

О.В. Паринов, А.М. Лягинская, Н.К. Шандала, Е.Г. Метляев, В.В. Купцов

ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЗДОРОВЬЯ ПЕРСОНАЛА, РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА

Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва.

Контактное лицо: Олег Викторович Паринов: parinov75@mail.ru

РЕФЕРАТ

Цель: Обозначить проблему оценки состояния здоровья персонала, работающего в условиях новых технологий производства ядерного топлива.

Материалы и методы. Объектом исследования являлась общая заболеваемость работников производства смешанного нитридного уран-плутониевого топлива (СНУП-топлива). Материалом исследования явились данные, представленные в «Паспортах здоровья». В работе использован метод сравнительного анализа общей заболеваемости работников производства СНУП-топлива и работников предприятий по обращению с ядерным топливом.

Результаты исследования и их анализ. В настоящее время в рамках проектного направления «Прорыв» разрабатываются новые технологии по фабрикации и рефабрикации смешанного уран-плутониевого (СНУП) топлива. В условиях отсутствия радиационно-гигиенических нормативов на содержание продуктов топлива в рабочих помещениях, для оценки влияния производственных факторов наряду с дозой облучения, в качестве интегрального показателя здоровья исследуется заболеваемость персонала. Исследование заболеваемости 50 работников производства СНУП топлива выявило относительно высокую частоту общей заболеваемости – 1122 заболевания или в среднем 93,5 заболевания на 100 человек в год, независимо от стажа работы. Ведущими заболеваниями в структуре общей заболеваемости являются болезни органов дыхания – 26,0 % (1 место), глаза – 13,4 % (2 место), костно-мышечной системы – 11,4 % (3-место), системы кровообращения – 10,9 % (4 место), травмы и отравления – 8,4 % (5 место), органов пищеварения и мочеполовой системы – 7,7 % и 7,0 % соответственно (6 место), которые составляют 84,7 % от всей заболеваемости. Очевидно, что эффективная доза 4,6 мЗв/год не может быть единственной причиной высокой заболеваемости работников сложного радиохимического производства, а характеризует лишь влияние одного из многих неспецифических факторов производства. Существующая система оценки здоровья персонала, работающего на радиохимическом производстве, помимо анализа рисков детерминированных и стохастических эффектов должна включать оценку общей заболеваемости персонала

Ключевые слова: персонал, заболеваемость, смешанное нитридное уран-плутониевое топливо, интегральные показатели здоровья

Для цитирования: Паринов О.В., Лягинская А.М., Шандала Н.К., Метляев Е.Г., Купцов В.В. Проблемы оценки состояния здоровья персонала, работающего в условиях новых технологий производства ядерного топлива // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2021. Т.66. №3. С. 9–12.

DOI: 10.12737/1024-6177-2021-66-3-9-12

Введение

Существующая система радиационной защиты в области охраны здоровья человека направлена на недопущение детерминированных (тканевых) эффектов и минимизацию рисков стохастических эффектов.

Практической основой радиационной защиты является измерение или оценка доз. Установленные в отечественных нормах радиационной безопасности НРБ-99/2009 основные пределы доз облучения обеспечивают радиационную безопасность персонала в условиях регламентированной (нормами) эксплуатации источника облучения [1]. Исходя из этих положений, основное внимание в оценке здоровья работников радиационно-опасных производств уделяется выявлению отдельных радиационных эффектов заболеваемости раком, а в научных исследованиях – оценке риска заболевания раком. Однако на радиационно-опасных предприятиях наряду с основным фактором опасности – радиацией, на организм человека оказывают влияние другие факторы вредности физической и химической природы, сопровождающие радиационное производство. На каждом производстве сочетание этих факторов различно и, следовательно, последствия воздействия их на организм человека различны [2]. Воздействие сочетанных факторов на организм человека различно в разные сроки после

начала контакта. Вследствие медленной реализации дозы от большинства радионуклидов и быстрого влияния химических веществ, они оказываются ведущими в действии на организм в начальный период воздействия. В более поздние сроки и, особенно, в отдаленный период сенсibilизации организма к химическим веществам, организм иначе реагирует на облучение. Отдаленные эффекты радиации развиваются на «фоне измененного здоровья».

