



Основан в 2016 году

Выходит 4 раза в год

Научный журнал

Вестник
Университета гражданской защиты
МЧС Беларуси

Том 1, № 3, 2017

Редакционная коллегия:

главный редактор:

Полевода
Иван Иванович

кандидат технических наук,
доцент

зам. главного редактора:

Гончаренко
Игорь Андреевич
Платонов Александр
Сергеевич

доктор физико-математических наук,
профессор

кандидат физико-математических
наук, доцент

ответственный секретарь:

Жаворонков
Илья Сергеевич

Редакционный совет:

Лешенюк Николай Степанович, доктор физико-математических наук, профессор – председатель; Богданова Валентина Владимировна, доктор химических наук, профессор – зам. председателя; Акулов Артем Юрьевич, кандидат технических наук (Россия); Альгин Владимир Борисович, доктор технических наук, профессор; Байков Валентин Иванович, доктор технических наук, старший научный сотрудник; Бирюк Виктор Алексеевич, кандидат технических наук, доцент; Волянин Ежи, доктор технических наук, профессор (Польша); Герасимчик Александр Петрович, кандидат психологических наук, доцент; Дмитриченко Александр Степанович, кандидат технических наук, доцент; Иваницкий Александр Григорьевич, кандидат технических наук, доцент; Иванов Юрий Сергеевич, кандидат технических наук; Ильюшонок Александр Васильевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Калач Андрей Владимирович, доктор химических наук, доцент (Россия); Камлюк Андрей Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент; Карпиленья Николай Васильевич, доктор военных наук, доцент; Кремень Маркс Аронович, доктор психологических наук, профессор; Кудряшов Вадим Александрович, кандидат технических наук, доцент; Кузьмицкий Валерий Александрович, доктор физико-математических наук, доцент; Кулаковский Борис Леонидович, кандидат технических наук, доцент; Ласута Геннадий Федорович, кандидат сельскохозяйственных наук; Лебедева Наталья Шамильевна, доктор химических наук, доцент (Россия); Лебедкин Александр Владимирович, доктор военных наук, профессор; Пастухов Сергей Михайлович, кандидат технических наук, доцент; Поздеев Сергей Валерьевич, доктор технических наук, профессор (Украина); Порхачев Михаил Юрьевич, кандидат педагогических наук, доцент (Россия); Раимбеков Кендебай Жанабильевич, кандидат технических наук (Казахстан); Соколов Сергей Викторович, доктор технических наук, профессор (Россия); Тихонов Максим Михайлович, кандидат технических наук; Фурманов Игорь Александрович, доктор психологических наук, профессор; Шарипханов Сырым Дюсенгазиевич, доктор технических наук (Казахстан).

Учредитель – Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»

Решением коллегии Высшей аттестационной комиссии № 18/8 от 9 декабря 2016 г.
журнал включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь,
свидетельство о регистрации № 1835 от 19 сентября 2016 г.

Номер посвящен проблемам радиационной безопасности.

Всю ответственность за подбор и точность приведенных данных, а также за использование сведений, не подлежащих открытой публикации, несут авторы опубликованных материалов.

Статьи, поступающие для публикации в журнале, рецензируются.

Полная или частичная перепечатка, размножение, воспроизведение или иное использование опубликованных материалов допускаются с обязательной ссылкой на журнал «Вестник Университет гражданской защиты МЧС Беларуси».

Компьютерная верстка – И.С. Жаворонков
Дизайн обложки – И.А. Розенталь

Адрес редакции: ул. Машиностроителей, 25, г. Минск, 220118

Контактные телефоны: (017) 340-53-93 (главный редактор)
(017) 341-32-99

Сайт Университета гражданской защиты: www.ucsp.by

E-mail редакции: vestnik@ucsp.by

ISSN 2519-237X

© Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Пожарная и промышленная безопасность (технические науки)

- Подоляк А.Г., Седукова Г.В., Лозовая З.В., Исаченко С.А.** Разработка и реализация единой концепции управления территориями отселения и отчуждения Беларуси и России в части обеспечения защиты населения 255
- Сытова С.Н., Дунец А.П., Коваленко А.Н., Мазаник А.Л., Сидорович Т.П., Черепица С.В.** Белорусское программное обеспечение для автоматизации процессов контроля (надзора) в области ядерной и радиационной безопасности 260
- Шишкина М.В., Фоков Ю.Г., Рутковская К.К., Куликовская А.В.** Расчет эффектов реактивности в подкритической сборке с тепловым спектром нейтронов, управляемой внешним источником нейтронов 271
- Соловьев В.Н., Плещанков И.Г., Левчук А.С., Фокина Г.И., Кузьмина Н.Д.** Исследование радиационных характеристик золоотвала 277
- Богданова В.В., Тихонов М.М., Мамедов А.М.** Полимерное огнетушащее средство для тушения пожаров в электроустановках, находящихся под напряжением ... 283

Безопасность в чрезвычайных ситуациях (технические науки)

- Горбачева Н.В., Кулич Н.В., Кузьмина Н.Д.** Учет дисперсного состава вдыхаемой фракции и закономерностей аккумуляции аэрозоля в различных отделах дыхательного тракта при расчете доз внутреннего облучения 291
- Веренич К.А., Кутень С.А., Хрущинский А.А., Макаревич К.О., Миненко В.Ф.** Оценка дозиметрических характеристик нейтронного излучения, генерируемого медицинским линейным ускорителем электронов 299
- Макаревич К.О., Миненко В.Ф., Хрущинский А.А.** Монте-Карло моделирование рентгенологической процедуры для оценки доз облучения пациентов ... 306
- Тарковский В.В., Василевич А.Е., Балыкин А.С., Леванович А.В., Филипович С.М., Сакович Э.И.** Частотный электрогидравлический дезинтегратор железобетона для МЧС и промышленности 314
- Рибко Д.В., Камлюк А.Н., Борисевич С.А.** Модели поведения лесных массивов при воздействии на них ветровых нагрузок 323

Безопасность в чрезвычайных ситуациях (психологические науки)

- Врублевский А.В.** Склонность и готовность к риску. Восприятие риска офицером-спасателем в условиях чрезвычайной ситуации 332

Разное (обзоры)

- Крюк Ю.Е., Лукашенко Н.К.** Концепция развития научно-технической поддержки регулирующей деятельности в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности 342
- Трафимчик З.И., Соболев О.В.** Международное сотрудничество Республики Беларусь в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности 347
- Мазуренко М.В.** Состояние регулирующего контроля (надзора) за обеспечением ядерной и радиационной безопасности Белорусской АЭС 353
- Третьякевич С.С., Сперанский Ф.А.** Программные средства, применяемые для анализа и обоснования безопасности атомной электростанции в части нейтронно-физических вычислений 361
- Авторы статей 373
- Правила представления статей 379

CONTENTS

Fire and industrial safety (technical sciences)

Podolyak A., Sedukova G., Lozovaya Z., Isachenko S. Development and implementation of a unified Belarus-Russian concept for managing resettlement and exclusion territories for providing human protection..... 255

Sytova S., Dunets A., Kovalenko A., Mazanik A., Sidorovich T., Charapitsa S. Belarusian software for automation of processes of control (supervision) in the field of nuclear and radiation safety 260

Shyshkina M., Fokov Yu., Routkovskaia Cr., Koulikovskaya A. Calculation of reactivity effects in the subcritical assembly with thermal neutron spectrum driven by an external source of neutrons..... 271

Solovyev V., Pleshchankou I., Kuzmina N., Liauchuk A., Fokina H. Investigation of radiation characteristics of ash dump..... 277

Bogdanova V., Tikhonov M., Mamedov A. Polymeric fire extinguishing means for fire extinguishing in electric installations under voltage..... 283

Safety in emergencies (technical sciences)

Harbachova N., Kulich M., Kuzmina N. Accounting of the dispersed composition of inhaled fraction and the regularities of aerosol's accumulation in various deposits of the respiratory tract when calculating doses of internal irradiation..... 291

Viarenich K., Kutsen S., Khrutchunsky A., Makarevich K., Minenko V. Assessment of dosimetric characteristics of neutron radiation generated by medical linear accelerator of electrons 299

Makarevich K., Minenko V., Khrutchinsky A. Monte Carlo modeling of X-ray procedure for estimating radiation doses to patients..... 306

Tarkovsky V., Vasilevich A., Balykin A., Levanovich A., Filipovich S., Sakovich E. Frequency electrohydraulic disintegrator of reinforced concrete for the Ministry of emergency situations and the industry 314

Rebko D., KamlukA., Borisevich S. Models of behavior of forests under influence of wind loads 323

Safety in emergencies (psychological sciences)

Vrubleuski A. Risk appetite and readiness to take risks. Risk perception of a rescue officer in case of an emergency 332

Miscellaneous (reviews)

Kruk Y., Lukashenko N. Concept of development of scientific and technical support of regulatory activity in the field of nuclear and radiation safety 342

Trafimchik Z., Sobolev O. International cooperation of the Republic of Belarus in the area of nuclear and radiation safety 347

Mazurenka M. The current status of regulatory control (supervision) over nuclear and radiation safety at the site of the Belarusian NPP 353

Tretiakevich S., Speransky Ph. Neutron calculations codes applicable to the nuclear power plants safety analysis and safety justification 361

Authors 373

Rules of submitting articles for publication 379

УДК 574::539.1.04

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ЕДИНОЙ КОНЦЕПЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЯМИ ОТСЕЛЕНИЯ И ОТЧУЖДЕНИЯ БЕЛАРУСИ И РОССИИ В ЧАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ НАСЕЛЕНИЯ

Подоляк А.Г., Седукова Г.В., Лозовая З.В., Исаченко С.А.

Разработана единая концепция управления территориями отселения и отчуждения Беларуси и России в части обеспечения защиты населения. Составлены мероприятия по трем направлениям работ в ходе реализации Единой стратегии: обеспечение безопасной жизнедеятельности граждан Беларуси и России, проживающих на территориях, прилегающих к зонам отчуждения и отселения; обеспечение устойчивого социально-экономического развития территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению; обеспечение взаимодействия России и Беларуси по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на приграничных территориях с высокими уровнями радиоактивного загрязнения.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, концепция, зона отселения, зона отчуждения, радиационная защита населения.

(Поступила в редакцию 30 мая 2017 г.)

Введение. Целями Единой концепции управления территориями отселения и отчуждения Беларуси и России в части обеспечения защиты населения является обеспечения радиационной безопасности населения, проживающего и ведущего хозяйственную деятельность вблизи зон с высокими уровнями радиоактивного загрязнения и создание условий для устойчивого социально-экономического развития территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие чернобыльской катастрофы.

Для достижения цели Единой концепции в период до 2025 года необходимо обеспечить реализацию комплекса мероприятий по следующим направлениям:

- обеспечение безопасной жизнедеятельности граждан Беларуси и России, проживающих на территориях, прилегающих к зонам отчуждения и отселения;
- обеспечение устойчивого социально-экономического развития территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению;
- обеспечение взаимодействия России и Беларуси по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на приграничных территориях с высокими уровнями радиоактивного загрязнения.

Под механизмом реализации Концепции подразумевается совокупность нормативных правовых документов, включающих в себя союзные и национальные государственные целевые программы, региональные целевые программы, ведомственные нормативные правовые акты.

Наиболее эффективным способом реализации мероприятий является включение их в состав комплексных целевых программ Союзного государства, направленных на обеспечение общественной и радиационной безопасности, а также национальных целевых программ, в том числе региональных, местных и отраслевых.

Возможным способом решения задач социально-экономической реабилитации районов, на территории которых имеются зоны отчуждения и отселения, является создание особой экономической зоны, что, помимо общеэкономического эффекта, позволит решить проблему возрождения сельскохозяйственного и промышленного производства на территориях, выведенных из экономического оборота, создать зону международного сотрудничества России и Беларуси по совместному использованию научно-производственного потенциала, кадров, единого энергетического пространства.

1. Обеспечение режима доступа и радиационной защиты населения и лиц, привлекаемых для проведения защитных, реабилитационных и научно-исследовательских мероприятий на территориях отселения и эвакуации (отчуждения) Беларуси и России. Работы на территориях зон отселения и эвакуации (отчуждения), включая работы в лесах, осуществляются с обязательным радиационным контролем, в состав которого входит контроль обеспечения радиационной безопасности при производстве работ, в том числе индивидуальный контроль доз облучения работающих; контроль мощности экспозиционной дозы гамма-излучения на рабочих местах, участках и в кабинах ма-

шин и транспортных средств; контроль уровней загрязнения радионуклидами и эффективности дезактивации рабочего инвентаря, спецодежды. Данные функции возлагаются на государственное природоохранное научно-исследовательское учреждение «Полесский государственный радиационно-экологический заповедник».

При проведении защитных, реабилитационных и научно-исследовательских мероприятий на территории зоны отселения и эвакуации (отчуждения) Беларуси и России лица, привлекаемые к этим мероприятиям, в обязательном порядке информируются о рисках радиационного воздействия при проведении работ, обеспечиваются средствами индивидуального радиационного контроля и, в случае необходимости, оснащаются в достаточном объеме средствами индивидуальной защиты, проходят специальный инструктаж по правилам пользования и способам проверки их исправности. Не допускается привлечение к проведению защитных и реабилитационных мероприятий на территориях отселения и эвакуации (отчуждения) лиц моложе 18 лет, а также граждан, величина накопленной эффективной дозы облучения которых превышает 50 мЗв. В целях предотвращения переноса радионуклидов на прилегающие к зонам эвакуации (отчуждения) и отселения территории (в том числе приграничные) организуются и проводятся совместные работы по созданию ландшафтных защитных барьеров.

2. Организация радиационного мониторинга и радиационного контроля на территориях отселения и эвакуации (отчуждения) Беларуси и России. Осуществление государственного мониторинга радиационной обстановки возложено на Федеральную службу по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (далее – Росгидромет). Радиационный мониторинг в Республике Беларусь проводится в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды. Мониторинг радиоактивного загрязнения воздуха, водных объектов, почвы, уточнение радиационной обстановки на территории эвакуации (отчуждения) проводится подразделениями Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Ведущей организацией является ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» (Гидромет). Организация управления отселенными территориями основывается на данных об изменении радиационной обстановки и границ зон радиоактивного загрязнения. Установление (пересмотр) границ зоны отселения и эвакуации (отчуждения) (в том числе радиационно-опасных земель) осуществляется компетентными органами двух государств на основе согласованных совместных методик не реже одного раза в 5 лет. Минимальной единицей учета при установлении границ земель эвакуации (отчуждения) и отселения является земельный участок.

При проведении радиационного контроля в зонах эвакуации (отчуждения) и отселения осуществляется выявление источников повышенной радиационной опасности, включая трансураниевые элементы, в том числе в объектах окружающей среды. Обеспечение единства измерений и объема мониторинга осуществляется на основе применения совместной системы методического и метрологического обеспечения. Для доведения до населения территорий, прилегающих к зоне отселения и эвакуации (отчуждения), сведений об изменении границ зон радиоактивного загрязнения применяются современные средства информирования.

3. Обеспечение пожарной безопасности и предотвращение чрезвычайной ситуации природного и техногенного характера на территориях отселения и эвакуации (отчуждения) Беларуси и России. Основной целью профилактических и реабилитационных мероприятий в лесах на территории зоны отселения и эвакуации (отчуждения) является предотвращение распространения радионуклидов за пределы зон загрязнения, в том числе в случае лесных пожаров.

Противопожарное обустройство лесов в зонах эвакуации (отчуждения) и отселения осуществляется по специально разработанным проектам на основании разрешения органов местной администрации с учетом рекомендаций территориальных центров санитарно-эпидемиологического надзора и органов охраны окружающей среды. Управления МЧС Республики Беларусь, МЧС России и лесного хозяйства двух государств обеспечиваются современными техническими средствами и технологиями раннего обнаружения пожаров, включая развитие систем взаимного оповещения. Локализация и тушение лесных пожаров в зонах с высокими уровнями радиоактивного загрязнения ввиду высокого риска облучения и возможных тяжелых последствий для пожарных проводится с применением лесопожарной авиационной техники. Допуск людей в лес во время пожароопасного периода за-

прещается, лесные дороги закрываются для проезда, на дорогах устанавливают шлагбаумы, на всех съездах с магистральных дорог общего пользования устанавливают щиты с информацией о плотности загрязнения почв радионуклидами и опасности пребывания в лесу.

4. Вовлечение в хозяйственное использование и восстановление социально-экономического значения участков, ранее выведенных их хозяйственного оборота по радиационному фактору. В целях развития экономической мотивации возврата указанных участков в хозяйственный оборот необходимо предусмотреть:

- обеспечение условий инвестиционной привлекательности пострадавших регионов (льготные условия ведения бизнеса, создание свободных экономических зон и т. п.);
- формирование законодательного, правового и методологического обеспечения социально-экономического развития территорий, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС;
- создание в Российской Федерации специализированной хозяйствующей структуры (управляющей компании), обеспечивающей формирование и реализацию долгосрочных проектов социально-экономического развития отселенных территорий.

Вовлечение в хозяйственное использование и восстановление социально-экономического значения участков, ранее выведенных из хозяйственного оборота по радиационному фактору, осуществляется при соблюдении следующих условий:

- радиационная обстановка позволяет осуществлять хозяйственную деятельность с соблюдением действующих норм радиационной безопасности;
- наличие потенциального собственника и/или резидента территории, который предполагает осуществлять определенные виды хозяйственной деятельности на участке и представившего необходимое обоснование и документацию в соответствии с действующим законодательством.

Решение о возврате в хозяйственный оборот принимается Советом Министров Республики Беларусь согласно действующему законодательству. В Российской Федерации решение о возврате в оборот земель, ранее выведенных по радиационному фактору, принимается хозяйствующей структурой с привлечением органов региональной и местной власти, заинтересованных субъектов хозяйствования.

5. Направления, механизмы и способы достижения целей концепции. Выполнение задач Концепции предусматривает дополнительную разработку единых нормативных документов: формирование нормативно-правовой базы обеспечения социально-экономического развития территорий, пострадавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС; разработка нормативно-методической базы радиационного мониторинга земель зоны отселения и эвакуации (отчуждения); регламентация использования лесов и сельскохозяйственных земель по зонам радиоактивного загрязнения; разработка нормативных и нормативно-правовых документов, регламентирующих порядок и условия перевода зарастающих лесной растительностью земель зоны отселения и эвакуации (отчуждения) в земли лесного фонда; утверждение регламентов готовности подразделений наземной и авиационной охраны территории зоны отселения и эвакуации (отчуждения), с учетом особенностей пожаров на территории радиоактивного загрязнения. Наиболее целесообразным механизмом реализации Концепции представляется включение ее задач в состав мероприятий целевых программ Союзного государства.

Научно-методическая поддержка органов управления территориями на региональном и местном уровнях осуществляется на основе развития актуальной тематики научных исследований в области управления территориями зон отселения и эвакуации (отчуждения) Беларуси и России.

Информационная поддержка реализации Концепции организуется МЧС Республики Беларусь и МЧС России. Мониторинг реализации мероприятий Концепции осуществляется на основе обработки статистических отчетных данных по соответствующим территориям в части ведения сельского хозяйства, использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов. Показателями исполнения мероприятий принимаются значения критериев и индикаторов исполнения целевых программ, в которые эти мероприятия будут включены, а также критерии достижения до аварийного уровня по основным социально-экономическим показателям.

Заключение. Вопросы содержания и управления территориями отселения и отчуждения Беларуси и России определяется значительными масштабами и долговременным характером радиоактивного загрязнения территорий двух государств.

Значимость полученных результатов состоит в том, что данная научная разработка положена в основу при подготовке раздела: «Совершенствование системы радиационной защиты населения, обеспечение устойчивого социально-экономического развития пострадавших регионов, реализация современной стратегии аграрного производства и лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения России и Беларуси» Программы совместной деятельности России и Беларуси в рамках Союзного государства по защите населения и реабилитации территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС до 2021 года.

Реализация мероприятий программы обеспечит:

- улучшение качества жизни населения, проживающего в зонах радиоактивного загрязнения;
- укрепление материальной технической базы социальной и рекреационной инфраструктуры;
- возобновление активной экономической и инвестиционной деятельности на территориях, подвергшихся радиационному воздействию;
- смена направлений миграционных потоков на территорию юго-западных районов Брянской области, а также Гомельской и Могилевской областей, обеспечение к 2025 году постоянного притока населения в эти регионы;
- снижение негативных последствий радиационного воздействия на здоровье населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения / Комитет лесного хозяйства при Совете Министров Республики Беларусь. Мн., 2002. – 99 с.
2. Отчет о НИР «Разработка единой концепции управления территориями отселения и отчуждения Беларуси и России в части обеспечения защиты населения» (аннотационный за III кв. 2015 г.). Договор № 50 от 28.11.2014 г. Рук. темы – Подоляк А.Г. РНИУП «Институт радиологии». Гомель, 2015.
3. О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС : Закон Респ. Беларусь, 26 мая 2012 г., № 385-3 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2012. – № 63. – 2/1937.
4. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия – Беларусь) / под ред. Ю.А. Израэля, И.М. Богдевича. – Москва: Фонд «Инфосфера» – НИА – Природа; Минск: Белкартография, 2009. – 140 с: ил., карт.
5. Санитарные нормы и правила «Требования к обеспечению радиационной безопасности персонала и населения при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии и источников ионизирующего излучения», утвержденные постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 31.12.2013 г. № 137.
6. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия», утвержденный постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 28.12.2012 г. № 213.

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A UNIFIED BELARUS-RUSSIAN CONCEPT FOR MANAGING RESETTLEMENT AND EXCLUSION TERRITORIES FOR PROVIDING HUMAN PROTECTION

Alexander Podolyak, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

Galina Sedukova, Candidate of Agricultural Sciences

Zoya Lozovaya, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher

Sergey Isachenko

Research Institute of Radiology (RIR), National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

Purpose. Development of a Unified Belarus-Russian Concept for managing resettlement and exclusion territories in terms of securing human protection in the aftermath of the Chernobyl NPP nuclear accident.

Methods. Radiation data collection and analysis; analysis of the existing database on the basic aspects related to securing the safety of living in contaminated areas; analysis of the existing and forecasted levels of radioactive contamination of bordering territories including residential areas, forests and agricultural lands; modelling radiation dispersion in case of wildfires in the areas of radioactive contamination.

Findings. Provisions have been developed in terms of three major directions of the Unified Strategy: health and daily life safety of the residents of Belarus and Russia who live in the areas neighbouring the exclusion and resettlement zones; sustainable socioeconomic development of the areas affected by radioactive contamination; interaction between Russia and Belarus in terms of emergency prevention, preparedness and response in the bordering territories with high levels of radioactive contamination.

Keywords: radioactive contamination, concept, resettlement zone, exclusion zone, radiation protection of population.

(The date of submitting: May 30, 2017)

REFERENCES

1. *Rules of forest management in the areas of radioactive contamination* / Forestry Committee to the Council of Ministers of Belarus. Minsk, 2002. 99 p. (rus)
2. «*Development of a Unified Belarus-Russian Concept for managing resettlement and exclusion territories in terms of securing human protection*» III-Quarter Research Report, 2015. Under the Contract No. 50 of November 28, 2014. Coordinator: Podolyak A.G. Research Institute of Radiology. Gomel, 2015. (rus)
3. Law of the Republic of Belarus «*On the Legal Status of the Territories Contaminated as a Result of the Accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant*», 26 May 2012, No. 385-3. Nats. reestr pravovykh aktov Resp. Belarus', 2012. No. 63. 2/1937. (rus)
4. *Atlas of modern and predictive aspects of the Chernobyl NPP accident in the affected areas of Russia and Belarus*. Minsk, Belcartographia: 140 p. (rus)
5. *Sanitary Standards and Rules «Requirements to ensuring radiation safety of personnel and population implementing activity on usage of atomic energy and ionizing radiation sources»*. Approved by the resolution of the Ministry of Health of the Republic of Belarus of December 31, 2013, No. 137. (rus)
6. *Criteria for Radiation Impact Assessment: Hygienic Requirements*. Approved by the resolution of the Ministry of Health of the Republic of Belarus of December 28, 2012, No. 213. (rus).

УДК 004.65:004.75:004.5:004.91

БЕЛОРУССКОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ КОНТРОЛЯ (НАДЗОРА) В ОБЛАСТИ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Сытова С.Н., Дунец А.П., Коваленко А.Н., Мазаник А.Л.,
Сидорович Т.П., Черепица С.В.

Представлено описание системы eLab, на основе которой разрабатывается Интеллектуальная информационная система (ИИС) сотрудника Госатомнадзора Республики Беларусь для обеспечения контроля (надзора) в области ядерной и радиационной безопасности с модулями. ИИС на основе свободного программного обеспечения предназначена для автоматизации работы в части контроля (надзора) за обеспечением безопасности при сооружении и вводе в эксплуатацию Белорусской АЭС, включая контроль (надзор) за оборудованием, системами и элементами энергоблоков № 1, 2 Белорусской АЭС и контроль (надзор) за радиационной безопасностью источников ионизирующего излучения, с возможностью при необходимости последующей модернизации программного комплекса. Рассмотрена архитектура системы, структура компьютерной сети и структура программного обеспечения. Приведено описание алгоритма повышения функциональности системы с использованием блочной модели баз данных и функции частей программного обеспечения системы. Представлен алгоритм работы системы в общем виде.

Ключевые слова: Информационная система, свободное программное обеспечение, базы данных.

(Поступила в редакцию 11 июля 2017 г.)

Введение. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) проводит тщательный контроль за радиационной безопасностью ядерного материала, источников ионизирующего излучения, радиоактивных отходов и отработавшего ядерного материала. В настоящее время источники ионизирующего излучения исчисляются сотнями и тысячами на промышленных и горнодобывающих предприятиях, учреждениях медицины и т. д. Строительство Белорусской АЭС требует особого контроля за безопасностью при вводе ее в эксплуатацию, а также на протяжении всего ее жизненного цикла. Нормативная база РБ в области контроля (надзора) в области ядерной и радиационной безопасности достаточно полно охватывает все стороны такой безопасности и соответствует всем международным нормам. Понятно, что программное обеспечение (ПО), которое используется при контроле и надзоре в области ядерной и радиационной безопасности в Республике Беларусь, должно учитывать и основываться на этой нормативной базе.

Свободное ПО – программные продукты, пользователи которых обладают четырьмя основными свободами: они получают право использовать программу в любых, не запрещенных законом целях, изучать ее, устанавливать, запускать, а также изменять ее. Хорошо известно, что проприетарное коммерческое ПО не является «доверенным», то есть может содержать скрытые (незадекларированные) возможности. К доверенному системному обеспечению относят программные продукты на основе СПО, для которых доступны исходные коды, например, операционная система Debian GNU/Linux, Web-сервер Apache, сервер баз данных Firebird и др. СПО имеет ряд преимуществ перед проприетарным (коммерческим) ПО: СПО легко адаптируется и более безопасно. Использование СПО позволяет легко учесть национальные интересы и специфику. Его использование облегчает процессы обеспечения и верификации безопасности разрабатываемых программных продуктов, позволяет проводить полноценные процедуры сертификации, поскольку его исходные коды, техническая документация, протоколы и стандарты взаимодействия доступны пользователям и органам сертификации. Переход на СПО и ограничение на использование лицензионного коммерческого проприетарного программного и системного обеспечения (Oracle, IBM, Microsoft, VMware, Symantec и др.), разработка программных систем, работающих не только под операционной системой Windows, но и под различными версиями Linux в настоящее время является общемировым трендом. Кроме того, в Республике Беларусь, уделяется большое внимание безопасности информационных систем, в частности, приняты Указы Президента Республики Беларусь, распоряжения Премьер-министра, по-

становления Министерства связи и информатизации Республики Беларусь в области информатизации. Использование СПО является одним из реальных способов повысить степень защиты информации и реализовать необходимые меры по совершенствованию защиты информации.

В современном мире электронный документооборот – это неотъемлемый сервис по работе с документами, представленными в электронном виде, реализующий принципы «безбумажного делопроизводства». Предлагаемые на рынке универсальные «коробочные» системы электронного документооборота (СЭД) предполагают стандартный набор функций, невозможность полного соответствия потребностям конкретной организации, относительно низкую стоимость. Индивидуально разрабатываемые СЭД – максимально персонализированные системы с большими временными затратами на разработку и ее высокой стоимостью. Наиболее распространенные российские и белорусские СЭД – 1С: Документооборот 8, DocsVision, Directum, «Делопроизводство», «Обращения граждан», «РЕКОРД»™, СЭД RS-Doc и FlowDoc и др. Только 1С:Документооборот, «Доцера» и «Канцлер» позволяют работать под операционной системой Linux с использованием, однако, MS SQL Server, IBM DB2, Oracle MySQL.

Назначением ЛИС (лабораторная информационная система) или LIMS (сокр. от англ. Laboratory Information Management System) является получение достоверной информации по результатам испытаний в полном соответствии с ИСО/МЭК 17025-2007 «Общие требования к компетенции испытательных и калибровочных лабораторий» и оптимизации управления этой информацией с целью ее использования для принятия корректных своевременных управленческих решений. Работа по внедрению ЛИС очень трудоемкая, причем не только со стороны поставщика системы, но и со стороны заказчика. Одним из мировых лидеров по разработке ЛИС является американская STARLIMS Corp. Рынок ЛИС и СЭД в последние годы является одним из самых динамично развивающихся сегментов отечественной ИТ-индустрии. Отметим, однако, что таких программных продуктов, сочетающих черты ЛИС и СЭД на основе свободного ПО и доверенного системного обеспечения, практически нет.

В качестве примера крупной специализированной ЛИС с элементами СЭД можно привести программное обеспечение Информационной Системы Регулирующего Органа RAIS 3.4 Web, доступное на сайте МАГАТЭ с июля 2016 г. [1]. Данное ПО работает в более чем 70 странах мира. Однако, оно не лишено недостатков. Система разворачивается только на Windows с определенными версиями SQL Server и IIS, .NET. Перевод пользовательского интерфейса на русский язык не закончен. Справочники БД (базы данных), список видов деятельности имеются только на английском. Список производителей и список типов оборудования не включает производителей ТС. Существует возможность расширения БД (добавления полей и запросов), требующая от администратора системы углубленного знания MSSQL.

В Российской Федерации используется «Система государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов», разработанная Госкорпорацией «РОСАТОМ». Программа рассчитана на функционирование на персональных ЭВМ под управлением ОС Windows 9x, ME, 2000, NT, XP либо Windows Vista с базами данных MS Access. Программа обеспечивает ввод и редактирование данных, контроль правильности введенной информации, формирование и печать отчетных форм и примечаний к ним (в соответствии с законодательством РФ), формирование файла для передачи данных средствами электронной почты или на магнитных носителях в центры системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и отходов. В соответствии с лицензией на ПО, данная программа не может быть переработана под законодательство Республики Беларусь.

Ни один из рассмотренных выше программных продуктов, свободным ПО не является.

Система eLab. Рассмотрим белорусскую разработку на основе свободного программного обеспечения – систему eLab, являющуюся лабораторной информационной системой с элементами электронного документооборота. Первоначально ее целью являлось использование для автоматизации систем учета и контроля разнообразной направленности в Вооруженных Силах Республики Беларусь. С 2012 г. «Электронная система контроля качества и управления запасами горючих и смазочных материалов E-lab ГСМ» стоит на боевом дежурстве в 202 Химмотологическом центре горючего для контроля качества и учета ГСМ Вооруженных Сил Республики Беларусь (см. Рис. 1 и [2–4]). В 2013 г. она внедрена в белорусском отделении российской компании ГазПромНефть.

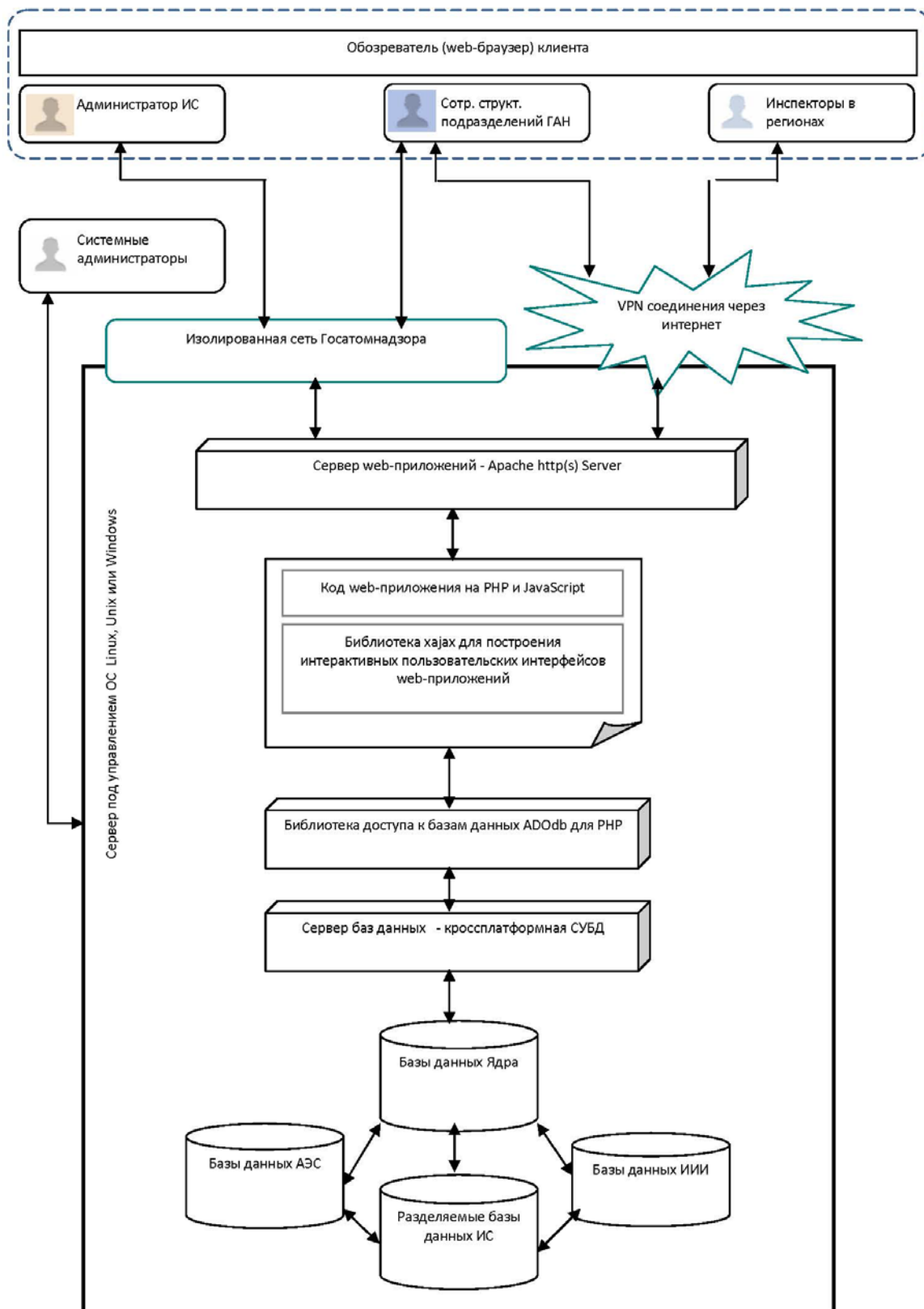


Рисунок 1. – Архитектура ИИС

Система (фреймворк) eLab представляет собой каркас программной системы, несущий в себе гнезда, в которых размещаются сменные модули (или точки расширения). Это электронная система клиент-серверной архитектуры на основе свободного программного обеспечения: Debian GNU/Linux, Web-server Apache, сервер баз данных Firebird с использованием сервера приложений PHP. Система работает под управлением операционных си-

стем Windows и Linux. Работа осуществляется через Web-интерфейс в многопользовательском режиме с разделением прав доступа посредством широко распространенных браузеров: Internet Explorer, Mozilla Firefox, Google Chrome, Opera и др. Укажем отличительные особенности фреймворка eLab: разделение баз данных на системную базу данных и пользовательские базы данных, сохранение текущих состояний пользовательского интерфейса, работа в реальном режиме времени с открытием страниц с данными менее чем за полсекунды при работе во внутренней (корпоративной) сети, а также настраиваемый пользовательский интерфейс и сохранение его текущих состояний, разделение полномочий пользователя, быстрая удобная система сортировки, фильтрации и поиска данных, автоматическое обновление и отображение текущего состояния выборки. Все это обеспечивает исключение человеческого фактора и связанных с ним ошибок при формировании регистрационных записей в журналах и выходных документах.

Отметим, что в рамках одного установленного экземпляра продукта можно поддерживать одновременно документооборот многих лабораторий и организаций, причем разного профиля, а также возможность расширять функциональность системы.

1) настраиваемый пользовательский интерфейс и сохранение его текущих состояний;

2) разделение полномочий пользователя;

3) быстрая удобная система сортировки, фильтрации и поиска данных;

4) автоматическое обновление и отображение текущего состояния выборки;

5) исключение человеческого фактора и связанных с ним ошибок при формировании регистрационных записей в журналах и выходных документах.

В дальнейшем развитие системы eLab, а именно создание системы управления контентом учебно-научного портала eLab-Science проводилось в рамках выполнения задания 1.35 ГПНИ «Информатика и космос, научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций» (2014–2015). В настоящее время работа продолжается в рамках задания 3.1.15 подпрограммы «Атомная энергетика и ядерно-физические технологии» ГПНИ «Энергетические системы, процессы и технологии» (2016–2018) В 2014 г. был разработан прототип программного обеспечения учета и контроля источников ионизирующего излучения – eLab-Atom [5–6]. В 2015 г. на основе фреймворка eLab-Science создан электронный портал ядерных знаний учреждений образования Республики Беларусь BelNET (*Belarusian Nuclear Education and Training Portal*), расположенный в интернете по адресу: <https://belnet.bsu.by> [7].

На основе системы eLab разрабатывается Интеллектуальная информационная система (ИИС) сотрудника Госатомнадзора Республики Беларусь для обеспечения контроля (надзора) в области ядерной и радиационной безопасности в рамках задания 1-02 ГНТП «Интеллектуальные информационные технологии» (2016–2020). Система предназначена для автоматизации работы сотрудников Госатомнадзора в части контроля (надзора) за обеспечением безопасности при сооружении и вводе в эксплуатацию Белорусской АЭС, включая контроль (надзор) за оборудованием, системами и элементами энергоблоков № 1, 2 Белорусской АЭС и контроль (надзор) за радиационной безопасностью источников ионизирующего излучения, с возможностью последующей модернизации программного комплекса при необходимости.

Целью разработки ИИС является создание инструмента для эффективного выполнения функций Госатомнадзором в части контроля (надзора) за обеспечением безопасности при сооружении и вводе в эксплуатацию Белорусской АЭС и радиационной безопасностью источников ионизирующего излучения. При этом решаются следующие задачи: обеспечение быстрого доступа к необходимой информации, упрощение создания, ускорение получения и повышение сохранности информации и данных по контролю (надзору) в области ядерной и радиационной безопасности, создание условий для обмена, накопления и сохранения информации, данных и знаний на уровне, обеспечивающем безопасное, устойчивое и эффективное развитие атомной отрасли Республики Беларусь.

Архитектура ИИС приводится на рисунке 1. Особенностью этой архитектуры является работа в закрытой корпоративной сети (интранет) и связь с сотрудниками Госатомнадзора в регионах, осуществляемая исключительно по VPN.

Методы и алгоритмы работы ИИС. Система eLab за годы своего существования продемонстрировала устойчивую бесперебойную работу, однако, очевидно, что должно быть выполнено существенное расширение, углубление и адаптация функциональности

системы eLab под нужды проекта по разработке ИИС. Дадим описание основных методов и алгоритмов, разработанных при разработке системы.

Повышение функциональности информационной системы (ИС) напрямую связано с использованием блочной модели [8]. В этой модели БД ИС организации представляет собой множество взаимосвязанных блоков – специализированных баз данных (СБД) (см. Рис. 2). Специализация блока определяется решаемыми задачами. Например, база данных сотрудников, база данных управления организационной структурой, база данных по оборудованию и т. д. Специализированные блоки, в свою очередь, могут состоять из блоков более низкого уровня. Например, блоки управления пользователями, блоки регистрации изменений и т. д. Блоки должны быть максимально функционально завершенными. Функциональные блоки распределяются между структурными единицами организации.

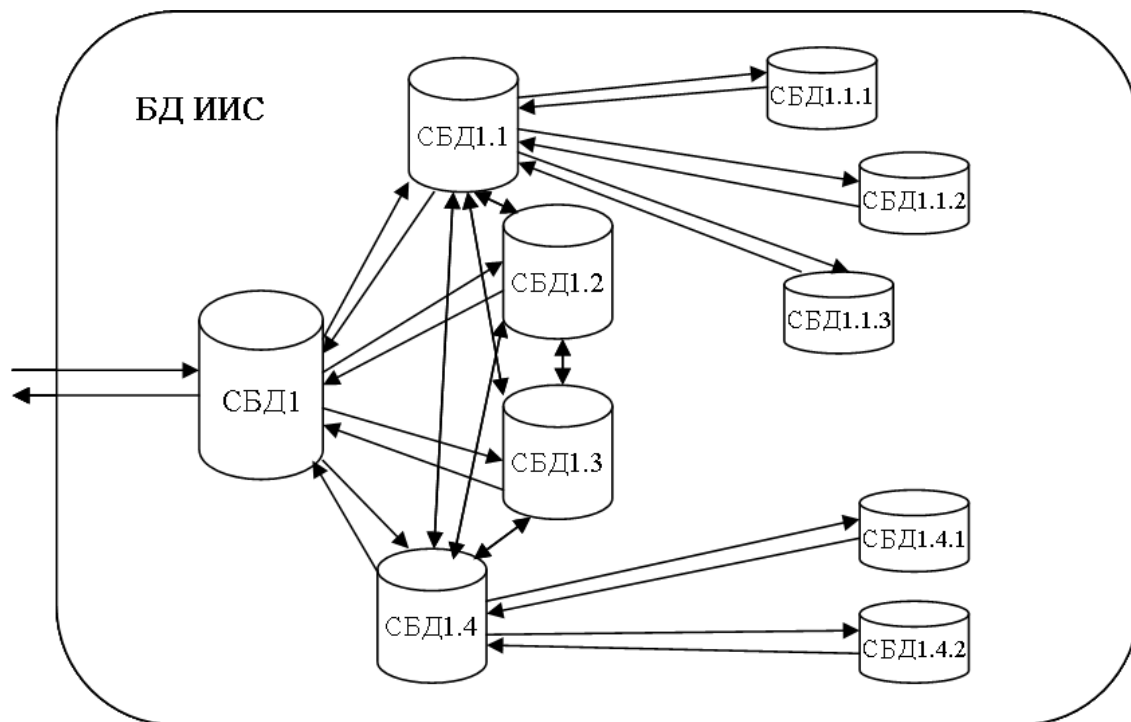


Рисунок 2. – Блочная модель базы данных

Перечислим достоинства блочной модели БД. Она позволяет разрабатывать отдельные блоки независимо от всего проекта, проще обновлять и заменять существующие блоки новыми, строить из готовых блоков другие базы данных, ориентированные на другие процессы. Эта модель способствует распределению нагрузки на сервер баз данных (блоки могут быть разнесены на разные серверы), уменьшению размеров отдельных файлов БД, упрощению наименований объектов БД (таблиц, просмотров и т. д.), упрощению понимания структуры БД.

Опишем структуру и функции программного обеспечения ИИС. Система представляет собой веб-приложение, функционирующее под управлением веб-сервера Apache 2.2 с использованием сервера приложений PHP и SQL сервера Firebird. Система размещается на виртуальной машине сервера: VMWare ESX, возможно также размещение на физическом сервере. Сервер системы представляет собой программно-аппаратный комплекс для выполнения следующих компонентов системы Web-сервер Apache, сервер приложений PHP5, SQL-сервер Firebird 2.5. Также используется Kerberos, представляющий собой сетевой протокол аутентификации, обеспечивающий механизм взаимной аутентификации клиента и сервера перед установлением связи между ними. Данный протокол обеспечивает безопасную работу, даже когда начальный обмен информацией между клиентом и сервером начинается в незащищенной среде и передаваемые пакеты могут быть перехвачены и модифицированы. Также используется протокол LDAP (Lightweight Directory Access Protocol), являющийся открытым, независимым от поставщика, промышленным стандартом прикладного протокола для доступа и поддержки распределенных информационных служб каталогов по сети Интернет-протокола.

Для работы системы используется Apache версии не ниже 2.2 с поддержкой HTTPS с устанавливаемым пакетом веб-сервера в стандартной конфигурации. После установки и получения сертификатов сервера должен быть выключено обслуживание протокола HTTP (порт 80). Администрирование веб-сервера проводится стандартными средствами (редактирование файлов конфигурации, утилита `apache2ctl`). Проект предполагает использование внешних рабочих мест с помощью технологии VPN. Схема организации корпоративной сети представлена на рисунке 3.

