, Б.И. Свойства, поведение и мониторинг радона и торона и их дочерних продуктов в воздухе / Б.И.Огородников // Атомная техника за рубежом. – 2001. – №5. – С. 14–25.
- [9] Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). СП 2.6.1.758-99. – Минздрав России, 1999.– 115 с.
- [10] Партолин, О.Ф. Безопасность труда в радиационной дефектоскопии / О.Ф.Партолин, Е.Д.Чистов, У.Я.Маргулис. – М.:Энергоатомиздат, 1986. – С. 34–55.

Поступила в редакцию 31/VIII/2006;
в окончательном варианте — 31/VIII/2006.

SUBSTANTIATION OF REQUIREMENTS ON MAINTENANCE OF RADIATING SAFETY AT ENTERPRISES OF THE OIL-AND-GAS COMPLEX

© 2006 D.O. Gorbachev²

In the paper a comparative analysis of a radiating situation at the enterprises of an oil-and-gas complex of the Samara region is given at an effect on the personnel of sources radiations of natural and artificial origin. Use of sanitary-and-hygienic and statistical methods of research permits to find the most adverse factor of the radiating nature related to application defektoscopy. On the basis of the obtained data the complex of the preventive actions eliminating a radiating risk are proposed.

Paper received 31/*VIII*/2006.

Paper accepted 31/*VIII*/2006.

²Gorbachev Dmitriy Olegovich, Dept. of General Hygiene, Samara State Medical University, Samara, 443099, Russia.