Очевидно, что в условиях сочетанного действия факторов радиационной и нерадиационной природы сложного радиохимического производства только заболеваемость является адекватным критерием здоровья работников производства.

Вместе с тем, следует отметить, что до настоящего времени в системе наблюдения за здоровьем персонала радиационно-опасных производств показатель общей заболеваемости не используется в оценке профессиональной, обусловленной производством заболеваемости.

Особую актуальность проблема использования общей заболеваемости для оценки воздействия факторов производства на здоровье персонала приобрела с развитием новых технологий получения ядерного топлива и необходимостью обеспечения радиационной защиты работающих.

Цель исследования: обозначить проблему оценки состояния здоровья персонала, работающего в условиях новых технологий производства ядерного топлива.

Материал и методы

Объектом исследования являлась общая заболеваемость работников производства смешанного нитридного уран-плутониевого топлива (СНУП-топлива). Материалом исследования явились данные общей диспансеризации населения, представленные в «Паспортах здоровья». В работе использован метод сравнительного анализа общей заболеваемости работников производства СНУП-топлива и работников предприятий по обращению с ядерным топливом (СевРАО, ДальРАО).

Результаты исследования и их анализ

В России в 2010 г. стартовала широкомасштабная программа перевода атомной энергии страны на новую технологическую платформу – перевод атомных станций, работающих на тепловых нейтронах на быстрые нейтроны с замкнутым ядерным тепловым циклом [3].

В настоящее время, в рамках проектного направления «Прорыв» разрабатываются новые технологии по фабрикации и рефабрикации СНУП-топлива.

Проблема эффективного использования ядерной энергии на атомных электростанциях не относится к идеям нового поколения. Еще в СССР были начаты и в настоящее время продолжаются работы по рецеклированию урана и плутония, выделенных из облученного топлива.

В ГНЦ НИИАР и на ПО «Маяк» в настоящее время ведутся работы по изготовлению МОКС-топлива и теплоделяющих сборок из него для экспериментальных реакторов на быстрых нейтронах [4].

МОКС-топливо для ТВЭЛов легководных реакторов содержит до 8 %, а для ТВЭ-10В реакторов на быстрых нейтронах – до 45 % диоксида плутония, а остальную часть топлива составляет диоксид урана. В смеси, поступающей на переработку, содержится $^{238-241}\text{Pu}$. Примесь изотопа ^{241}Pu во время хранения ядерного горючего приводит к накоплению ^{241}Am .

В смешанном уран-плутониевом комплексе уран может использоваться в разных формах: природный, обедненный, обогащенный или полученный при повторном использовании ядерного топлива разной степени обогащения.

Плутоний различного происхождения также может использоваться. Поскольку изотопный состав плутония зависит от степени выгорания ядерных материалов и времени хранения, изотопный состав всегда будет разным. В смеси, поступающей на переработку, содержится $^{238-241}\text{Pu}$. Сложный изотопный состав плутония изменяется во времени при хранении, что во многом определяет общие принципы организации системы радиационной защиты на разных стадиях изготовления смешанного уран-плутониевого топлива. Следует отметить, что потенциальное воздействие на персонал, население и окружающую среду при производстве смешанного уран-плутониевого топлива в основном связывают с плутонием, так как токсичность плутония значительно выше токсичности урана.

Биологические эффекты воздействия смешанного уран-плутониевого комплекса на организм работающих будет определяться следующими свойствами изотопов плутония и урана:

- высокой радиотоксичностью изотопов плутония;
- альфа-активностью изотопов ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am ;
- бета-активностью изотопов ^{241}Pu , ^{242}Am ;
- низкоэнергетическим гамма-излучением ^{241}Am ;
- характеристическим излучением плутония;

- нейтронной эмиссией изотопов ^{240}Pu ;
- ядерной опасностью изотопов ^{235}U , ^{239}U , ^{241}Pu .