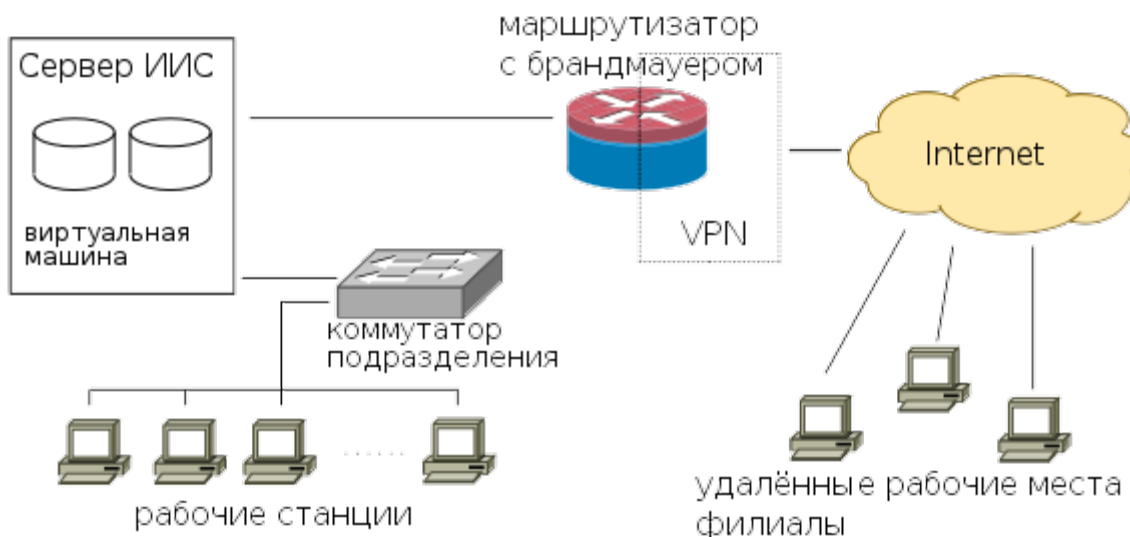


Рисунок 3. – Структура корпоративной сети для ИИС

Ядро core системы содержит модули PHP, JavaScript и CSS, которые обеспечивают общую функциональность системы для всех пользователей в едином формате: аутентификацию, дизайн страниц, пользовательские элементы управления (кнопки, списки, таблицы), шаблоны, генераторы отчетов и другое.

Специфика для каждого типа пользователей выносится в соответствующие разделы, которые определяются как модули соответствующего автоматизированного рабочего места (АРМ). Модули АРМ собраны в папке `special`. Ядро обеспечивает возможность наследования модулей АРМ. Наследуемость позволяет создавать новые рабочие места методом добавления новых файлов и/или переопределения существующих файлов согласно требуемой функциональности для конкретного типа пользователя.

Наследуемость организована на уровне названий папок в разделе `special` и отслеживается кодом ядра при формировании HTTP(S)-ответов (HTML-страниц). Идентификатор справа от точки-разделителя в имени папки указывает на имя модуля предка, от которого идет наследование. Поиск и подключение файлов происходит по цепочке от потомка к предку. При достижении конца списка наследуемости и не обнаружении требуемого файла для подключения, поиск осуществляется в папке `common`, сервер отдаст запрашиваемую страницу, дизайн которой определен по умолчанию. В случае отсутствия файла для подключения сервер вернет страницу с информацией об ошибке и зафиксирует это событие в журнале событий.

Ядро вместе со специализированными модулями обеспечивает централизованную валидацию входных (HTTP(S)-запросы) и выходных (HTTP(S)-ответы) данных, защиту от внедрения несанкционированного кода, аутентификацию пользователей и доступ к контенту в соответствии с установленными разрешениями для соответствующих пользователей. Основным назначением ядра является централизованная и быстрая генерация контента страниц для отображения их в разных обозревателях в соответствии с хранимыми данными (БД), реакция на события от разных пользователей и соответствующая модификация контента и хранимых данных. Содержимое страниц зависит от поступающих запросов и согласовано с базой данных.

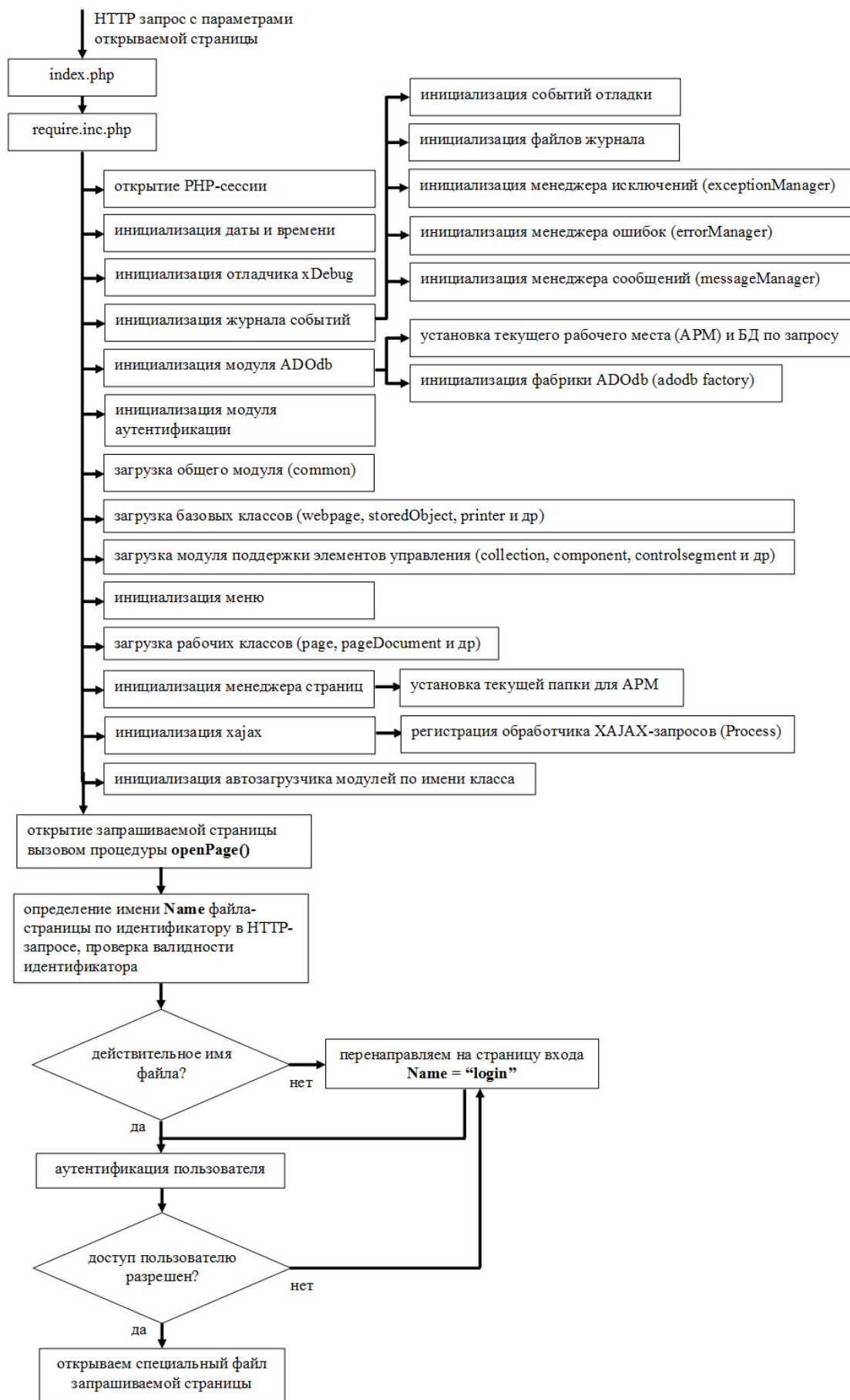


Рисунок 4. – Алгоритм работы ИИС в общем виде

Модель классов, обеспечивающих функциональность ядра программы, не зависит от каких-либо сторонних библиотек. Основными классами ядра являются класс `pageDocument` – потомок класса `printer` и класс `page` – потомок класса `webPage`. Объект класса `pageDocument` выполняет непосредственно генерацию контента отображаемых в обозревателе страниц. Объект класса `page` содержит ссылку на `pageDocument`, создается в единственном экземпляре (singleton) для каждой страницы, обеспечивает уникальность страницы при динамическом обмене данными с сервером через `ajax` процесс. Таким образом создается единственный экземпляр объекта страницы типа «page» и стартует метод объекта, печатающий контент в окно обозревателя.

Функционирование системы осуществляется следующим образом. HTTP(s)-запрос включает в себя наименование стартового скрипта. Имя скрипта в запросе от пользователя – `index.php`. В случае коротких запросов через `XAJAX`, которые создаются автоматически, – `ajax.php`. Веб-сервер Apache, разбирая поступивший запрос, стартует соответствующий скрипт. Дальнейший алгоритм работы системы в общем имеет следующий вид (см. рисунок 4). Подгружаются необходимые модули, выполняется инициализация переменных, проверяется идентификатор требуемой страницы, осуществляется аутентификация пользователя, запускается специализированный скрипт – генератор (регенератор или модификатор, в случае `ajax`-запроса) соответствующей страницы. Содержимое страницы соответствует допустимым разрешениям для текущего пользователя. Результатом работы скрипта является формирование `http(s)`-ответа клиенту, содержащего соответствующую страницу или ее часть в виде HTML, XML, JSON, что разбирается и обрабатывается обозревателем клиента.

При `ajax`-запросах вместо `index.php` начинает работу скрипт `ajax.php`. В этом случае также подгружаются все необходимые модули и выполняется инициализация объектов, осуществляется проверка пользователя и его разрешений. Но страница целиком не пересоздается и не перегружается. Выполняется модификация отдельных пользовательских элементов и части контента.

Описанные выше методы и алгоритмы работы ИИС реализованы в виде приведенных на рисунке 5 экранных форм.

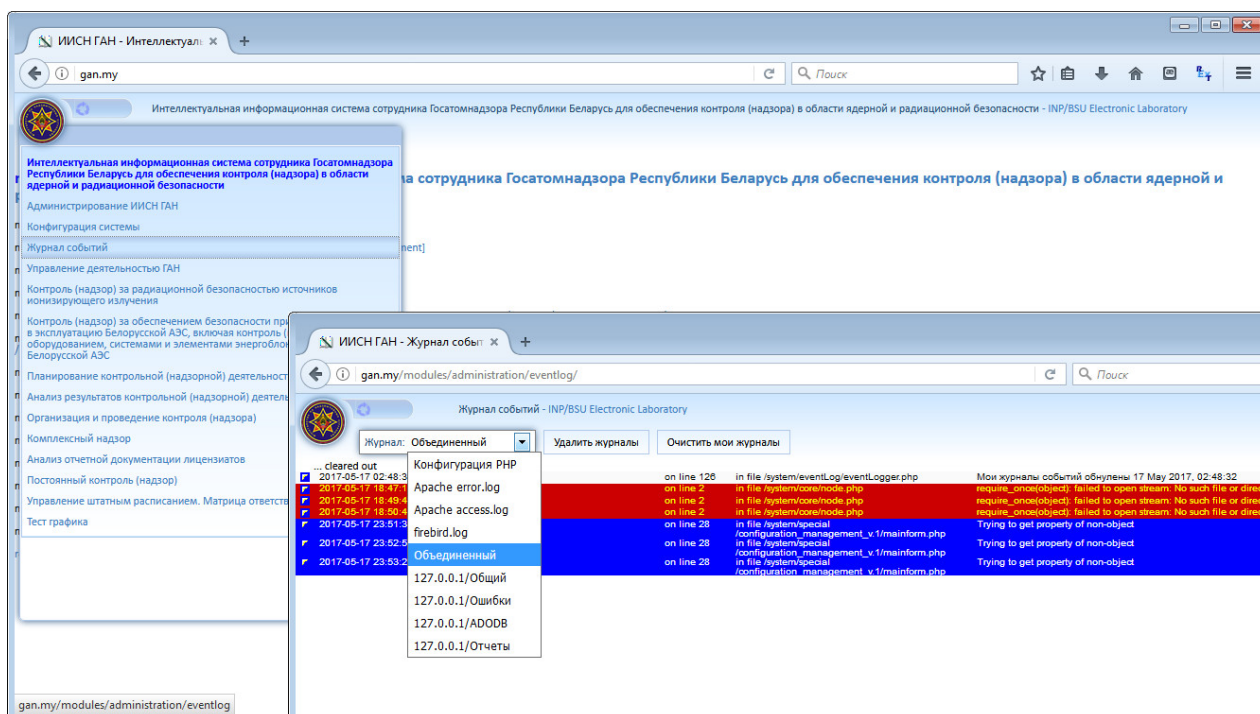


Рисунок 5. – Экранные формы ИИС

Заключение. Приведенные алгоритмы повышения функциональности системы с использованием блочной модели баз данных и работы системы в общем виде позволяют эффективно реализовать требуемые функции ПО информационной системы сотрудника Госатомнадзора Республики Беларусь для обеспечения контроля (надзора) в области ядер-

ной и радиационной безопасности. Целью системы является автоматизация процессов сбора, обработки и хранения данных в области управления ресурсными характеристиками элементов энергоблоков Белорусской АЭС, необходимого для информационной поддержки и контроля выполнения работ в период эксплуатации элементов и оборудования Белорусской АЭС; использования накопленных данных и документации при проведении надзорной деятельности при контроле за элементами и оборудованием энергоблоков Белорусской АЭС; сбор данных о ресурсных характеристиках элементов энергоблоков Белорусской АЭС для своевременного проведения анализа и обеспечения безопасности, а также источников ионизирующего излучения.

Данная система является ярким примером корпоративных приложений [9] и разрабатывается в точном соответствии с основными принципами и идеями создания таких приложений.

Работа выполнена в рамках выполнения задания 1-02 ГНТП «Интеллектуальные информационные технологии».

ЛИТЕРАТУРА

1. Regulatory Authority Information System – RAIS // [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www-ns.iaea.org/tech-areas/regulatory-infrastructure/rais.asp?s=3>. – Дата доступа: 29.05.2017.)
2. Черепица, С.В. Система контроля качества и управления запасами горюче-смазочных материалов / С.В. Черепица [и др.]. // Материалы «Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии», г. Минск, 31 октября – 3 ноября 2011 г. – С. 223-227.
3. Charapitsa, S.V. Electronic Management System of Accredited Testing Laboratory E-Lab. / S.V. Charapitsa [et al.] // Abstracts of the 17 International Conference «Mathematical Modelling and Analysis», June 6-9, 2012, Tallinn, Estonia. – P. 30.
4. Черепица, С.В. Электронная система контроля качества и управления запасами горючих и смазочных материалов «E-lab ГСМ» / С.В. Черепица [и др.]; НИИ ЯП БГУ. – Мн., 2013. – 85 с. : 78 илл. – Рус. – Деп. в ГУ «БелИСА» 26.03.2013 г., № Д201310.
5. Сытова, С.Н. Применение фреймворка eLab в атомной энергетике / С.Н. Сытова, А.С. Лобко, С.В. Черепица // Доклады IV Межд. Конф. «Ядерные технологии XXI века» (Минск 21-23 октября 2014 г.) / ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси». – Минск: Право и экономика, 2014. – С. 18–23.
6. Сытова, С.Н. Свободное программное обеспечение в области ядерной и радиационной безопасности / С.Н. Сытова [и др.]. // Программа и тезисы докладов VI Межд. Конф. «Ядерные технологии XXI века» (Минск 25–27 октября 2016) / ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси». – Минск: Право и экономика, 2016. – С. 21.
7. Сытова, С.Н. Фреймворк eLab для широкого круга приложений / С.Н. Сытова [и др.]. // Фундаментальные и прикладные физические исследования. 2010–2016 гг. – Минск: Изд-во БГУ, 2016. – С. 388-399.
8. Padmanabhan, S. Block oriented processing of relational database operations in modern computer architectures [S. Padmanabhan, T. Malkemus, R. Agarwal, A. Jhingran // Proc. of the 17th International Conference on Data Engineering, April 2-6, 2001. Heidelberg, Germany. IEEE Computer Society, 2001. – P. 567-574.
9. Фаулер, М. Архитектура корпоративных программных приложений. Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2007. – 544 с.

BELARUSIAN SOFTWARE FOR AUTOMATION OF PROCESSES OF CONTROL (SUPERVISION) IN THE FIELD OF NUCLEAR AND RADIATION SAFETY

Svetlana Sytova

Andrei Dunets

Anton Kovalenko

Arkady Mazanik

Tatyana Sidorovich

Siarhei Charapitsa

Institute for Nuclear Problems of Belarusian State University, Minsk, Belarus

Purpose. The article presents the description of information system eLab on free software, on the basis of which the Intellectual Information System of employees of the Gosatomnadzor of the Republic of Belarus is developed to provide control (supervision) in the field of nuclear and radiation safety. The system is designed to automate the work of employees for supervision during the construction and commissioning of the Belarusian NPP (BelNPP), including monitoring (supervision) of equipment, systems and components of power units No. 1, 2 of BelNPP and monitoring (supervision) of radiation safety of sources of ionizing radiation, with the possibility of further upgrading the software complex, if necessary.

Methods. Algorithms to increase the functionality of the system using a block database model and the one of functioning of the system in general as well as the functions of parts of the system software are considered and described. The architecture of the system, network structure and software structure are given.

Findings. Proposed algorithms for increasing the functionality of the system allow the effective implementation of software of required functions of the information system. This system is a vivid example of enterprise applications and is developed in strict accordance with the basic principles and ideas of creating such applications.

Application field of research. The described system will be used to automate the processes of collecting, processing and storing data in the field of managing the resource characteristics of the elements of the power units of the Belarusian NPP which is necessary for information support and control over the performance of works at BelNPP. It will be used for presentation in visual form of materials on BelNPP equipment and the results of its survey, as well as for schedule planning ensuring the performance of works on control and supervisory activities.

Conclusions. The work was carried out within the framework of task 1-02 of the State Scientific and Technical Conference «Intellectual Information Technologies» and is very important in connection with BelNPP construction.

Keywords: Information system, free software, databases.

(The date of submitting: July 11, 2017)

REFERENCES

1. *Regulatory Authority Information System – RAIS.* Available at: <http://www-ns.iaea.org/tech-areas/regulatory-infrastructure/rais.asp?s=3> (accessed: May 29, 2017).
2. Charapitsa S.V. et al. System of quality control and inventory management of fuels and lubricants. *Proc. Int. Sci. Conf. «International Congress on Informatics: Information Systems and Technologies»*, Minsk, Oct. 31 – Nov. 3, 2011. P. 223-227. (rus)
3. Charapitsa S.V. et al. Electronic Management System of Accredited Testing Laboratory E-Lab. *Abstr. 17th Int. Conf. «Mathematical Modeling and Analysis»*, June 6-9, 2012, Tallinn, Estonia. P. 30.
4. Charapitsa S.V. et al. *Electronic system of quality control and inventory management of fuels and lubricants «E-lab Fuel»*. Research Institute for Nuclear Problems of Belarusian State University. Minsk, 2013. 85 p. Dep. in the State Enterprise «BelISA» on March 26, 2013, No. D201310. (rus)
5. Sytova S.N., Lobko A.S., Charapitsa S.V. Application of the framework eLab in nuclear power engineering. *Proc. IV Int. Conf. «Nuclear technologies of the XXI century»*, Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny of the National Academy of Sciences of Belarus. Minsk, 2014. P. 18-23. (rus)
6. Sytova S.N. et al. Free software in the field of nuclear and radiation safety. *Abstr. VI Int. Conf. «Nuclear Technologies of the XXI Century»*, Joint Institute for Energy and Nuclear Research – Sosny of the National Academy of Sciences of Belarus. Minsk, 2016. P. 21. (rus)

7. Sytova S.N. et al. Framework eLab for a wide range of applications. *Fundamental and applied physical research. 2010–2016*. Minsk: BSU Publishing House, 2016. P. 388-399. (rus)
8. Padmanabhan S., Malkemus T., Agarwal R., Jhingran A. Block oriented processing of relational database operations in modern computer architectures. *Proc. of the 17th International Conference on Data Engineering, April 2-6, 2001*. Heidelberg, Germany. IEEE Computer Society, 2001. P. 567-574.
9. Fowler M. *Patterns of enterprise application architecture*. Addison-Wesley. 2002. 560 p.

УДК 621.039.7

РАСЧЕТ ЭФФЕКТОВ РЕАКТИВНОСТИ В ПОДКРИТИЧЕСКОЙ СБОРКЕ С ТЕПЛОВЫМ СПЕКТРОМ НЕЙТРОНОВ, УПРАВЛЯЕМОЙ ВНЕШНИМ ИСТОЧНИКОМ НЕЙТРОНОВ

Шишкина М.В., Фоков Ю.Г., Рутковская К.К., Куликовская А.В.

Описаны конструкция и материальный состав ядерно-физической подкритической сборки «Яліна-Тепловая». По данной установке создан входной файл ядерно-физического кода MCNP для расчета основных характеристик, достаточно подробно описывающий геометрию и материальный состав сборки, а также энергетическое распределение нейтронов. Выполнено расчетное моделирование пошаговой загрузки топлива в активную зону; оценен статистический вес твэлов центральной, промежуточной и периферийной областей активной зоны сборки; вклад в реактивность свинцовой мишени, расположенной в центральной полости сборки; расчет величины эффективной доли запаздывающих нейтронов.

Ключевые слова: эффективный коэффициент размножения нейтронов, эффекты реактивности, эффективная доля запаздывающих нейтронов.

(Поступила в редакцию 29 мая 2017 г.)

Введение. Одним из перспективных путей уменьшения количества долгоживущих радиоактивных отходов является трансмутация – превращение долгоживущих радионуклидов в короткоживущие или стабильные нуклиды с помощью нейтронов.

В последние годы интенсивно развиваются концепции энергетических систем, основанных на синтезе высокоэнергетических реакций расщепления и деления тяжелых ядер. Чаще всего рассматриваются подкритические системы, работающие под управлением ускорителей. В мировой научной литературе гибридные установки, интегрирующие в единый комплекс ускоритель заряженных частиц, нейтрон-производящую мишень и подкритическую сборку, в которой протекает цепная ядерная реакция деления, интенсивность которой контролируется током пучка ускорителя, получили название ADS (Accelerator Driven Systems) [1].

Основная часть. Целью работы является выполнение расчетного моделирования с помощью ядерно-физического кода MCNP [2] пошаговой загрузки топлива в активную зону; оценка статистического веса твэлов центральной, промежуточной и периферийной областей активной зоны сборки; вклад в реактивность свинцовой мишени, расположенной в центральной полости сборки; расчет величины эффективной доли запаздывающих нейтронов. Все эти величины являются важными для оценки безопасности ядерных установок [3]. Для изучения возможности практической реализации ADS, в научном учреждении «ОИЭЯИ-Сосны» НАН Беларуси создан ядерно-физический подкритический комплекс «Яліна» [4], предназначенный для проведения широкого круга исследований с использованием нейтронов в широкой области энергий: от энергий тепловых нейтронов и до 15 МэВ. Комплекс состоит из высокопоточного генератора нейтронов НГ-12-1, уран-полиэтиленовой (тепловой) и бустерной (быстро-тепловой) подкритических сборок, измерительного комплекса и системы жизнеобеспечения.

Моделирование нейтроно-физических характеристик подкритических систем с внешними источниками является достаточно сложной задачей, поскольку необходимо учитывать ядерно-физические процессы, протекающие в широком диапазоне энергий. Код MCNP позволяет моделировать перенос нейтронов и гамма-квантов методом Монте-Карло практически в любой геометрии. Кинетическое уравнение Больцмана при этом обычно записывается в виде

$$\Psi(x) = \int \Psi(x') K(x' \rightarrow x) dx + \Psi_1(x), \quad (1)$$

где x обозначает совокупность фазовых координат (\mathbf{r} , E , Ω , t); $\Psi(x)$ – плотность столкновений нейтронов в точке фазового пространства x , равная $\Phi(x) \cdot \Sigma_t(x)$; функция $\Phi(x)$ – плотность потока нейтронов; $\Sigma_t(x)$ – полное макроскопическое сечение взаимодействия нейтрона с веществом; $\Psi_1(x)$ – плотность первых столкновений; $K(x' \rightarrow x)$ – ядро перехода из состояния (x') в состояние (x), которое представляет собой произведение ядра столкновения $S(\mathbf{r}', E', \Omega', t' \rightarrow \mathbf{r}, E, \Omega, t')$ и ядра пространственного переноса $T(\mathbf{r}', E, \Omega, t' \rightarrow \mathbf{r}, E,$

Ω, t). Предполагается, что функционал столкновения S учитывает все основные процессы взаимодействия нейтрона с веществом (упругое и неупругое рассеяние, деление, реакции (n, γ) , $(n, 2n)$, $(n, 3n)$, (n, α) , (n, p) и т. д.). При этом как для сечений, так и для энергетических и угловых распределений вторичных нейтронов используется детальное описание энергетической зависимости, представленное в файлах оцененных ядерных данных в формате ENDF/B [5]. Функционал пространственного переноса T позволяет корректно рассчитывать системы в трехмерной геометрии. Каждая пространственная ячейка системы представляет собой объем, ограниченный произвольной комбинацией поверхностей первого и второго порядков максимально воспроизводящая реальные детали.

Уравнение критичности, в отличие от неоднородного уравнения (1), представляет собой задачу на собственные значения

$$\Psi(x) = \frac{1}{k} \int \Psi(x') K(x' \rightarrow x) dx. \quad (2)$$

Под коэффициентом критичности $k_{эфф}$ понимается максимальное по модулю собственное значение уравнения (2). Решение этого уравнения обычно производится методом поколений с использованием некоторой комбинации оценок по столкновениям, поглощениям и длине пробега с целью снижения присущей расчету статистической неопределенности получаемого результата. Модуль для проведения вычислений коэффициента размножения нейтронов KCODE входит составной частью в общий комплекс программ MCNP. Проводя в одном варианте вычисления с учетом запаздывающих нейтронов, а во втором варианте в вычислениях учитывая только мгновенные нейтроны, можно получить долю запаздывающих нейтронов, являющуюся исключительно важной характеристикой для исследования нейтроно-физических характеристик конкретной ядерной системы.

В конструкции сборки «Яліна-Тепловая» заложена возможность изменения конфигурации активной зоны для достижения различных уровней подкритичности. В качестве внешних источников нейтронов используются источники спонтанного деления ^{252}Cf различной интенсивности, а также генератор нейтронов НГ-12-1, производящий нейтроны в реакциях $d(d,n)^3\text{He}$; $d(t,n)^4\text{He}$.

К наиболее важным задачам в развитии современных радиационно-энергетических технологий относятся: разработка и создание топливных композиций, конструкционных материалов и материалов теплоносителя, обладающих высоким сопротивлением к воздействию ядерных излучений, так как механические свойства материалов – прочность, упругость, пластичность, вязкость, ползучесть и твердость – изменяются со временем в зависимости от природы и энергетического спектра облучающих материал частиц, температуры среды и дозы облучения [6].

Техническая осуществимость электроядерных энергетических установок ADS, принцип действия которых основан на технологии расщепления ядер высокоэнергетическими пучками, зависит в значительной степени от освоенности линейных ускорителей протонов и легких ядер. Такие ускорители нашли широкое применение в физике высоких энергий для изучения структуры материи. Опыт их эксплуатации (Россия, США, Канада, Швейцария и др.) указывает на реальную возможность создания мощных ускорителей непрерывного действия, обладающих высокой эксплуатационной надежностью, что привело к разработкам концепций подкритических систем, управляемых ускорителями, в различных странах.

При разработке установок возникают два принципиальных вопроса: выбор внешнего источника нейтронов и оптимизация параметров активной зоны с точки зрения получения максимального коэффициента усиления потока нейтронов внешнего источника. В отличие от традиционных ADS, которые базируются на ускорителях протонов (или дейтронов) высоких энергий (до нескольких ГэВ) с токами в пучке до десятков миллиампер, для исследовательского реактора можно рассмотреть возможность использования обычных генераторов нейтронов с дейтериевыми и тритиевыми мишенями с током дейтронов в пучке до 1 А. Используются дейтроны с энергиями порядка 200–300 кэВ, что вполне достаточно для протекания реакции образования нейтронов, то создание такого генератора нейтронов может оказаться на порядки дешевле, чем строительство ускорителей на несколько ГэВ, причем токи порядка нескольких ампер являются вполне достижимыми для низкоэнергетических ускорителей [7].

Особая роль в программе экспериментальных исследований на стенде «Яліна» отводится измерению уровня подкритичности, поскольку безопасная эксплуатация полномасштабной ADS невозможна без надежного мониторинга реактивности системы [1].

Свойства устойчивости и саморегулируемости любой системы зависят от наличия обратных связей, их величины и знака. Из общей теории автоматического регулирования известно, что любая система обладает свойством устойчивости тогда, когда ее обратные связи отрицательны и также обладает хорошей управляемостью, если они достаточно малы по величине.

Обратные связи в реакторе называют эффектами реактивности, а характеризующие их коэффициенты – коэффициентами реактивности. Характер зависимости реактивности от температуры определяет динамические свойства реактора и решающим образом влияет на его устойчивость. Поэтому знание указанных зависимостей для каждого реактора совершенно необходимо [8].

Если в делящейся среде происходят изменения температуры, ядерного состава, плотности, то они неизбежно приводят к изменению коэффициента размножения. Например, при увеличении температуры среды замедление нейтронов на горячем замедлителе может ухудшиться, причем изменится вероятность избежать резонансного захвата ϕ_8 . В процессе работы реактора количество ядер делящегося изотопа урана уменьшается, следовательно, уменьшится вероятность поглощения в ^{235}U , θ_5 . Поэтому в начале работы необходимо иметь запас по количеству ядер ^{235}U на выгорание [9].

Расчет эффективного коэффициента размножения нейтронов в ходе загрузки ядерного топлива в активную зону. Расчет порядка загрузки топлива в сборку проводился, исходя из достижения проектной безопасной величины коэффициента размножения $k_{эфф} \leq 0,975$ с выполнением основного правила загрузки размножающих систем – соблюдением безопасного хода кривой $I/N = f(m)$, где m – масса загруженного в сборку топлива, а N – соответствующая этой загрузке скорость счета [1].

Расчет загрузки делящихся веществ в активную зону и получение на подкритической сборке допускаемого правилами ядерной безопасности эффективного коэффициента размножения нейтронов $k_{эфф}$ производился с соблюдением следующих правил:

- первая порция загружаемого делящегося вещества не должна превышать 10% от минимального расчетного значения критической загрузки. После снятия показаний приборов контроля нейтронного потока загружается вторая порция, которая не должна превышать первую;

- каждая последующая порция не должна превышать j величины, оставшейся до экстраполированного значения параметра, соответствующего критическому состоянию [1].

Загрузка сборки до проектного значения эффективного коэффициента размножения была достигнута за 15 шагов.

Ход зависимости $k_{эфф}$ от количества загружаемого на каждом шаге топлива имеет «безопасный» характер [1], что подтверждает правильность выбранной процедуры загрузки (рисунок 1).

Вклад в реактивность (статистический вес) твэлов центральной, промежуточной и периферийной областей активной зоны сборки. Максимальная плотность потока нейтронов наблюдается в центре активной зоны и твэлы в этой зоне дают наибольший вклад в эффективный коэффициент размножения нейтронов. Твэлы, расположенные в периферийной части активной зоны дают меньший вклад в эффективный коэффициент размножения нейтронов.

Рассчитанный статистический вес твэла в центральной области активной зоны уран-полиэтиленовой подкритической сборки «Яліна-Тепловая» равен: $\Delta k_{ц} = -0,0022$, в промежуточной области активной зоны: $\Delta k_{пр} = -0,0013$, на периферии активной зоны: $\Delta k_{пер} = -0,0010$.

Эффективная доля запаздывающих нейтронов. Наличие запаздывающих нейтронов создает физические предпосылки управления цепным процессом деления ядер в энергетических реакторах. Часть вторичных нейтронов деления освобождается не одновременно с образованием осколков, а несколько позже из некоторых возбужденных осколков после их распада. Такие осколки называются предшественниками запаздывающих нейтронов. Как правило, запаздывающие нейтроны достаточно хорошо описываются шестью группами предшественников. При расчете по MCNP получены следующие значения коэффициента размножения на мгновенных нейтронах $k_p = 0,96773 \pm 0,00002$, и эффективного коэффициента размножения $k_{эфф} = 0,97453 \pm 0,00002$, следовательно, эффективная доля запаздывающих нейтронов: $\beta_{эфф} = 0,00698 \pm 0,00003$.

Значение эффективного коэффициента размножения нейтронов в ходе загрузки ядерного топлива в активную зону

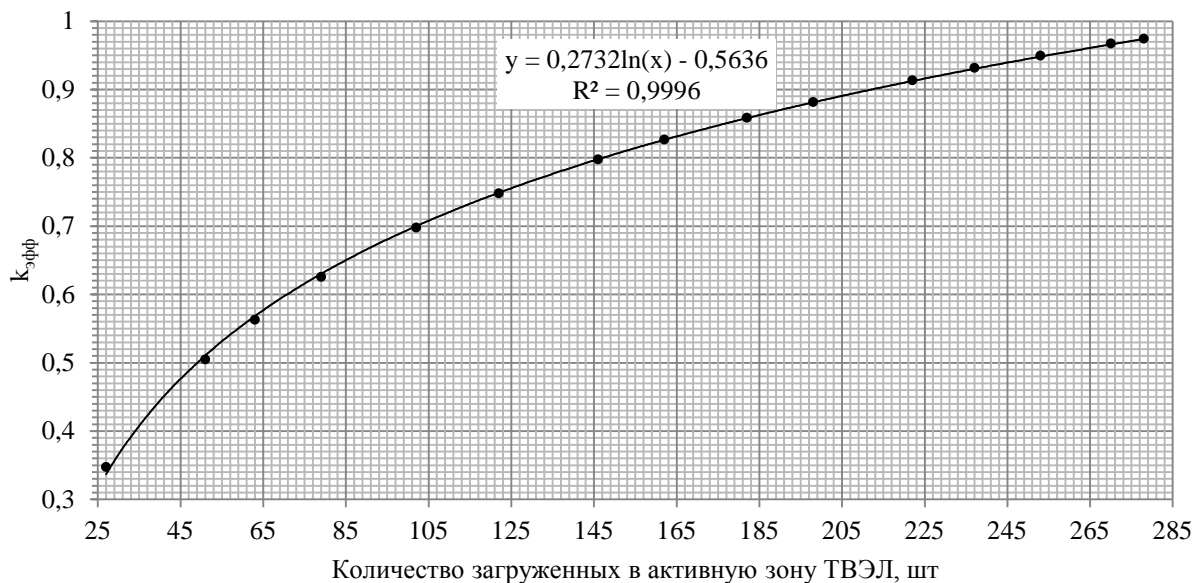


Рисунок 1. – Эффективный коэффициент размножения нейтронов в ходе загрузки ядерного топлива в активную зону

Полученное значение эффективной доли запаздывающих нейтронов для подкритической сборки «Яліна-Тепловая» характерно для системы с окисным топливом 10%-ного обогащения по ^{235}U в условиях теплового спектра нейтронов.

Вклад в реактивность свинцовой мишени, расположенной в центральной полости сборки. Свинцовая вставка моделирует нейтрон-производящую мишень полномасштабной ADS. Она находится в центре активной зоны в области с максимальной плотностью потока нейтронов. Присутствие свинцовой вставки в центральной области вносит незначительную положительную реактивность.

Заклучение. Подкритический стенд «Яліна» является ядерно-физической установкой для изучения кинетических параметров прототипа будущей ADS. С помощью кода MCNP выполнено расчетное моделирование пошаговой загрузки топлива в активную зону. Ход зависимости $k_{эфф}$ от количества загружаемого на каждом шаге топлива имеет «безопасный» характер, что подтверждает правильность выбранной процедуры загрузки. По вкладу в реактивность твэлов в различных областях активной зоны получены закономерные результаты: наибольший вклад в реактивность имеют твэлы центральной области, наименьший — периферийной. Присутствие свинцовой вставки в центральной области вносит незначительную положительную реактивность. Полученное значение эффективной доли запаздывающих нейтронов для подкритической сборки «Яліна-Тепловая» ($\beta_{эфф} = 0,00698 \pm 0,00003$) характерно для системы с окисным топливом 10%-ного обогащения по U^{235} в условиях теплового спектра нейтронов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Accelerator driven systems: energy generation and transmutation of nuclear waste. Status report IAEA-TECDOC-985.—Vienna: IAEA, 1997.
2. Briesmeister, J.F. MCNP – A General Purpose N-particle Transport Code, version 4C: Report LA-12625-M / J.F. Briesmeister. – Los Alamos National Laboratory, 2000.
3. Правила ядерной безопасности подкритических стендов: постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 30 дек. 2006 г. № 72 // Нормативные правовые акты в области обеспечения ядерной безопасности. – Минск: ДИЭКОС, 2008. – 184 с.
4. Подкритический стенд «Яліна» для генерации нейтронов и экспериментальных исследований в области ADS-технологии / В.В. Бурнос [и др.]. – Минск, 2006. – 22 с.– (Препринт / НАН Беларуси, Объед. ин-т энергет. и ядер. исслед. – Сосны; ОИЭЯИ-24).
5. Chadwick, M.B. ENDF/B-VII.1 Nuclear Data for Science and Technology: Cross Sections,

- Covariances, Fission Product Yields and Decay Data/ M.B. Chadwick, M. Herman [et al] // Nuclear Data Sheets. – V. 112, Issue 12. – 2011. – P. 2887 – 2996.
6. Chigrinov, S.E. Experimental Research of the Transmutation of Long-Lived Fission Products and Minor-Actinides in a Sub-critical Assembly Driven by a Neutron Generator / S.E. Chigrinov [et al] // ADTTA'96: Proceedings Conference, Kalmar. – Sweden, 1996. – P. 737-744.
 7. Bowman, C.D. Accelerator Driven Systems in Nuclear Energy. Role and Technical Approach: Report ADNA 97-013. ADNA Corporation / Los Alamos. – New Mexico, 1997.
 8. Теория ядерных реакторов [Электронный ресурс]: электрон. учеб.-метод. комплекс по учебным дисциплинам / В.В. Сорокин.– Свид. о включении в Гос. регистр информационного ресурса от 28.03.2016 № 1441607400. – Минск: БНТУ, 2016.– 136 с.
 9. Бекман, И.Н. Ядерная индустрия. Физика атомного реактора / И.Н. Бекман. – М.: Изд-во МГУ. – 2005. – 867 с.

CALCULATION OF REACTIVITY EFFECTS IN THE SUBCRITICAL ASSEMBLY WITH THERMAL NEUTRON SPECTRUM DRIVEN BY AN EXTERNAL SOURCE OF NEUTRONS

Mariya Shyshkina

Yurii Fokov

Cristina Routkovskaia

Alla Koulikovskaya

State Scientific Institution «The Joint Institute for Power and Nuclear Research-Sosny» of NAS of Belarus, Minsk, Belarus

Purpose. The subject of inquiry is subcritical assembly «Yalina-Thermal» with thermal neutron spectrum driven by external neutron sources operating at the «JIPNR-Sosny» of the NAS of Belarus.

The objective of the work was analytical study of the assembly «Yalina-Thermal» reactivity changes in the course of nuclear fuel loading into the core.

Methods. To calculate the mentioned parameters by MCNP code the input file has been created simulating in detail the assembly's geometry and structure of neutron energy groups.

Findings. The «Yalina» facility was conceived for the purpose of investigating the static and dynamic neutronics properties of accelerator driven sub-critical systems, and to serve as a neutron source for investigating the properties of nuclear reactions, in particular transmutation reactions involving minor-actinide nuclei.

Application field of research. The obtained results could be used for further studies of the kinetic parameters of the subcritical assembly «Yalina».

Conclusions. Using the MCNP code the stepwise process of fuel loading into the core was simulated, the reactivity value of fuel rods in central, intermediate and peripheral regions of the core was estimated, as well as reactivity value of the lead target, contribution to the effective fraction of delayed neutrons.

Keywords: effective neutron multiplication factor, reactivity effects, effective fraction of delayed neutrons.

(The date of submitting: May 29, 2017)

REFERENCES

1. Accelerator driven systems: energy generation and transmutation of nuclear waste. Status report IAEA-TECDOC-985. Vienna: IAEA, 1997.
2. Briesmeister J.F. *MCNP – A General Purpose N-particle Transport Code*, version 4C: Report LA-12625-M. J.F. Briesmeister. Los Alamos National Laboratory, 2000.
3. *Pravila yadernoy bezopasnosti podkriticheskikh stendov: postanovlenie Ministerstva po chrezvychaynym situatsiyam Respubliki Belarus' ot 30.12.2006. No. 72. Normativnye pravovye akty v oblasti obespecheniya yadernoy bezopasnosti.* Minsk: DIEKOS, 2008. 184 p. (rus)
4. Burnos V.V. and oth. *Podkriticheskiy stend «Yalina» dlya generatsii neytronov i eksperimental'nykh issledovaniy v oblasti ADS-tekhnologii.* Preprint, Joint Institute for Energy and Nuclear Research – Sosny of the National Academy of Sciences of Belarus. Minsk, 2006. 22 p. (rus)
5. Chadwick M.B., Herman M. and oth. ENDF/B-VII.1 Nuclear Data for Science and Technology: Cross Sections, Covariances, Fission Product Yields and Decay Data, *Nuclear Data Sheets*. 2011. V. 112, Iss. 12. Pp. 2887-2996.
6. Chigrinov S.E. and oth. Experimental Research of the Transmutation of Long-Lived Fission Products and Minor-Actinides in a Sub-critical Assembly Driven by a Neutron Generator. *ADTA'96: Proceedings Conference Kalmar. Sweden, 1996.* Pp. 737-744.
7. Bowman C.D. *Accelerator Driven Systems in Nuclear Energy. Role and Technical Approach.* Report ADNA 97-013. ADNA Corporation. Los Alamos. New Mexico, 1997.
8. Sorokin V.V. *Teoriya yadernykh reaktorov: electronic educational and methodical complex for educational disciplines.* Certificate of inclusion in the State Register of Information Resources of March 28, 2016 No. 1441607400. Minsk: BNTU, 2016. 136 p. (rus)
9. Bekman I.N. *Yadernaya industriya. Fizika atomnogo reaktora.* Moscow, MSU Publishing House. 2005. 867 p. (rus)

УДК 613.648.4

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗОЛОТВАЛА**Соловьев В.Н., Плещанков И.Г., Левчук А.С., Фокина Г.И., Кузьмина Н.Д.**

Выполнены измерения мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, плотности потока бета-частиц на территории промышленного полигона зольных отходов ТЭЦ на местных видах топлива. Измерена удельная активность радионуклида ^{137}Cs в пробах зольных отходов и воды, отобранных на золоотвале. Выявлены локальные участки с содержанием ^{137}Cs выше минимально значимой удельной активности (МЗУА). На этих участках обнаружено перераспределение радионуклида ^{137}Cs по глубине насыпей с обогащением поверхностных слоев. Такое перераспределение ^{137}Cs может приводить к превышению МЗУА для ^{137}Cs в поверхностных слоях зольных отходов при нормативно допустимых начальных удельных активностях ^{137}Cs в золе.

Ключевые слова: древесное топливо, торф, зола, золоотвал, радионуклид ^{137}Cs .

(Поступила в редакцию 26 мая 2017 г.)

Введение. В Беларуси реализуется программа оптимального использования в топливном балансе местных видов топлива, в том числе возобновляемых источников энергии, базирующаяся, в основном, на технологии сжигания в энергетических и теплогенерирующих установках древесного топлива (топливной щепы, дров, древесных отходов, пеллет), лигнина, торфа, торфобрикетов и их смесей. Энергетический потенциал местных видов топлива по оценке составляет более 4 млн. т у.т. в год. Сжигание местных видов топлива сопровождается высокотоннажным (более 300 тыс. тонн в год) потоком зольных отходов. Древесное топливо и торф в той или иной мере загрязнены радионуклидами либо чернобыльского происхождения, либо глобальных выпадений (контроль ведется по содержанию радионуклида ^{137}Cs).

Действующие в Беларуси технические условия на щепу топливную [1] ограничивают удельную активность ^{137}Cs в щепе уровнем 300 Бк/кг. Для топливного торфа и торфобрикета допустимый уровень удельной активности ^{137}Cs составляет 1220 Бк/кг [2]. Такие уровни содержания ^{137}Cs в топливе позволяют на объектах энергетики – ТЭЦ и мини-ТЭЦ, сжигающих древесное топливо, торф, торфобрикеты и смесевые композиции, практически исключить вероятность образования подовой золы с удельной активностью ^{137}Cs более 10000 Бк/кг (выше уровня МЗУА ^{137}Cs) [3]. Однако в последнее время было введено в эксплуатацию современное котельно-топочное оборудование с высокоэффективными системами газоочистки (преимущественно электрофильтрами). Даже при уровнях удельной активности ^{137}Cs в топливе ниже нормативных, зола, улавливаемая в электрофильтрах, может иметь удельную активность ^{137}Cs выше уровня МЗУА. Риски выхода золы с удельной активностью ^{137}Cs выше уровня МЗУА не учитываются техническими нормативами и правилами и требуют дополнительного рассмотрения. Поэтому к местным видам топлива необходим взвешенный подход с оценкой уровня содержания ^{137}Cs в исходном топливе и в зольных отходах, а также оценкой радиационной безопасности при обращении с зольными отходами на котельной. Дополнительным источником радиационной опасности могут служить промышленные полигоны для хранения (захоронения) зольных отходов. В данной работе приведены результаты исследования радиационных характеристик золоотвала в Гомельской области с оценкой мощности эквивалентной дозы (МЭД) гамма-излучения на территории золоотвала, а также на отдельных участках с измерением плотности потока β -частиц и удельной активности ^{137}Cs в зольных отходах по глубине до 0,5 м.

Результаты исследования золоотвала. Золоотвал имел форму прямоугольной площадки размером около 100 м на 70 м, обнесенной обваловкой высотой около 2 м. Золоотвал, в соответствии с проектом, оборудован системой дренажа и системой пылеподавления, обнесен забором. Зольные отходы на золоотвале расположены слоями с небольшими насыпями, преимущественно шлакосодержащими. В центральной части золоотвала зольные отходы выровнены для проезда автомобиля. Масса сухих зольных отходов на золоотвале на момент исследований составляла ~ 6000 т, часть из хранящихся отходов являлись отходами электрофильтров с высокой вероятностью удельной активности ^{137}Cs выше 10000 Бк/кг.

В процессе исследований были выполнены измерения мощности эквивалентной до-

зы гамма-излучения на территории золоотвала, отбор проб и измерения содержания ^{137}Cs в пробах золы и воды. Мощность эквивалентной дозы гамма-излучения измерялась в точках сетки шагом в 20 м в режиме вычитания фона (фон составил 0,047 мкЗв/ч). Среднее значение МЭД по всем измерениям в точках сетки составило:

- на высоте 1,0 м от поверхности золоотвала 0,066 мкЗв/ч над фоном;
- на высоте 0,1 м от поверхности золоотвала 0,054 мкЗв/ч над фоном.

Удельная активность ^{137}Cs в объединенной пробе зольных отходов по всему золоотвалу составила $1045,4 \pm 243,9$ Бк/кг.

Удельная активность ^{137}Cs в воде из дренажной системы (колодец) составила 11 ± 3 Бк/кг. Удельная активность ^{137}Cs в воде из места скопления атмосферных осадков составила < 2 Бк/кг.

Было выявлено пять участков: P1, P2, P3, P4, P5, на которых мощность эквивалентной дозы гамма-излучения у поверхности (0,1 м) превышала уровень 1 мкЗв/ч, на этих участках проведены измерения также плотности потока β -частиц (табл. 1).

Таблица 1. – Результаты измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения и плотности потока бета-частиц на участках P1, P2, P3, P4, P5

| Место измерения | МЭД, мкЗв/ч | Плотность потока бета-частиц, частиц/(см ² ·мин) |
|-------------------------------------|-------------|---|
| участок P1: южная сторона насыпи | 0,96±0,29 | 47±15 |
| северная сторона насыпи | 1,8±0,6 | 121±37 |
| участок P2 | 4,2±1,3 | 538±162 |
| участок P3 | 3,7±1,2 | 193±58 |
| участок P4: западная сторона насыпи | 1,01±0,31 | 69±21 |
| восточная сторона насыпи | 0,70±0,21 | 69±21 |
| участок P5: южная сторона насыпи | 1,09±0,33 | 88±27 |
| северная сторона насыпи | 1,25±0,38 | 80±24 |

На участках: P1, P2, P3, P4, P5 проведены исследования удельной активности ^{137}Cs в зольных отходах по глубине до 0,5 м. Отбор проб в глубину проводился специальным пробоотборником с шагом 0,1 м. Дополнительно проводился отбор объединенных проб золы с поверхности на каждом участке.

Результаты измерений удельной активности ^{137}Cs в объединенных пробах золы с поверхности каждого участка показаны в табл. 2.

Таблица 2. – Результаты измерений удельной активности ^{137}Cs в объединенных пробах золы с поверхности участков P1, P2, P3, P4, P5

| Место отбора проб | Удельная активность ^{137}Cs , Бк/кг |
|-------------------|---|
| участок P1 | 18700±4400 |
| участок P2 | 76500±17800 |
| участок P3 | 23900±5600 |
| участок P4 | 8200±1900 |
| участок P5 | 12200±2800 |

Удельные активности ^{137}Cs в объединенных пробах золы с поверхности каждого участка достаточно хорошо согласуются с удельными активностями ^{137}Cs в поверхностном слое мест отбора проб в глубину. Результаты измерений удельной активности ^{137}Cs в пробах золы по глубине на каждом из участков показаны на рисунках 1 – 5.

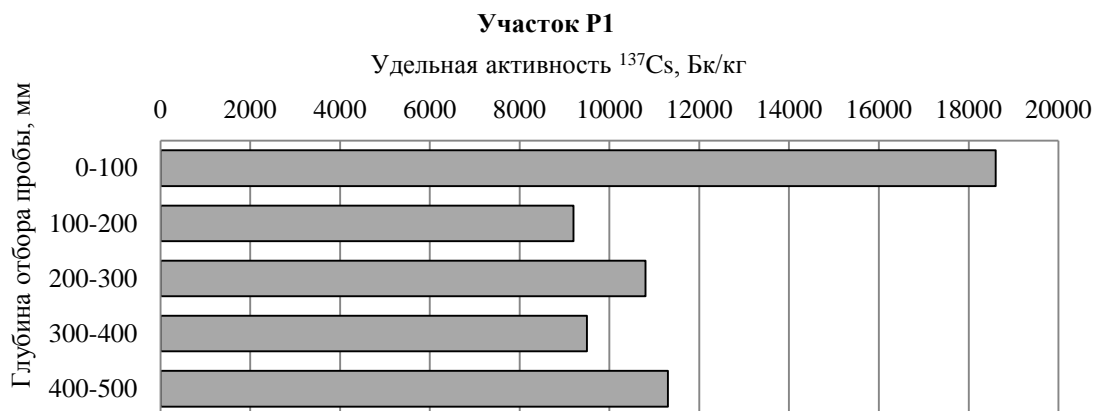


Рисунок 1. – Распределение удельной активности ^{137}Cs по глубине на участке Р1

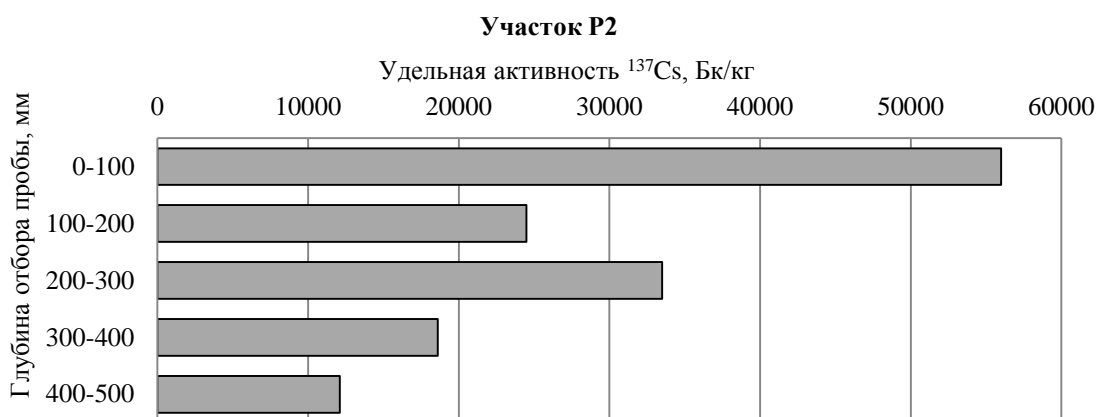


Рисунок 2. – Распределение удельной активности ^{137}Cs по глубине на участке Р2

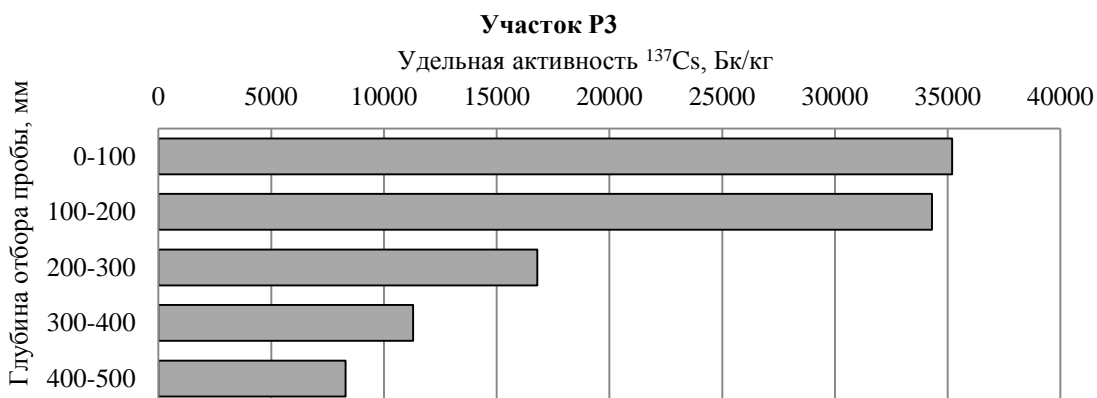


Рисунок 3. – Распределение удельной активности ^{137}Cs по глубине на участке Р3



Рисунок 4. – Распределение удельной активности ^{137}Cs по глубине на участке Р4

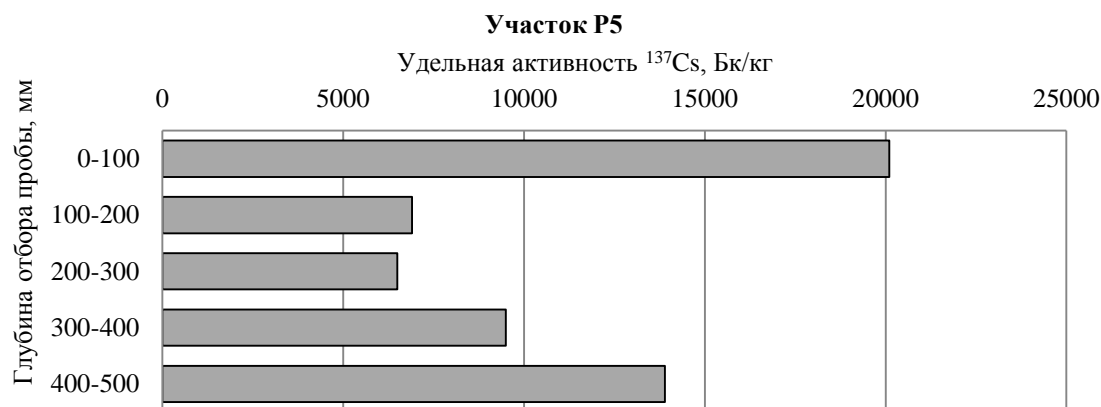


Рисунок 5. – Распределение удельной активности ^{137}Cs по глубине на участке Р5.

Наблюдалось увеличение удельной активности ^{137}Cs в поверхностном слое на всех участках, особенно резко выраженное в поверхностных слоях глубиной до 0,2 м. Относительное распределение удельной активности ^{137}Cs по глубине в среднем по всем исследованным участкам с аппроксимацией степенной функцией показано на рисунке 6.

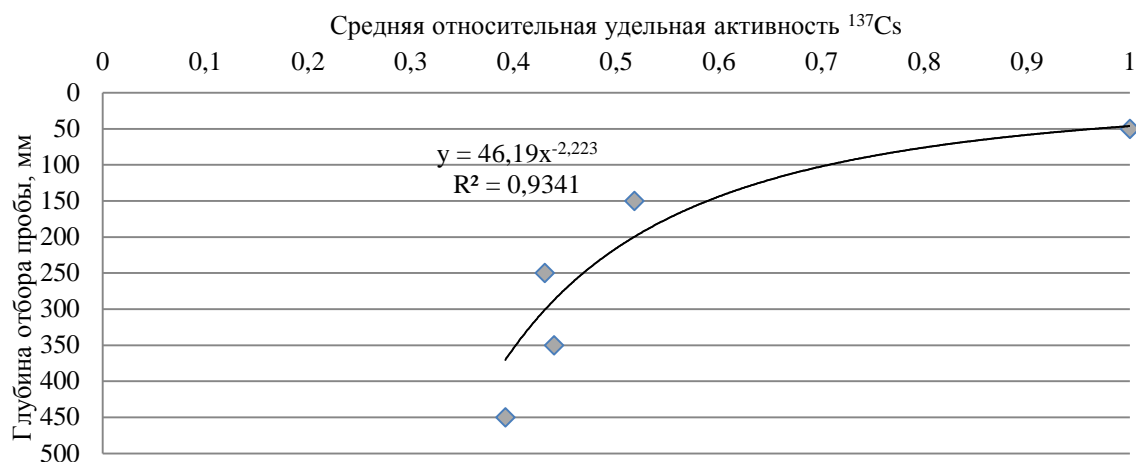


Рисунок 6. – Относительное осредненное распределение удельной активности ^{137}Cs по глубине

Подобное распределение радионуклида ^{40}K наблюдалось на золотвале Хабаровской ТЭЦ-3 [4]. Такое накопление радионуклида ^{137}Cs в поверхностном слое золы, по-видимому,

связано с эффектом капиллярного подъема водорастворимых солей цезия с водой и последующим испарением воды с поверхности. Такой эффект возможен для мелкодисперсной золы (например уловленной в электрофилт্রে) при поступлении дождевой воды под основание насыпей. Для полуметрового слоя зольных отходов в 20 % золы на поверхности было сконцентрировано около 36 % радионуклида ^{137}Cs . Перераспределение радионуклида на золоотвалах с течением времени может приводить к превышению МЗУА ^{137}Cs в поверхностных слоях зольных отходов при нормативно допустимых начальных удельных активностях ^{137}Cs в золе.

Выводы. Проведенные исследования на золоотвале показали, что основная территория золоотвала заполнена зольными отходами с удельной активностью ^{137}Cs (в объединенной пробе по всему золоотвалу) на уровне около 1000 Бк/кг. Содержание радионуклидов в пробах дренажной воды системы пылеподавления и в пробе дождевых осадков незначительное и близко к допустимому уровню для питьевой воды. Практически на всей территории золоотвала значения МЭД гамма-излучения незначительно превышают фоновые значения МЭД (~ 0,05 мкЗв/ч), в тоже время на отдельных участках фиксировались уровни МЭД более 1 мкЗв/ч. Часть золы на пяти локальных участках (по структуре – зола, уловленная в электрофилтрах) имеет удельную активность выше уровня МЗУА. На данных участках зафиксировано также более высокая плотность потока бета-частиц. Измерения содержания ^{137}Cs по глубине слоя золы на локальных участках показали существенное обогащение радионуклидом ^{137}Cs поверхностных слоев, что, видимо, связано с эффектом капиллярного подъема водорастворимых солей цезия с водой и последующим испарением воды с поверхности. Такое перераспределение ^{137}Cs может приводить к превышению МЗУА для ^{137}Cs в поверхностных слоях зольных отходов при нормативно допустимых начальных удельных активностях ^{137}Cs в золе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щепы топливная. Технические условия: ТУ ВУ 100145188.003-2009. – Введ. 07.04.09. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2009. – 6 с.
2. Допустимые уровни содержания Цезия-137 в продукции на основе торфа: утв. Мин-вом энергетики Респ. Беларусь от 30.12.2006. – Минск, 2006.
3. Критерии оценки радиационного воздействия: гигиенический норматив: утв. постановлением Мин-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 28.12.2012 № 213 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2013. – 8/26850.
4. Черенцова, А.А. Эколого-технологическая оценка состава и свойств золошлаковых отходов (на примере Хабаровской ТЭЦ-3) / А.А. Черенцова // Вестник Тамбовского университета. Сер. Естественные и технические науки. – 2014. – Т. 19, Вып. 5. – С. 1733-1736.

INVESTIGATION OF RADIATION CHARACTERISTICS OF ASH DUMP

Vitaliy Solovyev, Candidate of Technical Sciences

Ihar Pleshchankou

Natallia Kuzmina

Alaida Liauchuk

Halina Fokina

State Scientific Institution «The Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny», Minsk, Belarus

Purpose. The paper is devoted to study radiation characteristics of ash dump of wood and peat fuel-burning power plant on contaminated territories of Belarus.

Methods. Measurements of the equivalent gamma radiation dose and the beta-particles flux density in the territory of the industrial landfill of the ash waste of wood and peat fuel-burning power plant were performed. The specific activity of ^{137}Cs was measured in the samples of ash and water collected at the ash dump.

Application field of research. The results must be taken into account in the assessment of radiation safety of ash dump of wood and peat fuel-burning power plant on contaminated territories of Belarus.

Conclusion. Abnormally high values of the specific activity of ^{137}Cs were obtained in the ash dump areas with fly ash in the surface layers of ash waste which can create additional exposure of workers serving the ash dump.

Keywords: wood fuel, peat, ash, ash dump, radionuclide ^{137}Cs .

(The date of submitting: May 26, 2017)

REFERENCE

1. *Shchepa toplivnaya. Tekhnicheskie usloviya* [Fuel chips. Technical conditions]: TU BY 100145188.003-2009. Vved. 07.04.09. Minsk: Belarusian State Institute of Standardization and Certification, 2009. 6 p. (rus)
2. *Dopustimye urovni sodержaniya tseziya-137 v produktsii na osnove torfa* [Acceptable levels of cesium-137 in peat products]: utv. Ministerstvom energetiki Resp. Belarus' ot 30.12.2006. Minsk, 2006. (rus)
3. *Kriterii otsenki radiatsionnogo vozdeystviya: gigenicheskiy normativ* [Radiation impact assessment criteria]: utv. postanovleniem Min-va zdravookhraneniya Resp. Belarus' ot 28.12.2012 No. 213. Nats. reestr pravovykh aktov Resp. Belarus'. 2013. 8.6850. (rus)
4. Cherentsova A. A. *Ekologo-tehnologicheskaya otsenka sostava i svoystv zoloshlakovykh otkhodov (na primere Khabarovskoy TETs-3)* [Ecological and technological assessment of the composition and properties of ash and slag wastes (for the example of Khabarovsk TPP-3)]. *Vestnik Tambovskogo universiteta*. Ser. Estestvennyye i tekhnicheskie nauki. 2014. Vol. 19, Iss. 5. Pp. 1733-1736. (rus)

УДК 614.841.1:614.841.3/4

ПОЛИМЕРНОЕ ОГNETУШАЩЕЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Богданова В.В., Тихонов М.М., Мамедов А.М.

Рассмотрены результаты исследований влияния системы замедлителей горения на физико-химические, огнетушащие свойства композиционного материала на основе напыляемого пенополиуретана марки «Изолан-125», перспективного как огнетушащее средство для тушения пожаров в электроустановках, находящихся под напряжением.

Ключевые слова: пенополиуретан, аммонийные фосфаты, антипирен, тушение пожаров, огнетушащая способность, диэлектрические свойства

(Поступила в редакцию 31 мая 2017 г.)

Введение. Быстрое развитие энергетики повышает актуальность проблем, связанных как с обеспечением пожарной безопасности электроустановок во всех режимах работы, включая аварийные, так и с тушением пожаров на электроустановках, находящихся под напряжением.

Снятие напряжения с электроустановок является сложным организационным процессом и требует определенного времени, что приводит к увеличению материального ущерба и осложнению обстановки на пожаре, а несвоевременное тушение электроустановок приводит не только к перебоям в электроснабжении, но и к большему материальному ущербу.

Пожарная опасность электроустановок обусловлена наличием в них большого количества горючих материалов (масла различных марок, изоляция электрических кабелей и т. п.). Поэтому необходимо применение таких огнетушащих веществ и средств, которые обеспечат безопасную и одновременно эффективную ликвидацию пожаров электроустановок, находящихся под напряжением.

Целью данной работы явилась разработка полимерного огнезащитного материала на основе жесткого напыляемого полиуретана, возможного к применению в качестве огнетушащего средства для тушения пожаров в электроустановках, находящихся под напряжением.

Методика эксперимента и обсуждение полученных результатов. В качестве полимерной матрицы для получения вспениваемого огнезащитного материала отобрана пенополиуретановая композиция марки «Изолан-125», в течение короткого времени образующая жесткую конденсированную теплоизоляционную пену. Исследуемые замедлители горения: синтетические недефицитные продукты – аммонийные фосфаты двух- и/или трехвалентных металлов, свойства которых возможно регулировать изменением металла и соотношения компонентов.

Методом полного факторного эксперимента установлено, что оптимальная рецептура для исследуемого ППУ материала имеет следующее массовое соотношение компонентов в пересчете на оксиды: $\text{NH}_3 : \text{P}_2\text{O}_5 : \text{SO}_3 : \text{CaO} : \text{MgO} : \text{Cl} = 0,44 : 2,72 : 1,67 : 1 : 2,86 : 1,06$. Экспериментально подтверждено, что при содержании антипирена в полимерной композиции 15 мас.% массовое соотношение компонентов: полиол (А) : изоцианат (Б) : антипирен = 1 : 1 : 0,35 соответствует оптимальному балансу между физико-химическими, эксплуатационными и огнестойкими свойствами ППУ марки «Изолан-125».

В связи с отсутствием в литературных источниках [1-13] данных о процессах, оказывающих определяющее влияние на прекращение горения ППУ полимеров, для нахождения факторов, обуславливающих достижение нормативных параметров при создании огнезащитного ППУ (потеря массы (Δm) не выше 60 %, максимальное приращение температуры отходящих газов (Δt_{max}) не выше 60 °С), проведен цикл исследований, позволяющих определить зависимость огнестойких свойств материала от количественного содержания основных компонентов замедлителя горения. Найдено, что композиционный материал является трудногорючим, если содержание азота либо азота и хлора в композиции составляет не менее 0,7-1,6 г и фосфора не менее 1,25 г на 100 г композиции [14].

Экспериментами [14] по определению устойчивости антипирена в компоненте А в зависимости от времени установлено, что после двухгодичного хранения изменений в реакционной способности и физико-химических свойствах ППУ композиции с использованием хранившегося в присутствии замедлителя горения компонента А не обнаружено.

Принимая во внимание тот факт, что при возникновении пожаров в электроустановках, находящихся под напряжением, могут гореть как твердые горючие материалы, так и горючие жидкости, необходимо было проверить огнетушащую эффективность разработанного огнетушащего средства как для пожаров класса «А», так и класса «В».

Исследование огнетушащей эффективности огнезащитного ППУ при тушении лабораторного очага пожара класса А и В проводили по методике, разработанной на основе СТБ 11.13.04–2009 [15] с соблюдением условий геометрического подобия: размер брусков уменьшали в 2 раза по сравнению со стандартными при сохранении их количества в штабеле (лабораторный очаг класса А), размер противня был уменьшен по сравнению со стандартными при сохранении отношения воды и горючего в нем (лабораторный очаг класса В).

Испытания для лабораторного очага класса А проводили в следующей последовательности: разжигали из высушенных сосновых брусков размерами $0,02 \times 0,02 \times 0,1$ метра (количество брусков в слое – 3 шт., количество слоев – 6) деревянный штабель, тушение которого проводили через 4,5 минуты от начала проведения эксперимента. В ходе эксперимента фиксировали: количество израсходованного ППУ на прекращение пламенного горения, на тушение без повторного воспламенения; время до начала повторного воспламенения. Очаг считали потушенным, если в соответствии с [15] повторное воспламенение не происходило в течение 10 мин. Испытание проводили не менее 7 раз. Для тушения лабораторного очага использовалась описанная ранее переносная установка для подачи огнетушащего ППУ [16].

Сопоставительные усредненные количества израсходованных огнетушащих средств (ОС) на тушение лабораторных очагов и их удельный расход представлены в таблице 1-3.

Таблица 1. – Расход огнетушащих средств на тушение лабораторного очага из древесины

| Огнетушащее средство | Концентрация, % | Объем ОС, израсходованного на тушение, $V \times 10^{-3}$, дм ³ | Наличие повторного воспламенения | Удельный расход ОС, дм ³ /м ² |
|----------------------|-----------------|---|----------------------------------|---|
| Вода [17] | - | 60,0 | нет | 0,50 |
| Вода+1% ПО–6НСВ [17] | - | 45,0 | нет | 0,38 |
| Тофасил [17] | 15 | 26,7 | нет | 0,22 |
| АН60–КМ [17] | 15 | 22,5 | нет | 0,19 |
| Трудногорючий ППУ | - | 19,6 | нет | 0,16 |

Огнетушащую эффективность разработанного вещества можно оценить путем сравнения расходов огнетушащих веществ на тушение лабораторного очага с расходом подаваемого ППУ материала. Для определения параметров расхода огнезащитного ППУ на тушение лабораторного очага использовался показатель удельного расхода огнетушащего средства, рассчитываемый по формуле:

$$Q = \frac{q_T}{F_T} = \frac{V_T}{F_T \cdot t_T}, \quad (1)$$

где q_T – расход ППУ на тушение;

F_T – площадь поверхности горения;

t_T – время тушения.

Как следует из полученных данных (таблица 1), огнетушащая эффективность трудногорючего ППУ существенно выше по сравнению с водой, водой с ПАВ и сопоставима по удельному расходу со специализированными жидкостными синтетическими средствами (АН60–КМ, Тофасил), что объясняется: способностью разработанного материала образовывать вспененную теплоизолирующую структуру, изолирующую зону горения от доступа воздуха, а также комплексным действием синтезированного замедлителя горения: ингибирование радикальных процессов в газовой фазе и образование конденсированных теплоизолирующих структур, препятствующих дальнейшему разогреву материала и образованию и выходу летучих горючих продуктов в пламенную зону [18].

Исследование огнетушащей эффективности огнезащитного ППУ при тушении лабораторного очага пожара класса В проводили по методике, разработанной на основе СТБ 11.13.04–2009 [15], с соблюдением условий геометрического подобия: размер противня был уменьшен по сравнению со стандартными при сохранении отношения воды и горю-

чего в нем. Модельный очаг пожара класса В представлял собой круглый противень, изготовленный из листовой стали. Размеры противня и характеристики используемого модельного очага (по сравнению с нормируемым в СТБ 11.13.04-2009 модельным очагом приведены в таблице 2).

Таблица 2. – Характеристика модельных очагов пожара класса В

| Модельный очаг | Объем воды, дм ³ | Объем горючего, дм ³ | Номинальный диаметр противня, мм | Высота противня, мм, ±5 | Толщина стенки противня, не менее, мм | Ориентировочная площадь очага, м ² |
|--------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|---|
| 1В (согласно [15]) | 0,3 | 0,7 | 200±15 | 100 | 1,5 | 0,03 |
| Используемый | 0,2 | 0,4 | 120 | 60 | 1,5 | 0,02 |

Противень устанавливался таким образом, чтобы обеспечить легкий доступ к нему со всех сторон. В противень заливалась вода в объеме, указанном в таблице 2, на слой воды наливалось горючее. В качестве горючего использовался применяемый в хозяйственной деятельности бензин марки «Н-80» летний. Далее с помощью факела производился поджог горючего в противне, тушение которого производилось не менее чем через 60 с. Очаг считался потушенным, если в течение 1 мин. не произошло его повторное самовоспламенение.

В ходе эксперимента было установлено, что разработанный огнетушащий пенополиуретановый материал на основе ППУ марки «Изолан-125» может применяться для тушения пожаров класса В, так как поставленная перед началом эксперимента задача по прекращению горения ЛВЖ полностью достигнута, а также через 1 минуту после ППУ применения не наблюдалось повторного самовоспламенения очага.

Результат подачи разработанного антипирированного материала в лабораторный очаг наглядно представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. – Тушение антипирированным пенополиуретаном лабораторного очага пожара класса В

1 – внешний вид лабораторного очага перед началом тушения;

2 – внешний вид лабораторного очага после тушения

Объем огнетушащего ППУ, израсходованного на тушение модельного очага составил 0,023 дм³, а время тушения – 20 секунд.

Полученные данные по удельному расходу огнетушащего пенополиуретана сравнивались с удельными расходами других огнетушащих средств, применяемых при тушении пожаров класса В, а именно при тушении бензина, который использовался в эксперименте в качестве ЛВЖ. Сопоставительные удельные расходы огнетушащих веществ на тушение ЛВЖ представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Расходы огнетушащих средств на тушение очага пожара класса В

| Огнетушащее средство | Удельный расход ОС, дм ³ /(м ² · с) |
|--|---|
| Тонкораспыленная вода [19] | 0,30 |
| Раствор пенообразователя с применением: - фторсодержащих пленкообразующих ПО целевого назначения [18,19]; | 0,10 |

| Огнетушащее средство | Удельный расход ОС, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ |
|---------------------------------------|---|
| - ПО-1 [19]; | 0,08 |
| - ПО-1Д [19]; | 0,12 |
| - САМПО, ПО-6НП [20]; | 0,15 |
| - ПО-ЗАИ, ТЭАС, ПО-ЗНПО, ПО-6ТС [20]. | 0,15 |
| Огнезащищенный ППУ | 0,06 |

Из таблицы 3 видно, что удельный расход на тушение пожара класса В разработанным огнезащищенным пенополиуретановым материалом существенно меньше удельных расходов других огнетушащих веществ, что свидетельствует о более высокой огнетушащей эффективности вследствие способности разработанного материала изолировать зону горения от доступа воздуха, создавая вспененную структуру, а синтезированным замедлителем горения – снизить скорость процессов термической деструкции конденсированной пены.

Для определения возможности тушения пожаров в электроустановках, находящихся под напряжением, при помощи разработанного трудногорючего ППУ необходимо было оценить его диэлектрические свойства.

Диэлектрические свойства разработанного огнетушащего средства можно оценить путем сравнения значения электрического сопротивления воды, подаваемого ППУ материала со значением электрического сопротивления воздуха, как качественную характеристику, показывающую диэлектрическую способность веществ. Для проведения эксперимента использовалась переносная установка для подачи ППУ [16] и лабораторная установка, представленная на рисунке 2.

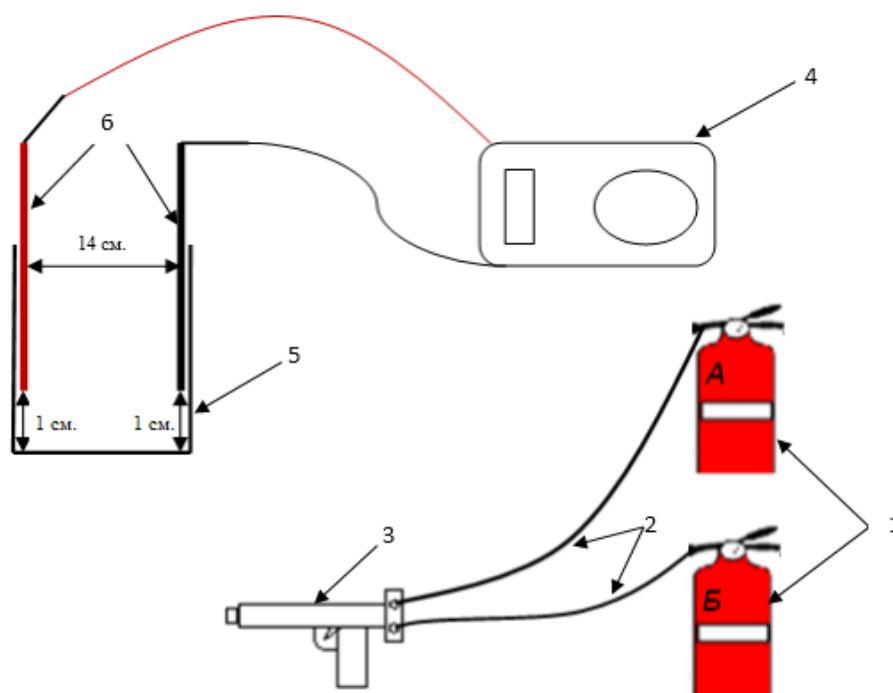


Рисунок 2. – Лабораторная установка для определения электрических свойств

1 – емкости с компонентами ППУ; 2 – соединительные рукава;
3 – пистолет-распылитель; 4 – мультиметр (УТВ139В); 5 – емкость; 6 – электроды

Испытания проводили в соответствии с разработанной методикой, где измеряли электрическое сопротивление воздуха, воды и ППУ при подаче его в емкость с электродами.

В ходе эксперимента огнезащищенный ППУ подавался в емкость с электродами, а при помощи мультиметра (УТВ139В) фиксировалось значение электрического сопротивления подаваемого вещества. Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

Таблица 4. – Результаты эксперимента

| наименование | воздух | вода | Изолан-125 |
|---|--------|---------|------------|
| экспериментальное значение сопротивления Ом*м | >1 МОм | 300 КОм | >1 МОм |

Заключение. Согласно литературным и патентным данным до настоящего времени не было известно о применении конденсированных пен как огнетушащих средств. В данной работе представлены новые экспериментальные данные по разработке рецептуры замедлителя горения, что позволило создать трудногорючий жесткий ППУ марки «Изолан-125» с удовлетворительными реакционными и физико-химическими свойствами. В результате серии испытаний показано наличие огнезащитного эффекта трудногорючего ППУ. Огнетушащая эффективность трудногорючего ППУ существенно выше по сравнению с водой, водой с ПАВ и сопоставима по удельному расходу со специализированными жидкостными синтетическими средствами (АН60–КМ, Тофасил) при тушении пожаров класса А, а удельный расход на тушение пожара класса В разработанным огнезащитным пенополиуретановым материалом сравнительно меньше удельных расходов других огнетушащих веществ, что свидетельствует о более высокой огнетушащей эффективности. Это объясняется способностью разработанного материала образовывать вспененную теплоизолирующую структуру, изолирующую зону горения от доступа воздуха, а также комплексным действием синтезированного замедлителя горения: ингибирование радикальных процессов в газовой фазе и образование конденсированных теплоизолирующих структур, препятствующих дальнейшему разогреву материала и образованию и выходу летучих горючих продуктов в пламенную зону.

Вместе с тем преимуществом конденсированной пены по сравнению с жидкостными составами является ее высокие диэлектрические характеристики, что открывает возможность применения разработанного трудногорючего материала для тушения пожаров в электроустановках, находящихся под напряжением.

ЛИТЕРАТУРА

- Weil, R.D. Commercial flame retardancy of polyurethanes / R.D. Weil, S.V. Levchik // J. Fire Sci. – 2004. – № 22. – P. 183-210.
- Лучкина, Л.В. Влияние концентрации антипирена и химической структуры жестких пенополиуретанов на их пожароопасность / Л.В. Лучкина, Д.А. Рудь, Т.А. Рудакова, А.В. Сухов // Полимерные материалы пониженной горючести: тр. VI междунар. конф., Вологда, 14-18 мая 2011. – Вологда, 2011. – С. 43-45.
- Цыганова, Е.А. Оксипентилфосфоновая кислота, ее аминные соли и ангидрид борной и фосфоновой кислот, как антипирены для жестких пенополиуретанов: автореф. дис. ... канд. хим. наук: 02.00.06 / Е.А. Цыганова, КГТУ. – Казань, 2001. – 16 с.
- Feske, E.F. Flame retardant pentane blown polyisocyanurate foams for roofing / E.F. Feske, W.R. Brown // Polyurethane. – 2002. – P. 32-40.
- Сучков, В.П. Технология производства трудногорючего пенополиуретана с использованием фосфогипса / В.П. Сучков, А.А. Мольков // Изв. вузов. Стр.-во. – 2009. – № 6. – С. 25-29.
- Дементьев, А.Г. Влияние старения на горючесть эластичного ППУ с трихлорэтилфосфатом / А.Г. Дементьев, Т.Ю. Дроздова, А.И. Болдузев // Пласт. массы. – 1987. – № 2. – С. 50-51.
- Flameretardants for flexible polyurethane foam // Rubber World. – 2006. – Vol. 234, № 7. – P. 11.
- Мауэрер, О. Фосфорорганические антипирены LANXESS / О. Мауэрер // Пластикс. – 2009. – № 4. – С. 18-19.
- Кузнецова, В.П. Кремнийорганические полиуретаны / В.П. Кузнецова, Н.Н. Ласковенко, Л.В. Запунная; под ред. В.П. Кузнецовой. – Киев: Наукова думка. 1981. – 220 с.
- Мольков, А.А. Негорючий гипсонаполненный пенополиуретан / А.А. Мольков // 11 Нижегородская сессия молодых ученых. Технические науки: Материалы докладов, Дзержинск, 12-16 февр. 2006 г. / Нижегород. гос. ун-т ; редкол. О.В. Гладкова [и др.]. – Дзержинск, 2006. – С. 71-72.
- Способ получения пенополиуретанов // Поиск патентов и изобретений, зарегистрированных в РФ и СССР [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/212/2129127.html>. – Дата доступа: 21.04.2009.
- Трудногорючий композиционный материал на основе термопластов // Патенты России [Электронный ресурс]. – 2009. – Режим доступа: <http://ru-patent.info/21/45-49/2147593.html>. – Дата доступа: 21.04.2009.
- Thirumal, M. Halogen-free flame-retardant rigid polyurethane foams: effect of alumina trihydrate and triphenylphosphate on the properties of polyurethane foams / M. Thirumal [and ect.] // J. Appl. Polym. Sci. – 2010. – Vol. 116, № 4. – P. 2260-2268.
- Тихонов, М.М. Обеспечение безопасности эксплуатации кабельных шахт гражданских зданий /

- М.М. Тихонов [и др.] // Чрезвычайн. ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2014. – № 2 (36). – С. 46-57.
15. Система стандартов пожарной безопасности. Пожарная техника. Огнетушители переносные. Общие технические условия: СТБ 11.13.04–2009. – Введ. 01.09.2009. – Минск: Госстандарт, 2009. – 46 с.
 16. Ранцевая установка для подачи трудногорючего пенополиуретана: пат. 10112 Респ. Беларусь, А 62С 15/00 (2006.01), А 62С 31/12 (2006.01), В 05В 7/02 (2006.01), В 01F 5/18 (2006.01), В 01F 3/14 (2006.01) / М.М. Тихонов, В.В. Богданова, О.Н. Бурая; заявитель государственное учреждение образования «Командно-инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь – и 20130873; заявл. 30.10.2013; опубл. 30.06.2014 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2014. – № 3 (98). – С. 183.
 17. Богданова, В.В. Огнетушащая эффективность жидкостных химических составов при тушении пожаров класса А распылительными устройствами пожаротушения / В.В. Богданова [и др.] // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2008. – № 1. – С. 35-41.
 18. Тихонов, М.М. Применение напыляемого жесткого трудногорючего пенополиуретана для ограничения распространения пожара по кабельным шахтам гражданских зданий : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.26.03 / Тихонов Максим Михайлович ; Команд.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь. – Минск, 2014. – 22 с.
 19. Иванников, В.П. Справочник руководителя тушения пожара / В.П. Иванников, П.П. Клюс. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.
 20. Повзик, Я.С. Пожарная тактика: учебное пособие / Я.С. Повзик – М., 1999. – 402 с.

POLYMERIC FIRE EXTINGUISHING MEANS FOR FIRE EXTINGUISHING IN ELECTRIC INSTALLATIONS UNDER VOLTAGE

Valentina Bogdanova, Doctor of Chemical Sciences, Professor

Maxim Tikhonov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Anar Mamedov

The state educational establishment «University of Civil protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Purpose. The results of researches of influence of system retardants on physical, chemical, fire-blocking and fire-extinguishing properties of the composite material is based on expandable polyurethane foam brand «Izolan-125», which is a promising material as agent limits the spread of fire on cable mines civil buildings, as well as the fire-extinguishing agent for extinguishing fires of different classes.

Methods. In research were used: method of complete factorial experiment, the method of differential scanning calorimetry, complex thermal, spectrophotometric and variance analyses, electron microscopy.

Findings. This paper presents new experimental data on the development and adjustment method of full factorial experiment of the formulation of retarder of burning, thereby creating a flame retardant rigid polyurethane foam brand «Izolan-125» with a satisfactory reactivity and physical and chemical properties. Series of tests showed the presence of flame retardant effect. The flame retardant polyurethane foam can be used for extinguishing fires in electrical installations under voltage.

Application field of research. The obtained experimental data on the mechanism of action of the investigated retardants allow a directed approach to the development of flame retardants for polyurethane foams of different brands.

Conclusions. Designed in flameproof polyurethane foam, material has relatively lower costs than other extinguishing agents, indicating a higher fire-extinguishing efficiency. //Along with the advantage of condensed foam in comparison with liquid formulations, it shows high dielectric characteristics, which opens the possibility of applying the flame retardant material designed to extinguish fires in electrical installations under voltage.

Keywords: polyurethane, ammonium phosphates, flame retardant, extinguishing of fires, fire extinguishing ability, dielectric properties.

(The date of submitting: May 31, 2017)

REFERENCES

1. Weil R.D., Levchik S.V. Commercial flame retardancy of polyurethanes. *J. Fire Sci.* 2004. No. 22. Pp. 183-210.
2. Luchkina L.V., Rud' D.A., Rudakova T.A., Suhov A.V. Vliyanie koncentracii antipirena i himicheskoj struktury zhestkih penopoliuretanov na ih pozharoopasnost'. *Polimernye materialy ponizhennoj gorjuchesti: tr. VI mezhdunar. konf., Vologda, 14-18 maja 2011.* Vologda, 2011. Pp. 43-45. (rus)
3. Cyganova E.A. *Oksijetilendifosfonovaja kislota, ee aminnye soli i angidrid bornoj i fosfonovoj kislot, kak antipireny dlja zhestkih penopoliuretanov:* avtoref. dis.kand. him. nauk: 02.00.06. KGTU. Kazan', 2001. 16 p. (rus)
4. Feske E.F., Brown W.R. Flame retardant pentane blown polyisocyanurate foams for roofing. *Polyurethane.* 2002. Pp. 32-40.
5. Suchkov V.P., Mol'kov A.A. Tehnologija proizvodstva trudnogorjuchego penopoliuretana s ispol'zovaniem fosfogipsa. *Izv. vuzov. Str-vo.* 2009. No. 6. Pp. 25-29. (rus)
6. Dement'ev A.G., Drozdova T.Ju., Bolduzev A.I. Vliyanie starenija na gorjuchest' jelastichnogo PPU s trihlorjetilfosfatom. *Plast. massy.* 1987. No. 2. Pp. 50-51. (rus)
7. Flameretardants for flexible polyurethane foam. *Rubber World.* 2006. Vol. 234, No. 7. Pp. 11.
8. Maujerer, O. Fosfororganicheskie antipireny LANXESS. *Plastiks.* 2009. No. 4. Pp. 18-19. (rus)
9. Kuznecova V.P., Laskovenko N.N., Zapunnaja L.V. Kremnijorganicheskie poliuretany. Kiev: *Naukova dumka.* 1981. 220 p. (rus)
10. Mol'kov A.A. Negorjuchij gipsonapolnennyj penopoliuretan. *11 Nizhegorodskaja sessija molodyh uchenyh. Tehnicheskie nauki: Materialy dokladov, Dzerzhinsk, 12-16 fevr. 2006 g.* Nizhegor. gos. un-t; redkol. O.V. Gladkova [i dr.]. Dzerzhinsk, 2006. Pp. 71-72. (rus)
11. *Sposob poluchenija penopoliuretanov.* Poisk patentov i izobretenij, zaregistririrovannyh v RF i SSSR [Elektronnyj resurs]. 2009. Available at: <http://www.findpatent.ru/patent/212/2129127.html>. (accessed: April 21, 2009). (rus)

12. Trudnogorjuchij kompozicionnyj material na osnove termoplastov. Patenty Rossii, 2009. Available at: <http://ru-patent.info/21/45-49/2147593.html> (accessed: April 21, 2009). (rus)
13. Thirumal M., and ect. Halogen-free flame-retardant rigid polyurethane foams: effect of allumina trihydrate and triphenylphosphate on the properties of polyurethane foams. *J. Appl. Polym. Sci.* 2010. Vol. 116, No. 4. P. 2260-2268.
14. Tikhonov M.M. and oth. Obespechenie bezopasnosti ekspluatatsii kabel'nykh shakht grazhdanskikh zdaniy. *Chrezvychayn. situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya.* 2014. No. 2 (36). Pp. 46-57. (rus)
15. *Belarus Standard 11.13.04–2009* The system of standards of fire safety. Fire fighting equipment. Fire extinguishers, portable. General specifications. Affirmed 01.09.2009. Minsk : Gostandart, 2009. 46 p. (rus)
16. *Rancevaja ustanovka dlja podachi trudnogorjuchego penopoliuretana*: pat. 10112 Resp. Belarus', A 62C 15/00 (2006.01), A 62C 31/12 (2006.01), B 05B 7/02 (2006.01), B 01F 5/18 (2006.01), B 01F 3/14 (2006.01) / M.M. Tihonov, V.V. Bogdanova, O.N. Buraja; zajavitel' gosudarstvennoe uchrezhdenie obrazovaniya «Komandno-inzhenernyj institut» Ministerstva po chrezvychajnym situacijam Respubliki Belarus' u 20130873; zajavl. 30.10.2013; opubl. 30.06.2014. Aficyjnyj bjul. Nac. cjentr intjelektual. ulasnasci. 2014. No. 3 (98). Pp. 183. (rus)
17. Bogdanova V.V. and oth. Ognetushashchaya effektivnost' zhdkostnykh khimicheskikh sostavov pri tushenii pozharov klassa A raspylitel'nymi ustroystvami pozharotusheniya. *Vestn. Komand.-inzhener. in-ta MChS Resp. Belarus'.* 2008. No. 1. Pp. 35–41. (rus)
18. Tikhonov, M.M. *Primenenie napyljaemogo zhestkogo trudnogorjuchego penopoliuretana dlja ograniczenija rasprostraneniya pozhara po kabel'nym shahtam grazhdanskikh zdaniy.* Cand. tech. sci. diss. Synopsis: 05.26.03. Tihonov Maksim Mihajlovich ; Komand.-inzhener. in-t MChS Resp. Belarus'. Minsk, 2014. 22 p. (rus)
19. Ivannikov V.P., Klyus P.P. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara* [Directory of head of the fire fighting]. Moscow: Stroyizdat, 1987. 288 p. (rus)
20. Povzik Ya.S. *Pozharnaya taktika: uchebnoe posobie* [Firefighting tactics: a training manual]. Moscow, 1999. 402 p. (rus)

УДК 614.876;613.648;612.014.481/482; 614.8; 574::539.1.04

УЧЕТ ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ВДЫХАЕМОЙ ФРАКЦИИ И ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ АККУМУЛЯЦИИ АЭРОЗОЛЯ В РАЗЛИЧНЫХ ОТДЕЛАХ ДЫХАТЕЛЬНОГО ТРАКТА ПРИ РАСЧЕТЕ ДОЗ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ

Горбачева Н.В., Кулич Н.В., Кузьмина Н.Д.