Для обеспечения безопасности работы со смешанными уран-плутониевыми соединениями разработана «Концепция безопасности производства МОКС-топлива» – в основе которой заложены принципы радиационной защиты: неперевышение установленного основного дозового предела; исключение необоснованного облучения; снижение дозы излучения до возможно низкого уровня.

Следует отметить, что в Европе и Японии плутоний в ядерно-топливный цикл вовлекается в форме смешанного уран-плутониевого комплекса и используется в промышленных масштабах для быстрых легководных реакторов.

Перспективным технологическим решением разрабатываемого СНУП-топлива является использование в его производстве отработанного оружейного плутония и регенерированного урана [3].

В настоящее время в нашей стране накопились огромные запасы отработанного оружейного плутония. По заключению специалистов, проблема утилизации отработанного ядерного топлива и РАО связана не столько с их количеством, сколько с ядерными, радиационными и экологическими аспектами обеспечения безопасности их захоронения на длительный срок (сотни тысяч лет). Производство ядерного топлива является одним из эффективных способов снижения опасности распространения радиоактивности путем снижения опасности до приемлемого уровня [5].

Разработка и внедрение новых ядерных технологий и новых материалов должны реализовываться в тесной связи с проведением радиационно-гигиенических исследований, направленных на обеспечение радиационной защиты персонала и населения, а также на охрану окружающей среды [1].

В то же время разработка нового нитридного уран-плутониевого (СНУП) топлива ведется при отсутствии данных о токсичности и биологической эффективности этого высокотоксичного соединения урана и плутония, при отсутствии гигиенических нормативов на содержание их в рабочих помещениях [6].

В процессе приготовления ТВЭЛ-композиций из СНУП-топлива имеет место ингаляционное поступление радиоактивных уран-плутониевых соединений в организм персонала, что подтверждено наличием в пробах мочи ^{238}U , ^{239}Pu , ^{241}Am . Выявлен факт поступления уран-плутониевых нитридных соединений в организм персонала, в основном в виде трудно растворимых аэрозолей разной степени дисперсности. Крупнодисперсная фракция составляет 80–90 % всей объемной активности соединений, а 10–20 % вклад в объемную активность вносят мелкодисперсные аэрозоли размером менее 200 нм, что свидетельствует о присутствии радиоактивных наночастиц, токсичность которых значительно выше макрочастиц [6].

До настоящего времени нет данных о дозах внутреннего облучения и о возможных других путях поступления (через кожу и перорально) этих соединений в организм персонала и степень опасности их от поступления этими путями не оценена.

Анализ радионуклидного состава этих аэрозолей показал, что дозообразующим радионуклидом является ^{239}Pu . Его вклад в объемную активность составляет 75–80 % всей активности.

Получены оценки внешнего облучения, обусловленные гамма-нейтронным облучением, годовые индивидуальные эквивалентные дозы которого составляют $2,1 \pm 0,4$ мЗв/год гамма-излучения и $0,4 \pm 0,1$ мЗв/год нейтронного

излучения, в том числе хрусталика глаза – $2,3 \pm 0,5$ мЗв/год, кожи лица – $2,7 \pm 0,6$ мЗв/год, нижней части живота – $3,4 \pm 1,3$ мЗв/год и кожи кистей рук – $190,0 \pm 50,0$ мЗв/год [6].

Предварительные оценки доз внутреннего облучения свидетельствуют о сопоставимости их с дозами внешнего облучения. Тогда эффективная доза облучения работников производства СНУП-топлива составит 4,6 мЗв/год. [6]

Кроме того, до настоящего времени в промышленности не использовались нитридные соединения ^{239}Pu ^{238}U . Их токсическое действие не изучено. Приведенные фактические данные свидетельствуют, что персонал экспериментального производства по изготовлению ТВЭЛ из композиций СНУП-топлива работает в условиях комплексного воздействия недостаточно изученных источников ионизирующего излучения.