С целью учета влияния распределения частиц газоаэрозольного выброса по размерам диаметров на ингаляционную дозу облучения выполнена модификация модели внутреннего облучения от ингаляции, рекомендованной МКРЗ, в части учета вероятности перехода аэрозольных частиц из вдыхаемого воздуха в различные отделы дыхательного тракта. На основе модифицированной дозиметрической модели выполнена модернизация компьютерной программы RADRISK («ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси), выполняющей расчет атмосферной диффузии радиоактивной примеси и оценку доз облучения населения. Методом имитационного моделирования дисперсного состава радиоактивного аэрозоля, поглощаемого при вдыхании, а также статистических характеристик частиц, осаждаемых в различных отделах легких, выполнены расчеты ингаляционной дозы облучения населения.

Ключевые слова: респираторный тракт человека, ингаляционная доза, распределение размеров частиц аэрозоля, вероятностное моделирование.

(Поступила в редакцию 7 июня 2017 г.)

Введение. Установлено, что основным фактором, определяющим дозовые нагрузки на организм человека при осаждении частиц радиоактивного аэрозоля в дыхательном тракте, является распределение активности по аэродинамическим диаметрам частиц.

В настоящее время для обоснования безопасности АЭС с ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор) требуется проведение исследований вкладов различных физико-химических форм изотопов йода, цезия в аварийный газоаэрозольный выброс при запроектных авариях с помощью специализированных кодов, например ASTEC (Франция), МАВР-ТА (НИЦ «Курчатовский институт»). Однако, прогноз распределения частиц по размерам в составе аэрозоля указанными расчетами не обеспечивается.

В данной работе с целью учета влияния распределения частиц газоаэрозольного выброса по размерам диаметров на ингаляционную дозу облучения выполнена модификация модели внутреннего облучения от ингаляции, рекомендованной МКРЗ [1], в части учета вероятности перехода аэрозольных частиц из вдыхаемого воздуха в различные отделы дыхательного тракта (p_{tr}).

На основе модифицированной дозиметрической модели выполнена модернизация компьютерной программы RADRISK («ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси), выполняющей расчет атмосферной диффузии радиоактивной примеси и оценку доз облучения населения [2]. Методом имитационного моделирования дисперсного состава радиоактивного аэрозоля, поглощаемого при вдыхании, а также статистических характеристик частиц, осаждаемых в различных отделах легких, выполнены расчеты ингаляционной дозы облучения населения.

Закономерности формирования ингаляционной дозы облучения с учетом распределения частиц по размерам и особенностей дыхательного тракта. Общие закономерности осаждения частиц аэрозоля в дыхательном тракте представлены в документе [3]. Динамика поступления радиоактивных веществ в организм человека при вдыхании существенно зависит от характеристик аэрозольных частиц, таких, как дисперсность, агрегатное состояние, химический состав. Дальнейшая судьба отложившейся доли радионуклида связана с размером радиоактивных частиц, а также с его физико-химическими свойствами и транспортабельностью в организме. Доля взвешенных в воздухе частиц, вдыхаемых человеком, зависит от свойств частиц, скорости и направления движения воздуха вблизи человека, интенсивности вдыхания, вдыхания через нос или рот. Вдыхаемые частицы могут оседать в какой-либо области дыхательных путей или могут быть выдохнуты. Область оседания и вероятность выдоха частиц зависят от свойств частиц, особенностей строения дыхательных путей, характера дыхания и других факторов.

Частицы жидкостей или растворимые компоненты твердых частиц могут абсорбироваться тканями в области оседания. Радиоактивные частицы могут вызывать поврежде-

ние ткани вблизи области оседания. Нерастворимые частицы кроме дыхательных путей могут попадать и в другие области организма человека, где они могут быть абсорбированы или вызывать биологическое воздействие.

Экспериментальное определение такого распределения практически невозможно, поэтому для оценки ожидаемой дозы на практике используют расчетно-экспериментальные методы, имитирующие респираторный тракт или расчетные физико-математические модели, позволяющие на основании предварительно полученных экспериментальных данных о дисперсности оценить дозу внутреннего облучения.

В основном осаждение происходит в результате трех процессов – инерционного осаждения, седиментации, т. е. осаждения под влиянием силы тяжести, и диффузии. Каждый из них осуществляется в определенном участке дыхательных путей, связанном с размером осаждающихся частиц.

Установлено, что, благодаря механизму инерционного осаждения, верхние дыхательные пути отфильтровывают практически все крупные частицы диаметром более 1 мкм. Частицы диаметром менее 1 мкм, которые избежали инерционного осаждения в верхних дыхательных путях, поступают в легкие. Главной причиной осаждения частиц здесь является действие силы тяжести. В легочных альвеолах, где скорость движения воздуха ничтожна, оседают в основном самые мелкие частицы – диаметром около 0,1 мкм и менее. Механизм осаждения включает здесь броуновское движение и диффузию. Для количественной характеристики процесса осаждения аэрозольных частиц в дыхательном тракте пользуются так называемым коэффициентом отложения, или задержки, который характеризует долю частиц, отложившихся в том или ином участке дыхательных путей, относительно полного их содержания во вдыхаемом воздухе. Вдыхаемая фракция – доля взвешенных в воздухе частиц, которые находятся около носа и рта человека.

Ингаляционную дозу облучения формируют радионуклиды, содержащиеся на частицах, попадающих в дыхательные пути за пределы гортани при вдыхании аэрозоля. Доля частиц аэрозоля, задержанная в дыхательной системе, и их локализация зависит от размера радиоактивных частиц во вдыхаемом воздухе, минутного объема и частоты дыхания.

Эквивалентная доза за счет ингаляции i -го нуклида при прохождении радиоактивного облака определяется по формуле:

$$H_{inh,\gamma}^{i,E} = A_{\gamma,i}^v \varepsilon_i^{inh} v^a (t_1 - t_0), \quad (1)$$

где $A_{\gamma,i}^v$ – объемная активность i -го радионуклида в воздухе, Бк/м³; ε_i^{inh} – дозовый ингаляционный коэффициент, Зв/Бк; v^a – скорость (частота) дыхания для лиц возрастной группы «а», м³/с; $(t_1 - t_0)$ – время накопления дозы после поступления радиоактивного вещества в организм, с.

Норматив по скорости дыхания v^a и значения дозовых ингаляционных коэффициентов для населения ε_i^{inh} установлены в Гигиеническом нормативе Республики Беларусь «Критерии оценки радиационного воздействия» [4].

В данной работе с целью учета влияния распределения частиц в различных отделах респираторного тракта человека в зависимости от их размеров авторами использованы положения стандарта «Качество воздуха. Определение гранулометрического состава частиц при санитарно-гигиеническом контроле» (ГОСТ Р ИСО 7708-2006) [3,5]. В этом документе установлены нормативы по отбору проб воздуха для вдыхаемой, торакальной и респираторной фракций, в соответствии с которым регламентируются массовые доли аэродисперсных частиц, поступаемые в организм, в зависимости от области дыхательных путей. Массовые доли однозначно связаны с общей площадью поверхности и числом частиц поглощенного при ингаляции вещества.

При исследовании вдыхаемой фракции и компонентов, попадающих в дыхательные пути за пределы гортани, установлены следующие характеристики. Вероятность по вдыхаемой фракции частиц с аэродинамическим диаметром D , задается интегральным нормальным логарифмическим распределением с медианой $\mu = 4,25$ мкм и геометрическим стандартным отклонением $\sigma = 1,5$. Для групп населения повышенного риска (детей и взрослых с определенными заболеваниями дыхательных путей) установлен второй норматив по респираторной и трахеобронхиальной фракциям. Значения E_R в процентах норматива по вдыхаемой фракции частиц, которые должны быть собраны при аэродинамическом диа-

метре D , мкм, задается интегральным нормальным логарифмическим распределением с медианой $\mu=2,5$ мкм и геометрическим стандартным отклонением $\sigma=1,5$.

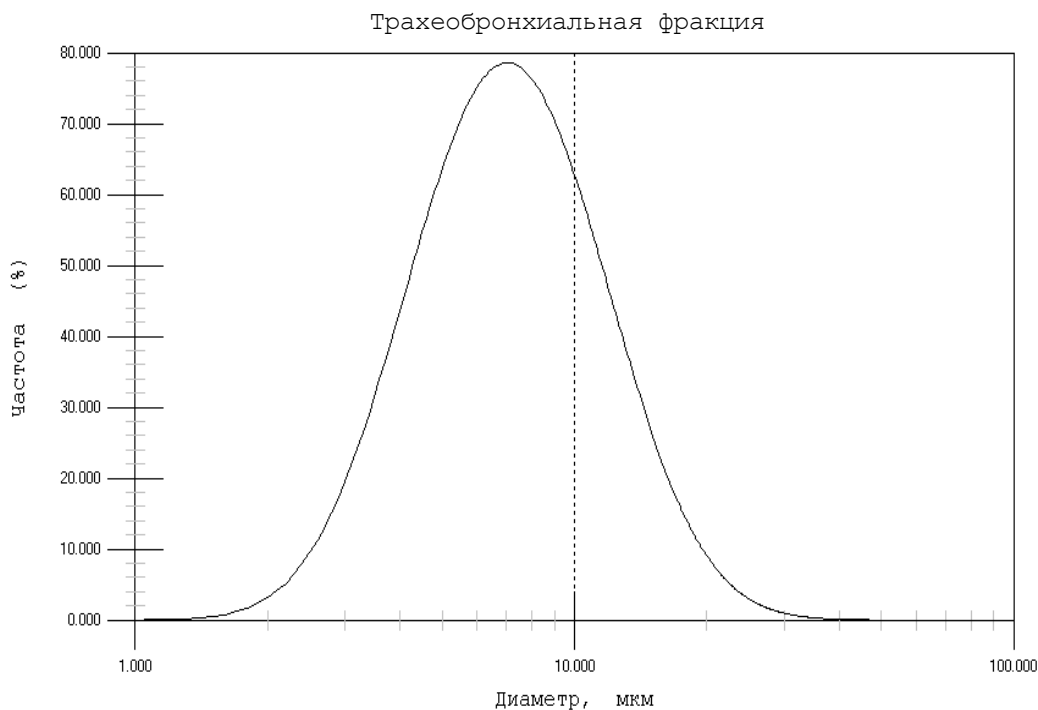


Рисунок 1. – Плотность распределения массовой доли по диаметрам частиц (в %) трахеобронхиальной фракции для взрослого населения ($\mu = 4,25$ мкм; $\sigma = 1,5$)

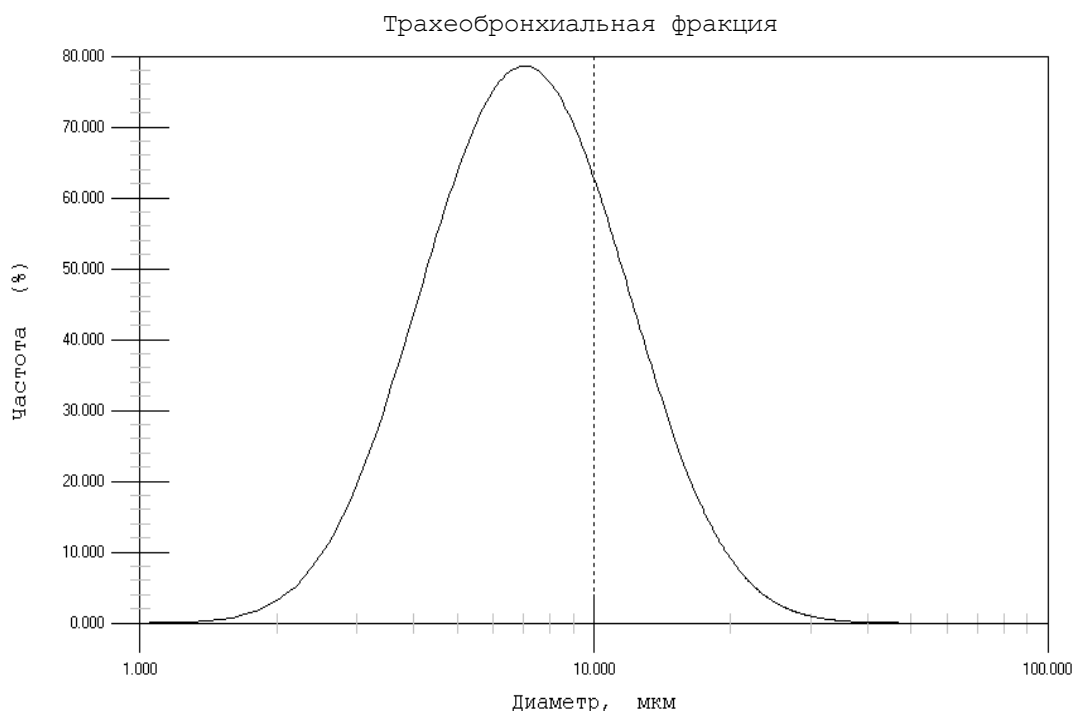


Рисунок 2. – Плотность распределения массовой доли частиц по диаметрам (в %) трахеобронхиальной фракции для группы повышенного риска ($\mu = 2,5$ мкм; $\sigma = 1,5$)

На рисунках 1, 2 изображены вероятности аккумуляции частиц аэрозоля в трахеобронхиальном отделе респираторного тракта в зависимости от размеров частиц, выраженные через массовую долю частиц для взрослого контингента и лиц из группы повышенного риска.

Математическое моделирование распределения радиоактивных частиц аэрозоля во вдыхаемом воздухе. В качестве тестового расчета выполнено моделирование воздействия газоаэрозольного выброса при аварии на АЭС с ВВЭР-1000. Выброс содержит радиоактивные благородные газы ^{85m}Kr , $^{133,135}\text{Xe}$, изотопы йода – $^{131-135}\text{I}$, изотопы цезия – $^{134,137}\text{Cs}$. Суммарная активность смеси изотопов йода равна $1,5 \cdot 10^3$ ТБк. Суммарная активность смеси аэрозолей цезия $2,9 \cdot 10^2$ ТБк.

Выполнено моделирование распределения частиц по размерам диаметров для аэрозолей йода и цезия для трех вариантов статистических характеристик. Распределение частиц по диаметрам во вдыхаемом воздухе описывается следующими статистическими характеристиками.

Вариант 1. Дисперсные характеристики газоаэрозольного выброса соответствуют «стандартному аэрозолю»: медиана $\mu = 1$ мкм, геометрическое стандартное отклонение $\sigma = 2$ (по условию, введенному в гигиеническом нормативе [4] для дозовых коэффициентов при пероральном поступлении).

Вариант 2. Дисперсный состав газоаэрозольного выброса описывается логарифмическим нормальным распределением с медианой $\mu = 11,64$ мкм и геометрическим стандартным отклонением $\sigma = 2$.

Вариант 3. Дисперсный состав газоаэрозольного выброса описывается нормальным логарифмическим распределением с медианой $\mu = 2,5$ мкм и геометрическим стандартным отклонением $\sigma = 2$.

Результаты моделирования с использованием логарифмически нормального распределения дисперсного состава аварийного выброса аэрозолей йода (изотопы $^{131-135}\text{I}$) и цезия ($^{134,137}\text{Cs}$) для трех указанных выше вариантов приведены в таблице 1. В силу неопределенности данным по дисперсным характеристикам газоаэрозольного выброса авторами рассмотрен диапазон от 0,03 до 100 мкм.

Таблица 1. – Относительная доля частиц различных диаметров на шкале размеров от 0,03 до 100 мкм

| Диапазон диаметров частиц, мкм | $\mu=1$ мкм, $\sigma=2$ | $\mu=11,6$ мкм, $\sigma=2$ | $\mu=2,5$ мкм, $\sigma=2$ |
|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 0,03–0,1 | 0,0008 | — | — |
| 0,1–0,3 | 0,0394 | — | 0,0012 |
| 0,3–1 | 0,4514 | 0,0004 | 0,0892 |
| 1–3 | 0,4476 | 0,0238 | 0,512 |
| 3–10 | 0,0608 | 0,3816 | 0,3738 |
| 10–30 | — | 0,508 | 0,0238 |
| 30–100 | — | 0,0862 | — |

В таблице 2 приведены распределения активностей аэрозолей йода и цезия, аккумулярованные на частицах с различными диаметрами.

Таблица 2. – Распределение активности аэрозолей йода и цезия на частицах различных диаметров, Бк

| D _{част.} , мкм | $\mu=1$ мкм, $\sigma=2$ | | $\mu=11,6$ мкм, $\sigma=2$ | | $\mu=2,5$ мкм, $\sigma=2$ | |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------|
| | $^{(131-135)}\text{I}$ | $^{134,137}\text{Cs}$ | $^{(131-135)}\text{I}$ | $^{134,137}\text{Cs}$ | $^{(131-135)}\text{I}$ | $^{134,137}\text{Cs}$ |
| 0,03–0,1 | 0.12E+13 | 0.23E+11 | — | — | — | — |
| 0,1–0,3 | 0.60E+14 | 0.11E+13 | — | — | 0.18E+13 | 0.34E+11 |
| 0,3–1 | 0.69E+15 | 0.13E+14 | 0.61E+12 | 0.11E+11 | 0.13E+15 | 0.26E+13 |
| 1–3 | 0.68E+15 | 0.13E+14 | 0.36E+14 | 0.68E+12 | 0.78E+15 | 0.15E+14 |
| 3–10 | 0.93E+14 | 0.17E+13 | 0.58E+15 | 0.11E+14 | 0.57E+15 | 0.11E+14 |
| 10–30 | — | — | 0.77E+15 | 0.14E+14 | 0.36E+14 | 0.68E+12 |
| 30–100 | — | — | 0.13E+15 | 0.24E+13 | — | — |

Расчет доз внутреннего облучения от ингаляционного пути поступления радионуклидов с учетом дисперсного состава аэрозольной фракции выброса кодом RADRISK. Расчет прогнозируемых доз облучения выполнен с использованием ПК RADRISK путем уточненной модели формирования ингаляционной дозы облучения. Для учета влияния распределения частиц по размерам (дисперсного состава) при ингаляции газоаэрозольного выброса выполнена модификация дозиметрической модели и модернизация ПК RADRISK в части учета вероятности перехода аэрозольных частиц из вдыхаемого воздуха в различные отделы дыхательного тракта (p_{tr}).

В таблице 3 приведены эмпирические данные по скоростям оседания частиц, ис-

пользуемых в модели атмосферной диффузии радиоактивной примеси, полученные по данным работы [6].

Таблица 3. – Скорости оседания частиц в зависимости от диаметра частиц

| Диаметр частиц, мкм | Скорость оседания, м/с |
|---------------------|---|
| 0–0,03 | $0,87 \cdot 10^{-16} - 0,35 \cdot 10^{-14}$ |
| 0,03–0,1 | $0,35 \cdot 10^{-14} - 8,7 \cdot 10^{-7}$ |
| 0,1–0,3 | $8,7 \cdot 10^{-7} - 4,2 \cdot 10^{-6}$ |
| 0,3–1 | $4,2 \cdot 10^{-6} - 35 \cdot 10^{-6}$ |
| 1–3 | $3,5 \cdot 10^{-5} - 2,8 \cdot 10^{-4}$ |
| 3–10 | $2,8 \cdot 10^{-4} - 3 \cdot 10^{-3}$ |
| 10–30 | $3 \cdot 10^{-3} - 2,7 \cdot 10^{-2}$ |
| 30–100 | $2,7 \cdot 10^{-2} - 3,0 \cdot 10^{-1}$ |

Модель формирования ингаляционной дозы облучения уточнена путем корректировки параметра – скорости вдыхания воздуха с учетом рассчитанной вероятности перехода p_{tr} аэрозольных частиц из вдыхаемого воздуха в различные отделы дыхательного тракта. Значение вероятности p_{tr} получено методом, известным в теории надежности, как метод «нагрузка» – «несущая способность», где в качестве «нагрузки» предложена вероятностная модель аэродисперсного состава источника (газоаэрозольного выброса), а в качестве «несущей способности» – восприимчивость отделов дыхательного тракта к аккумуляции аэрозоля различной дисперсности (по ГОСТ Р ИСО 7708-2006). Тестовые расчеты ингаляционной дозы облучения населения в аварийной ситуации в случае газоаэрозольного выброса выполнены с использованием модернизированного ПК RADRISK.

С использованием логарифмически-нормального закона выполнено математическое моделирование распределения частиц по размерам диаметров для аэрозоля, поступающего из воздуха, и для частиц, осаждаемых в различных отделах легких. Расчет доз облучения выполнен с учетом дозовых коэффициентов при пероральном поступлении радионуклидов, регламентированных Гигиеническим нормативом для различных категорий населения [1]. Тестовые расчеты ингаляционной дозы облучения населения в аварийной ситуации в случае газоаэрозольного выброса выполнены с использованием модернизированного ПК RADRISK.

Результаты моделирования ингаляционной дозы облучения приведены на рисунке 3–5. Значения ингаляционной дозы облучения D_{inh} в рассмотренных случаях приведены на оси следа. Во всех трех случаях дисперсные характеристики для фракций выброса изотопов йода и цезия соответствует «стандартному аэрозолю»: медиана распределения частиц по размерам диаметров $\mu = 1$ мкм, геометрическое стандартное отклонение $\sigma = 2$.

На рисунке 3 приведена зависимость ингаляционной дозы облучения для лиц категории «дети», для которой распределение частиц по размерам диаметров в трахеобронхиальном отделе легких имеет медиану $\mu = 2,5$ мкм и среднегеометрическое стандартное отклонение $\sigma = 2$. Для данного соотношения рассчитанная вероятность перехода частиц $p_{tr} = 0,65$. Максимальное значение ингаляционной дозы D_{inh} равно 3,0 мЗв (вклад в дозу изотопов йода равен 2,93 мЗв; цезия – 0,0431 мЗв).

На рисунке 4 приведена зависимость ингаляционной дозы облучения для лиц категории «взрослые», распределение числа частиц по размерам диаметров в трахеобронхиальном отделе легких имеет медиану $\mu = 4,25$ мкм и среднегеометрическое стандартное отклонение $\sigma = 2$. Для данного соотношения оцененная вероятность перехода частиц $p_{tr} = 0,53$. Максимальное значение ингаляционной дозы облучения равно $D_{inh} = 2,43$ мЗв (вклад в дозу изотопов йода равен 2,39 мЗв; цезия – 0,0352 мЗв).

На рисунке 5 приведена зависимость ингаляционной дозы облучения для лиц категории «взрослые», распределение числа частиц по размерам диаметров в торакальном отделе легких, имеет медиану $\mu = 11,4$ мкм и среднегеометрическое стандартное отклонение $\sigma = 2$. Для данного соотношения оцененная вероятность перехода частиц $p_{tr} = 0,4$. Максимальное значение ингаляционной дозы облучения (на следе) равно $D_{inh} = 1,83$ мЗв (вклад в дозу изотопов йода равен 1,81 мЗв; цезия – 0,0265 мЗв).

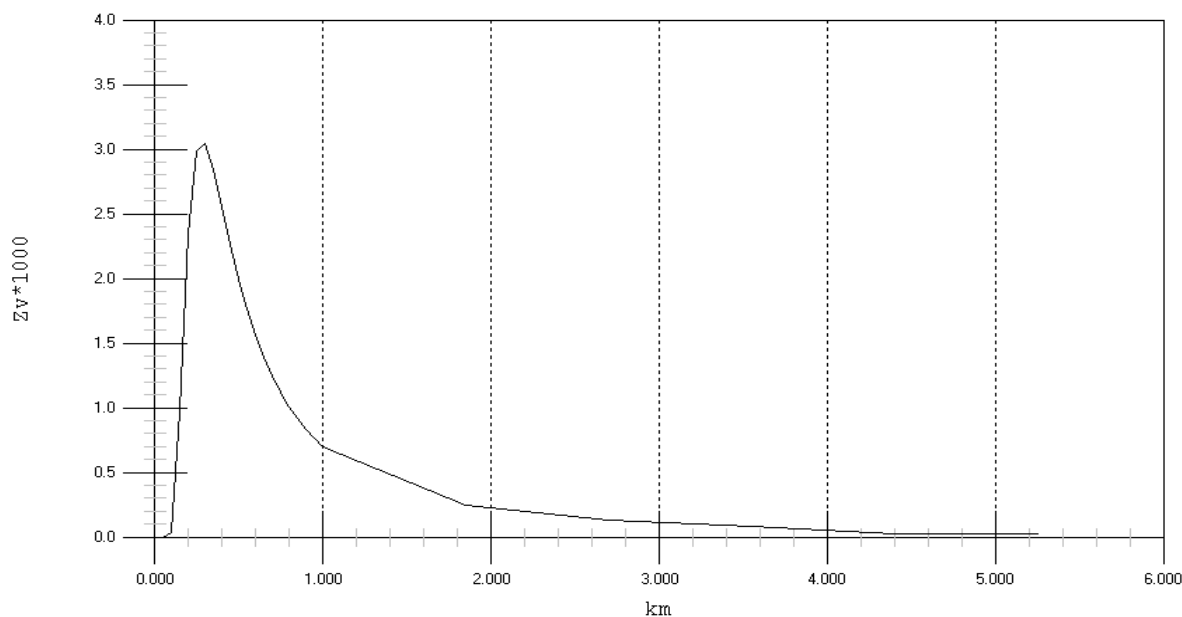


Рисунок 3. – Зависимость ингаляционной дозы облучения для лиц категории «ослабленные лица и дети» ($ptr = 0,65$; $\mu = 2,5$ мкм; $\sigma = 2$)

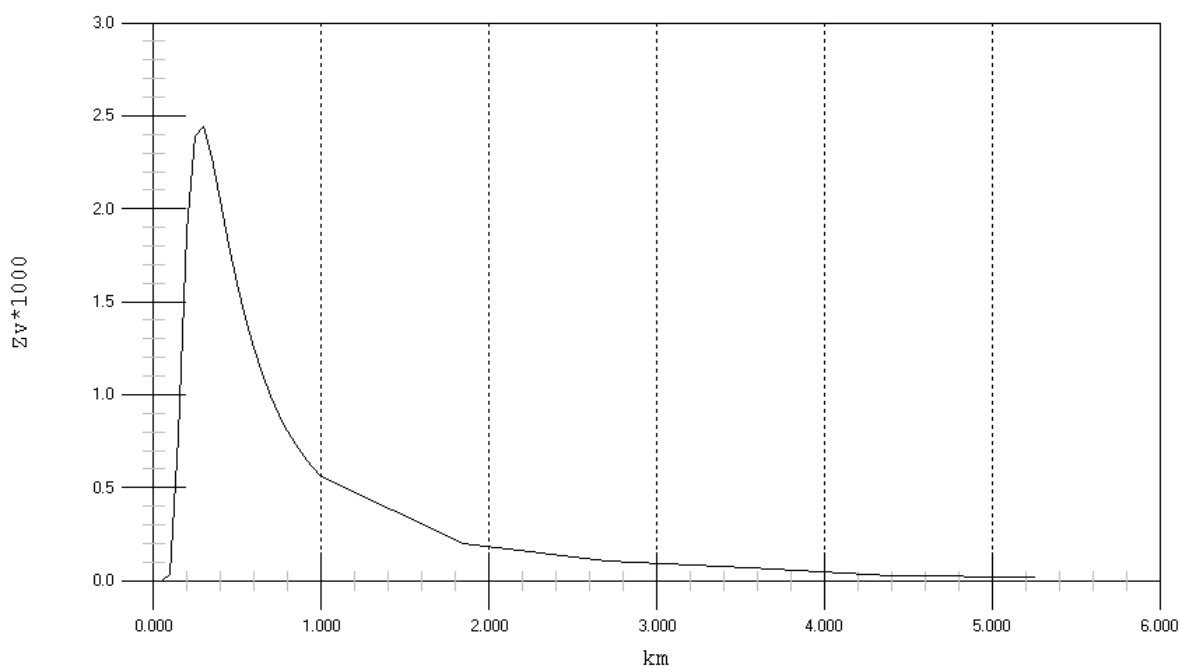


Рисунок 4. – Зависимость ингаляционной дозы облучения для категории «взрослые» облучение обусловлено осаждением частиц в трахеобронхиальном отделе легких ($ptr = 0,53$; $\mu = 4,5$ мкм; $\sigma = 2$)

Таким образом, методом математического моделирования с помощью доработанного ПК RADRISK установлена закономерность формирования ингаляционной дозы облучения при вдыхании аэрозоля радиоактивного выброса, обусловленная вероятностью перехода аэрозольных частиц из вдыхаемого воздуха в различные отделы дыхательного тракта. Данная вероятность определяется соотношением между статистическими характеристиками распределения радиоактивных частиц по размерам во вдыхаемом воздухе и осаждающихся в различных отделах дыхательного тракта.

Заключение. В данной работе представлен методический подход и математический аппарат, обеспечивающий учет восприимчивости различных отделов респираторного тракта человека к аккумуляции различных размеров частиц газоаэрозольного выброса. Значение вероятности перехода аэрозольных частиц из вдыхаемого воздуха в различные отделы дыхательного тракта p_{tr} получено методом, известным в теории надежности, как метод «нагрузка» – «несущая способность», где в качестве «нагрузки» предложена вероятностная

модель аэродисперсного состава источника (газоаэрозольного выброса), а в качестве «несущей способности» – восприимчивость отделов дыхательного тракта к аккумуляции аэрозоля различной дисперсности. Характеристики респираторного тракта описываются по ГОСТ Р ИСО 7708-2006 «Качество воздуха. Определение гранулометрического состава частиц при санитарно-гигиеническом контроле».

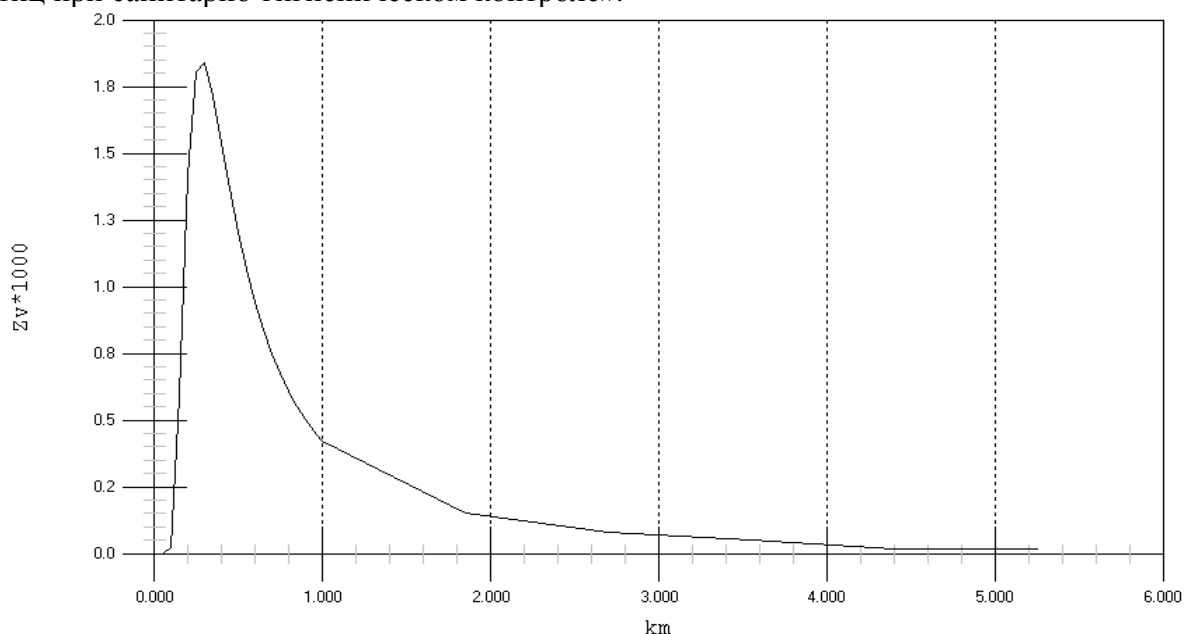


Рисунок 5. – Зависимость ингаляционной дозы облучения для категории «взрослые» – облучение обусловлено осаждением частиц в торакальном отделе легких ($\text{ptr} = 0,4$; $\mu = 11,4$ мкм; $\sigma = 2$)

Для учета вероятности перехода аэрозольных частиц из вдыхаемого воздуха в отделы дыхательного тракта при ингаляции газоаэрозольного выброса выполнена модификация стандартной модели формирования ингаляционной дозы облучения и модернизация на ее основе модуля, выполняющего расчет ингаляционной дозы ПК RADRISK.

Разработанный математический аппарат обеспечивает реалистичный прогноз ингаляционной дозы облучения на основе эмпирических либо экспертных оценок дисперсного состава аварийного выброса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Human Repository Tract Model for Radiological Protection / ICRP Publication 66. – Ann. ICRP. – N 1/3.–1994.
2. Harbachova, N. Simulation model of disperse structure of the aerosol release in the AES-2006 licensing application of the code RADRISK / N. Harbachova // Technical Meeting on Best Estimate plus Uncertainty (BEPU) Methods in Safety Analyses: Proc. Technical Meeting on BEPU Methods in Safety Analysis, Pisa, Italy, June 10–14, 2013 / San Piero a Grado Nuclear Research Group University of Pisa. – IAEA, 2013.
3. Качество воздуха. Определение гранулометрического состава частиц при санитарно-гигиеническом контроле: ГОСТ Р ИСО 7708-2006. – Введ. 01.11.2006. – Минск: Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем, 2006.
4. Критерии оценки радиационного воздействия: Гигиенический норматив: утв. пост. Минист. здравоохр. Респ. Беларусь, 28 дек. 2012 г. № 213 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2013. – 8/26850.
5. Карев, А.Е. Применение соглашения о вдыхаемой, торакальной и респираторной фракциях (ГОСТ Р ИСО 7708-2006) для стационарного и индивидуального контроля объемной активности радиоактивных аэрозолей на предприятиях атомной отрасли / А.Е. Карев, А.Г. Цовьянов // Аппаратура и новости радиационного контроля. – 2015, № 4. – С. 43-50.
6. Уоррен, Р. Радиоактивность после Чернобыля. / Р. Уоррен. – М.: Мир, 1999. – 256 с.

ACCOUNTING OF THE DISPERSED COMPOSITION OF THE INTRAFACED FRACTION AND THE REGULARITIES OF AEROSOL'S ACCUMULATION IN VARIOUS DEPOSITS OF THE RESPIRATORY TRACT WHEN CALCULATING DOSES OF INTERNAL IRRADIATION

Natallia Harbachova, Candidate of Technical Sciences

Mikalai Kulich

Natallia Kuzmina

State Scientific Institution «The Joint Institute for Power and Nuclear Research – Sosny» of NAS of Belarus, Minsk, Belarus

Purpose. The objective of the study was to establish by means of probabilistic simulation the radiation dose formation in connection with the probability of the transition of aerosol particles from the inhaled air to various sections of the respiratory tract.

Methods. The radiological inhalation model of the International Commission on Radiological Protection was modified taking into account the probability of the transition of aerosol particles from the inhaled air to different sections of the human respiratory tract. The computer code RADRISK was modified by the authors on the basis of the above mentioned inhalation model. Dependence of inhalation dose with the distribution of aerosol particles sizes was derived from probabilistic simulation with the use of code RADRISK.

Application field of research. Realistic forecast of radiological consequences to population in case of radiological accidents at nuclear power facilities.

Conclusion. The paper presents a methodical approach and a mathematical apparatus that takes into account the susceptibility of different parts of the human respiratory tract to different particle sizes accumulation of the radioactive aerosol release. To take into account the probability of the transition of aerosol particles from the inhaled air to human respiratory tract during inhalation of aerosol release, a standard model of an inhalation dose was modified and introduced into the code RADRISK.

Keywords: human respiratory tract, inhalation dose, distribution of aerosol particles sizes, probabilistic simulation.

(The date of submitting: June 7, 2017)

REFERENCE

1. Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection. *ICRP Publication 66. Ann. ICRP.* No. 1/3. 1994.
2. Harbachova N. Simulation model of disperse structure of the aerosol release in the AES-2006 licensing application of the code RADRISK. Technical Meeting on Best Estimate plus Uncertainty (BEPU) Methods in Safety Analyses: *Proc. Technical Meeting on BEPU Methods in Safety Analysis, Pisa, Italy*, June 10–14, 2013. San Piero a Grado Nuclear Research Group University of Pisa. IAEA, 2013.
3. Air quality. Particle size fraction definitions for health-related sampling.: *GOST R ISO 7708-2006.* Enter. 01.11.2006. Minsk: Nauchno-issledovatel'skij centr kontrolja i diagnostiki tehniceskikh sistem, 2006. (rus)
4. *Kriterii otsenki radiatsionnogo vozdeystviya: Gigienicheskiy normativ* [Radiation impact assessment criteria]: utv. postanovleniem Miniserstva zdravokhraneniya Resp. Belarus' ot 28.12.2012 No. 213. Nats. reestr pravovykh aktov Resp. Belarus'. 2013, 8/26850. (rus)
5. Karev A.E., Tsov'yanov A.G. Primenenie soglasheniya o vdykhaemoy, torakal'noy i respirabel'noy fraktsiyakh (GOST R ISO 7708-2006) dlya stacionarnogo i individual'nogo kontrolya ob'emnoy aktivnosti radioaktivnykh aerorozley na predpriyatiyakh atomnoy otrasli [Application of an agreement on inhaled, thoracic and respirable fractions (GOST R ISO 7708-2006) for stationary and individual monitoring of volumetric activity of radioactive aerosols at nuclear enterprises]. *Apparatura i novosti radiacionnogo kontrolja.* 2015, No. 4. Pp. 43-50. (rus)
6. Uorren R. *Radioaktivnost' posle Chernobylya* [Radioactivity after Chernobyl]. Moscow: Mir, 1999. 256 p. (rus)

УДК 615.849.1:614.876

ОЦЕНКА ДОЗИМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ГЕНЕРИРУЕМОГО МЕДИЦИНСКИМ ЛИНЕЙНЫМ УСКОРИТЕЛЕМ ЭЛЕКТРОНОВ**Веренич К.А., Кутень С.А., Хрущинский А.А., Макаревич К.О., Миненко В.Ф.**

Линейные ускорители электронов используются для лучевой терапии с использованием фотонов высокой энергии. Эти фотоны генерируются в виде тормозного излучения при попадании высокоэнергетичных электронов на мишень из тяжелого металла. Фотоны с энергией свыше 10 МэВ вызывают появление вторичного нейтронного излучения вокруг линейного ускорителя. В статье изложены результаты моделирования транспорта нейтронов через выходную головку линейного ускорителя Клинак 2300С/D и помещение бункера с применением метода Монте-Карло. Промоделированы энергетические спектры нейтронов и оценена эффективная доза облучения от нейтронов вокруг головки ускорителя.

Результаты моделирования показывают, что средняя энергия прямых нейтронов от головки ускорителя составляют порядка 0,5 МэВ, а энергия рассеянных нейтронов от стен снижается до тепловой (0,025 эВ). Дозовые нагрузки от нейтронов на персонал во время работы ускорителя значительно меньше допустимых уровней облучения.

Ключевые слова: медицинский ускоритель электронов; Монте-Карло моделирование; тормозное излучение; нейтроны; доза облучения; лучевая терапия.

(Поступила в редакцию 9 июня 2017 г.)

Введение. В лучевой терапии широко применяются линейные ускорители электронов для генерирования тормозного излучения, которое используется для лечения онкологических больных. Тормозное излучение возникает в ускорителе при взаимодействии ускоренных электронов со специальной тормозной мишенью, установленной на выходе электронного пучка из ускоряющей секции. В медицинских линейных ускорителях, используемых для получения тормозного излучения, часто возникает вторичное нейтронное излучение. Последнее образуется, когда гамма-кванты с энергией выше определенного порога вступают в фотоядерные реакции с ядрами атомов в материалах мишени и других элементах конструкции ускорителя, расположенных на пути выходного пучка тормозного излучения. Основными материалами, в которых протекают фотоядерные реакции, являются элементы с большим атомным номером — вольфрам и свинец. Например, пороговая энергия для изотопа вольфрама ^{184}W , равна 7,41 МэВ [1].

Нейтроны, появляющиеся в пучке тормозного излучения и вокруг головки ускорителя, являются источником нежелательного излучения [2]. Ионизирующее излучение, образующееся при радиационном захвате нейтронов в теле пациента, создает добавочную дозу облучения, которая зависит от энергетического спектра нейтронов, формирующих эту дозу [3]. Повреждение биологических объектов нейтронами выше по сравнению с тормозным излучением от 2,5 до 20 раз в зависимости от энергии нейтронов [4]. По этой причине очень важно знать спектр нейтронов, которые загрязняют терапевтический пучок тормозного излучения, как для расчета защиты бункера, так и для оценки добавочной дозы, получаемой пациентом [5].

Материалы и методы. В настоящей работе исследовались характеристики нейтронов, создаваемых в медицинском линейном ускорителе электронов Клинак 2300С/D фирмы Вариян с номинальной энергией электронов 18 МэВ, который был установлен в Республиканском научно-практическом центре онкологии и медицинской радиологии имени Н.Н. Александрова (аггородок Лесной, Минский район).

В линейном ускорителе электроны, образовавшиеся на катоде, ускоряются в ускорительной секции, и электронный пучок через поворотный магнит попадает на мишень. Основным материалом мишени — вольфрам. Тормозное излучение высокой энергии, возникающее при торможении электронов в мишени, проходит через первичный вольфрамовый коллиматор, задающий апертуру тормозного пучка. Далее на пути тормозного излучения расположен выравнивающий фильтр, изготовленный из железа и тантала, обеспечивающий выравнивание потока квантов в плоскости сечения пучка. Затем пучок высокоэнергетического тормозного излучения с одинаковой интенсивностью по сечению коллимируется

вторичным коллиматором («челюстями») и формируется многолепестковым коллиматором (МЛК) для придания необходимой формы полю облучения на теле пациента. Детальное описание составных частей головки ускорителя вместе с поворотным магнитом взято из [6] и показано на рисунке 1. В данной работе распределение электронов в пучке, падающем на тормозную мишень, описано распределением Гаусса в поперечном сечении с шириной 1 мм на полувысоте и таким же распределением по энергии со средним значением 18,8 МэВ и стандартным отклонением 0,03 согласно [7].

Высокоэнергетическое тормозное излучение взаимодействует со всеми элементами конструкции головки ускорителя и защиты [8]. Нейтроны образуются в результате фотоядерных реакций. Разные химические элементы имеют разную пороговую энергию тормозного излучения, выше которой происходят фотоядерные реакции (так называемый гигантский дипольный резонанс) [3]. Образование и транспорт в среде тормозных гамма-квантов и нейтронов описывались с помощью метода Монте-Карло, реализованного в коде MCNP [9]. Моделирование проводилось в два этапа: сначала рассматривалось падение на мишень пучка ускоренных моноэнергетических электронов, пространственно распределенных по Гауссу, с рождением тормозного излучения на мишени. На втором этапе, используя информацию из первого этапа, рассчитывался поток и спектр тормозного излучения и нейтронов на сфере вокруг мишени. Знание этих величин позволило рассчитать потоки нейтронов в наиболее посещаемых местах бункера, где расположен ускоритель.

Этот бункер и ранее использовался для бетатрона на 42 МэВ фирмы Сименс. Поэтому перед установкой ускорителя стены бункера местами были усилены. На рисунке 2 показана схема бункера с указанием точек (O, S1-S4), в которых проводилась оценка характеристик нейтронного излучения.

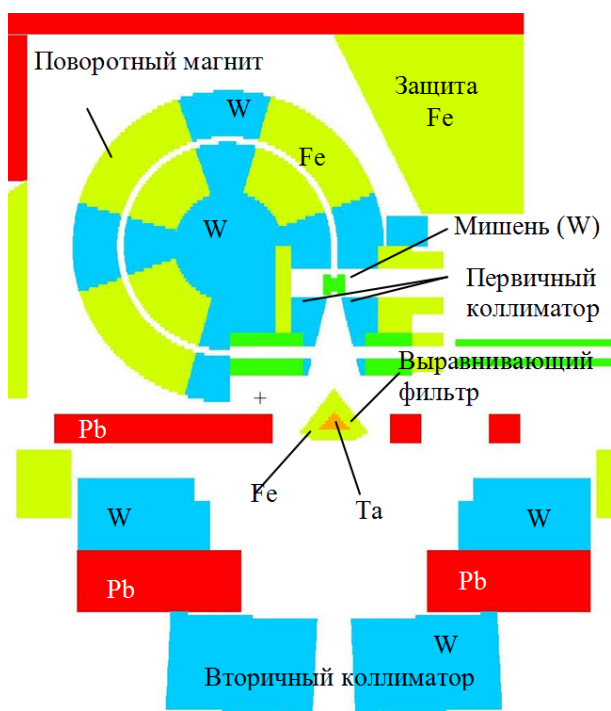


Рисунок 1. – Модель выходной головки линейного ускорителя электронов 2300C/D

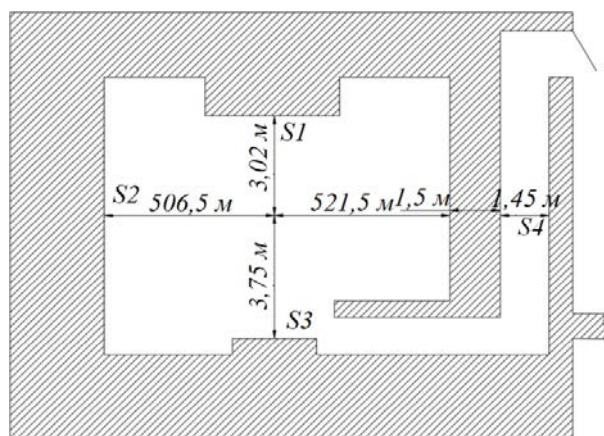


Рисунок 2. – Схема бункера ускорителя Клинак 2300C/D (вид сверху)

Исследования выполнены для положения подвижной части ускорителя, так называемой гантри, с нулевым углом наклона. При этом головка ускорителя расположена так, что центральная ось пучка излучения направлена вертикально в пол.

Результаты. Параметры пучка электронов, использованные для моделирования тормозного излучения, проверялись путем сравнения с результатами дозиметрических измерений рассчитанного глубинного дозового распределения тормозного излучения с энергией 18 МэВ в водном фантоме для поля $10 \times 10 \text{ см}^2$. Расчетные значения положения относительного максимума распределения поглощенной дозы (на глубине 3,3 см) и положения 80 % дозы (на глубине 10 см) совпали с результатами прямых измерений с помощью иони-

зационной камеры [10]. Кроме того, проведенное сравнение результатов расчета с инструментальными измерениями показало, что созданная модель источника фотонного излучения дает реалистичные оценки характеристик тормозного излучения. Эта модель использована далее для оценки образования нейтронов. Источниками нейтронов в линейном ускорителе являются все части выходного устройства, начиная от тормозной мишени, на которые падают гамма-кванты тормозного излучения, а также воздух между выходной головкой и пациентом и даже сам пациент. Очевидно, подавляющее большинство нейтронов образуется в головке ускорителя, т. к. головка включает части из материалов с большим атомным номером (вольфрам, свинец и др.). В таблице 1 показаны рассчитанные нами на уровне изоцентра ускорителя абсолютные и относительные значения количества образовавшихся нейтронов на разных частях выходной головки. Абсолютное число образовавшихся нейтронов рассчитано на один электрон, падающий на тормозную мишень. Кроме того, представлен суммарный выход нейтронов на одну мониторную единицу. Результаты показаны для трех вариантов геометрии выходного поля гамма-квантов: полностью закрытое поле ($0 \times 0 \text{ см}^2$), открытое на половину поле ($10 \times 10 \text{ см}^2$) и полностью открытое поле ($20 \times 20 \text{ см}^2$). Для всех трех вариантов многолепестковый коллиматор был полностью открыт.

Таблица 1. – Образование нейтронов в разных частях головки ускорителя для различных размеров полей облучения

| Наименование части головки ЛУЭ | Выход нейтронов | | |
|--------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | $0 \times 0 \text{ см}^2$ | $10 \times 10 \text{ см}^2$ | $20 \times 20 \text{ см}^2$ |
| Мишень с держателем | $2,14 \cdot 10^{-4}$ (16,7%) | $2,14 \cdot 10^{-4}$ (17,0%) | $2,14 \cdot 10^{-4}$ (17,8%) |
| Первичный коллиматор | $5,70 \cdot 10^{-4}$ (44,5%) | $5,67 \cdot 10^{-4}$ (45,1%) | $5,72 \cdot 10^{-4}$ (47,4%) |
| Выравнивающий фильтр | $1,03 \cdot 10^{-4}$ (8,00%) | $1,04 \cdot 10^{-4}$ (8,25%) | $1,02 \cdot 10^{-4}$ (8,49%) |
| Вторичный коллиматор (челюсти) | $3,74 \cdot 10^{-4}$ (29,2%) | $3,53 \cdot 10^{-4}$ (28,1%) | $2,98 \cdot 10^{-4}$ (24,7%) |
| Другие части головки | $2,03 \cdot 10^{-5}$ (1,59%) | $2,00 \cdot 10^{-5}$ (1,59%) | $2,04 \cdot 10^{-5}$ (1,69%) |
| Многолепестковый коллиматор | $9,00 \cdot 10^{-9}$ (0,00%) | $2,05 \cdot 10^{-8}$ (0,00%) | $3,10 \cdot 10^{-8}$ (0,00%) |
| Суммарный выход | $1,28 \cdot 10^{-3}$ (100%) | $1,26 \cdot 10^{-3}$ (100%) | $1,21 \cdot 10^{-3}$ (100%) |
| Выход нейтронов на 1 МЕ | $1,33 \cdot 10^{14}$ | $1,32 \cdot 10^{14}$ | $1,26 \cdot 10^{14}$ |

Наибольший вклад в образование нейтронов дают первичный и вторичный вольфрамовые коллиматоры (вместе более 70 %), за которыми следует вольфрамовая мишень с медным держателем (~ 17 %) и железный выравнивающий фильтр с танталовой вставкой (~ 8 %). Остальные части головки ЛУЭ создают не более 2 % нейтронов, так как находятся вне конуса распространения тормозных гамма-квантов. По этой же причине полностью открытый вольфрамовый многолепестковый коллиматор дает практически нулевой вклад в образование нейтронов. Выход нейтронов слабо меняется в зависимости от размеров поля облучения. Тем не менее, больше всего нейтронов создается при закрытом поле $0 \times 0 \text{ см}^2$. Немного меньше нейтронов образуется для поля облучения $10 \times 10 \text{ см}^2$ (99 %) и еще меньше для поля $20 \times 20 \text{ см}^2$ (95 %).

На рисунке 3 для полностью закрытого поля облучения приведен спектр нейтронов в изоцентре в бункере ускорителя.

Из графика видно, что энергетический спектр нейтронов внутри бункера включает как быстрые, так и тепловые нейтроны. Появление тепловых нейтронов в спектре на уровне изоцентра обусловлено рассеянным излучением. Нейтроны, вышедшие из ускорителя, доходят до стен бункера и замедляются до тепловых энергий при отражении от стен, пола и потолка.

Результаты оценки флюенса и средней энергии нейтронов вокруг головки ускорителя показаны в таблице 2 для точек, расположенных на 1 м от мишени в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Точка 1 расположена перед головкой, точка 2 над головкой, точки 3 и 4 расположены по бокам головки симметрично относительно мишени. Расчеты сделаны для открытого поля $10 \times 10 \text{ см}^2$ с полностью открытым МЛК.

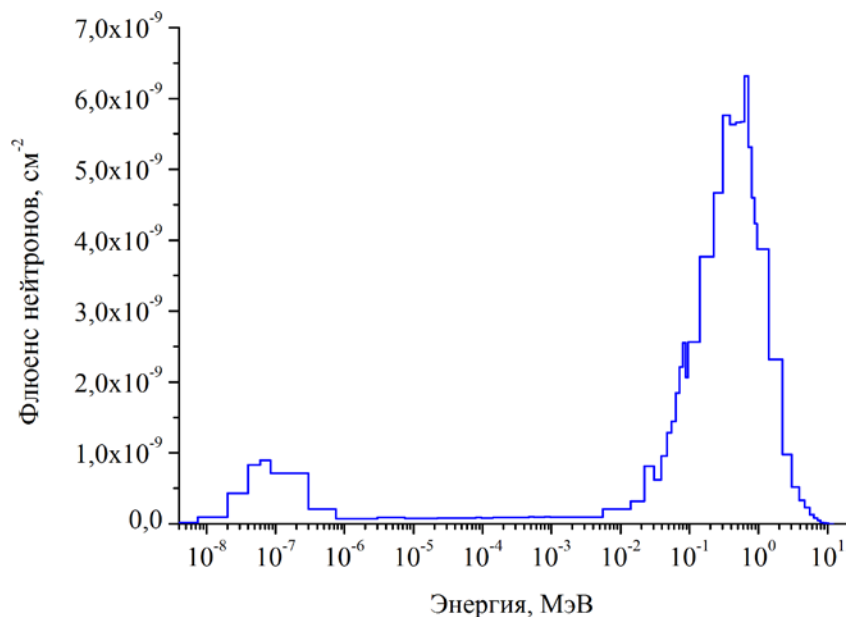


Рисунок 3. – Энергетическое распределение нейтронов на уровне изоцентра

Таблица 2. – Флюенс и средняя энергия нейтронов вокруг головки ускорителя для поля облучения $10 \times 10 \text{ см}^2$

| Номер точки | Координата x, м | Координата y, м | Координата z, м | Флюенс, $\text{см}^2/\text{электрон}$ | Средняя энергия, МэВ |
|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------------------------|----------------------|
| 1 | -1 | 0 | -1 | $4,44 \cdot 10^{-9}$ | 0,410 |
| 2 | 0 | 0 | -2 | $5,52 \cdot 10^{-9}$ | 0,538 |
| 3 | 0 | 1 | -1 | $1,28 \cdot 10^{-8}$ | 0,633 |
| 4 | 0 | -1 | -1 | $1,22 \cdot 10^{-8}$ | 0,623 |

При движении нейтронов в воздухе от ускорителя по направлению к стенам бункера происходит ослабление флюенса и небольшое снижение их энергии преимущественно в результате неупругого рассеяния на ядрах атомов воздуха. В таблице 3 приведены расчетные значения флюенса и средней энергии нейтронов в точках S1, S2, S3, S4 и O, отмеченных на рисунке 2. Эти точки расположены на уровне изоцентра на внутренних стенах бункера (S1 – S3), лабиринта (S4) и в изоцентре (O) гантри ускорителя. Расчет во всех точках в бункере выполнен для закрытого поля за исключением точки в изоцентре, для которой было использовано открытое поле $10 \times 10 \text{ см}^2$. Во всех случаях многолепестковый коллиматор был полностью открытым.

Таблица 3. – Флюенс и средняя энергия нейтронов в точках интереса внутри бункера

| Точка интереса | x, м | y, м | Флюенс, $\text{см}^2/\text{электрон}$ | Средняя энергия, МэВ | Эффективная доза, мЗв/Гр |
|----------------|-------|-------|---------------------------------------|----------------------|--------------------------|
| S1 | 0 | 3,02 | $5,53 \cdot 10^{-9}$ | 0,16 | 29,39 |
| S2 | -5,06 | 0 | $2,91 \cdot 10^{-9}$ | 0,088 | 9,296 |
| S3 | 0 | -3,75 | $4,3 \cdot 10^{-9}$ | 0,14 | 20,43 |
| S4 | 8,16 | 0 | $3,02 \cdot 10^{-11}$ | $1,3 \cdot 10^{-3}$ | 0,015 |
| O | 0 | 0 | $1,55 \cdot 10^{-8}$ | 0,706 | 324,4 |

Из таблицы 3 видно, что флюенс нейтронов принимает разные значения в зависимости от расстояния до изоцентра. Флюенс нейтронов уменьшается с увеличением расстояния от источника пропорционально квадрату расстояния, но добавление отраженных от стен тепловых и промежуточных нейтронов искажает эту зависимость. Это видно, в частности, по точкам S1 – S3, которые расположены на разном расстоянии от источника нейтронов. Поскольку согласно данным таблицы 2 флюенсы нейтронов справа (точка 3) и слева (точка 4) от выходной головки одинаковы, то флюенс в точке S1 к флюенсу в точке S3 должен был оказаться в 1,5 раза больше. Однако, фактически это отношение составило 3. При наличии стен бункера спектр нейтронов меняется в сторону увеличения тепловых нейтронов по мере удаления от головки ускорителя за счет добавления нейтронов, отраженных от стен. Поэтому меняется и средняя энергия нейтронов в сторону снижения. Для точки S1

средняя энергия нейтронов оказалась выше, чем для точки S3, по той причине, что первая точка ближе к источнику нейтронов и доля тепловых нейтронов в ней меньше, чем в точке S3. Из данных таблицы 3 для точек S1 – S3, расположенных в бункере ускорителя в одной плоскости, видно, что роль отраженных от стен тепловых и промежуточных нейтронов заметно возрастает с увеличением расстояния от первичного источника нейтронов.

На рисунке 4 показаны энергетические спектры нейтронов для этих точек.

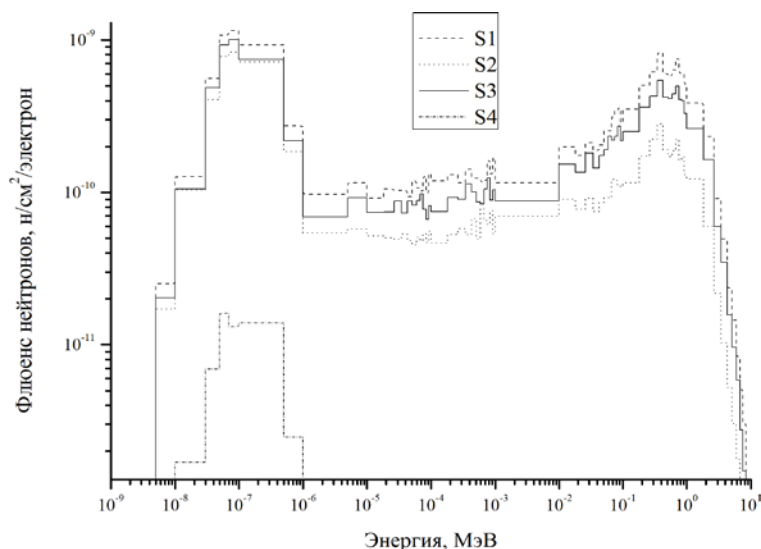


Рисунок 4. – Энергетические спектры нейтронов на поверхности стены на уровне изоцентра

Иначе выглядит спектр нейтронов в лабиринте бункера (точка S4 на рисунке 2). В лабиринт нейтроны от головки ускорителя попадают через бетонную стену лабиринта. Спектр нейтронов из источника, пройдя бетонную стену, превращается в спектр практически тепловых нейтронов в лабиринте.

Оценка эффективных доз облучения в точках S1 – S4 выполнена с помощью конверсионных коэффициентов по методике МКРЗ для стандартных вычислительных фантомов в геометрии облучения с фронтальной стороны [11]. Эффективные дозы были рассчитаны на 1 Гр поглощенной дозы тормозного излучения в изоцентре. Полученные результаты представлены в последнем столбце таблицы 3. На уровне изоцентра для открытого поля $10 \times 10 \text{ см}^2$ эффективная доза нейтронного излучения составляет третью часть от поглощенной дозы тормозного излучения. Эффективные дозы вдоль внутренних стен бункера на 1,5–2 порядка ниже дозы в изоцентре. Внутри лабиринта доза нейтронного излучения снижается более чем на 4 порядка по сравнению с дозой в изоцентре.

Таким образом, несмотря на то, что бункер ускорителя Клинак 2300C/D предназначен для ослабления тормозного излучения, его стены эффективно ослабляют быстрые нейтроны, образовавшиеся в ускорителе. Ослабление быстрых нейтронов происходит в результате рассеяния их в стенах бункера. Нейтроны, прошедшие за пределы стен бункера имеют энергию менее 1 кэВ. Биологическая эффективность таких нейтронов характеризуется постоянным весовым коэффициентом равным 2,5 независимо от энергии [4]. При этом дозы облучения персонала по нашим оценкам составляют около 60 пЗв на 1 Гр поглощенной дозы тормозного излучения в изоцентре.

Закключение. С помощью метода Монте-Карло проведено моделирование дозиметрических характеристик нейтронного излучения, создаваемого в выходной головке медицинского линейного ускорителя Клинак 2300 C/D. Рассчитаны энергетические спектры нейтронов и оценена эффективная доза облучения от нейтронов в изоцентре, на стенах внутри и вне бункера ускорителя. Результаты моделирования показали, что стены бункера, предназначенные для защиты от тормозного излучения, ослабляют быстрые нейтроны до тепловых и эффективно защищают от нейтронного облучения, создаваемого ускорителем электронов. Дозовые нагрузки от нейтронов на персонал во время работы ускорителя значительно меньше допустимых уровней облучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ma, A. Monte Carlo study of photoneutron production in the Varian Clinac 2100C linac / A. Ma and others // *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2008. Vol. 276. No. 1. Pp. 119-123.
2. Zabihinpoor S. Calculation of Neutron Contamination from Medical Linear Accelerator in Treatment Room / S. Zabihinpoor and others // *Adv. Studies Theor. Phys.* 2011. Vol. 5. No. 9. Pp. 421-428.
3. Neutron Contamination from Medical Electron Accelerators. Recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements. – NCRP Report No. 79. – Bethesda, MD. 1995. – 132 p.
4. Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ). Пер с англ. / Под общей ред. М.Ф. Киселева и Н.К. Шандалы. – М.: Изд. ОООПКФ «Алана», 2009. – 344 с.
5. Donahue, R.J. Distribution of Induced Activity in Tungsten Targets / R.J. Donahue, W.R. Nelson // SLAC-PUB-4728. – Stanford: Stanford Linear Accelerator Center, 1988. – 11 p.
6. Bednarz B.P. Detailed Varian Clinac accelerator modeling for calculating intermediate- and low-level non-target organ doses from radiation treatments. Ph. D. thesis / B.P. Bednarz. – Troy, 2008. – 144 p.
7. Tiegel G. Спецификации для моделей ускорителей Клинак 2100С, 2100С/D& 2300 С/D. [текст] / G. Tiegel. – 2011.
8. Chu T.-C. The measurement of photoneutron in the vicinity of Siemens Primus Linear Accelerator. IRPA-10: 10. international congress of the International Radiation Protection Association. [Электронный ресурс] – Hiroshima, 2000. – Режим доступа: <http://www.irpa.net/irpa10/cdrom/00101.pdf>. – Дата доступа: 02.05.2017.
9. Briesmeister J.F., Ed. MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4B2 // Los Alamos, NM: Los Alamos National Laboratory. – 1997. – 736 p.
10. Кутень С.А. Применение методов Монте-Карло в решении задач радиационной защиты и ядерной безопасности / С.А. Кутень [и др.] // *Фундаментальные и прикладные физические исследования*. 2010 – 2016 гг. : сб. тр. / под ред. С.А. Максименко ; редкол. : С.А. Максименко (отв. ред.) [и др.]. – Минск : Изд. центр БГУ, 2016. – 424 с.
11. International Commission on Radiological Protection. Conversion coefficients for radiological protection quantities for external radiation exposures. ICRP Publication 116. / N. Petoussi-Hens [и др.]; Ed. С.Н. Clement. – [б. м.]: Pergamon Press, 2010. – 257 p. – (Annals of the ICRP).

ASSESSMENT OF DOSIMETRIC CHARACTERISTICS OF NEUTRON RADIATION GENERATED BY MEDICAL LINEAR ACCELERATOR OF ELECTRONS

Kiryl Viarenich

Siamion Kutsen, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

Arkady Khrutchinsky, Candidate of Physical and Mathematical Sciences,
Associate Professor, Leading Researcher

Krystsina Makarevich

Victor Minenko, Candidate of Biological Sciences, associate professor, Leading Researcher

Institute for Nuclear Problems of Belarusian State University, Minsk, Belarus

Purpose. The paper is aimed to study the neutron radiation from medical linear accelerators of high-energy electrons.

Methods. Mathematical modelling of coupled electron-photon and coupled photon-neutron transport was carried out. The calculations were performed using Monte-Carlo simulation.

Findings. Spectra of neutrons in the bunker were calculated. The average energy of neutrons from the head of linear accelerator varies depending on the measurement point. The approximate energy of source neutrons is 0,5 MeV. Scattering from the walls adds a significant part of thermal neutrons to the spectrum. The average energy of neutrons in the maze and outside the procedure room of the bunker is 0,025 eV.

Application field of research. The obtained results of this study could be used in the design of shielding of medical linear accelerators of electrons with energies above 10 MeV.

Conclusions. Although the standard shielding from X-ray radiation from medical linear accelerators is effective for neutron radiation, high-energy electrons produce neutrons that require better shielding to protect doctors and members of public.

Keywords: medical electron linac, Monte-Carlo modelling, bremsstrahlung radiation, neutrons, radiation dose, beam therapy, MCNP.

(The day of submitting: June 9, 2017)

REFERENCES

1. Ma A. Monte Carlo study of photoneutron production in the Varian Clinac 2100C linac. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2008. Vol. 276. No. 1. Pp. 119-123.
2. Zabihinpoor S. Calculation of Neutron Contamination from Medical Linear Accelerator in Treatment Room. *Adv. Studies Theor. Phys.* 2011. Vol. 5. No. 9. Pp. 421-428.
3. Neutron Contamination from Medical Electron Accelerators. Recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements. *NCRP Report No. 79*. Bethesda, MD. 1995. 132 p.
4. *Publikatsiya 103 Mezhdunarodnoy Komissii po radiatsionnoy zashchite (MKRZ)* [Publication 103 of the International Commission on Radiological Protection. ICRP]. International Commission on Radiological Protection ; Transl. from Engl. Eds. M.F. Kiseljov and N. K. Shandala. Moscow: OOO PKF Alana, 2009. 344 p. (rus)
5. Donahue R.J., Nelson W.R. *Distribution of Induced Activity in Tungsten Targets*. SLAC-PUB-4728. Stanford: Stanford Linear Accelerator Center, 1988. 11 p.
6. Bednarz B.P. *Detailed Varian Clinac accelerator modeling for calculating intermediate- and low-level non-target organ doses from radiation treatments*. PhD thesis. Troy, 2008. 144 p.
7. Tiegel G. *Specifikacii dlja modelej uskoritelej Klinak 2100C, 2100C/D & 2300 C/D*. [Specifications for accelerator models Clinac 2100C, 2100C/D & 2300 C/D]. G. Tiegel. 2011.
8. Chu T.-C. The measurement of photoneutron in the vicinity of Siemens Primus Linear Accelerator. *IRPA-10: 10. international congress of the International Radiation Protection Association*. Hiroshima, 2000, available at: <http://www.irpa.net/irpa10/cdrom/00101.pdf> (accessed: May 02, 2017).
9. Briesmeister J.F. Ed. *MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4B2*. Los Alamos, NM: Los Alamos National Laboratory. 1997. 736 p.
10. Kuten' S.A. and oth. *Primenenie metodov Monte-Karlo v reshenii zadach radiacionnoj zashchity i jadernoj bezopasnosti* [Application of Monte-Carlo Methods to the Solution of Radiation Protection and Nuclear Safety Problems]. *Fundamental'nye i prikladnye fizicheskie issledovaniya. 2010-2016 gg.* Minsk: Izd. centr BGU, 2016. 424 p.
11. Petoussi-Henss N. and oth. *International Commission on Radiological Protection. Conversion coefficients for radiological protection quantities for external radiation exposures*. ICRP Publication 116. Ed. C.H. Clement. Pergamon Press, 2010. 257 p. (Annals of the ICRP).

УДК 539.122.04:614.8.086.52

МОНТЕ-КАРЛО МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОЦЕДУРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ

Макаревич К.О., Миненко В.Ф., Хрущинский А.А.

В научной литературе представлен ряд компьютерных программ, позволяющих оценивать дозы облучения, полученные пациентами во время рентгенологических исследований, которые к настоящему времени уже не соответствуют современным международным требованиям к оценке доз облучения пациентов. В данной работе алгоритм оценки доз облучения пациентов реализован с применением стандартных вычислительных фантомов и методикой определения эффективной дозы в соответствии с рекомендациями МКРЗ. Разработана математическая модель рентгеновского аппарата с вольфрамовым анодом, в которой рентгеновская трубка описывается «TASMIP» моделью, а для моделирования взаимодействия рентгеновского излучения с веществом применяется метод Монте-Карло. Проведена верификация разработанной модели.

Ключевые слова: моделирование, рентгеновский аппарат; «TASMIP» модель; стандартный вычислительный фантом МКРЗ; доза облучения.

(Поступила в редакцию 9 июня 2017 г.)

Введение. Рост качества медицинской помощи населению в первую очередь достигается за счет своевременной диагностики и профилактики заболеваний. При этом большую роль играют методы лучевой диагностики, прежде всего с использованием рентгеновского излучения. В последние годы в лечебно-профилактических учреждениях Беларуси интенсивно наращивается парк современных рентгенодиагностических аппаратов, что позволяет увеличивать количество рентгенорадиологических исследований населения. Однако интенсивное применение таких исследований ведет к росту числа облучаемых лиц и повышению доз облучения для тех, кто подвергается нескольким подобным исследованиям одновременно или в короткий промежуток времени. По заключению Научного комитета ООН по действию атомной радиации вклад медицинского облучения в коллективную дозу облучения населения достигает 30 % и формируется за счет диагностических и профилактических рентгенологических медицинских исследований, охватывающих все возрастные группы населения [1]. Поскольку с ростом дозы ионизирующего излучения растут проявления соматической и наследственной патологии человека, Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ) и Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) рекомендуют по возможности ограничивать дозы рентгенодиагностических исследований, несмотря на то что ионизирующее излучение в ситуации медицинского облучения выступает как инструмент, который принесет больше пользы, чем вреда [2, 3]. В отечественных нормативных документах по радиационной безопасности в частности приведены рекомендуемые диагностические референтные уровни при выполнении различных медицинских диагностических исследований [4]. Кроме того, установлено, что «при проведении профилактических медицинских рентгенологических исследований и научных исследований практически здоровых лиц годовая эффективная доза облучения этих лиц не должна превышать 1 мЗв» [5]. Поэтому контроль и оценка дозовых нагрузок, получаемых населением в процедурах рентгенодиагностики, является важной и актуальной задачей.

Для определения величины дозы облучения человека необходимо знать распределение поглощенной энергии в органах и тканях организма. Однако получение такого распределения является нетривиальной задачей, т. к. оно не может быть измерено непосредственно в пациенте, находящимся под облучением. Получить дозовое распределение можно путем экспериментальных измерений с помощью термолюминесцентных детекторов на физическом фантоме тела человека. Но этот способ является ограниченным и не достаточно точным, т. к. с помощью физического фантома невозможно детально воспроизвести все структуры тела человека. Однако распределение поглощенной дозы более тщательно и точно можно оценить расчетным путем, используя компьютерную модель тела человека и моделируя транспорт рентгеновского излучения в теле пациента с помощью метода Монте-Карло.

В мире существует ряд программ (WinODS, PCXMC, DoseCal, PRDC), использующих результаты Монте-Карло моделирования для оценки дозовых нагрузок на пациентов в

процедурах рентгенодиагностики [6-9]. Однако эти программы разработаны на базе устаревших математических моделей стилизованного тела человека. Кроме того, в этих программах используется устаревший алгоритм расчета эффективной дозы, не соответствующий современной концепции [10].

По этой причине в Институте ядерных проблем БГУ ведется работа по созданию собственного программного продукта, позволяющего рентгенологам оценивать дозовые нагрузки, получаемые пациентами в рентгенодиагностических процедурах.

Материалы и методы. В данном исследовании работа рентгеновского аппарата моделировалась с помощью эмпирической модели «TASMIP» (tungsten anode spectral model using interpolating polynomials), описывающей спектр рентгеновского излучения, создаваемый рентгеновской трубкой. Модель «TASMIP» позволяет рассчитывать спектр энергии рентгеновского излучения для рентгеновской трубки с вольфрамовым анодом, используя интерполяционные полиномы, аппроксимирующие результаты измерений с шагом 1 кэВ в диапазоне значений анодного напряжения от 30 до 140 кВ [11]. Модель «TASMIP» учитывает влияние на спектр излучения таких параметров, как напряжение на трубке, пульсация анодного напряжения, общая фильтрация. На рисунке 1 показана модель рентгеновского аппарата, в которой рентгеновская трубка представлена точечным источником со спектром излучения, описываемым моделью «TASMIP». Модель рентгеновского аппарата включает также две пары свинцовых шторок, раскрывающихся в разных плоскостях, которые формируют размеры поля облучения пациента и приемника изображения.

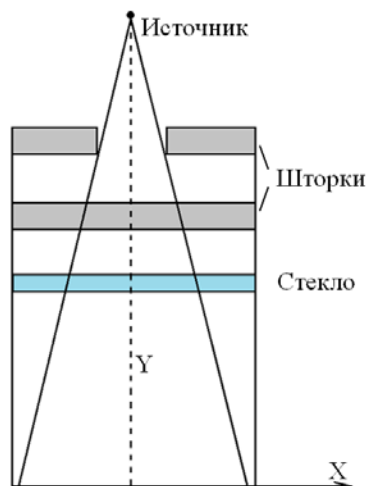


Рисунок 1. – Модель рентгеновского аппарата

Для описания процесса прохождения рентгеновских квантов через вещество использовался метод Монте-Карло, реализованный в программе MCNP [12]. При таком подходе частица, испускаемая источником, прослеживалась на всем пути движения с учетом всех возможных на ее пути взаимодействий со средой до поглощения в ткани.

В качестве моделей тела пациентов в данном исследовании использованы стандартные воксельные фантомы взрослых мужчины и женщины, рекомендованные МКРЗ для дозиметрических расчетов [13]. Стандартные воксельные фантомы МКРЗ представляют собой модели тела человека, помещенные в прямоугольные параллелепипеды, заполненные воздухом. Параллелепипед делится на ячейки одинакового размера – воксели. Каждый воксель содержит в себе номер органа, к которому он принадлежит, а каждому органу соответствует свой материал (ткань), обладающий уникальным химическим составом и описывающий содержимое этого вокселя. Ячейки, не принадлежащие фантому, имитируют воздух.

Данные фантомы содержат более 140 различных структур, состоящих из 50 типов тканей. По объемам, массе и элементному составу, а также месторасположению и форме органов данные фантомы соответствуют анатомическим данным стандартного человека [14].

В женском фантоме МКРЗ содержится более 14 миллионов вокселей (299×137×348). Размеры вокселя составляют 1,78 мм × 1,78 мм × 4,8 мм. Мужской фантом МКРЗ содержит более 7 миллионов вокселей (254×127×222). Размеры вокселя составляют 2,14 мм × 2,14 мм × 8 мм.

Геометрия облучения конкретных рентгенологических процедур моделировались в соответствии с атласом рентгенологических укладок [15].

Расчет дозовых нагрузок на органы и ткани, а также расчет эффективной дозы проводился в соответствии с рекомендациями МКРЗ [13].

Для нахождения поглощенной дозы на орган или ткань $D_{T,R}$ дозы, рассчитанные в отдельных вокселях конкретной структуры, суммировались по объему органа или ткани и усреднялись:

$$\bar{D}_{T,R} = \frac{\sum_{i=1}^{N_T} D_{i,T}}{N_T}, \quad (1)$$

где $D_{i,T}$ – поглощенная доза в i -том вокселе органа/ткани T ;

N_T – количество вокселей в органе/ткани T .

Поскольку взвешивающий коэффициент для рентгеновского излучения $w_R = 1$, то эквивалентная доза H_T в органе или ткани численно равна средней поглощенной дозе $D_{T,R}$.

Эффективная доза E рассчитывалась согласно [13] как средневзвешенное значение от сумм эквивалентных доз для органов или тканей условных мужчины и женщины:

$$E = \sum_T w_T \cdot \left[\frac{H_T^M + H_T^F}{2} \right], \quad (2)$$

где w_T – взвешивающий коэффициент ткани T ;

H_T^M – эквивалентная доза, оцененная для органа или ткани типа T условного мужчины;

H_T^F – эквивалентная доза, оцененная для органа или ткани типа T условной женщины.

Учитывая то, что все результаты вычислений программный код выдает в расчете на одну испущенную источником частицу, для получения реальных значений доз результат расчета умножался на общее число гамма-квантов, испущенных источником.

Значение средней дозовой нагрузки на орган или ткань определялось из выражения:

$$\bar{D}_T = 2\pi \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right) \cdot R^2 \cdot \left[\frac{R_0}{R} \right]^2 \times N_\gamma \cdot \bar{D}_T^{MCNP}, \text{ мГр}/(\text{мА}\cdot\text{с}) \quad (3)$$

где \bar{D}_T^{MCNP} – среднее значение поглощенной дозы в ткани/органе типа T , полученное с помощью программы MCNP, Гр/фотон;

$N_\gamma = \int \Phi(E, d, U, \zeta) \cdot dE$ – флюенс гамма-квантов, создаваемых «TASMIP»-источником рентгеновского излучения на расстоянии R от него при заданном напряжении и фильтрации на единицу заряда трубки, фотон/(мА·с·мм²);

$\Phi(E, d, U, \zeta)$ – энергетическая функция «TASMIP»-источника, фотон/(мА·с·мм²·кэВ);

$R_0 = 1000$ мм – расстояние, на котором приведены «TASMIP»-спектры рентгеновского излучения;

R – расстояние «источник-поверхность объекта облучения», мм;

θ – угол раствора конуса с вершиной в фокусе, описанного вокруг поля облучения на расстоянии «источник-поверхность», рад;

$2\pi \cdot \left(1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right) \cdot R^2$ – площадь поверхности основания конуса на расстоянии R от его вершины, мм².

Для оценки эффективной дозы облучения с учетом характеристик конкретного рентгеновского аппарата использовалось следующее выражение [16]:

$$E = O \cdot I \cdot t \cdot K_e, \quad (4)$$

где O – радиационный выход рентгеновского излучателя (мГр·м²)/(мА·с);

I – ток рентгеновской трубки, мА;

t – время проведения исследования, с;

K_e – конверсионный коэффициент, который является частным от деления эффективной дозы, рассчитанной для пациента данного возраста с учетом вида проведенного рентгенологического исследования, проекции, размеров поля, фокусного расстояния и анодного напряжения на рентгеновской трубке, на величину радиационного выхода рентгеновского аппарата, мкЗв/(мГр·м²).

Результаты и обсуждение. Для верификации разработанной модели рентгеновского аппарата проведено сравнение результатов оценок радиационного выхода по модели с результатами расчетов по известной параметризованной функции радиационного выхода, полученной на основе прямых измерений [11].

Радиационный выход рентгеновского аппарата определяется через воздушную керму (или поглощенную дозу) в свободном воздухе на оси первичного пучка рентгеновского излучения при заданном значении анодного напряжения на расстоянии 1 м от фокуса рентгеновской трубки, умноженной на квадрат этого расстояния и отнесенной к 1 мА·с.

В MCNP керма в воздухе рассчитывается с помощью специального функционала F6 [12]. Поскольку результат относится к одной частице, испущенной источником излучения, то для того чтобы рассчитать керму на заряд электронов в 1 мА·с, необходимо значение F6 умножить на пересчетный коэффициент, равный отношению флюенса гамма-квантов, создаваемых «TASMIP»-источником рентгеновского излучения на 1 мА·с, к флюенсу гамма-квантов, испущенных источником рентгеновского излучения на одну частицу. Флюенс частиц определяется с помощью функционала F4 [12]. Следовательно, радиационный выход может быть определен следующим образом:

$$O = k \cdot F6 \cdot \frac{N_\gamma}{F4}, \quad (5)$$

где O – радиационный выход рентгеновского аппарата, мР/мА·с;

$F6$ – функционал, вычисляющий керму в воздухе, МэВ/(г·фотон);

$F4$ – функционал, вычисляющий флюенс гамма-квантов в заданной ячейке, 1/(см²·фотон);

N_γ – флюенс фотонов, создаваемых «TASMIP»-источником рентгеновского излучения на единицу заряда трубки, фотон/(мм²·мАс);

k – коэффициент перевода, (мР·г)/МэВ.

В модели «TASMIP» параметризованная функция радиационного выхода, полученная по результатам прямых измерений радиационного выхода для значений анодного напряжения выше 50 кВ и для значений толщины фильтра от 0 до 5 мм Al, имеет вид [11]:

$$O = a_0 + a_1U + a_2U^2 + a_3U^3, \quad (6)$$

где a_i – эмпирические коэффициенты, представленные в [11]; U – напряжение на аноде рентгеновской трубки, кВ.

В таблице 1 показаны результаты сравнения значений радиационного выхода, рассчитанных с помощью Монте-Карло моделирования (5) и уравнения (6) для шести фильтров и двух значений анодного напряжения. Разница между сравниваемыми данными в основном находится в пределах 1 %, а максимальное различие не превышает 2,2 %. Наблюдаемое хорошее совпадение свидетельствует о реальности оценок, получаемых с помощью разработанной модели.

Следует отметить, что для фантомов МКРЗ в исходном виде требуется их адаптация к программе MCNP, обусловленная ограничениями на размер входного файла. Для уменьшения размеров входного файла был применен синтаксис MCNP, позволяющий использовать повторяющиеся величины. Дополнительно к этому был оптимизирован объем облучения. Для оптимизации количества вокселей, включаемых в расчет дозового распределения, разработана программа в пакете Mathematica, которая из всего фантома выбирает слои, попадающие в поле облучения в зависимости от типа рентгенологического исследования, размеров поля облучения, расстояния от источника излучения до пленки и других параметров процедуры облучения. Дополнительно к этим слоям в расчет добавляются вдоль оси тела по 20 см сверху и снизу, учитывающие рассеянное излучение. Использовать слои более отдаленные от области прямого излучения не целесообразно, поскольку вклад в поглощенную дозу рассеянного излучения в этих слоях незначимый.

Таблица 1. – Значения радиационного выхода (мР/мАс) в зависимости от толщины основного фильтра

| Толщина, мм Al | Монте-Карло моделирование | Уравнение (6) | Относительное отклонение, % |
|----------------|---------------------------|---------------|-----------------------------|
| 60 кВ | | | |
| 0 | 5,28 | 5,32 | 0,60 |
| 1 | 3,46 | 3,47 | 0,25 |
| 2 | 2,48 | 2,50 | 0,70 |
| 3 | 1,86 | 1,87 | 0,34 |
| 4 | 1,45 | 1,43 | 1,08 |
| 5 | 1,15 | 1,13 | 2,17 |
| 120 кВ | | | |
| 0 | 18,13 | 18,23 | 0,56 |
| 1 | 14,07 | 14,13 | 0,37 |
| 2 | 11,57 | 11,64 | 0,60 |
| 3 | 9,80 | 9,89 | 0,92 |
| 4 | 8,48 | 8,53 | 0,61 |
| 5 | 7,44 | 7,47 | 0,43 |

Реализованный алгоритм предназначен для оценки входных, поглощенных, эквивалентных и эффективных доз облучения, получаемых пациентами во время рентгенологических исследований в лечебно-профилактических учреждениях. Названные дозы имеют разное назначение и уровень востребованности с позиции радиационной защиты пациента. В частности, входная доза является наиболее значимой величиной для характеристики процедур визуализации, т. к. показывает насколько максимальная доза, получаемая пациентом, соответствует диагностическому референтному уровню для данной процедуры визуализации. В то же время применение понятия эффективной дозы в рентгенодиагностике ограничивается использованием для сравнения доз при различных диагностических процедурах и для сравнения использования аналогичных технологий и процедур в различных больницах и странах [2]. Эффективные дозы пациентов при медицинском облучении не сопоставимы с эффективными дозами облучения населения от других источников и поэтому не могут быть использованы в качестве меры риска возникновения отдаленных последствий облучения организма человека в соответствии с действующими законодательными актами по радиационной безопасности населения. Фактически входная и эффективная дозы выступают характеристиками технического исполнения радиологической процедуры. Представление о лучевой нагрузке на пациента дают поглощенные и эквивалентные дозы, полученные при облучении органами и тканями пациента. Они являются подходящими величинами для оценок «риск-польза».

Заключение. Разработана модель рентгеновского аппарата, в котором рентгеновская трубка описывается моделью «TASMP», а транспорт рентгеновских квантов в веществе моделируется с использованием метода Монте-Карло. Сравнение значений радиационного выхода, рассчитанных с помощью разработанной модели (5) и уравнения (6), демонстрируют возможность использования данной модели в качестве источника излучения при моделировании процедур рентгенодиагностики.

Реализован алгоритм оценки доз облучения пациентов с использованием референтных воксельных фантомов МКРЗ и разработанной модели рентгеновского аппарата. Данный алгоритм пригоден для подготовки набора дозиметрических показателей к атласу стандартных рентгенодиагностических укладок и для подготовки интерполяционных моделей on-line оценки доз облучения пациентов на рентгеновских аппаратах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. – United Nations Publication, 2010. – Vol.1. – 220 p.
2. Рекомендации Международной комиссии по радиационной защите от 2008 года. Радиационная защита в медицине. Публикация 105 МКРЗ. С.-Петербург, 2011. – 66 с.
3. Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения. Серия изданий по безопасности, № 115. – МАГАТЭ, Вена, 1997. – 113 с.
4. Гигиенический норматив «Критерии оценки радиационного воздействия». Утв. Пост. МЗ РБ от 28.12.2012 г. № 213.
5. Санитарные нормы и правила «Требования к радиационной безопасности». Утв. Пост. МЗ РБ от 28.12.2012 г. № 213.
6. WinODS (2009) «Download page» // [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.rti.se/download software/index.html](http://www.rti.se/download%20software/index.html). – Дата доступа: 8.06.2009.
7. Tarjovaara M., Siiskonen T. PCXMC. A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. STUK-A231. – Helsinki 2008. – 49 p.
8. Kramer, R., Khoury, H.J., Vieira, J.W. CALDose_X – a soft-ware tool for assessment of organ and tissue absorbed doses, effective dose and cancer risks in diagnostic radiology / R. Kramer, H.J. Khoury, J.W. Vieira // Phys. Med. Biol. – 2008. – Vol. 53. – Pp. 6437-6459.
9. Chan-Hyeong Kim, Sang Hyun Cho, X. George Xu PRDC–A software package for personnel radiation dose calculation / Chan-Hyeong Kim, Sang Hyun Cho, X. George Xu // Radiation Protection Dosimetry, 2006. – Vol. 118, No. 3. – Pp. 243-250.
10. Рекомендации Международной комиссии по радиационной защите от 2007 года. Публикация 103 МКРЗ. – Москва, Алана. – 2009. – 343 с.
11. Boone, J.M., Seibert, J.A. An accurate method for computer-generating tungsten anode X-ray spectra from 30 to 140 keV / J.M. Boone, J.A. Seibert // Med.Phys. – 1997. – Vol. 24, No. 1. – Pp. 1661-1670.
12. Briesmeister J. F. MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4B2. – Los Alamos, NM: Los Alamos National Laboratory. – 1997 – 736 p.
13. Adult Reference Computational Phantoms. ICRP Publication 110. Ann. ICRP. / International Commission on Radiological Protection. – 2009. – 165 p.
14. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values. ICRP Publication 89. Ann. ICRP / International Commission on Radiological Protection. – Pergamon Press, 2002. – 265 p.
15. Кишковский А.Н., Тютин Л.А., Есиновская Г.Н. Атлас укладок при рентгенологических исследованиях / А.Н. Кишковский, Л.А. Тютин, Г.Н. Есиновская. – Л.: Медицина, 1987. – 520 с.
16. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований: Методические указания. МУ 2.6.1.2944-11. Утв. гл. гос. сан. врач РФ Г.Г. Онищенко 19 июля 2011 года.