Выполненное исследование заболеваемости 50 работников экспериментального производства СНУП топлива, по данным, представленным в «Паспорте здоровья» – (документе общей диспансеризации населения) выявило относительно высокую заболеваемость работников, характеризующуюся следующими основными показателями:

Общая заболеваемость составляет – 1122 заболевания, или в среднем 93,5 заболевания на 100 человек в год, что значительно выше по сравнению с заболеваемостью персонала предприятий «Даль РАО» и «СевРАО» – 60 и 38 человек в год соответственно [6а].

В динамике наблюдения отмечается значительный рост заболеваемости в последние годы – с 108,5 заболеваний в год в 2007–2014 гг. до 137 заболеваний в год 2015–2018 гг., не связанный с изменением возраста.

- Выявлена зависимость роста заболеваемости от стажа работы на данном предприятии – 840 заболеваний на 100 человек при стаже работы до 5 лет, 1120 на 100 человек при стаже 6–10 лет и 1410 заболеваний на 100 человек при стаже 12 лет;
- В структуре общей заболеваемости ведущими заболеваниями являются болезни органов дыхания – 26,0 % (1 место), глаза – 13,4 % (2 место), костно-мышечной системы – 11,4 % (3-место), системы кровообращения – 10,9 % (4 место), травмы и отравления – 8,4 % (5 место), органов пищеварения и мочеполовой системы – 7,7 % и 7,0 % соответственно (6 место), которые составляют 84,7 % от всей заболеваемости.
- Характерной особенностью заболеваемости является высокая частота хронической заболеваемости, диагностированная у 50 % работающих, 52,0 % которой составляют заболевания костно-мышечной системы.
- Следует отметить, что в условиях ингаляционного

поступления в организм растворимых уран-плутониевых соединений, позвоночник и кости грудины являются структурой костной ткани их преимущественного накопления.

- Сделанное заключение является предварительным, поскольку ограниченные данные «Паспорта здоровья» не содержат сведений о предварительных и периодических медицинских осмотрах, что не позволяет оценить всю полноту заболеваемости и оценить влияние условий труда данного производства на заболеваемость персонала.

Сопоставление наблюдаемой частоты и структуры заболеваемости с дозами облучения выявляет с очевидностью, что эффективная доза СНУП-топлива 4,6 мЗв/год не может быть единственной причиной высокой заболеваемости работников сложного радиохимического производства. Доза облучения характеризует лишь влияние одного из многих неспецифических факторов производства, воздействующих на организм работающих, то есть, является частью общепрофессиональной проблемы реактивности и резистентности организма, определяющих его функциональное состояние (заболеваемость) [9].

Приведенные данные показывают, что существующая система оценки влияния производственных факторов, на здоровье работающих, основанная на контроле только радиационного фактора, не адекватна воздействию сложных факторов радиохимического производства. Нужны новые подходы к оценке состояния здоровья работников сложных высоко-опасных радиохимических производств.

Очевидно, что для оценки состояния здоровья работников сложных технологических производств нового ядерного топлива адекватным показателем здоровья является заболеваемость, которая в медицинском аспекте является интегральным показателем здоровья.

В общепрофессиональном аспекте заболеваемость является интегральным показателем реактивности и резистентности организма, определяющих функциональное состояние организма.

В аспекте радиационной защиты заболеваемость является показателем детерминированных (тканевых) эффектов радиации, которые можно контролировать на уровне функционального состояния органов и систем организма.

Заключение

Существующая система оценки здоровья персонала, работающего на радиохимическом производстве, помимо анализа рисков детерминированных и стохастических эффектов должна включать оценку общей заболеваемости персонала.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.

Поступила: 23.12.2020. **Принята к публикации:** 20.01.2021.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.

Article received: 23.12.2020. **Accepted for publication:** 20.01.2021.

Problems of Assessing the Health Status of Personnel Working in Conditions of New Technologies for Nuclear Fuel Production

O.V. Parinov, A.M. Lyaginskaya, N.K. Shandala, E.G. Metlyaev, V.V. Kuptsov

AI Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

Contact person: Oleg Victorovich Parinov: parinov75@mail.ru

ABSTRACT

Purpose: To identify the problem of assessing the health status of personnel working under the conditions of new technologies for the production of nuclear fuel.

Material and method: The object of the research was the general morbidity of workers in the production of mixed nitride uranium-plutonium fuel (MNUP-fuel). The material for the study was the data presented in the «Health Passports». The paper used the method of comparative analysis of the overall morbidity of workers in the production of MNUP-fuel and workers in enterprises dealing with nuclear fuel.

Results and analysis: At present, in our country, within the framework of the «Breakthrough» project, new technologies are being developed for the fabrication and refurbishment of mixed uranium-plutonium (MNUP) fuel. In the absence of radiation and hygienic standards for the content of fuel products in working rooms, in order to assess the influence of production factors, along with the radiation dose, the incidence of personnel is studied as an integral indicator of health. A study of the incidence of 50 workers in the production of MNUP fuel revealed: Relatively high incidence of general morbidity – 1122 diseases per 100 people or an average of 93.5 diseases per 100 people per year, regardless of the length of service. The leading diseases in the overall morbidity structure are diseases of the respiratory system – 26.0 % (1st place), eyes – 13.4 % (2nd place), musculoskeletal system – 11.4 % (3rd place), circulatory system – 10.9 % (4th place), injuries and poisoning – 8.4 % (5th place), digestive organs and genitourinary system – 7.7 % and 7.0 %, respectively (6th place), which make up 84.7 % of the total morbidity. Obviously, the effective dose of 4.6 mSv/year cannot be the only reason for the high morbidity in workers in complex radiochemical production, but characterizes only the influence of one of the many nonspecific factors of production. The existing system for assessing the health of personnel working in radiochemical production, in addition to analyzing the risks of deterministic and stochastic effects, should include an assessment of the overall morbidity of personnel.

Keywords: *personnel, morbidity, mixed uranium-plutonium nitride fuel, integral health indicators*

For citation: Parinov OV, Lyaginskaya AM, Shandala NK, Metlyaev EG, Kuptsov VV. Problems of assessing the health status of personnel working in conditions of new technologies for nuclear fuel production. Medical Radiology and Radiation Safety. 2021;66(3):9-12.

DOI: 10.12737/1024-6177-2021-66-3-9-12

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2009. 100 с.
2. Булдаков Л.А., Калистратова В.С. Радиоактивное излучение и здоровье. М.: Информ-Атом, 2003. – С165.
3. Адамов Е.О., Власкин Г.Н., Лопаткин А.В., Рачков В.И., Хомяков Ю.С. Радиационно-эквивалентное обращение радиоактивных нуклидов в ЯТЦ – эффективная альтернатива отложенному решению проблемы накопления ОЯТ. // Известия академии наук. Энергетика 2015. №6. С. 15-25.
4. Батова З.Г., Кочетков О.А., Монастырская С.Г., Саяпин Н.П., Симаков А.В., Степанов С.В., Исаев О.В. Гигиена труда в атомной промышленности и энергетики. Производство смешанного уран-плутониевого топлива // Радиационная медицина 2002. №3 С. 211-230.
5. Адамов Е.О., Зибудко Л.М., Машивеев В.И., Рачков В.И., Троянов В.М., Хомяков Ю.С., Монон В.Н. Сравнительный анализ преимуществ и недостатков использования металлического и нитридного уран-плутониевого топлива в быстрых реакторах. // Известия академии наук. Энергетика. 2015. №2. С. 3-15.
6. Промежуточный отчет «Заключение о состоянии заболеваемости работников производства СНУП топлива по результатам проведенного сравнительного анализа» Договор №11/1391Д от 01.10.2020 г. 57 с. ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.
7. Заключительный отчет о научно-исследовательской работе «Обоснование санитарно-гигиенических требований для объектов ОДЭК АО СХК». ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России М. 2018 инв. №902271.
8. Самойлов А.С., Шандала Н.К., Бушманов А.Ю., Шинкарев С.М., Цовьянов А.Г., Ганцовский П.П., Карев А.Е., Кухта Б.А., Симаков А.В., Ключков В.Н. Оценка дозы облучения персонала комплексных экспериментальных установок на СХК // Медрадиология и радиационная безопасность 2020. №4
9. Ушаков А.Б., Штемберг А.С., Шифиркин А.В. Подходы к программированию индивидуальной радиорезистентности организма на основе оценки исходного функционального состояния регуляторных систем. Тезисы конференции Медико-Биологические проблемы действия радиации / Международная конференция 10-11 апреля 2012 г. Москва.
10. Дополнительные рекомендации по медицинскому обследованию работников участвующих в производстве СНУП топлива. Внеплановый отчет по договору от 04.06.2018 г. №33.