MONTE CARLO MODELING OF X-RAY PROCEDURE FOR ESTIMATING RADIATION DOSES TO PATIENTS

Krystina Makarevich

Victor Minenko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor

Arkadij Khrutchinsky, Candidate of Physical and Mathematical Sciences

Institute for Nuclear Problems, Belarusian State University, Minsk, Belarus

Purpose. The paper is devoted to Monte Carlo modeling of diagnostic X-ray procedure in order to estimate radiation doses to patients.

Methods. The Monte Carlo method implemented in the MCNP was used to simulate the interaction of X-ray radiation with different media. The TASMIP model was used for generating spectra of an X-ray tube with tungsten anode.

Findings. Mathematical model of X-ray unit including TASMIP was developed and verified. The values of the X-ray tube radiation yield were calculated using the Monte Carlo method. The ICRP voxel phantoms were adapted for modeling of X-ray examinations. The algorithm of estimating radiation doses to patients was implemented.

Application field of research. The created software product can be used for dosimetric assessments of radiodiagnostic procedures in treatment and prevention institutions.

Conclusions. The developed algorithm for assessing the radiation doses to patient's organs and tissues gives realistic results and should be used to prepare the set of dosimetric characteristics for the atlas of standard X-ray diagnostic procedures and for preparing interpolation models for on-line patient dose assessments.

Key words: modeling, X-ray set, TASMIP model, reference ICRP phantom, dose of exposure.

(The date of submitting: June 9, 2017)

REFERENCES

1. *Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly with Scientific Annexes.* United Nations Publication, 2010. Vol. 1. 220 p.
2. Recommendations of the International Commission on Radiation Protection from 2008. Radiation protection in medicine. *Publication 105 of the ICRP.* St. Petersburg, 2011. 66 p. (rus)
3. International Basic Safety Standards for Protection from Ionizing Radiation and for the Safe Management of Radiation Sources. *Series of editions on safety №115.* IAEA, Vienna. 1997. 113 p. (rus)
4. *Hygienic standard «Criteria for the assessment of radiation exposure».* Approved by Decree of MH RB. December 28, 2012. No. 213. (rus)
5. *Sanitary norms and rules «Requirements for radiation safety».* Approved by Decree of MH RB. December 28, 2012 No. 213. (rus)
6. *WinODS (2009) «Download page»*, available at: <http://www.rti.se/download/software/index.html> (accessed: June 8 2009).
7. Tapiovaara M., Siiskonen T. *PCXMC. A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations.* STUK-A231. Helsinki 2008. 49 p.
8. Kramer R., Khoury H.J., Vieira J.W. CALDose_X – a soft-ware tool for assessment of organ and tissue absorbed doses, effective dose and cancer risks in diagnostic radiology. *Phys. Med. Biol.* 2008. Vol. 53. P. 6437-6459.
9. Chan-Hyeong Kim, Sang Hyun Cho, X. George Xu PRDC–A software package for personnel radiation dose calculation. *Radiation Protection Dosimetry*, 2006. Vol. 118, No. 3. Pp. 243–250.
10. Recommendations of the International Commission on Radiation Protection from 2007. *Publication 103 ICRP.* Moscow, Alana, 2009. 343 p. (rus)
11. Boone J.M., Seibert J.A. An accurate method for computer-generating tungsten anode X-ray spectra from 30 to 140 keV. *Med. Phys.*, 1997. Vol. 24, No. 1. Pp. 1661-1670.
12. Briesmeister J. F. *MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4B2.* Los Alamos, NM: Los Alamos National Laboratory. 1997. 736 p.
13. Adult Reference Computational Phantoms. *ICRP Publication 110.* Ann. ICRP. International Commission on Radiological Protection. 2009. 165 p.
14. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection: Reference Values. *ICRP Publication 89.* Ann. ICRP. International Commission on Radiological Protection. Pergamon Press, 2002. 265 p.

15. Kishkovskiy A.N., Tyutin L.A., Esinovskaya G.N. Atlas of sets for X-ray studies. L.: *Medicina*, 1987. 520 p. (rus)
16. *Control of effective radiation doses to patients during medical X-ray examinations: Methodological guidelines*. MU 2.6.1.2944-11. Approved Chap. State San. Doctor of the Russian Federation G.G. Onishhenko on July 19, 2011. (rus)

УДК 533.922

ЧАСТОТНЫЙ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ДЕЗИНТЕГРАТОР ЖЕЛЕЗОБЕТОНА ДЛЯ МЧС И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Тарковский В.В., Василевич А.Е., Балыкин А.С.,
Леванович А.В., Филипович С.М., Сакович Э.И.

Разработан частотный электрогидравлический дезинтегратор железобетонных объектов. Дезинтегратор предназначен для использования в подразделениях МЧС при разрушении бетонных объектов и их утилизации, а также решения ряда задач промышленности (очистки отливок от формовочной смеси; декольматации фильтров водозаборных скважин; очистки труб от наслоений; поиска места повреждения подземного кабеля; раскалывания гранитных негабаритов в карьерах; установки свай по технологии РИТ и множестве других применений).

Ключевые слова: электрогидравлический эффект Юткина; дезинтегратор; железобетон; утилизация; частотный режим.

(Поступила в редакцию 13 марта 2017 г.)

Введение. Одним из перспективных направлений использования электрогидравлических технологий является возможность безвзрывного разрушения объектов из бетона при проведении аварийно-спасательных работ. В их основе лежит электрогидравлический эффект Юткина [1, 2, 3]. Частотный режим работы устройства предоставляет возможность быстрой и безопасной утилизации старых строений за счет электрогидравлического измельчения бетона, камня и кирпича. Существующие установки имеют очень большие габариты и вес, который порой достигает до 10 тонн [4]. Это затрудняет их оперативное использование и требует для их транспортировки автомобилей большой грузоподъемности. В связи с этим представляет большой интерес создание сверхмощных, но компактных устройств, обладающих небольшим весом и габаритами [2, 3]. В нашем устройстве снижение веса (до 150-200 кг) и увеличение мощности достигается путем использования, в частности, конденсаторов нового поколения с повышенной удельной энергоемкостью (более 1000 Дж/дм³), а также использование для питания емкостного накопителя мощных малогабаритных источников постоянного тока нового поколения. А частотный режим работы электрогидравлического устройства очень сильно расширяет спектр его прикладного использования в реальном секторе экономики.

Применение предлагаемого частотного дезинтегратора позволяет значительно облегчить осуществление аварийно-спасательных работ и сократить время их проведения, обезопасить жизнь и здоровье людей, исключить выделение вредных веществ, воздействие ударных и акустических волн, разлетающихся осколков [1]. Кроме сферы МЧС, предлагаемое устройство можно будет применять в машиностроении, в ремонте техники, в сельском хозяйстве, в ЖКХ, в энергетике и связи, в строительной отрасли, в горном и гидрометаллургическом производстве, в медицине. Наиболее перспективной областью применения разрабатываемого дезинтегратора является утилизация старых железобетонных плит, что является актуальной проблемой не только в нашей стране, но и в странах Евросоюза.

Электрогидравлическая дезинтеграция различных материалов является инновационным способом дробления и в зависимости от режима работы электрогидравлического устройства позволяет получать любую степень измельчения [5]. Электрогидравлические дезинтеграторы имеют неоспоримое преимущество перед механическими, так как не имеют движущихся частей, а это значит – не изнашиваются в процессе эксплуатации. Во-вторых, при их работе не образуется пыль, разлетающиеся осколки, не образуется вредных газов. Процесс дробления, смешения и флотации соединяются в едином технологическом цикле [5].

Принцип работы электрогидравлических дезинтеграторов. В основу методики, как упоминалось выше, положен электрогидравлический эффект Юткина, основанный на использовании энергии плазмы, возникающей при коротком электрическом разряде в закрытом объеме, заполненном водой.

В объекте, предназначенном для раскалывания, выполняются цилиндрические шпуровые отверстия (диаметром 20-30 мм и глубиной 400-500 мм), которые заполняются водой. После введения в шпуровые отверстия специальных излучателей, в воде производится сверхмощный электрический разряд.

Разряд приводит к образованию плазменного шнура, который расширяется со скоростью свыше 1400 м/с. Ограниченные жидкостью пар и плазма образуют полость, представляющую собой кавитационный пузырь. Этот пузырь растет до максимального размера и через несколько сотен микросекунд схлопывается. Возникает кумулятивный эффект, похожий на тот, что используется в бронебойных снарядах. Возникающее на этой стадии давление, по оценкам, может достигать 450 тысяч атмосфер [5]. Ударные волны, наводимые во время расширения плазмы и схлопывания пузыря, являются причиной механических напряжений, испытываемых объектом разрушения (бетонной или каменной конструкцией).

В случае электрогидравлического дробления железобетона объект помещается в металлическую ванну заполненную водой. В воду вблизи железобетонной плиты помещается ряд излучателей. При этом электрогидравлический дезинтегратор должен работать в частотном режиме. Излучатели представляют собой высоковольтные коаксиальные кабели типа КПВГ-100. Источник питания на срезе кабеля между центральной жилой и оплеткой формирует высоковольтные импульсы. Частота следования импульсов регулируется в пределах 1-10 Гц. Каждый импульс наводит в жидкой среде ударные волны, которые являются причиной разрушения железобетона. После завершения процесса стальная арматура удаляется при помощи электромагнита [5].

Принципы построения источников питания для электрогидравлических дезинтеграторов. Как показывает практика, для успешной работы электрогидравлических дезинтеграторов достаточно использовать источники электропитания с низкой частотой повторения импульсов (до 30 Гц) [5]. Здесь можно использовать два типа импульсных источников питания: с индуктивно-емкостными преобразователями и с реактивными токоограничительными элементами. За основу можно взять источники, которые разрабатывались для питания импульсных лазеров (твердотельных или на красителях) [6]. Это рационально и с такой точки зрения, что к настоящему времени промышленностью освоено и выпускается большое количество таких импульсных источников питания [6,7,8].

В импульсных источниках питания с индуктивно-емкостными преобразователями чаще всего используется модулятор МТ-42 [9,10]. Силовая часть в этих источниках питания управляется системой управления модулятором (СУМ-10). Модулятор МТ-42 имеет следующие основные технические данные:

- пределы плавного регулирования напряжения на накопительных конденсаторах 250–1000 В;
- стабильность предразрядного значения на накопительных конденсаторах – не хуже ± 1 %;
- максимальная частота следования разрядных импульсов 20 Гц;
- средняя потребляемая мощность от сети 12 кВт.

В импульсных источниках питания с реактивными токоограничительными элементами в качестве таковых чаще всего используются емкостные типа МИЛ-29 [11]. Накопительные конденсаторы здесь заряжаются по принципу удвоения напряжения. Такая схема обладает многими преимуществами: высоким КПД, ограниченным значением напряжения холостого хода, возможность уменьшения входного напряжения в два раза, нечувствительностью к коротким замыканиям. Однако такие источники имеют существенный недостаток. В них зарядный коммутатор установлен последовательно с первичной обмоткой входного трансформатора. Это приводит к тому, что входной трансформатор может подмагничиваться. Это приводит к тому, что в его первичной обмотке возникают скачки тока, а это, в свою очередь, увеличивает потери энергии в трансформаторе и коммутаторе [11].

Существует три способа улучшения схемы. Во-первых, можно момент включения зарядного коммутатора синхронизовать с фазой входного напряжения сети. Во-вторых, если перенести зарядный коммутатор на вторичную сторону трансформатора, то можно устранить подмагничивание. К сожалению, первые два способа приводят к усложнению схемы. Поэтому лучше воспользоваться третьим способом, который предполагает совмещение функций зарядного коммутатора и выпрямителя и размещение этого объединенного устройства на вторичной стороне трансформатора. Эта схема была воплощена в импульсном модуляторе МИЛ-49 [6, 12]. Он состоит из импульсного источника питания (ИПИ-2) и упоминаемой выше системы управления модулятором (СУМ-10).

Так как второй принцип построения импульсных источников питания имеет преимущества перед первым, было решено при создании импульсного источника питания для электрогидравлического дезинтегратора руководствоваться решениями, полученными при

конструировании импульсных источников питания с реактивными токоограничительными элементами.

Результаты и их обсуждение. Разработаны структурная и принципиальные схемы частотного электрогидравлического устройства. Для управления электрической силовой частью разработанного устройства используется стандартная система управления модулятором тока СУМ-10В-1 [6, 9, 10, 11].

Источники питания устройства выполняются в стоечном варианте и имеют блочную конструкцию». Источники состоят из следующих основных блоков (рисунок 1):

- источник тока;
- выпрямитель;
- система управления модулятором (СУМ-10В-1).

Рабочий цикл источников в режиме синхронизированного заряда (СЗ или ДАТЧ. СЗ) от внутреннего или внешнего генератора можно разбить на три этапа:

- исходное состояние;
- заряд емкостного накопителя;
- разряд емкостного накопителя.

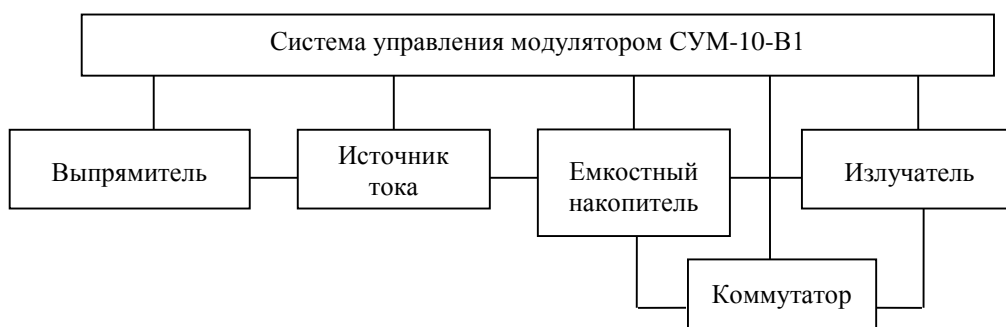


Рисунок 1. – Структурная схема частотного электрогидравлического устройства

В исходном состоянии емкостный накопитель разряжен; с СУМ-10В-1 на зарядный коммутатор источника тока поступают положительные импульсы; зарядный коммутатор закорачивает выход индуктивно-емкостного преобразователя (ИЕП) (рисунок 2).

Начало второго этапа рабочего цикла источников – заряд емкостного накопителя определяется запускающим импульсом, который вырабатывается в СУМ-10В-1. С появлением запускающего импульса зарядный коммутатор выключается и начинается заряд емкостного накопителя по линейному закону.

Величина напряжения зарядки конденсаторов зависит от положения регулятора «Напряжение накопителя» на лицевой панели СУМ-10В-1. С помощью регулятора регулируется опорное напряжение (напряжение уставки). С делителя обратной связи (ДОС), находящегося в выпрямителе (рисунок 3), сигнал, пропорциональный напряжению на емкостном накопителе, поступает в СУМ-10В-1 и сравнивается с напряжением уставки. В момент равенства этих напряжений СУМ-10В-1 начинает выдавать импульсы на зарядный коммутатор, который отключает выпрямитель от источника тока. Процесс зарядки конденсатора закончен.

На третьем этапе рабочего цикла источников на выходе источника питания появляется ряд командных импульсов для запуска внешних устройств. Происходит разряд емкостного накопителя.

Работа источников в режиме синхронизированного разряда (СР или ДАТЧ.СР) от внутреннего или внешнего генератора отличается от рассмотренной ранее тем, что на емкостном накопителе постоянно поддерживается напряжение, заданное регулятором «Напряжение накопителя»; при появлении запускающего импульса, который формируется в СУМ-10В-1, происходит разряд емкостного накопителя.

Напряжение на емкостном накопителе контролируется индикатором «Напряжение накопителя», находящимся на лицевой панели СУМ-10В-1.

Изменение тока прибора от 0 до 100 мкА соответствует изменению напряжения на емкостном накопителе от 0 до 22 кВ.

Для индикации процесса заряда емкостного накопителя служит индикаторная лампа «РУ» на лицевой панели СУМ-10В-1, которая светится, когда нет зарядки накопителя.

Напряжение сети через выключатель S2, находящийся на панели и магнитный пускатель К1 в источнике тока (рисунок 2) подается на индуктивно-емкостной преобразователь (ИЕП), который состоит из дросселя L1 и конденсаторов C1..C4 (C12).

ИЕП обеспечивает постоянство зарядного тока и соответственно линейный характер изменения напряжения на накопительных конденсаторах. Режим холостого хода недопустим, так как в этом режиме резко возрастает потребляемый ток, возрастает напряжение на выходе ИЕП и на накопительных конденсаторах. Для защиты ИЕП от режима холостого хода служит блок защиты БЗ-1Ф, отключающий ИЕП от сети, как только напряжение на его выходе превысит допустимое. Для управления процессом зарядки накопительных конденсаторов служит коммутатор зарядный АЗ (рисунок 2). В коммутаторе применен семиистор VD1, проводящее состояние которого соответствует отключению выпрямителя от ИЕП и прекращению заряда накопительных конденсаторов. Управляющие сигналы на семиистор поступают от СУМ-10В-1 и БЗ-1Ф.

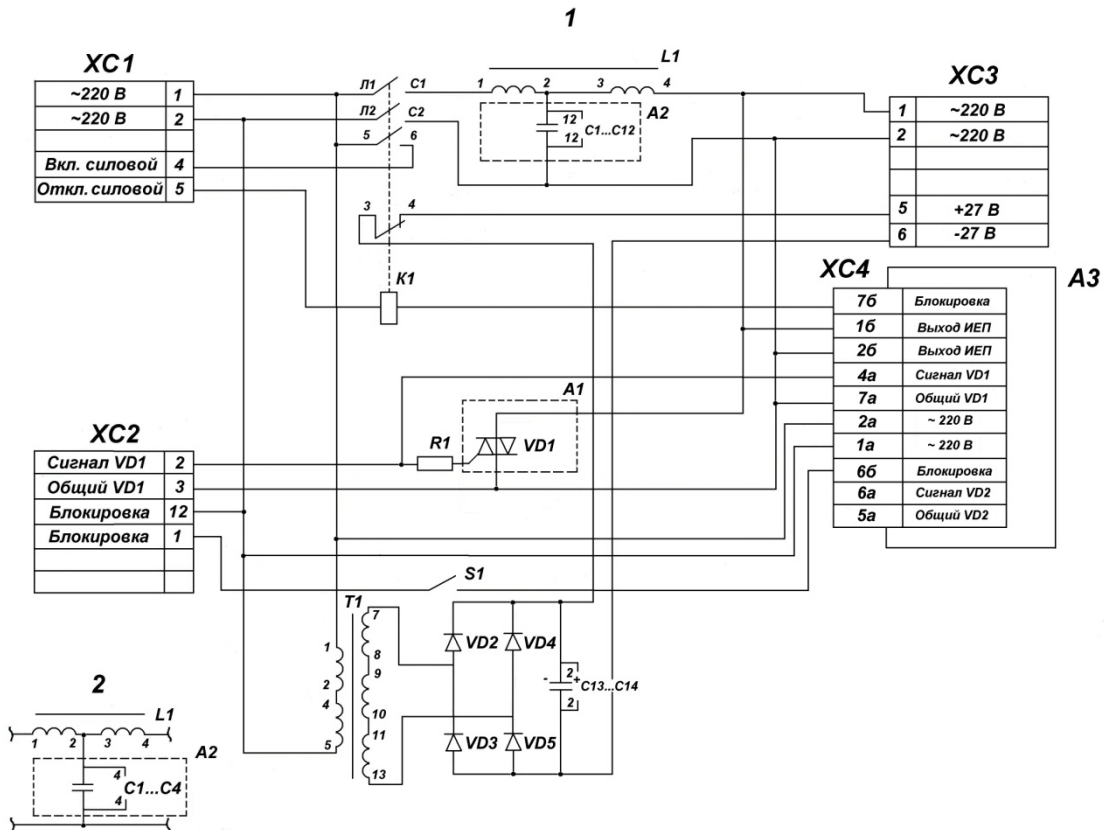


Рисунок 2. – Принципиальная электрическая схема источника тока

Блок защиты БЗ-1Ф (рисунок 4) представляет собой пороговое устройство на основе транзисторов ТЗ, Т4.

Сравниваемое переменное напряжение выпрямляется диодами Д13-Д16 и через делитель R1-R13 и диод Д12 поступает на эмиттер транзистора Т4. Опорное напряжение на базе транзистора Т4 задается стабилитроном Д10. Если сравниваемое напряжение превысит определенное значение, величина которого устанавливается резистором R11, то происходит лавинообразное отпирание транзисторов ТЗ, Т4; при этом подаются управляющие сигналы на тиристорный ключ ДУ1, стоящий в цепи питания обмотки реле Р1 и ждущий блокинг-генератор, собранный на транзисторе Т1.

Сигналы с выхода блокинг-генератора поступают на симистор зарядного коммутатора, который предварительно закорачивает выход ИЕП в источнике тока, предотвращая тем самым перенапряжение в ИЕП, которое может возникнуть в случае холостого хода и отключения от сети ИЕП. Реле Р1 обладает инерционностью и срабатывает позже блокинг-генератора. При срабатывании реле Р1 ИЕП отключается от сети.

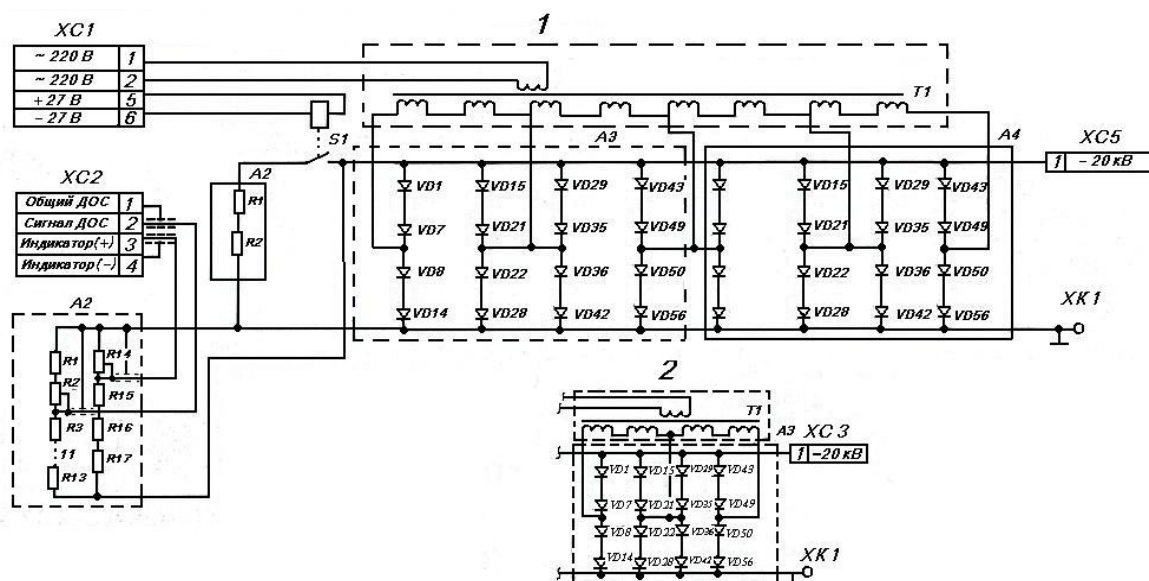


Рисунок 3. – Принципиальная электрическая схема выпрямителя

Выпрямитель (рисунок 3) предназначен для выпрямления неизменного значения переменного синусоидального тока, поступающего от ИЕП, повышения выходного напряжения и согласования с нагрузкой для получения высоких энергетических показателей.

К вторичным обмоткам трансформатора подключаются отдельные вентильные мосты, расположенные в вентильных блоках.

Для разряда накопительных конденсаторов при отключении ИЕП от сети служит выключатель S1 и блок балластных сопротивлений A2.

В блок A1 входят делитель обратной связи (ДОС) и делитель стрелочного прибора; который расположен на лицевой панели СУМ-10В-1.

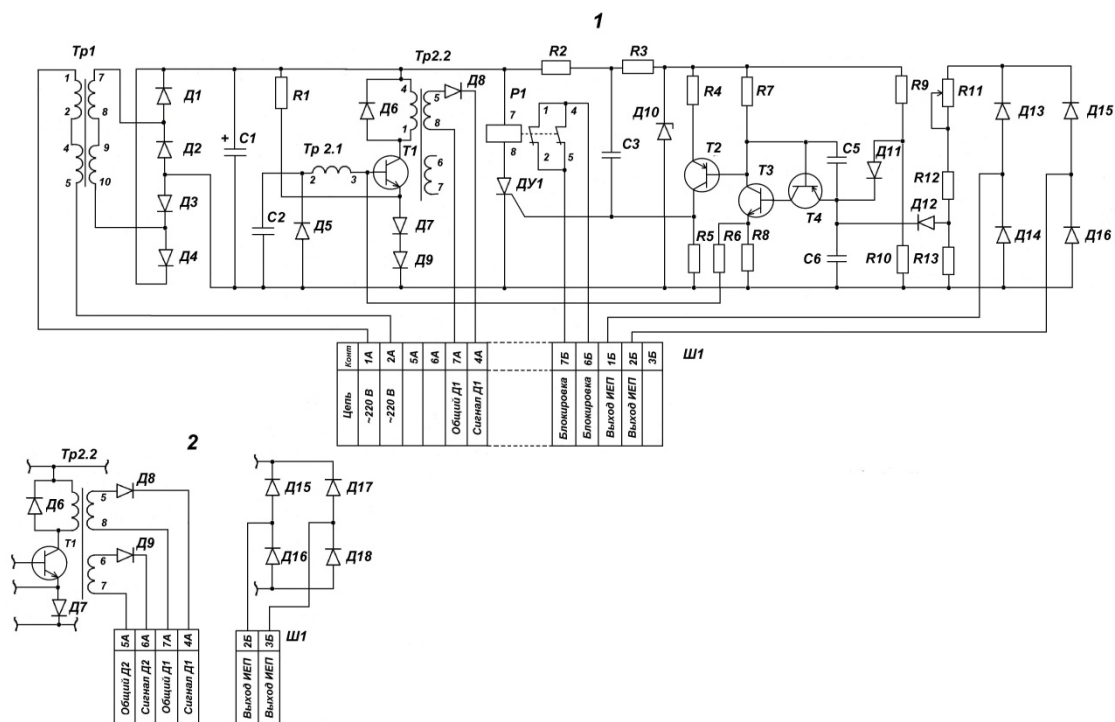


Рисунок 4. – Принципиальная электрическая блока защиты

На основе принятых решений по построению импульсного источника питания был создан лабораторный макет маломощного частотного электрогидравлического дезинтегратора и проведены его лабораторные испытания. В качестве объекта испытания был выбран фрагмент железобетонной плиты, которая была помещена в техническую воду, находящуюся в пластиковом баке.

Установка работала в частоте от 1 до 5 Гц. Энергия выделяемая при генерации электрогидравлического эффекта составляла от 100 до 200 Дж. Испытания показали правильность выбранных решений. При использовании даже такого маломощного лабораторного макета наблюдался устойчивый электрогидравлический эффект и происходила фрагментация железобетонной плиты. На рисунке 5 показаны последовательные фазы частотного электрогидравлического воздействия на фрагмент железобетонной плиты находящейся в емкости с водой. Видно начало электрогидравлического эффекта (1), максимальная фаза (2) и финальный результат, сопровождающийся выбросом воды из емкости (3).

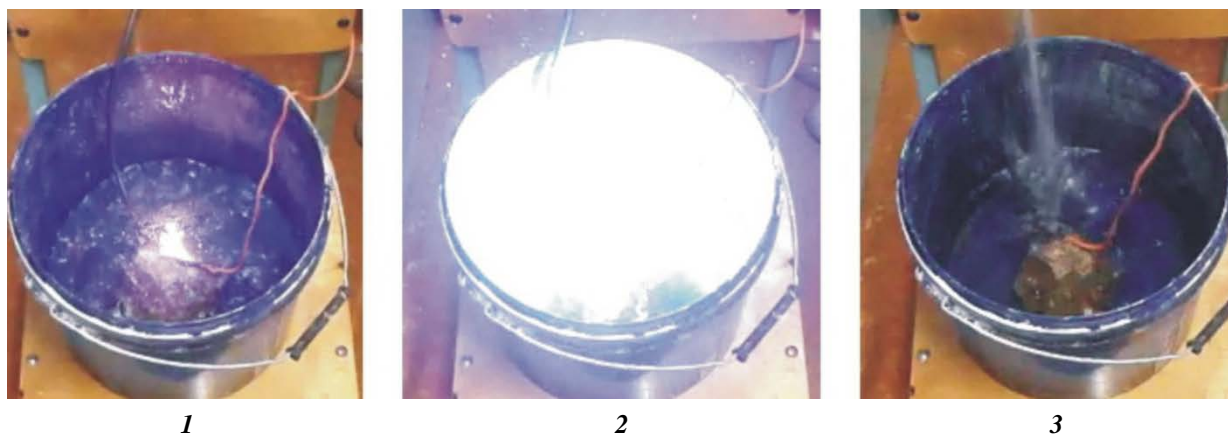


Рисунок 5. – Последовательные фазы частотного электрогидравлического воздействия на фрагмент железобетонной плиты находящейся в емкости с водой:
 1 – начало процесса, 2 – максимальная фаза, 3 – финальная фаза

На рисунке 6 показан результат кратковременного (2) и длительного (3) частотного электрогидравлического воздействия на фрагмент железобетонной плиты находящейся в емкости с водой. Рисунки показывают, что происходит полное разрушение фрагмента железобетонной плиты и разделение ее на бетонную крошку и стальную арматуру. И то и другое может быть использовано в качестве вторичного сырья.

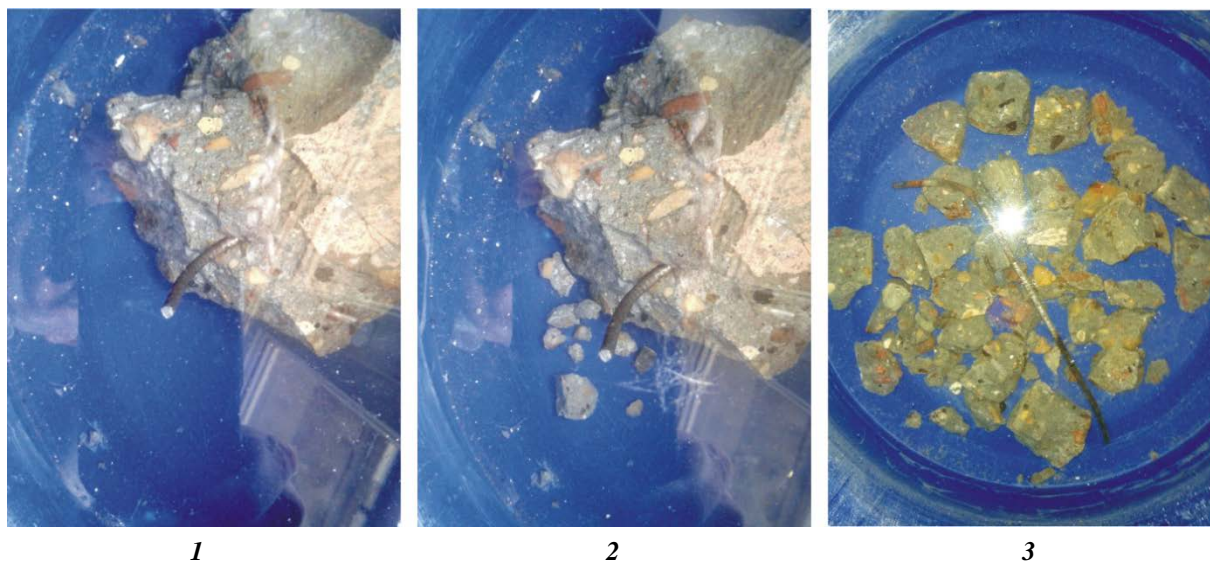


Рисунок 6. – Результат кратковременного частотного электрогидравлического воздействия на фрагмент железобетонной плиты находящейся в емкости с водой

В ходе экспериментов было установлено, что эффективность частотного электрогидравлического дробления при одном и том же энерговкладе существенно зависит от степени изоляции боковой поверхности излучателя от воды. Исследования показали, что возможны две методики дробления железобетона. В первой срез высоковольтного кабеля типа КПВГ-100 просто помещается вблизи объекта разрушения. При подаче высоковольтных импульсов между центральной жилой кабеля и оплеткой возникает плазма, в результате расширения которой возникают мощные ударные волны и разрушают железобетон. Во втором случае один из электродов излучателя закрепляется на стальной арматуре. Если она

скрыта, то разряд на арматуру может быть осуществлен через слой железобетона. В ходе разрушения железобетона арматура постепенно освобождается. Если она открыта, то разряд происходит по поверхности на обнаженную арматуру. Таким образом, разрушение железобетона может происходить комплексным способом.

Закключение. Таким образом, проведенные исследования показали правильность принципов, заложенных в конструкционных решениях частотного электрогидравлического дезинтегратора. Полученные результаты позволяют сконструировать мощное устройство, предназначенное для разрушения железобетонных объектов при проведении спасательных работ, а также решения ряда задач промышленности (очистки отливок от формовочной смеси; декольматации фильтров водозаборных скважин; очистки труб от наслоений; поиска места повреждения подземного кабеля; раскалывания гранитных негабаритов в карьерах; установки свай по технологии РИТ и др.). Наиболее перспективной областью использования частотного электрогидравлического дезинтегратора является утилизация старого железобетона. Предложенная технология обладает экологической чистотой, экономичностью, безопасна для людей и позволяет решить широкий круг задач в реальном секторе экономики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Леванович А.В., Рыбачок А.И., Филипович С.М., Тарковский В.В., Балыкин А.С., Яничкин В.В. Электрогидравлические технологии для МЧС // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2012. – Т. 7, № 1. – С. 39-44.
2. Тарковский, В.В. Электрогидравлическое устройство повышенной мощности для раскалывания объектов из бетона и горных пород при проведении спасательных работ / В.В. Тарковский, А.Е. Василевич, А.В. Леванович, Э.И. Сакович, С.М. Филипович, А.С. Балыкин, П.Н. Стахейко // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2015. – Т.10, № 1. – С. 101-107.
3. Тарковский, В.В. Мощное, компактное электрогидравлическое устройство для раскалывания объектов из бетона и горных пород при проведении спасательных работ / В.В.Тарковский, А.Е. Василевич, А.С. Балыкин, П.Н. Стахейко, А.В. Леванович, Э.И. Сакович, С.М. Филипович, А.Н. Скрипко// ВіТР Bezpieczestwo i Technika Pożarnicza. – 2015. – Vol. 40 Issue 4. – P. 91–105.
4. Бугуславский Л.З., Струк Я.П., Диордийчук В.В., Овчинникова Л.Е. Генератор импульсов тока энергией 120 кДж с четырехканальным выводом для мобильных электроимпульсных установок // Вісник НТУ «ХП». – 2013. – № 27. – С. 27-32.
5. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности / Л.А. Юткин – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. – 253 с.
6. Вакуленко В.М., Иванов Л.П. Источники питания лазеров / В.М. Вакуленко, Л.П. Иванов. – М.: Сов. Радио, 1980. – 104 с.
7. Лисовский, Л.П. Современное состояние и перспективы развития лазерной технологии / Л.П. Лисовский, А.А. Чельный // Физика и химия обработки материалов. – 1967. – № 4. – С. 34-39.
8. Блоки питания лазерных технологических установок // Электронная промышленность. – 1967. – № 1. – С. 68.
9. Моноимпульсный ОКГ с каскадными умножителями и перестраиваемым преобразователем частоты / В.М. Вакуленко и [др.] // ПТЭ. – 1971. – № 5. – С. 197-200.
10. Установка «Квант-9» для сверления отверстий / В.М. Вакуленко и [др.] // Квантовая электроника. – 1973. – № 2. – С. 99-102.
11. Вакуленко, В.М. Зарядная цепь емкостного накопителя с удвоением напряжения / В.М. Вакуленко, Л.П. Иванов // ПТЭ. – 1970. – № 5. – С. 110-112.
12. А.С. 379956 (СССР). Устройство для зарядки накопительных конденсаторов / Авт. изобр.: В.А. Белявцев, В.М. Вакуленко, Л.П. Иванов, В.П. Мызников. – Опубл. в БИ, 1973, № 20.

FREQUENCY ELECTROHYDRAULIC DISINTEGRATOR OF REINFORCED CONCRETE FOR THE MINISTRY OF EMERGENCY SITUATIONS AND THE INDUSTRY

Vikentiy Tarkovsky, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

Alexander Vasilevich, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

Alexander Balykin

The educational establishment «Yanka Kupala State University of Grodno», Grodno, Belarus

Andrey Levanovich

Siarhei Filipovich

Ernest Sakovich

The establishment «Grodno Regional Ministry for Emergency Situations Management», Grodno, Belarus

Purpose. The work is devoted to the creation of a frequency electrohydraulic disintegrator of reinforced concrete objects.

Methods. The electrohydraulic effect of Yutkin created in result of electric discharge in the liquid environment powerful shock waves which destroy reinforced concrete objects is used.

Findings. The frequency electrohydraulic disintegrator of reinforced concrete objects is developed. Weight reduction (to 150-200 kg) and increase in power is reached by use, in particular, of condensers of new generation with the increased specific power consumption (more than 1000 J/dm³), and also use for power supply of the capacitor store of powerful small-sized sources of a direct current of new generation.

Application field of research. The disintegrator is intended for use in the divisions of the Ministry of Emergency Situations at destruction of concrete objects and their utilization, and also for the solution of a number of tasks of the industry (cleanings of castings of forming mix; restoration of filters of water wells; cleanings of pipes of stratifications; search of the place of damage of an underground cable; splitting of granite; installations of piles on RIT technology and a set of other applications).

Conclusions. The conducted researches have shown correctness of the principles underlaining in constructional solutions of a frequency electrohydraulic disintegrator. The received results allow designing the powerful device intended for destruction of reinforced concrete objects when carrying out rescue efforts and also solutions of a number of tasks of the industry. The offered technology has ecological purity, profitability; it is safe for people and allows solving a wide range of tasks in real sector of economy.

Keywords: Yutkin electrohydraulic effect; disintegrator; reinforced concrete; recycling; frequency mode.

(The date of submitting: March 13, 2017)

REFERENCES

1. Levanovich A.V., Rybachok A.I., Filipovich S.M., Tarkovskiy V.V., Balykin A.S., Yanichkin V.V. Elektrogidravlicheskie tekhnologii dlya MChS [Electrohydraulic technologies for the Ministry of Emergency Situations]. *Chrezvychaynye situatsii: obrazovanie i nauka*. 2012. Vol. 7, No. 1. Pp. 39-44. (rus)
2. Tarkovskiy V.V., Vasilevich A.E., Levanovich A.V., Sakovich E.I., Filipovich S.M., Balykin A.S., Stakheyko P.N. Elektrogidravlichesкое ustroystvo povyshennoy moshchnosti dlya raskalyvaniya ob"ektov iz betona i gornykh porod pri provedenii spasatel'nykh rabot [The electrohydraulic device of the increased power for splitting of objects from concrete and rocks when carrying out rescue efforts]. *Chrezvychaynye situatsii: obrazovanie i nauka*. 2015. Vol. 10, No. 1. Pp. 101-107. (rus)
3. Tarkovskiy V.V., Vasilevich A.E., Balykin A.S., Stakheyko P.N., Levanovich A.V., Sakovich E.I., Filipovich S.M., Skripko A.N. Moshchnoe, kompaktnoe elektrogidravlichesкое ustroystvo dlya raskalyvaniya ob"ektov iz betona i gornykh porod pri provedenii spasatel'nykh rabot [The powerful, compact electrohydraulic device for splitting of objects from concrete and rocks when carrying out rescue works]. *BiTP Bezpieczestwo i Technika Pożarnicza*. 2015. Vol. 40 Issue 4. Pp. 91-105. (rus)
4. Buguslavskiy L.Z., Struk Ja.P., Diordiychuk V.V., Ovchinnikova L.E. Generator impul'sov toka energiyey 120 kDzh s chetyrekhkanal'nyim vyvodom dlya mobil'nykh elektroimpul'snykh ustanovok [The generator of current pulses with the energy of 120 kJ with a four channel output for mobile electropulse installations]. *Visnik NTU «KhPI»*. 2013. No. 27. Pp. 27-32. (rus)

5. Yutkin L.A. *Elektrohidravlicheskiy effekt i ego primeneniye v promyshlennosti* [Electrohydraulic effect and its application in industry]. Leningrфв: Mashinostroeniye, Leningr. otd-niye, 1986. 253 p. (rus)
6. Vakulenko V.M., Ivanov L.P. *Istochniki pitaniya lazerov* [Power supplies of lasers]. Moscow: Sov. Radio, 1980. 104 p. (rus)
7. Lisovskiy L.P., Chel'nyy A.A. *Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya lazernoy tekhnologii* [Current state and perspectives of development of laser technologies]. *Fizika i khimiya obrabotki materialov*. 1967. No. 4. Pp. 34-39. (rus)
8. *Bloki pitaniya lazernykh tekhnologicheskikh ustanovok* [Power supply units of laser technological machines]. *Elektronnaya promyshlennost'*. 1967. No. 1. Pp. 68. (rus)
9. Vakulenko V.M. and oth. *Monoimpul'snyy OKG s kaskadnymi umnozhitelyami i perestraivaemym preobrazovatelem chastoty* [Monopulse OKG with cascade multipliers and the reconstructed frequency converter]. *PTE*. 1971. No. 5. Pp. 197-200. (rus)
10. Vakulenko V.M. and oth. *Ustanovka «Kvant-9» dlya sverleniya otverstiy* [The installation «Kvant-9» for drilling holes]. *Kvantovaya elektronika*. 1973. No. 2. Pp. 99–102. (rus)
11. Vakulenko V.M. *Zaryadnaya tsep' emkostnogo nakopiteli s udvoeniem napryazheniya* [A charging chain of capacitor storage device with doubling of tension]. *PTE*. 1970. No. 5. Pp. 110-112. (rus)
12. Belyavtsev V.A., Vakulenko V.M., Ivanov L.P., Myznikov V.P. *A.S. 379956 (SSSR). Ustroystvo dlya zaryadki nakopitel'nykh kondensatorov* [A.S. 379956 (USSR). The device for charging accumulative kondensatorov]. publ. in BI, 1973, No. 20. (rus)

УДК 630*421:614.8

МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НИХ ВЕТРОВЫХ НАГРУЗОК**Рибко Д.В., Камлюк А.Н., Борисевич С.А.**

Проведен обзор двух механико-эмпирических моделей HWIND и GALES, используемых в настоящее время для определения ветровой нагрузки на деревья и скорости ветра, при которой произойдет выворот деревьев или повреждение стволов. В модели GALES вычисляется аэродинамическая шероховатость и смещение нулевой плоскости лесных насаждений. Обе величины позволяют подсчитать действующий на дерево изгибающий момент для любой скорости ветра и предсказать скорость ветра, при которой произойдет выворот дерева или повреждение его ствола. В модели HWIND момент, возникающий от ветровой нагрузки на крону дерева, вычисляется из предположения, что профиль скорости ветра имеет логарифмический характер. Прочность на изгиб ствола дерева и момент сопротивления корневой системы опрокидыванию дерева находятся на основании эксперимента, что позволяет рассчитать скорость ветра необходимую для выворота дерева и разрушения ствола. Проведено сравнение двух моделей и указано направление их усовершенствования.

Ключевые слова: ветровая нагрузка; выворот деревьев; повреждение ствола; критическая скорость ветра; опасное напряжение; изгибающий момент.

(Поступила в редакцию 14 июля 2017 г.)