REFERENCES

1. Radiation Safety Standards (RSS-99/2009). Sanitary rules and regulations SanPiN 2.6.1.2523-09. Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rosпотребнадзор. 2009. 100 p. (In Russian).
2. Buldakov LA, Kalistratova VS Radioactive radiation and health. M.: Inform-Atom, 2003. – 165p.
3. Adamov EO, Vlaskin GN, Lopatkin AV, Rachkov VI, Khomyakov YU. S. Radiation equivalent treatment of radioactive nuclides in nuclear fuel cycle – effective alternative to the delayed solution of spent nuclear fuel accumulation problem. Bulletin of the Academy of Sciences. Energy. 2015;(6):15-25.
4. Batova ZG, Kochetkov OA, Monastyrskaya SG, Sayapin NP, Simakov AV, Stepanov SV, Isaev OV. Occupational hygiene in the nuclear industry and energy. Production of mixed uranium-plutonium fuel Radiation Medicine 2002;(3):211-230.
5. Adamov E.O., Zibudko L.M., Mashiveev V.I., Rachkov V.I., Troyanov V.M., Khomyakov Yu.S., Monov V.N. Comparative analysis of the advantages and disadvantages of using metallic and nitride uranium-plutonium fuel in fast reactors. Bulletin of the Academy of Sciences. Energy. 2015;(2):3-15.
6. Interim report Conclusion on the state of morbidity of workers in the production of MNUP fuel based on the results of the comparative analysis Contract No. 11 / 1391D dated 01.10.2020 57 p. FSBI SSC A.I. Burnazyan FMBC them FMBA of Russia.
7. The final report on the research work "Substantiation of sanitary and hygienic requirements for the objects of the ODEC of JSC SKhK" FSBI SSC A.I. Burnazyan FMBC them FMBA of Russia M. 2018 inv. No. 902271.
8. Samoilov A.S., Shandala N.K., Bushmanov A. Yu., Shinkarev S.M., Tsovyanov A.G., Gantsovsky P.P., Karev A.E., Kukhta B.A., Simakov A.V., Klochkov V.N. Assessment of the radiation dose for the personnel of complex experimental installations at the Siberian Chemical Combine. Medical radiology and radiation safety 2020;(4):23-29
9. Ushakov A.B., Shtemberg A.S., Shifirkin A.V. Approaches to Programming the Individual Radioresistance of the Body Based on the Assessment of the Initial Functional State of Regulatory Systems. Conference Abstracts Medical and Biological Problems of Radiation Effects, "International Conference April 10-11, 2012 Moscow.
10. Additional recommendations for medical examination of workers involved in the production of MNUP fuel. Unscheduled report under the contract dated 04.06.2018 No. 33.