Введение. Ветер – наиболее характерное природное явление по повторяемости в зависимости от времени года. Часто причиной повреждения линий электропередач, имущества людей, зданий и сооружений является упавшее от воздействия сильного ветра дерево. Понимание процесса взаимодействия ветра с лесными массивами, устойчивости лесных насаждений к повреждению сильным ветром, исследование потенциала для превентивных мер, направленных на защиту насаждений, имеют важное значение в обеспечении безопасности жизни и здоровья людей.

Ветер – один из главных разрушающих природных факторов для европейских лесов и на его долю приходится более чем 50 % всех повреждений лесов по объему [1, 2]. Вызывает беспокойство тот факт, что уровень повреждения лесов, вызванный этим фактором, увеличивается на протяжении последнего столетия [1] и, очевидно, будет увеличиваться в дальнейшем [2, 3]. Отчасти это увеличение связано с изменением климата, однако во многом с существующей практикой ведения лесного хозяйства [4, 5, 6].

В настоящее время разработано несколько методов для оценки повреждения насаждений ветром. Один из методов заключается в исследовании эмпирической модели полученной на основании исследования последствий сильного ветра. Эта модель требует большого количества точных данных с места, где произошло повреждение насаждений, и может использоваться для прогнозирования последствий только для того места, где эти данные получены. Примером является модель «Lothar», которая была создана на основании изучения около 1300 мест повреждения леса на юго-западе Германии в 1999 году [7].

Другой подход заключается в использовании гибридных механико-эмпирических моделей, таких как HWIND [8], FOREOLE [9], и GALES [10], в которые закладывается как можно больше инженерных расчетов для определения ветровой нагрузки на деревья и скорости ветра, при которой произойдет выворот деревьев или повреждение стволов. Модели называются гибридными, так как некоторые их элементы не могут быть вычислены только на основании механического подхода, но также требуют эмпирических зависимостей. Например, при вычислении сопротивления деревьев вывороту используется эмпирическая зависимость между размером дерева, типом почвы и глубиной залегания корней [11]. Эти гибридные механико-эмпирические модели используют характеристики древостоя и места произрастания для нахождения критической скорости ветра, вызывающей повреждение деревьев. Ярким примером является модель ForestGALES [12], которая использует GALES для нахождения критической скорости ветра и использует статистические данные о скорости ветра в заданной местности для подсчета вероятности повреждения лесных насаждений, основываясь на характеристиках ландшафта и вида насаждения. Эта модель использует разделение общего импульса, передаваемого ветром на отдельные деревья в лесу [13], и

коэффициент порыва ветра для преобразования величин ветровой нагрузки от среднего значения к максимальной. Модель ForestGALES рекомендована для использования в Великобритании в качестве системы поддержки принятия решений при оценке риска повреждений от ураганов в лесах коммерческого значения [14]. Она также была принята для использования в Бразилии, Канаде, Дании, Франции, Японии и Новой Зеландии [15-20]. На основании этой модели создано специальное программное обеспечение, рассчитывающее критическую скорость ветра.

Рассмотрим наиболее часто используемые для расчетов модели HWIND и GALES. Базовая структура методов очень похожа и представлена на схеме 1. Главное отличие заключается в том, что модель GALES создана для расчета критической скорости ветра в глубине насаждений, а модель HWIND для деревьев, произрастающих на краю насаждений или одиночно стоящих.

Модель GALES. В данной модели ветровая нагрузка на деревья рассчитывается с использованием зависимости между силой, с которой воздух действует на поверхность, и аэродинамической шероховатостью поверхности. Скорость ветра v над насаждением задается логарифмическим профилем скоростей, и записывается следующим образом:

$$v(z) = \frac{v_*}{k} \ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right), \quad (1)$$

где z – высота над поверхностью земли (м), v_* – скорость трения (м/с); k – константа Кармана, $k \approx 0,4$; d – смещение нулевой плоскости (м); z_0 – параметр аэродинамической шероховатости (м).

Скорость трения определяется из выражения:

$$\tau = -\rho v_*^2, \quad (2)$$

где τ – сдвиговые напряжения, действующие на поверхность (Н/м²); ρ – плотность воздуха (кг/м³).

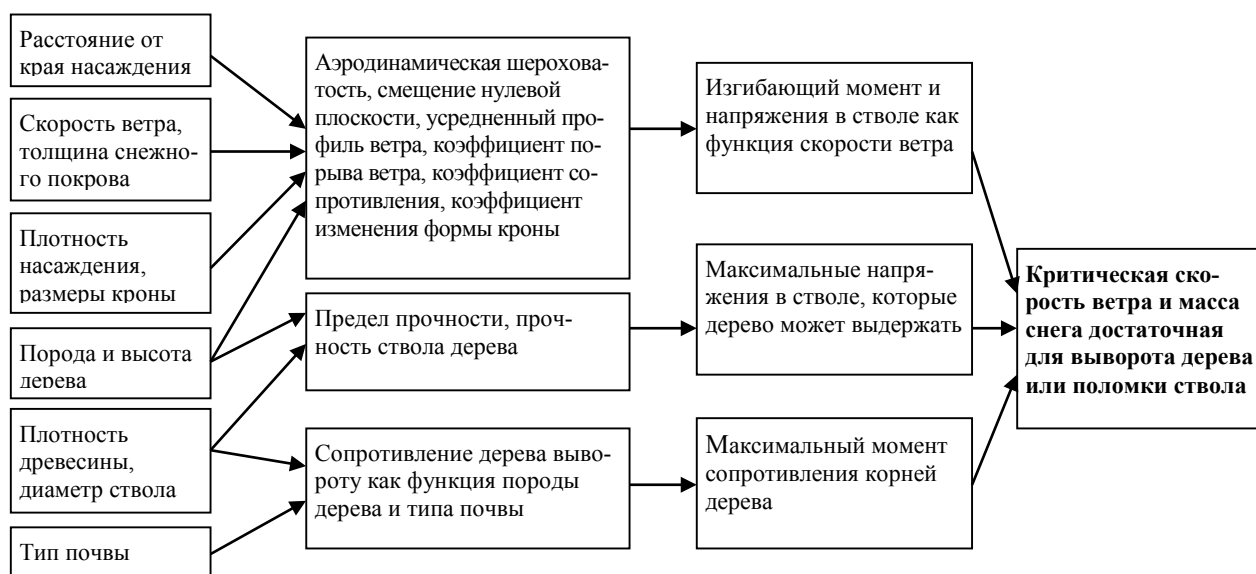


Рисунок 1. – Схема моделей GALES и HWIND

Сдвиговые напряжения представляют собой силу трения, действующую на единицу площади, вызванную действием ветра. Если обозначить через D среднее расстояние между деревьями, то тогда τD^2 будет средней силой, действующей на каждое дерево. Было установлено, что эту силу следует прикладывать на некотором расстоянии d от основания, которое называют смещение нулевой плоскости. В этом случае, среднее значение изгибающего момента в сечениях ствола дерева, можно записать в следующем виде

$$M_{\text{ср}}^{\text{изг}}(z) = (d - z)\tau D^2. \quad (3)$$

Чтобы перейти от среднего значения изгибающего момента к максимальному, необходимо его значение умножить на коэффициент G , учитывающий порывы ветра.

Учитывая (1) и (2), из выражения (3) получим общую формулу для максимального изгибающего момента в любом сечении ствола дерева как функцию скорости ветра над лесом v_h

$$M_{\text{макс}}^{\text{изг}} = f_{cw} f_{\text{edge}} (d - z) \rho G \left(\frac{D v_h k}{\ln \left(\frac{h - d}{z_0} \right)} \right), \quad (4)$$

где h – высота дерева (м); f_{cw} – коэффициент, учитывающий дополнительный момент, возникающий в случае неравномерности кроны; f_{edge} – коэффициент, учитывающий расположение дерева по отношению к краю насаждения.

Предполагая, что средняя высота деревьев и расстояние между деревьями известна, для вычисления максимального изгибающего момента у основания дерева, как функции скорости ветра над лесом, нам необходимо знать значения коэффициента учитывающего порывы ветра – G , значение параметра аэродинамической шероховатости z_0 , смещение нулевой плоскости d и коэффициенты f_{cw} и f_{edge} .

Значения коэффициента G получены эмпирически на основании изучения изгибающего момента на моделях деревьев в аэродинамической трубе [21]. Коэффициент получен для ситхинской ели при различных значениях D , как функция расстояния от края леса до модели.

Значение параметра аэродинамической шероховатости z_0 и смещение нулевой плоскости d находятся по методике, изложенной в работе [22], в которой деревья представляются в виде цилиндров с высотой равной высоте дерева и шириной равной фронтальной площади кроны дерева.

Расчет на прочность ствола дерева основан на предположении что если напряжения на высоте $z = 1,3$ м (на уровне груди) превышают предел прочности древесины, то произойдет разрушение ствола. Критический изгибающий момент рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{крит}} = \frac{\pi}{32} f_{\text{knot}} \cdot MOR \cdot d_{bh}^3, \quad (5)$$

где MOR – предел прочности древесины (Па); d_{bh} – диаметр ствола на уровне груди, $z = 1,3$ м (м).

Когда изгибающий момент, рассчитанный на основании выражения (3) (при $z = 1,3$ м), и выражения (5) совпадают, то скорость ветра над насаждением достаточна для повреждения ствола дерева. Из этого условия получаем зависимость для критической скорости ветра:

$$v(h)_{\text{кр}}^{\text{излома}} = \frac{1}{kD} \left(\frac{\pi \cdot MOR \cdot d_{bh}^3}{32 \rho G (d - 1,3)} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{f_{\text{knot}}}{f_{cw}} \right)^{\frac{1}{2}} \ln \left(\frac{h - d}{z_0} \right). \quad (6)$$

Сопротивление деревьев вывороту рассчитывается на основе экспериментов по выворачиванию деревьев с помощью лебедки, проведенных на более чем 2000 деревьев, выполненных Лесной комиссией Великобритании [23]. Для некоторых хвойных пород на различных типах почвы к деревьям прикладывалась сила с помощью лебедки, закрепленной к середине ствола. Во время эксперимента замерялась сила, необходимая для выкорчевывания дерева, и подробно исследовались физические характеристики дерева. Для каждой породы были получены зависимости между максимальным моментом у основания ствола и различными физическими характеристиками дерева, такими как глубина залегания корней, вес корней, вес ствола и их комбинациями. Наилучшую аппроксимацию данных получили в виде линейной зависимости между максимальным моментом у основания ствола и весом дерева – SW (кг). Т. е. для всех комбинаций деревьев и типов почв, для которых были получены данные, момент необходимый для выворота деревьев можно определить по формуле:

$$M_{\text{крит}}^{\text{выворот}} = C_{\text{рег}} \cdot SW, \quad (7)$$

где $C_{\text{рег}}$ (Н·м/кг) – константа, полученная эмпирическим путем.

Для тех пород деревьев и типов почв, для которых отсутствуют данные, расчеты проводятся на основании характеристик деревьев аналогичных по своим свойствам.

Когда изгибающий момент, рассчитанный на основании выражения (3) (при $z = 0$), и выражения (7) совпадают, то выражение для скорости ветра над уровнем леса для выворота деревьев будет иметь вид:

$$v(h)_{\text{кр}}^{\text{вывор}} = \frac{1}{kD} \left(\frac{C_{reg} \cdot SW}{\rho G d} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{f_{cw}} \right)^{\frac{1}{2}} \ln \left(\frac{h-d}{z_0} \right). \quad (8)$$

Уравнения (6) и (8) можно решить только в случае если фронтальная площадь кроны дерева не является функцией скорости ветра. Очевидно, что при увеличении скорости ветра, фронтальная площадь кроны уменьшается, а, следовательно, изменяются значения d и z_0 . Поэтому уравнения решаются итеративным методом. Задают начальное значение скорости ветра и по формуле (4) находят максимальный изгибающий момент в соответствующем сечении ствола дерева (у основания ствола, для выворота деревьев, и на высоте $z = 1,3$ м, для разрушения ствола). Если полученное значение отличается от изгибающих моментов, необходимых для выворота деревьев, или разрушения ствола, рассчитанных по формулам (5) и (7), скорость ветра увеличивают, если скорость ветра слишком низкая, или уменьшают, если скорость слишком высокая. Процедуру выполняют до тех пор, пока величины изгибающих моментов не совпадут с заданной точностью.

Модель HWIND. Подробное описание модели дано в работе [8]. Силы, действующие на дерево, разделяются на горизонтальные, вызванные ветром и вертикальные, обусловленные силами тяжести, включающие вес ствола дерева, вес кроны, вес снега. Среднюю ветровую нагрузку на каждой высоте в насаждении вычисляют, используя предсказанный профиль скоростей. Нагрузки, обусловленные силами тяжести, вычисляют, используя вертикальное распределение масс ствола и кроны дерева.

Суммарная средняя нагрузка, вызванная ветром, представляет собой сумму сил, действующих на каждую точку ствола и кроны, определяется:

$$F_1(z) = \frac{1}{2} C_d v(z)^2 A(z), \quad (9)$$

где $v(z)$ – средняя скорость на высоте z (м/с); A – фронтальная площадь ствола и кроны (м^2), C_d – коэффициент сопротивления.

Профиль скоростей предполагается логарифмическим и рассчитывается по формуле (1) в предположении $d = 0$. Фронтальная площадь кроны рассчитывается из предположения, что она имеет форму какой-либо простой фигуры (например, треугольник). Изменение площади кроны в результате действия ветра учитывается коэффициентом.

Дополнительный изгиб, вызванный силами тяжести, получают путем деления ствола и кроны на сегменты и суммируя силы, действующие на каждый сегмент

$$F_2(z) = m(z)g, \quad (10)$$

где $m(z)$ – масса ствола и кроны (кг); g – ускорение свободного падения (м/с^2).

Вклад сил, действующих на каждый сегмент, в максимальный момент у основания ствола определяется по формуле:

$$M_{\text{макс}}^{\text{изгба}}(z) = G(F_1(z)z + F_2x(z)), \quad (11)$$

где z – вертикальная координата, $x(z)$ – горизонтальное смещение центров масс сегментов от первоначального положения.

Коэффициент, учитывающий порывы ветра G , определяется аналогично, как и в модели GALEs.

Общий максимальный момент у основания ствола рассчитывается как сумма вкладов всех сегментов:

$$M_{\text{макс}}^{\text{изг}} = \sum_{z=0}^h M_{\text{макс}}^{\text{изг}}(z). \quad (12)$$

Формулы для изгибающего момента записаны для дерева, произрастающего у края насаждения. Для того чтобы перейти к моменту внутри насаждения, вводят дополнительный коэффициент f_{edge} , как и в модели GALEs.

Зная максимальный изгибающий момент (12) можно найти напряжения у основания ствола дерева. Дерево разрушится, если напряжения будут превышать предельно допустимые для древесины.

Выворот дерева произойдет, если максимальный момент у основания превысит момент сопротивления, обеспеченный корнями и почвой и рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{макс}}^{\text{вывор}} = \frac{gR_{\text{mass}}R_{\text{depth}}}{f_{RW}}, \quad (13)$$

где R_{mass} – масса корней и земли между ними (кг); R_{depth} – средняя глубина залегания корней (м); f_{RW} – безразмерный коэффициент, который находится эмпирическим путем.

Расчеты начинают со скорости ветра 1 м/с, находят максимальный изгибающий момент в нужном сечении ствола дерева (у основания ствола, для выворота деревьев, и на высоте $z = 1,3$ м, для разрушения ствола) из уравнения (12). Если момент недостаточен для разрушения или выворота дерева, то скорость ветра увеличивают на 0,1 м/с и расчет повторяют. Скорость увеличивают до тех пор, пока момент не станет достаточным для разрушения или выворота дерева.

Заключение. Как видно из рассмотренных выше уравнений, большинство коэффициентов, входящих в них, зависят от региона, для которого определяется критическая скорость ветра. Т. е. их использование допускается при наличии исследований в той местности, для которой необходимо ее определить. Использование данных моделей для предсказания последствий сильного ветра в Беларуси возможно только после основательных исследований многих региональных особенностей лесных насаждений.

Обзор современной литературы показал, что основное внимание исследователей направлено на исследование устойчивости хвойных насаждений, для которых найдены все необходимые для моделей коэффициенты. Для лиственных пород исследования практически отсутствуют.

Ряд важных вопросов остается нерешенным. Например, использовать модель HWIND невозможно, не зная коэффициентов сопротивления деревьев при обтекании их воздухом. Несмотря на то, что ветровая нагрузка была измерена для небольших деревьев (1,5–2 м) или их частей в аэродинамической трубе [24-26], деревья реальных размеров до сих пор не исследованы ввиду очевидных экспериментальных трудностей. В работе [27] предложен метод для определения коэффициентов сопротивления деревьев различных пород и размеров, основанный на сопоставлении результатов эксперимента и численного моделирования падения дерева и найден коэффициент сопротивления кроны сосны. Данные для других пород отсутствуют. Многие экспериментальные величины получены для одной породы дерева, но используются для всех остальных. В настоящее время проводятся исследования по уточнению моделей и сопоставлению результатов полученных на основании разных моделей [28-32], но данные, которые в этих работах получены, относятся к конкретной породе деревьев или конкретному региону и не могут использоваться для оценки риска на территории Республики Беларусь.

На основании вышесказанного, следует заключить, что существует необходимость адаптировать и усовершенствовать рассмотренные модели для дальнейшего их использования для оценки критической скорости ветра для насаждений на территории Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Schelhaas, M.-J. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries / M.J Schelhaas G.-J. Nabuurs, A. Schuck // *Global Change Biology* – 2003. – Vol. 9, Iss. 11. – Pp. 1620-1633.
2. Gardiner, B. Destructive Storms in European Forests: Past and Forthcoming Impacts. Final report to European Commission / B. Gardiner, K. Blennow, J.-M. Carnus, P. Fleischer, F. Ingemarson, G. Landmann, M. Lindner, M. Marzano, B. Nicoll, C. Orazio, J.-L. Peyron, M.-P. Reviron, M.-J. Schelhaas, A. Schuck, M. Spielmann, T. Usbeck // *DG Environment* – 2010. – Pp. 12-30.
3. Schelhaas, M.-J. Assessing risk and adaptation options to fires and windstorms in European forestry / M.-J. Schelhaas, G. Hengeveld, M. Moriondo. G.J. Reinds, Z.W. Kundzewicz, H. terMaat, M. Bindi // *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. 15. – Pp. 681-701.
4. Albrecht, A. How does silviculture affect storm damage in forests of south-western Germany? Results from empirical modeling based on long-term observations / A. Albrecht, M. Hanewinkel, J. Bauhus, U. Kohnle // *Eur J Forest Res* – 2012. – Vol. 131. – Pp. 229-247.

5. Gardiner, B. The stability of different silvicultural systems: a wind-tunnel investigation / B. Gardiner, B. Marshall, A. Achim, R. Belcher, C. Wood // *Forestry* – 2005. – Vol. 78, No. 5. – Pp. 471-484.
6. Valinger, E. Factors affecting the probability of windthrow at stand level as a result of Gudrun winter storm in southern Sweden / E. Valinger, J. Fridman // *Forest Ecology and Management* – 2010. – Vol. 262. – Pp. 398-403.
7. Schmidt, M. An inventory-based approach for modeling single-tree storm damage – experiences with the winter storm of 1999 in southwestern Germany / M. Schmidt, M. Hanewinkel, G. Kändler, E. Kublin, U. Kohnle // *Canadian Journal of Forest Research* – 2010. – Vol. 40(8). – Pp. 1636-1652.
8. Peltola, H. A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch / H. Peltola, S. Kellomäki, H. Väisänen, and V.-P. Ikonen // *Canadian Journal of Forest Research*. – 1999. – Vol. 29. – Pp. 647-661.
9. Ancelin, Ph. Development of an individual tree-based mechanical model to predict wind damage within forest stands / Ph. Ancelin, B. Courbaud, Th. Fourcaud // *Forest Ecology and Management*. – 2004. – Vol. 203. – Pp. 101-121.
10. Gardiner, B. Comparison of two models for predicting the critical wind speeds required to damage coniferous trees / B. Gardiner, H. Peltola, S. Kellomaki // *Ecological Modelling*. – 2000. – Vol. 129. – Pp. 1-23.
11. Nicoll, B. Anchorage of coniferous trees in relation to species, soil type, and rooting depth / B. Nicoll, B. Gardiner, B. Rayner, A. Peace // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2006. – Vol. 36. – Pp. 1871-1883.
12. Gardiner, B.A. ForestGALES 2 – a PC-based Wind Risk Model for British Forests. User Guide. Forestry Commission / B.A. Gardiner, J. Suarez, A. Achim, S.E. Hale, B.C. Nicoll // Edinburgh. – 2004.
13. Raupach, M.R. Simplified expressions for vegetation roughness length and zero-plane displacement as functions of canopy height and area index. / M.R. Raupach // *Boundary Layer Meteorology*. – 1994. – Vol. 71. – Pp. 211-216.
14. Forestry Commission, Operational Guidance Booklet No. 9 «Thinning» (Internal Guidance). / Forestry Commission // Edinburgh – 2010.
15. Byrne, K.E. Critical Turning Moments and Drag Equations for British Columbia Conifers. / K.E. Byrne // MSc thesis. University of British Columbia, Vancouver, Canada. – 2005.
16. Cucchi, V. Modelling the windthrow risk for simulated forest stands of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). / V. Cucchi, C. Meredieu, A. Stokes, F. de Coligny, J. Suarez, B. Gardiner // *Forest Ecology and Management* – 2005. – Vol. 213. – Pp. 184-196.
17. Kamimura, K. Developing a decision support approach to reduce wind damage risk e a case study on sugi [*Cryptomeria japonica* (L.f.) D. Don] forests in Japan. / K. Kamimura, B. Gardiner, A. Kato, T. Hiroshima, N. Shiraiishi // *Forestry*. – 2008. – Vol. 81. – Pp. 429-446.
18. Mikklesen, S.K. «Stormfald» : a Further Developed Version of ForestGALES Tested under Danish Conditions. / S.K. Mikklesen // MSc Thesis. University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark. – 2007.
19. Moore, J.R. Assessing the risk of wind damage to plantation forests in New Zealand / J.R. Moore, A.R. Somerville // *N. Z. For.* – 1998. – Vol. 31. – Pp. 25-29.
20. Ruel, J.-C. Estimating windthrow risk in balsam fir stands with the ForestGALES model. / J.-C. Ruel, C.P. Quine, S. Meunier, J. Suarez // *For. Chron.* – 2000. – Vol. 76. – P. 329-337.
21. Gardiner, B.A. Field and wind tunnel assessments of the implications of respacing on tree stability / B.A. Gardiner, G.R. Stacey, R.E. Belcher, C.J. Wood // *Forestry*. – 1997. – Vol. 70 (3). – P. 233-252.
22. Raupach, M.R. Drag and drag partition on rough surfaces / M.R. Raupach // *Boundary Layer Meteorol.* – 1992. – Vol. 60. – Pp. 375-395.
23. Ray, D. The effect of soil water-table depth on root-plate development and stability of Sitka spruce / D. Ray, B.C. Nicoll // *Forestry*. – 1998. – Vol. 71 (2). – P. 169-182.
24. Орлов, С.А. Исследование коэффициента сопротивления элементов кроны кедровой сосны / С.А. Орлов, Л.А. Шрагер // *Вестник Томского государственного университета, Математика и механика*. – 2011. – № 2 (14). – С 103-110.
25. Vollsinger, S. Wind tunnel measurements of crown streamlining and drag relationships for several hardwood species. / S. Vollsinger, S.J. Mitchell, K.E. Byrne, M.D. Novak, M. Rudnicki // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2005. – Vol. 35. – P. 1238-1249.
26. Mayhead, G.J. Some drag coefficients for British forest trees derived from wind tunnel studies / G.J. Mayhead // *Agricultural Meteorology*. – 1973. – Vol. 12. – Pp. 123-130.
27. Борисевич, С.А. Определение сопротивления движению кроны дерева / С.А. Борисевич, А.Н. Камлюк, Д.В. Ребко // *Труды БГТУ, Сер. VI физ.-мат. науки и информ.* – 2013. – № 6 (162) – С. 34-36.

28. Halea, S.E. Comparison and validation of three versions of a forest wind risk model / S.E. Halea, B. Gardinera, A. Peacea, B. Nicolla, Ph. Taylora, St. Pizzirania // *Environmental Modelling & Software*. – June 2015. – Vol. 68. – Pp. 27-41.
29. Dupont, S. A simple wind-tree interaction model predicting the probability of wind damage at stand level / S. Dupont // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 15 August 2016. – Vol. 224. – Pp. 49-63.
30. Locatelli, T. Variance-based sensitivity analysis of a wind risk model – Model behaviour and lessons for forest modelling / T. Locatelli, St. Tarantola, B. Gardiner, G. Patenaude // *Environmental Modelling & Software*. – January 2017. – Vol. 87. – Pp. 84-109.
31. Dupont, S. Wind damage propagation in forests / S. Dupont, D. Pivatoa, Y. Bruneta // *Agricultural and Forest Meteorology*. – 15 December, 2015. – Vol. 214-215. – Pp. 243-251.
32. Locatelli, T. Modelling wind risk to *Eucalyptus globulus* (Labill.) stands / T. Locatelli, B. Gardiner, St. Tarantola, B. Nicoll, J.-M. Bonnefond, D. Garrigou, K. Kamimura, G. Patenaude // *Forest Ecology and Management*. – 1 April, 2016. – Vol. 365. – Pp. 159-173.

MODELS OF BEHAVIOR OF FORESTS UNDER INFLUENCE OF WIND LOADS

Dmitry Rebko

Andrei Kamluk, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

State educational establishment «University of civil protection
of the Ministry for emergency situations of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Sergei Borisevich, Candidate of Technical Sciences

Belarusian State Technological University

Purpose. To analyse two independently mathematical models (GALES and HWIND) for predicting the critical wind speed and turning moment needed to uproot and break the tree stems.

Methods. The GALES model calculates the aerodynamic roughness and zero-plane displacement of a forest stand. The aerodynamic roughness provides a measure of the stress (force: unit area) imposed on the canopy as a function of wind speed and the zero-plane displacement provides a measure of the average height on the tree at which the wind acts. This allows calculation of the bending moment imposed on the tree for any wind speed, as a result is the model to make predictions of the wind speed at which the tree will be overturned and broken. In the HWIND model the turning moment arising from the wind drag on the crown is calculated assuming a logarithmic upwind profile. Based on the sum of wind load and the contribution from the overhanging weight of the stem and branches the total bending moment is calculated. The breaking strength of the stem and the support given by the root-soil plate are calculated from previous experiments.

Findings. This allows calculating the wind speed required to break and overturn the tree.

Application field of research. Forecasting the consequences of emergency situations connected with strong winds.

Conclusion. Models comparisons showed that it is necessary to improve existing models and to develop new ones which will be more accurate.

Key words: wind load; uprooting; stem breakage; critical wind speed; breaking stress; turning moment.

(The date of submitting: July 14, 2017)

REFERENCES

1. Schelhaas M.-J., Nabuurs G.-J., Schuck A. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, 2003. Vol. 9, Iss. 11. Pp. 1620-1633.
2. Gardiner B., Blennow K., Carnus J.-M., Fleischer P., Ingemarson F., Landmann G., Lindner M., Marzano M., Nicoll B., Orazio C., Peyron J.-L., Reviron M.-P., Schelhaas M.-J., Schuck A., Spielmann M., Usbeck T. *Destructive Storms in European Forests: Past and Forthcoming Impacts. Final report to European Commission.* DG Environment, 2010. Pp. 12-30.
3. Schelhaas M.-J., Hengeveld G., Moriondo M., Reinds G.J., Kundzewicz Z.W., terMaat H., Bindi M. Assessing risk and adaptation options to fires and windstorms in European forestry. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. 15. Pp. 681-701.
4. Albrecht A., Hanewinkel M., Bauhus J., Kohnle U. How does silviculture affect storm damage in forests of south-western Germany? Results from empirical modeling based on long-term observations. *Eur J Forest Res*, 2012. Vol. 131. Pp. 229-247.
5. Gardiner B., Marshall B., Achim A., Belcher R., Wood C. The stability of different silvicultural systems: a wind-tunnel investigation. *Forestry*, 2005. Vol. 78, No. 5. Pp. 471-484.
6. Valinger E., Fridman J. Factors affecting the probability of windthrow at stand level as a result of Gudrun winter storm in southern Sweden. *Forest Ecology and Management*, 2010. Vol. 262. Pp. 398-403.
7. Schmidt M., Hanewinkel M., Kändler G., Kublin E., Kohnle U. An inventory-based approach for modeling single-tree storm damage – experiences with the winter storm of 1999 in southwestern Germany. *Canadian Journal of Forest Research*, 2010. Vol. 40 (8). Pp. 1636-1652.
8. Peltola H., Kellomäki S., Väisänen H., Ikonen V.-P. A mechanistic model for assessing the risk of wind and snow damage to single trees and stands of Scots pine, Norway spruce, and birch. *Canadian Journal of Forest Research*, 1999. Vol. 29. Pp. 647-661.
9. Ancelin Ph., Courbaud B., Fourcaud Th. Development of an individual tree-based mechanical model to predict wind damage within forest stands. *Forest Ecology and Management*, 2004. Vol. 203. Pp. 101-121.

10. Gardiner B., Peltola H., Kellomaki S. Comparison of two models for predicting the critical wind speeds required to damage coniferous trees. *Ecological Modelling*, 2000. Vol. 129. Pp. 1-23.
11. Nicoll B., Gardiner B., Rayner B., Peace A. Anchorage of coniferous trees in relation to species, soil type, and rooting depth. *Canadian Journal of Forest Research*, 2006. Vol. 36. Pp. 1871-1883.
12. Gardiner B.A., Suarez J., Achim A., Hale S.E., Nicoll B.C. *ForestGALES 2 – a PC-based Wind Risk Model for British Forests. User Guide*. Forestry Commission. Edinburgh, 2004.
13. Raupach M.R. Simplified expressions for vegetation roughness length and zero-plane displacement as functions of canopy height and area index. *Boundary Layer Meteorology*, 1994. Vol. 71. Pp. 211-216.
14. *Forestry Commission, Operational Guidance Booklet No. 9 «Thinning» (Internal Guidance)*. Forestry Commission. Edinburgh, 2010.
15. Byrne K.E. *Critical Turning Moments and Drag Equations for British Columbia Conifers*. MSc thesis. University of British Columbia. Vancouver, Canada, 2005.
16. Cucchi V., Meredieu C., Stokes A., de Coligny F., Suarez J., Gardiner B. Modelling the windthrow risk for simulated forest stands of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Forest Ecology and Management*, 2005. Vol. 213. Pp. 184-196.
17. Kamimura K., Gardiner B., Kato A., Hiroshima T., Shiraishi N. Developing a decision support approach to reduce wind damage risk e a case study on sugi [*Cryptomeria japonica* (L.f.) D.Don] forests in Japan. *Forestry*, 2008. Vol. 81. Pp. 429-446.
18. Mikklesen S.K. «Stormfald» : a Further Developed Version of ForestGALES Tested under Danish Conditions. MSc Thesis. University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark. 2007.
19. Moore J.R., Somerville A.R. Assessing the risk of wind damage to plantation forests in New Zealand. *N. Z. For.*, 1998. Vol. 31. Pp. 25-29.
20. Ruel J.-C., Quine C.P., Meunier S., Suarez J. Estimating windthrow risk in balsam fir stands with the ForestGALES model. *For. Chron.*, 2000. Vol. 76. P. 329-337.
21. Gardiner B.A., Stacey G.R., Belcher R.E., Wood C.J. Field and wind tunnel assessments of the implications of respacing on tree stability. *Forestry*, 1997. Vol. 70 (3). P. 233-252.
22. Raupach M.R. Drag and drag partition on rough surfaces. *Boundary Layer Meteorol*, 1992. Vol. 60. Pp. 375-395.
23. Ray D., Nicoll B.C. The effect of soil water-table depth on root-plate development and stability of Sitka spruce. *Forestry*, 1998. Vol. 71 (2). P. 169-182.
24. Orlov S.A., Shrager L.A. Research of the resistance coefficient of cedar pine crown elements. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta, Matematika i mekhanika*, 2011. No. 14. Pp. 103–110.(rus)
25. Vollsinger S., Mitchell S.J., Byrne K.E., Novak M.D., Rudnicki M. Wind tunnel measurements of crown streamlining and drag relationships for several hardwood species. *Canadian Journal of Forest Research*, 2005. Vol. 35. P. 1238-1249.
26. Mayhead G.J. Some drag coefficients for British forest trees derived from wind tunnel studies. *Agricultural Meteorology*, 1973. Vol. 12. Pp. 123-130.
27. Borisevich S.A., Kamluk A.N., Rebko D.V. Opređenje soprotivleniya dvizheniyu krony dereva [Determination of resistance to movement of the crown of a tree]. *Trudy BGTU, Ser.VI fiz.-mat. nauki i inform*, 2013. No. 6 (162) Pp. 34-36.(rus)
28. Halea S.E., Gardinera B., Peacea A., Nicolla B., Taylora Ph., Pizzirania St. Comparison and validation of three versions of a forest wind risk model. *Environmental Modelling & Software*, June 2015. Vol. 68. Pp. 27-41.
29. Dupont S. A simple wind-tree interaction model predicting the probability of wind damage at stand level. *Agricultural and Forest Meteorology*, 15 August 2016. Vol. 224. Pp. 49-63.
30. Locatelli T., Tarantola St., Gardiner B., Patenaude G. Variance-based sensitivity analysis of a wind risk model – Model behaviour and lessons for forest modelling. *Environmental Modelling & Software*, January 2017. Vol. 87. Pp. 84-109.
31. Duponta S., Pivatoa D., Bruneta Y. Wind damage propagation in forests. *Agricultural and Forest Meteorology*. 15 December, 2015. Vol. 214-215. Pp. 243-251.
32. Locatelli T., Gardiner B., Tarantola St., Nicoll B., Bonnefond J.-M., Garrigou D., Kamimura K., Patenaude G. Modelling wind risk to *Eucalyptus globulus* (Labill.) stands. *Forest Ecology and Management*. 1 April, 2016. Vol. 365. Pp. 159-173.

УДК 159.9:614.8-057.36

СКЛОННОСТЬ И ГОТОВНОСТЬ К РИСКУ. ВОСПРИЯТИЕ РИСКА ОФИЦЕРОМ-СПАСАТЕЛЕМ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

Врублевский А.В.

Рассмотрены подходы к пониманию риска и отношения к риску, как в обычной жизни, так и в условиях чрезвычайной ситуации. Отмечено существенное различие понятий «готовность к риску» и «склонность к риску» для их применения к профессиональной деятельности спасателя. Выделены предпосылки готовности и склонности к риску офицера-спасателя: объективные параметры ситуации, субъективное восприятие ситуации, качества и свойства личности, условия деятельности, жизненный и профессиональный опыт, мотивация достижения. Описаны различия в отношении к риску офицера-спасателя и обычного человека в условиях чрезвычайной ситуации. Отмечены оптимальные уровни отношения к риску спасателя для успешной деятельности.

Ключевые слова: риск, склонность и готовность к риску, офицер-спасатель, чрезвычайная ситуация, условия риска, профессионально важные качества.

(Поступила в редакцию 4 июля 2017 г.)

Введение. Работа в условиях больших нервно-психических и физических нагрузок ликвидации чрезвычайной ситуации требует от офицера-спасателя высокого уровня профессионализма, а также наличия профессионально важных качеств. Определенную степень развития этих качеств можно отнести к психологическим особенностям специалистов данного рода деятельности. Немаловажным для эффективной ликвидации чрезвычайной ситуации является соответствующее отношение к риску, предпосылками которого выступают многие свойства и качества личности.

Понятие «риск» представляет значительный интерес для многих отраслей научного знания – экономики, социологии, философии, психологии и др. (Альгин А.П., 2006; Башкина Ю.Д. и Посохова С.Т., 2007; Вайнер А.В., 2008; Глущенко В.В., 2007; Ильин Е.П., 2012, Колесов Д.В. и Пономаренко В.А., 2008; Корнилова Т.В., 2006; Левицкий К., 2007; Мадера А.Г., 2014, Ниязшвили А.Г., 2007; Осипян Н.Б., 2007; Феофанов К.А., 2007; Хабибуллин Э.Р., 2008; Халл Дж., 2007; Чистяков А.А., 2007; и др.). В рамках последней выработан ряд подходов как к трактовке понятия «риск», так и определению термина «рискованное поведение».

Под риском понимают действие, направленное на привлекательную цель, достижение которой сопряжено с элементом опасности, угрозой потери, неуспеха. (Большой психологический словарь, 2002). А. Альгин описывает понятие риска как деятельность, связанную с преодолением неопределенности в ситуации неизбежного выбора, в процессе которой есть возможность количественно и качественно оценить вероятность достижения предполагаемого результата, отклонения от поставленной цели и неудачи [1, с. 19-47]. В понимании А.А. Реана риск представляется возможностью, при которой человеческие действия или результаты его деятельности могут привести к последствиям, которые будут в последствии влиять на человеческие ценности [2]. В другой трактовке И. Зубковой (1999) риск, представлен как целенаправленное поведение социального субъекта, которое он осуществляет в ситуации неопределенности ожидаемых исходов. То, как ведет себя человек в ситуации неопределенности, имеет определенную взаимосвязь, как с объективными условиями, так и с субъективной оценкой человеком данных условий. В то же время немалое влияние на такое поведение имеют и личностные свойства человека. А.К. Камальян определяет риск как неопределенность последствий, разрешение которых окажет влияние на результаты принятых решений, что может привести как к потерям, так и к выигрышам. Под неопределенностью же он понимает неполные знания [3]. Так или иначе все приведенные определения содержат два ключевых компонента – недостаток значимой в актуальной ситуации информации и выраженную мотивацию к действию.

Основная часть. *Понятие «рискованное поведение».* На приведенных выше трактовках риска основываются и дефиниции рискованного поведения. К таковому, например, относят поведение или действие, способное увеличить вероятность появления негативных последствий для здоровья в результате применения поведенческих практик (А. Крылов, 2005). Многие исследователи рассматривали рискованное поведение с различных сторон. Одни говорили о нем как о проявлении импульсных реакций (М. Дыбов, 2000). Другие

описывали рискованное поведение как снижение соответствия связи обстоятельств и результата действий субъекта (В.А. Петровский, 2003). В понимании третьих рисковое поведение является диспозиционной личностной ценностью (Т.В. Корнилова, 2003), а также личностно-смысловым образованием личности (А.Г. Ниязашвили, 2007). Многие исследователи представляли рисковое поведение в виде объективного феномена и формы неопределенности при принятии решений (А. Карпов, Ю. Козелецкий, О. Тихомиров и др.), а также как одно из проявлений профессиональной человеческой деятельности (О. Вдовиченко, Г. Солнцева, Г. Цукерман и др.). Последний подход особенно справедлив в отношении профессии спасателя, так как люди этой профессии постоянно сталкиваются с опасными ситуациями, привыкая к ним, меньше воспринимает ситуацию как рискованную.

Имеются различные подходы и в описании видов рискованного поведения. Один из них основан на различии двух типов риска: мотивированного (связанная с вычислением шансов на успех прагматическая тенденция) и немотивированного (тенденция субъекта без особой надобности сближаться с опасностью). Причем мотивированный риск является для субъекта тем средством, благодаря которому он увеличивает область собственных возможностей и наибольшей степени реализует себя (В.А. Петровский, 1994). Офицер-спасатель, идущий на мотивированный риск, реализует себя в качестве профессионала своего дела, в то время как немотивированный риск несет угрозу для профессионального становления. Кроме того, учитывая возможные необратимые последствия неверного решения, любое рискованное решение должно быть хорошо обдумано.

Как отмечает Т.В. Корнилова, личностный риск связывают с личностными предпосылками эффективно или охотно действовать в ситуации неопределенности. В описываемой модели риска литературе это свойство связывается с индивидуальными различиями только в определенных ситуациях, которые включают в себя фактор риска. Личность является носителем этого свойства, которое разные авторы называют по-разному: склонность к риску, рискованность, готовностью к риску. Это качество может проявляться в различных ситуациях, как являющихся рисковыми, так и не являющихся таковыми, и даже не проявляться в определенно рискованных ситуациях, так как имеет связь с различными личностными источниками активности субъекта [4].

«Готовность к риску» и «склонность к риску»: дифференциация понятий. Можно привести ряд словарных определений понятия «готовность»:

«1. *Согласие сделать что-н.* 2. *Состояние, при котором все сделано, все готово для чего-н.*» (Толковый словарь Ожегова. С.И. Ожегов, Н.Ю. Шведова, 1949-1992);

«*Согласие сделать что-нибудь, желание содействовать чему-нибудь.*» (Толковый словарь Ушакова. Д.Н. Ушаков, 1935-1940);

«1. *Положение подготовленности, в котором организм настроен на действие или реакцию.* 2. *Такое состояние человека, при котором он готов извлечь пользу из некоторого опыта. В зависимости от типа опыта, это состояние может пониматься как относительно простое и биологически детерминированное (например, сексуальная готовность) или как сложное в когнитивном плане и в плане развития (например, готовность к чтению)*» (Толковый словарь по психологии, 2013).

В отношении понятия «склонность» толковые словари дают такие определения:

«1. *Влечение, стремление к какой-л. деятельности, занятиям, а также одаренность в чем-л. // Предрасположение, наклонность к чему-л.* 2. *Интерес, пристрастие, любовь к чему-л.*» (Толковый словарь Ефремовой, 2000);

«*Постоянное влечение, расположение к чему-нибудь*» (Толковый словарь Ожегова. С.И. Ожегов, Н.Ю. Шведова, 1949-1992);

«*Форма отрефлексированной мотивации*» (Психологический словарь, 2016);

«*Расположение к кому-чему-н., влечение, отличающееся постоянностью*» (Толковый словарь Ушакова. Д.Н. Ушаков, 1935-1940);

«*Любое положительное, внутренне мотивированное отношение (влечение, интерес и пр.) к к.-л. занятию. Психологическую основу С. составляет устойчивая потребность личности в определенной деятельности, когда привлекательными оказываются не только достигаемые в ней результаты, но и сам процесс деятельности.* (А.Б. Орлов.)» (Большой психологический словарь, 2003);

В научной литературе нет устойчиво четкого разделения понятий «готовности к риску» и «склонности к риску», к которым также относят рисковое поведение и принятие риска. Как отмечает Е.П. Ильин, понятию «готовность» психологи придают различный

смысл [5]. Некоторые понимают ее скорее как личностное свойство (Айзенк, 1993) и придают смысл подготовленности, который также может пониматься по-разному. Другие, относят готовность к риску либо к свойствам надситуативной активности субъекта (Ю. Козелецкий, 1991; В.А. Петровский, 1992), либо к свойствам личностной саморегуляции, и отмечают, что таковое проявляется при принятии решений и выборе стратегий действия в условиях неопределенности (Т.В. Корнилова, 1994, 1997).

Е.П. Ильин считает использование понятий «склонность к риску» и «готовность к риску» как синонимов ошибочным, так как «готовность к риску — это не личностная диспозиция, т. е. склонность к риску, стремление к опасности (которое лишь облегчает принятие риска), а интеллектуально-волевое состояние «здесь и сейчас». Это понимание ситуации как рискованной и принятие риска (готовность пойти на риск с учетом своих возможностей)» [5].

Как отмечает Т.В. Корнилова, «понятие «склонность к риску» более характерно для переводов англоязычных работ; оно включило представление о диспозиционном личностном риске как индивидуальном свойстве, различающем поведение людей в однотипных задачах». В то же время, отмечает она, «понятие готовности к риску более адекватно фиксирует прямой перевод с немецкого термина *Risikobereitschaft*. Существенно, что в большей степени оно связано с оценкой иных индивидуальных различий, чем называемые в связи со «склонностью к риску». «Готовность к риску» как личностное свойство отнесено здесь к умению субъекта принимать решения в условиях неопределенности как недостаточности ориентиров» [4, с. 167].

Сравнивая данные категории О.В. Вдовиченко приходит к выводу, что под «готовностью к риску» многие исследователи понимают характерологическую мотивированную составляющую действия в различных жизненных ситуациях, а под «склонностью к риску» — личностную предпосылку или черту, обусловленную внешними факторами и личностными особенностями. [6] Описывая «склонность к риску», С.В. Быкова называет ее также «рискованностью» и отмечает, что она может выступать как системное интегральное свойство личности [7].

Из приведенного разбора можно сделать вывод, что использование слов «готовность» и «склонность» в качестве синонимов в любых ситуациях, как, в частности, и применительно к рискованному поведению, не совсем правомерно. Если речь идет о склонности к риску, то в этом случае подразумевается постоянное влечение, устойчивое стремление человека к рискованному поведению. Тогда как под готовностью к риску, скорее, подразумевается определенное временное состояние человека, его настрой, желание на данный момент осуществлять рискованные действия.

В связи с указанным выше, следует отметить, что и методики по оценке готовности и склонности к риску должны различаться. Если методики указывают на то, что с их помощью можно определить степень готовности человека совершить рискованные действия, то построение большинства вопросов в них должно наталкивать испытуемых на мысль о готовности к указанным действиям в данный момент времени. Такое поведение может быть не свойственно человеку вообще, но в данный момент времени, в силу каких-то обстоятельств, он может быть настроен на них. Изменение же формулировки вопросов с добавлением слов «обычно», «как правило», «чаще всего» и др. поможет испытуемому обратить внимание не на свой настрой, готовность в данный момент, а на обычный образ своего поведения, на склонность к указанным действиям вообще, хотя готовность на текущий момент, может быть совсем другой. Такое построение вопросов будет отвечать больше методикам по определению склонности к риску.

В отношении деятельности офицера-спасателя, на наш взгляд, очень важно четко разграничивать данные понятия. Готовность к риску, в ее понимании как временного состояния, показывающего согласие и желание принимать рискованное решение, очень важно для эффективной деятельности офицера-спасателя, так как спасателю необходимо быть готовым к риску ради спасения других людей. Склонность к риску, в ее понимании постоянного увлечения рискованным поведением и потребности в нем, для офицера-спасателя может оказывать негативное воздействие на эффективность его профессиональной деятельности, так как риск без необходимости не приемлем. В то же время, средний уровень склонности к риску может оказывать благоприятное воздействие на готовность к риску в ситуации необходимости принятия рискованного решения.

Диспозиционный аспект склонности к риску. Предпосылками развития склонно-

сти к риску могут быть различные качества и свойства личности, которые сами по себе оказывают немалое влияние на эффективность деятельности человека в определенной ситуации. Так, О.В. Вдовиченко приводит пять влияющих на формирование склонности к риску факторов: личностный, мотивационный, рациональный (интеллектуальный) и социальный. Личностный фактор она связывает с независимостью, стремлением к успеху и склонностью к доминированию [6,8]. Обуславливает наличие у человека склонности к риску такая черта личности как нейротизм, которая проявляется в депрессивных реакциях, эмоциональной лабильности, низкой адаптации и чувстве тревоги (Г. Айзенк, 1993). В своих исследованиях М. Цукерман установил, что большое влияние на развитие склонности к риску оказывает такая личностная особенность как стремление к острым ощущениям, которая включает невосприимчивость к скуке, раскованность, поиск переживаний и приключений [9]. К подобным выводам приходят и другие исследователи, относя к способствующим риску чертам личности любознательность как возможность получить новую информацию (Е. Туник, 2007). К влияющим на развитие склонности к риску качествам А.Г. Ниазашвили относит: импульсивность, тревожность, смелость, эмоциональную устойчивость, особенности мотивационной сферы, агрессивность и стремление к доминированию [10].

К принятию рискованных решений, по мнению Е.П. Ильина, приводит наличие таких особенностей человека как импульсивность, которая может выступать как особенность поведения человека и как черта характера, решительность, которая проявляется в продуцировании ситуации. Исследователь отмечает, что решительные люди более склонны к рискованным решениям, чем нерешительные. В то же время решительные более часто рискуют необоснованно. С готовностью принимать рискованные решения Е.П. Ильин связывает также определенное состояние готовности к выполнению задуманного, перехода мысли к действию – решимости, которое возникает одновременно с принятием решения, и смелости, как проявления самоконтроля и способности управлять своим поведением, не смотря на возникающий страх [5]. Состояние решительности иногда относят к волевому акту, выражающему готовность действовать (А.Ф. Лазурский, 1995). Для деятельности офицера-спасателя при ликвидации чрезвычайной ситуации данные качества имеют большое значение ввиду того, что ему приходится не только принимать рискованные решения и выполнять их незамедлительно, но и четко и твердо формулировать их своим подчиненным.

Среди связанных с готовностью к риску психологических свойств личности приводят такие как высокая самооценка и уверенность в себе, а среди качеств личности – агрессивность, высокий самоконтроль и целеустремленность (Г. Грязнова, 2007). Есть сведения о взаимосвязи готовности к риску с решительностью, неуверенностью, легкостью в общении и самоутверждением, положительную связь с самостоятельностью и отрицательную – с рациональностью (склонностью к основательному расчету при планировании действий) (Т.В. Корнилова, 2003).

Т.В. Корнилова делает вывод, что принятие риска является связующим этапом, на котором взаимодействует актуализация диспозиционных личностных свойств с процессами интеллектуального и личностного примеривания собственного потенциала субъекта к принятию решения в условиях риска. Указывая на важную роль взаимодействия свойств готовности к риску и субъективных репрезентации фактора риска в ситуации, она отмечает, что немалое влияние на готовность нести ответственность за принятое решение оказывают: критичность, ориентировка на интересы других людей, нравственное самосознание, предвидение последствий выбора и пр. В то же время, все различные формы личностной регуляции выбора сходятся на процессе принятия риска, ведущими в котором являются процессы самосознания, а вынужденный выбор фактора риска не имеет. [4, с. 170-171]

Субъективные и объективные факторы рискованного поведения. Как отмечает А.А. Бунас, предикторы рискованного поведения включают в себя одновременно характеристики личностных особенностей человека и его жизненной или профессиональной ситуации, которую субъект воспринимает как независимую от него [11].

Склонность к риску может возникать из-за привыкания к риску у тех людей, которые занимаются экстремальными видами деятельности (Е.П. Ильин, 2012), к которым, безусловно, относится и деятельность офицера-спасателя при ликвидации чрезвычайной ситуации.

Многие исследователи отмечают зависимость между мотивом достижения и избегания и показателями склонности к риску (Д. Аткинсон, 1957; Д. Мак-Клелланд, 1971, А.Г. Ниазашвили, 2007). Причем положительную связь склонности к риску отмечают с мотивацией достижения и отрицательную с мотивацией избегания (С.А. Ермолин, 2011). Мо-

тив достижения Х. Хекхаузен описывает как стремление к повышению и поддержанию на высоком уровне своих способностей и умений в той деятельности, достижения в которой считаются обязательными [12, с. 84].

Большинство людей имеют потребность в успехе (мотивацию достижений), однако степень ее развития у разных субъектов различна. От степени развития этой потребности зависит эффективность профессиональной деятельности. Реализуя эту потребность, достигая определенных результатов, человек может иметь более полное субъективное ощущение полноты реализации своего потенциала, в том числе и как профессионала. И офицер-спасатель в этом не исключение.

Согласно различным исследованиям, склонность к риску может зависеть от пола, возраста и даже от национальности. Высокую склонность к риску имеет меньшинство современных людей, причем средней выраженностью склонности к риску обладает их большая часть (А.Г. Евдокимов, 2010; С.А. Ермолин, 2011). Своих наибольших значений постепенно увеличивающаяся с годами жажда острых ощущений достигает к 20-ти годам, затем постепенно снижается (М. Цуккерман, 2000; А.Г. Ниязшвили, 2007). Стремление к острым ощущениям, лежащее в основе склонности к риску, может побуждать человека к поведению различного рода. Такое стремление может побуждать человека получить новый эмоциональный опыт в виде сильных переживаний, стремиться к физическому и социальному риску, избегать скуки. Люди такого рода часто выбирают профессиональную деятельность инвесторов, пожарных, летчиков. Было отмечено, что склонные к риску люди хотя и водят автомобиль лучше, но при этом чаще попадают в дорожно-транспортные происшествия (М. Цуккерман, 1979, 1983, 1993, 1994, 2000).

При оценке отношения к риску большое значение имеет не только объективные параметры ситуации, но и субъективное восприятие ее человеком. Человек может воспринимать ситуацию с большим или меньшим риском, чем она может показаться постороннему (К.-Э. Вернерид, 1988). На восприятие риска могут повлиять воспоминания и связанные с ними ассоциации, предубеждения и положительный или отрицательный настрой, текущие состояния с сильными и глубокими эмоциями, беспечность и самоуверенность [5]. Это согласуется с проведенными ранее исследованиями, показавшими, что у человека есть два фактора восприятия риска: фактор страха и фактор контроля, при одновременном наличии которых риск оценивается человеком как очень высокий (П. Словик, 1980). Профессиональный опыт спасателя включает множество различных ситуаций, которые в разной степени могут оказывать влияние на его последующие действия, оценку риска и принятие решений. Это необходимо учитывать при оценке эффективности его деятельности.

Кроме того, на восприятие риска, как отмечает Е.П. Ильин, влияют различные условия достижения вероятного успеха: наличие гарантии (например, гарантии защиты при неопределенном исходе), наличие знаний и положительного опыта в предыдущих ситуациях, ценность связанного с риском объекта или величина награды, отдаленность исхода по времени, ограничение времени на принятие решения, произвольности или обязательности условий ситуации, вероятность успеха или неудачи, оценка собственной подготовленности к ситуации и самооценка. Также, по его мнению, готовность человека к риску может зависеть от нахождения человека в коллективе, появления внутреннего конфликта, ценности предполагаемого результата, уровня подготовленности. [5]. Другие психологи приводят другие свойства, влияющие на оценку риска и имеющие значение для офицера-спасателя: степень уверенности в себе, профессиональная тренированность поведения в нестандартных ситуациях, способность быстро ориентироваться в ситуации, наличие внутреннего и внешнего локуса контроля, тревожность (Богомолова С.Н., 1979).

К проблеме профессионального восприятия риска в чрезвычайной ситуации. Существенное влияние на восприятие обстановки оказывают опасные факторы чрезвычайной ситуации, которые несут угрозу жизни и здоровью человека. Воздействие опасных факторов может нести как непосредственные так и отдаленные последствия. Кроме того, в условиях чрезвычайной ситуации присутствуют и неблагоприятные факторы, влияние которых на человека может ощущаться не сразу. Причем не все последствия могут осознаваться человеком. Принятие риска в данной ситуации может зависеть от понимания человеком особенностей и последствий воздействия на него данных факторов.

Восприятие риска офицером-спасателем, находящимся в условиях чрезвычайной ситуации, может существенно отличаться от восприятия риска обычным человеком в такой же обстановке. Чрезвычайная ситуация, в которую попал человек является для него неужи-

данной, необычной, выходящей за грань привычной жизнедеятельности. В такой ситуации человек может не иметь достаточных знаний о последствиях воздействия различных факторов чрезвычайной ситуации, что может быть пугающим с одной стороны, либо не вызывать никакой реакции с другой. Офицер-спасатель, пройдя подготовку и имея опыт ликвидации чрезвычайных ситуаций, имеет достаточную информацию об опасных факторах, чтобы соответственно на них реагировать, а также имеет определенные навыки, чтобы минимизировать воздействие опасности. В отличие от неожиданно попавшего в чрезвычайную ситуацию человека, офицер-спасатель обладает и определенными и средствами и оборудованием для изменения ситуации, уменьшения воздействия опасных факторов. Все это, безусловно, влияет на восприятие риска и принятие рискованных решений. Не обладая, знаниями, навыками и средствами для изменения опасных условий, попавший в чрезвычайную ситуацию человек готов идти на большой риск ввиду того, что высока цена потери в данной ситуации – собственное здоровье и жизнь. Для офицера-спасателя такая угроза существенно меньше, а значит и восприятие риска ниже.

Кроме того, на оценке степени рискованности принимаемого решения в условиях чрезвычайной ситуации скажется осознание возможных последствий. При отсутствии информации о возможных последствиях человек находится в ситуации неопределенности, что может снизить оценку рискованности ситуации. При наличии знаний и возможных последствиях выбора для обычного человека и офицера-спасателя имеются некоторые различия. Для обычного человека рискованное решение может сказаться на жизни и здоровье его самого и находящихся с ним родных и близких, на целостности его имущества. Последствия рискованного решения офицера-спасателя, кроме него самого, могут затронуть находящихся в его подчинении сотрудников, а также вверенную ему технику, а это дополнительная ответственность.

На принятие рискованного решения может повлиять то, как принимается решение: группой или в одиночку. Исследования показывают, что принятые группой решения были более рискованными, чем персональные (Дж. Стоунер, 1962). Так как офицер-спасатель выполняет боевую задачу в коллективе, в котором он является руководителем, а также сам является лицом подчиненным, то его рискованное решение может быть обусловлено требованиями непосредственного руководства, советами более опытных подчиненных. Известны случаи, когда рискованное решение принималось под давлением большого количества родных и знакомых пострадавших.

Немало исследований посвящены изучению взаимосвязи личностных особенностей различных специалистов и их способностей вести эффективную деятельность в условиях риска. По результатам работ, посвященных особенностям деятельности специалистов опасных профессий в рискованных ситуациях (военных, сотрудников силовых структур, операторов АЭС и пр.), можно утверждать, что эффективному решению поставленных задач способствуют такие качества как самоконтроль, высокая способность к переключению установок, эмоциональная устойчивость, способность к планированию, положительный настрой и отдельные особенности темперамента. Перечисленные качества влияют на и способность человека к риску (М.А. Котик, 1990). Имеются данные о связи способности к успешным действиям в рискованных ситуациях с эмоциональной устойчивостью (И.П. Рапохин, 1981) и локусом контроля (В.В. Кочетков, И.Г. Скотникова, 1993), которые показывают, что интерналы эффективнее экстерналов используют информацию в ситуации неопределенности и более активно осуществляют поиск дополнительной информации. Также, уровень самооценки и личностной тревожности субъекта также способствуют на эффективность деятельности в ситуациях риска (В.А. Бодров и Н.Ф. Лукьянова, 1981). Кроме того, на наш взгляд, немалое влияние на эффективность деятельности спасателя оказывает психологическое благополучие [13]. Наличие многих из этих качеств, как было показано выше, являются основой для развития необходимого уровня склонности и готовности к риску.

Готовность к принятию риска очень важна для специалистов экстремальных профессий. Ведь сами по себе экстремальные ситуации подразумевают наличие опасности, угрозу ущерба, риск. Трудно себе представить эффективно действующего в таких условиях специалиста, который имеет низкую или нулевую готовность к риску. В своей книге Е.П. Ильин приводит примеры космонавта С. Крикалева и трижды Героя Советского Союза А.И. Покрышкина, которые не «признавали неоправданного риска», но и без риска не обходились, как это видно из слов А.И. Покрышкина: «рискуя, ты уменьшаешь число своих потерь» [5, с. 60].

Работа в экстремальных условиях предъявляет особые требования к качествам и свойствами личности. Для эффективной работы офицера-спасателя в условиях чрезвычайной ситуации, в том числе и правильного отношения к риску, очень важно наличие способностей справляться со стрессом, а также таких качеств и психологических свойств личности как: настойчивость, умение принимать решения, рациональное осмысление своих поступков, организованность, умение создавать свой круг общения, умение «качественно» общаться, умение контролировать себя. Легко справляются со стрессом люди, которых относят, как описывает Ю.С.Шойгу, к типу «вечно рискующих», или «искателей приключений» [14]. Такие люди легко идут на риск, но как уже упоминалось выше, такого рода склонность к риску для офицера-спасателя в условиях чрезвычайной ситуации недопустима. Подавляющее большинство спасателей МЧС имеют среднюю выраженность склонности к риску при наличии высокого уровня самоконтроля (А.Н. Оленникова, 2004). Как отмечает Ю.С. Шойгу, среди свойств и качеств личности, отличающих эффективных в своей деятельности пожарных и спасателей, отмечают умеренную склонность к риску. Высокую склонность к риску и обостренную реакцию на неудачи относят к противопоказаниям для такого вида деятельности [14].

Заключение. В отношении деятельности офицера-спасателя, очень важно четко разграничивать понятия «готовности к риску», в ее понимании как временного состояния, показывающего согласие и желание принимать рискованное решение, и «склонности к риску», в ее понимании постоянного увлечения рискованным поведением и потребности в нем.

Наличие факторов чрезвычайной ситуации оказывает определенное влияние на отношение к риску. Восприятие риска офицером-спасателем, находящимся в условиях чрезвычайной ситуации, может существенно отличаться от восприятия риска обычным человеком в такой же обстановке. Для оценки отношения к риску следует учитывать не только качества и свойства личности, мотивацию и уровень психологического благополучия, но и опыт, условия деятельности, ответственность.

Офицеру-спасателю очень важно иметь правильное отношение к риску. Низкий уровень готовности к риску может существенно снизить эффективность предпринимаемых мер по проведению аварийно-спасательных работ. В то же время, чрезмерно высокий риск также недопустим, так как руководитель ликвидации чрезвычайной ситуации отвечает за жизни вверенного ему руководству личного состава подразделения. Среди свойств и качеств личности, отличающих эффективных в своей деятельности пожарных и спасателей, отмечают умеренную склонность к риску. В то же время, высокую склонность к риску и обостренную реакцию на неудачи относят к противопоказаниям для такого вида деятельности. Предпосылками развития необходимого уровня готовности и склонности к риску являются различные свойства и качества личности, которые также оказывают влияние на успешность деятельности. Многие из этих качеств входят в перечень профессионально-важных для работы спасателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альгин, А.П. Риск и его роль в общественной жизни / А.П. Альгин. – М.: Мысль, 1989. – 188 с.
2. Реан, А.А. Три десятилетия исследования риска / А.А. Реан // Проблемы анализа риска. – 1999. – № 1. – С. 87-92.
3. Камалян, А.К. Принятие управленческих решений в условиях риска и неопределенности : дис. докт. экон. наук : 08.00.05 / А.К. Камалян. – Воронеж, 2000. – 345 с.
4. Корнилова, Т.В. Психология риска и принятия решений / Т.В. Корнилова. – М.: Аспект Пресс, 2003. – 286 с.
5. Ильин, Е.П. Психология риска / Е.П. Ильин. – СПб.: Питер, 2012. – 288 с.
6. Вдовиченко, О.В. О теоретических подходах к пониманию проблемы риска // Наука и образование. – 2001. – № 1. – С. 34-36.
7. Быкова, С.В. Склонность к риску как устойчивое свойство личности // Международный журнал социальных и гуманитарных наук. – 2016. – Т. 1, № 1. – С. 157-160.
8. Вдовиченко, О.В. Чебыкин А.Я. Личностно-психологические детерминанты явления риска // Дифференциация и интеграция психолого-педагогического знания в науке, социальной практике и научных исследованиях: Сборник материалов Международной научно-практической конференции. – Смоленск, 2001.
9. Zuckerman, M. Good and bad humours: biochemical bases of personality and its disorders / M. Zuckerman. – Psychological Science, 1995. – 6 (6). – P. 325-332.

10. Ниязашвили, А.Г. Индивидуальные различия склонности к риску в разных социальных ситуациях развития личности: автореф. дис. ... канд. психол. наук: 19.00.01 / А.Г. Ниязашвили. – М., 2007. – 24 с.
11. Бунас, А.А. Личностно-психологические предикторы склонности к рискованному поведению / А.А. Бунас // Азимут научных исследований: педагогика и психология. – 2013. – № 2. – С. 5-7.
12. Хекхаузен, Х. Психология мотивации достижения. – СПб.: Речь, 2001. – 256 с.
13. Врублевский, А.В. Проблема взаимосвязи психологического благополучия и успешности деятельности офицера-спасателя при ликвидации чрезвычайной ситуации / А.В. Врублевский, Н.Н. Лепешинский // Психология человека в условиях здоровья и болезни: материалы V Международной научно-практической конференции, Тамбов, 5-6 июня 2015 г. / М-во обр. и науки РФ, ФГБОУ ВПО «Тамб. гос. ун-т им. Г.Р. Державина»; [отв. ред. М.Г. Рябова]. – Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2015. – С.103-108.
14. Шойгу, Ю.С. Психология экстремальных ситуаций для спасателей и пожарных / Под общей ред. Ю.С. Шойгу. М.: Смысл, 2007. – 319 с.

RISK APPETITE AND READINESS TO TAKE RISKS. RISK PERCEPTION OF A RESCUE OFFICER IN CASE OF AN EMERGENCY

Andrei Vrubleuski

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Purpose. Certain conditions of an emergency as well as the qualities and the properties of an officer-rescuer's personality which influence his attitude to risk are considered.

Methods. A search in the scientific literature of information on the influence of a person's psychological features on his attitude to risk was carried out. The analysis of the received data with the reference to an officer-rescuer's activities was conducted.

Findings. A significant difference of the two concepts: «readiness to take risks» and «risk appetite» for their application to a rescuer's professional activities is noted. The preconditions of an officer-rescuer's readiness to risk and his risk appetite are: objective parameters of the situation, subjective perception of the situation, qualities and traits of an individual, activity conditions, life and professional experience, achievement motivation. The differences of the attitude to risk of an officer-rescuer and an ordinary person in case of an emergency are described.

Application field of research. Having got the information about an officer-rescuer's availability of certain personal qualities and traits it is possible to estimate his attitude to risk in case of an emergency. By contributing to the development of these qualities and traits it is possible to obtain the necessary level of an officer-rescuer's attitude to risk.

Conclusions. It is very important for an officer-rescuer to have the right attitude to risk. The preconditions of the development of an officer-rescuer's necessary level of readiness to risk and his risk appetite are various personal qualities and traits which influence the activity success. The average level of risk appetite contributes to the effective work of an officer-rescuer. The impact of attitude to risk of an officer-rescuer personality on his other qualities and traits is to be considered and assessed.

Keywords: risk, risk appetite and readiness to risk, officer-rescuer, emergency, risk conditions, professionally important qualities.

(The date of submitting: July 4, 2017)

REFERENCES

1. Al'gin A.P. *Risk i ego rol' v obshchestvennoy zhizni* [Risk and its role in public life]. Moscow: Mysl', 1989. 188 p. (rus)
2. Rean A.A. Tri desyatiletiya issledovaniya riska [Three decades of risk research]. *Problemy analiza riska*. 1999. No 1. Pp. 87-92. (rus)
3. Kamalyan A.K. *Prinyatie upravlencheskikh resheniy v usloviyakh riska i neopredelennosti* [Managerial decision-making under conditions of risk and uncertainty]: Dr. econom. sci. diss.: 08.00.05, Voronezh, 2000. 345 p. (rus)
4. Kornilova T.V. *Psikhologiya riska i prinyatiya resheniy* [Psychology of risk and decision-making], Moscow : Aspekt Press, 2003, 286 p. (rus)
5. Il'in E.P. *Psikhologiya riska* [Psychology of risk]. St. Petersburg : Piter. 2012. 288 p. (rus)
6. Vdovichenko O.V. O teoreticheskikh podhodah k ponimaniyu problemy riska [About theoretical approaches to understanding the problem of risk]. *Nauka i obrazovanie*. 2001. No. 1. Pp. 34-36. (rus)
7. Bykova S.V. Sklonnost' k risku kak ustoychivoe svoystvo lichnosti [Inclination to risk as a stable property of personality]. *Mezhdunarodnyy zhurnal sotsial'nykh i gumanitarnykh nauk*. 2016. Vol. 1. No. 1. Pp. 157-160. (rus)
8. Vdovichenko O.V., Chebykin A.Ya. Lichnostnopsikhologicheskie determinanty yavleniya riska [Individual psychosocial determinants of the phenomenon of risk]. *Proc. International Sci.-Pract. Conf. «Differentiation and integration of psychological and pedagogical knowledge in science, social practice and scientific research»*. Smolensk, 2001. (rus)
9. Zuckerman M. Good and bad humours: biochemical bases of personality and its disorders. *Psychological Science*, 1995. Vol. 6(6). Pp. 325-332.
10. Niazashvili A.G. *Individual'nye razlichiya sklonnosti k risku v raznykh sotsial'nykh situatsiyakh razvitiya lichnosti* [Individual differences in the propensity to take risks in different social situations of personal development]. Cand. psychol. sci. diss. Synopsis: 19.00.01. Moscow. 2007. 24 p. (rus)
11. Bunas A.A. Lichnostno-psikhologicheskie prediktory sklonnosti k riskovannomu povedeniyu

- [Personal-psychological predictors of propensity to engage in risky behavior]. *Azimuth nauchnykh issledovaniy: pedagogika i psikhologiya*. 2013. No 2. Pp. 5-7. (rus)
12. Khekkhauzen Kh. *Psikhologiya motivatsii dostizheniya* [Psychology of achievement motivation]. St. Petersburg: Rech', 2001. 256 p. (rus)
 13. Vrublevskiy A.V., Lepeshinskiy N.N. Problema vzaimosvyazi psikhologicheskogo blagopoluchiya i uspeshnosti deyatelnosti ofitsera-spatatelya pri likvidatsii chrezvychaynoy situatsii [The problem of interconnection between psychological well-being and successfulness of activity of the officer-rescuer at elimination of emergency situation], *Proc. International Sci.-Pract. Conf. «Psychology of man in health and disease»*. Tambov: Izd-vo TROO «Biznes-Nauka-Obschestvo». 2015. Pp. 103-108. (rus)
 14. Shoygu Yu.S. *Psikhologiya ekstremal'nykh situatsiy dlya spasateley i pozharnykh* [Psychology of extreme situations for rescuers and firefighters]. Moscow: Smysl. 2007. 319 p. (rus)

УДК 351

КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ РЕГУЛИРУЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Крюк Ю.Е., Лукашенко Н.К.

Представлен обзор требований по формированию и реализации научно-технической поддержки, регулирующей деятельности в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности в странах с развитой атомной энергетикой – Российской Федерации, Республики Армения, Республики Словения. Рассмотрена текущая ситуация оказания научно-технической поддержки Министерству по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, обозначены имеющиеся проблемы и пути их решения.

Ключевые слова: ядерная безопасность, радиационная безопасность, организация научно-технической поддержки, задачи, направления.

(Поступила в редакцию 11 июля 2017 года)

Введение. В связи с решением о принятии первой ядерной программы Республика Беларусь приступила к формированию необходимой ядерной и регулирующей инфраструктуры. И в этой связи, при принятии решений о безопасности объекта использования атомной энергии (АЭС) на всех этапах его существования, таких как строительство, ввод в эксплуатацию, эксплуатация, вывод из эксплуатации, самым важным является доступность и качество оказываемой научно-технической поддержки регулирующему органу в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности – Министерству по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (МЧС).

Например, требования, предъявляемые Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) к организационной инфраструктуре в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности констатируют, что «регулирующий орган должен использовать достаточное количество квалифицированного и компетентного персонала», имея «доступ к набору компетенций для каждой регулирующей функции, позволяющих получить консультационную поддержку в случае, когда это необходимо» [1-3].

Международная практика по оказанию научно-технической поддержки. Оказание научно-технической поддержки осуществляется во всех странах с развитой ядерной энергетикой, в том числе в Российской Федерации, Армении, Украине, Франции, Германии, Республике Словения и др. При этом, несмотря на существенные отличия в законодательной рамке по реализации такой поддержки, требование к ее обязательному осуществлению закреплены на самом высоком законодательном уровне.

Так, в Республике Словения, оказание технической поддержки регулирующему органу является сертифицируемым видом деятельности и прохождение такой процедуры доступно различным организациям, удовлетворяющим указанным требованиям. Вместе с тем, сами требования к организациям технической поддержки закреплены в основном Законе Республики Словения «О радиационной и ядерной безопасности» [4].

Интересной практикой в Республике Словения является привлечение к технической поддержке иностранных организаций и выдача им разрешений на проведение экспертизы безопасности. При этом в Словении существует требование, что все документы, касающиеся экспертизы безопасности, в том числе отчет о проведенной экспертизе безопасности, в регулирующей орган должны предоставляться на государственном языке.

В Российской Федерации регулирующий орган – Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) в соответствии с Федеральным Законом Российской Федерации «Об использовании атомной энергии» [5] имеет две организации, осуществляющие как научно-техническую, так и техническую поддержку (ФБУ «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности», ФГУП ВО «Безопасность»). Основными задачами которых является проведение исследований, испытаний, экспертиз, анализов и оценок безопасности в области использования атомной энергии, осуществление научной деятельности, подготовка предложений и замечаний на проекты законодательных и нормативных правовых актов и др.

В Республике Армения на законодательном уровне закреплена, организация техни-

ческой поддержки регулирующего органа – Научно-технический центр ядерной и радиационной безопасности. Необходимо отметить, что Республика Армения на начальном этапе возобновления своей ядерно-энергетической программы предпринимала попытки получения дополнительной научно-технической поддержки с привлечением различных академических структур. Однако академическая система не в полной мере могла удовлетворить быстро растущие потребности по оказанию поддержки регулирующему органу в области ядерной и радиационной безопасности. В 2001 году, в связи с расширением круга задач и необходимостью привлечь дополнительный персонал, в Армении было принято решение о создании на базе отдела анализа и оценки безопасности регулирующего органа в области ядерной и радиационной безопасности – центра научно-технической поддержки.

Основными задачами Научно-технического центра ядерной и радиационной безопасности Республики Армения являются: накопление знаний и данных для разработки национальных регулирующих документов; освоение аналитических методов исследования вопросов безопасности; углубленное понимание основ безопасности, требований регулирующих документов; изучение различий в подходах по обеспечению безопасности в разных странах; выполнение исследований и анализов безопасности для создания основ регулирующих требований и принимаемых решений; подготовка специалистов для регулирующего органа и центра научно-технической поддержки.

Формирование системы научно-технической поддержки в Республике Беларусь. С целью реализации международных требований по предоставлению экспертной поддержки при принятии регулирующих решений на этапе начала строительства первой Белорусской АЭС организацией, оказывающей научно-техническую поддержку регулирующему органу, было определено научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований-Сосны» (ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны») (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 11 января 2012 г. № 33 «О научно-технической поддержке Министерства по чрезвычайным ситуациям и внесении изменений и дополнений в постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28 августа 2009 г. № 1116»).

Вместе с тем, в ходе осуществления регулирующей деятельности в области ядерной и радиационной безопасности, в том числе проведения надзорных мероприятий за сооружением Белорусской АЭС, подготовки к выдаче разрешения на эксплуатацию и проведению экспертизы безопасности стало очевидно, что многие задачи инженерно-технического сопровождения, связанные с регулирующей деятельностью, такие как вопросы сварки, неразрушающего контроля, оценки надежности зданий и сооружений и т. д. выходят за рамки деятельности ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны». Статус ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» как академического института, основной задачей которого является проведение научных изысканий, в том числе, выполнение новых фундаментальных исследований в области энергетики и ядерной физики, не позволяет в полном объеме осуществлять аналитическое сопровождение регулирующей, в том числе надзорной, деятельности МЧС.

Кроме того, в рекомендациях миссии МАГАТЭ по комплексной оценке развития инфраструктуры ядерной энергетики Республики Беларусь, состоявшейся в июне 2012 г., отмечено, что определение ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» в качестве организации, осуществляющей научно-техническую поддержку деятельности регулирующего органа, не соответствует установленному МАГАТЭ принципу независимости таких организаций (данная организация поднадзорна МЧС и подчинена Национальной академии наук).

В ходе миссии МАГАТЭ по комплексной оценке регулирующей инфраструктуры в Республике Беларусь, состоявшейся в октябре 2016 г., ситуация с отсутствием организации технической поддержки в системе МЧС была расценена как пробел в доступности для регулирующего органа получения независимой технической поддержки.

Таким образом, практика проведения экспертизы документов, обосновывающих обеспечение ядерной и радиационной безопасности при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии, а также анализ состава документов, предоставляемых для проведения экспертизы безопасности [6, 7], показали необходимость расширения возможностей ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» и создания законодательной основы для возможности привлечения к экспертизе безопасности специалистов, обладающих иными необходимыми компетенциями в требуемых областях экспертизы в части оценки безопасности строительных конструкций, прочностного анализа систем и конструкций, контроля качества выполненных сварочных работ, проведения неразрушающего контроля, надежности цифровой автоматизированной системы управления технологическими процессами и др.

Первым шагом совершенствования регулирующей инфраструктуры и расширения возможностей ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» по оказанию научно-технического сопровождения регулирующей деятельности в сфере обеспечения ядерной и радиационной безопасности явилось утверждение 2 декабря 2016 года № 991 постановления Совета Министров Республики Беларусь от «Об оказании научно-технической поддержки Министерству по чрезвычайным ситуациям в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности» [8]. Согласно данному постановлению определен перечень из 16 организаций, оказывающих научно-техническую поддержку МЧС в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности.

Однако, для объединения потенциала организаций научно-технической поддержки, осуществления их координации и выполнения работ по научно-техническому обеспечению регулирования ядерной и радиационной безопасности в сфере использования атомной энергии и источников ионизирующего видится целесообразным создание организации-координатора научно-технической поддержки в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности.

В настоящее время перед регулирующим органом поставлена задача по созданию внутренней организации технической поддержки, организации-координатора для уже имеющих специалистов из различных 16 организаций – государственного научного технического учреждения «Центр по ядерной и радиационной безопасности» (ГНТУ «ЦЯРБ»).

Создание данной организации планируется с целью оказания независимой, эффективной и компетентной научной, технической, консультационной поддержки регулирующему органу в области ядерной и радиационной безопасности на постоянной основе.

Основными задачами ГНТУ «ЦЯРБ» сегодня видится организация и проведение работ по следующим направлениям:

- экспертиза и анализ безопасности объектов использования атомной энергии для научного обоснования принятия решений при лицензировании;
- научно-техническое обеспечение надзорной деятельности;
- научное сопровождение регулирующей деятельности, в том числе: проведение научно-исследовательских работ в области ядерной и радиационной безопасности; технический анализ безопасности (детерминистический и вероятностный), включая моделирование и анализ безопасности с помощью компьютерных кодов; осуществление оценки и анализа опыта эксплуатации объектов использования атомной энергии; проведение независимых тестов, испытаний, измерений; совершенствование методологических основ независимой оценки и экспертизы;
- разработка и совершенствование нормативных правовых актов, в том числе технических нормативных правовых актов, регламентирующих обеспечение ядерной и радиационной безопасности в области использования атомной энергии;
- оказание технической поддержки в формировании и развитии интегрированной системы управления регулирующего органа;
- сотрудничество с Российской Федерацией и другими государствами в части развития единого информационного пространства, обмена опытом, осуществления совместных проектов, реализации программ и другим мероприятиям по вопросам ядерной и радиационной безопасности;
- подготовка и повышение квалификации специалистов регулирующего органа и системы технической поддержки;
- разработка и реализация государственных (союзных) программ и международных проектов и др.

Таким образом, создание ГУ «НТЦ ЯРБ» в Республике Беларусь позволит гарантировать поддержку принятия решений регулирующим органом по обеспечению безопасности объектов использования атомной энергии, прежде всего Белорусской АЭС, и источников ионизирующего излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Создание инфраструктуры безопасности для ядерно-энергетической программы (SSG-16) [Электронный ресурс] // Официальный веб-сайт МАГАТЭ. – Режим доступа: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1507r_web.pdf. – Дата доступа: 27.06.2017.
2. Государственная, правовая и регулирующая основа обеспечения безопасности (GSR Part 1) [Электронный ресурс] // Официальный веб-сайт МАГАТЭ. – Режим доступа: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1713_R_web.pdf. – Дата доступа: 27.06.2017.

3. Use of external experts by the regulatory body (GSG-4) [Электронный ресурс] // Официальный веб-сайт МАГАТЭ. – Режим доступа: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1583_web.pdf – Дата доступа: 27.06.2017.
4. Ionising radiation protection and nuclear safety act of Republic of Slovenia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ursjv.gov.si/fileadmin/ujv.gov.si/pageuploads/si/Zakonodaja/SlovenskiPredpisi/zvisjv-ang.pdf> – Дата доступа: 28.06.2017.
5. Об использовании атомной энергии [Электронный ресурс]: Федеральный Закон Российской Федерации, 21 нояб. 1995 г., № 170-ФЗ // Режим доступа: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102038289>. – Дата доступа: 27.06.2017.
6. Об утверждении норм и правил по обеспечению ядерной и радиационной безопасности «Требования к составу и содержанию документов, обосновывающих обеспечение ядерной и радиационной безопасности при осуществлении деятельности в области использования атомной энергии и источников ионизирующего излучения» [Электронный ресурс] : постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь, 30 нояб. 2010 г., № 58 // Режим доступа: <http://www.gosatomnadzor.gov.by/index.php/ru/zakonodatelstvo/strukturirovannyj-perechen-normativnykh-pravovykh-aktov/ierarkhicheskaya-piramida?layout=edit&id=77>. – Дата доступа: 27.06.2017.
7. Требования к содержанию отчета по обоснованию безопасности атомной электростанции с реактором типа ВВЭР: ТКП 294-2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gosatomnadzor.gov.by/index.php/ru/zakonodatelstvo/strukturirovannyj-perechen-normativnykh-pravovykh-aktov/ierarkhicheskaya-piramida?layout=edit&id=77> – Дата доступа: 27.06.2017.
8. Об оказании научно-технической поддержки Министерству по чрезвычайным ситуациям в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 2 дек. 2016 г., № 991 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2017.

CONCEPT OF DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL SUPPORT OF REGULATORY ACTIVITY IN THE FIELD OF NUCLEAR AND RADIATION SAFETY

Juliana Kruk, Candidate of Biological Sciences

Natallia Lukashenko, Candidate of Agricultural Sciences

Department for Nuclear and Radiation Safety of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus Minsk, Belarus

Purpose: The article is devoted to the development of scientific and technical support for regulatory activities in the field of nuclear and radiation safety in the Republic of Belarus.

Methods: The analysis of the IAEA requirements for the organizational infrastructure in the field of nuclear and radiation safety, the analysis of international experience in providing scientific and technical support to the regulatory body in the field of nuclear and radiation safety.

Findings: Particular attention is paid to attracting organizations having competences in special fields of knowledge to the provision of scientific and technical support to regulatory body in the field of nuclear and radiation safety.

Application field of research: The international experience described in the article can be used to form the directions of the organization's activities of scientific and technical support to the regulatory body in the field of nuclear and radiation safety in the Republic of Belarus.

Conclusions: The need to establish an organization of scientific and technical support for regulatory activities in the field of nuclear and radiation safety in the Republic of Belarus with the aim of providing independent, effective and competent scientific, technical, and consultative support to the regulatory body in the field of nuclear and radiation safety on an ongoing basis is substantiated. The main tasks of this organization are determined.

Key words: nuclear safety, radiation safety, technical support organization, tasks, directions.

(The date of submitting: July 11, 2017)

REFERENCES

1. *Establishing the Safety Infrastructure for a Nuclear Power Programme* Series No. SSG-16. available at http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1507r_web.pdf (accessed: June 27, 2017). (eng)
2. *Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety* Series No. GSR Part 1 (Rev. 1), available at http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1713_R_web.pdf (accessed: June 27, 2017). (eng)
3. *Use of external experts by the regulatory body* No. GSG-4, available at http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1583_web.pdf (accessed: June 27, 2017). (eng)
4. *Ionizing radiation protection and nuclear safety act of the Republic of Slovenia*, available at <http://www.ursjv.gov.si/fileadmin/ujv.gov.si/pageuploads/si/Zakonodaja/SlovenskiPredpisi/zvisjv-ang.pdf> (accessed : June 27, 2017). (eng)
5. On the use of atomic energy *Federal Law of the Russian Federation, 21 November. 1995, No. 170-FZ*, available at <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102038289> (accessed : June 27, 2017). (rus)
6. On the approval of norms and rules for nuclear and radiation safety «Requirements to the composition and content of documents that justify the provision of nuclear and radiation safety in the implementation of activities in the field of the use of nuclear energy and sources of ionizing radiation». *Act of Ministry of Emergency Situations Republic of Belarus, 30 November. 2010, No. 58*, available at <http://www.gosatomnadzor.gov.by/index.php/en/zakonodatelstvo/strukturirovannyj-perechen-normativnykh-pravovykh-aktov/ierarkhicheskaya-piramida?layout=edit&id=77> (accessed: June 27, 2017). (rus)
7. *Requirements for the contents of the report on the safety reasons for a nuclear power plant with a VVER-type reactor*, available at <http://www.gosatomnadzor.gov.by/index.php/en/zakonodatelstvo/strukturirovannyj-perechen-normativnykh-pravovykh-aktov/ierarkhicheskaya-piramida?layout=edit&id=77> (accessed: June 27, 2017). (rus)
8. On providing scientific and technical support to the Ministry of Emergency Situations in the field of nuclear and radiation safety. *Act of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, Dec. 2 2016, No. 991*, Nat. Center of legal information. Rep. Belarus. Minsk, 2017. (rus)

УДК: 351.88

МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Трафимчик З.И., Соболев О.В.

Проанализированы вопросы развития международного сотрудничества Республики Беларусь в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности в контексте реализации первой ядерной энергетической программы на двусторонней и многосторонней основе, выполнения страновых обязательств в рамках международных конвенций, соглашений и договоров, использования передового международного опыта, наработок и рекомендаций для совершенствования системы ядерной и радиационной безопасности в Беларуси.

Ключевые слова: ядерная безопасность, радиационная безопасность, стандарты безопасности, двустороннее сотрудничество, многостороннее сотрудничество, миссии по рассмотрению, международные обязательства.

(Поступила в редакцию 11 июля 2017 г.)

Введение. В силу того, что деятельность по обеспечению ядерной и радиационной безопасности имеет не только национальный, но и международный аспект, в том числе связанный с исполнением обязательств Республики Беларусь, а также с учетом того, что в Беларуси реализуется первая ядерная энергетическая программа и, соответственно, инфраструктура ядерной безопасности продолжает развиваться, белорусские организации, включая регулирующий орган области ядерной и радиационной безопасности – Министерство по чрезвычайным ситуациям и созданный в его составе в 2007 году Департамент по ядерной и радиационной безопасности (Госатомнадзор), широко вовлечены в международное сотрудничество посредством:

- отчетности об исполнении страновых обязательств Республики Беларусь;
- работы с миссиями Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) в Республике Беларусь;
- взаимодействия с зарубежными регуляторами и др. организациями, вовлеченными в обеспечение ядерной и радиационной безопасности;
- участия в международных мероприятиях (конференциях, форумах, семинарах, совещаниях, выставках и проч.);
- участия в реализации национальных и региональных проектов МАГАТЭ, Европейского союза, других международных организаций;
- обучений и стажировок белорусских специалистов за рубежом.

Международное взаимодействие по вопросам обеспечения ядерной и радиационной безопасности осуществляется с общим пониманием значимости данного направления при использовании атомной энергии, взаимном стремлении как со стороны Республики Беларусь, так и зарубежных контрагентов приложить максимум усилий для его укрепления, стремлении зарубежных и международных организаций (прежде всего – МАГАТЭ) оказать всестороннее содействие Республике Беларусь как на текущем этапе развития инфраструктуры ядерной и радиационной безопасности, так и в дальнейшем.

Международные обязательства и их выполнение. Республика Беларусь выполняет мероприятия в рамках ряда международных договоров и конвенций, участницей которых является. Среди них:

Конвенция об оперативном оповещении о ядерной аварии и Конвенция о помощи в случае ядерной аварии или радиационной ситуации (ратифицированы Указом Президиума Верховного Совета Республики Беларусь № 1216-ХІ от 18 декабря 1986 г.);

Конвенция о физической защите ядерного материала (ратифицирована Постановлением Президиума Верховного Совета № 2381-ХІІ от 14 июня 1993 г.);

Договор о нераспространении ядерного оружия (ратифицирован Постановлением Верховного Совета Республики Беларусь № 2166-ХІ от 04 февраля 1993 г.);

Соглашение между Республикой Беларусь и Международным агентством по атомной энергии о применении гарантий в связи с Договором о нераспространении ядерного оружия от 31 августа 1995 г.;

Венская конвенция о гражданской ответственности за ядерный ущерб (ратифицирована Законом Республики Беларусь № 76-3 от 11 ноября 1997 г.);

Конвенция о ядерной безопасности (присоединение Указом Президента Республики Беларусь № 430 от 02 сентября 1998 г.);

Конвенция о доступе к информации, участии общественности в процессе принятия решений и доступе к правосудию по вопросам, касающимся окружающей среды (Орхусская конвенция, утверждена Указом Президента Республики Беларусь № 726 от 14 декабря 1999 г.);

Объединенная конвенция о безопасности обращения с отработавшим топливом и о безопасности обращения с радиоактивными отходами (ратифицирована Законом Республики Беларусь № 130-З от 17.07.2002 г.);

Конвенция об оценке воздействия на окружающую среду в трансграничном контексте (Конвенция Эспоо, принята Указом Президента Республики Беларусь № 487 от 20 октября 2005 г.) и другие.

Примерами их неукоснительного исполнения являются мероприятия 2016-2017 годов. Так, в рамках Соглашения о применении гарантий в связи с Договором о нераспространении ядерного оружия в 2016 году:

на ежемесячной основе проводились плановые инспекции МАГАТЭ в белорусских организациях для контроля состояния ядерных материалов и установок. Состоялось 12 таких инспекций в ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны», 1 инспекция в ГП «Белорусская АЭС» и 1 инспекция вне зоны установок ВУ-Z («Барановичиэнергострой» ф-л РУП «Брестэнерго», СЗАО «Изотопные технологии», ОАО «Центроэнергоонтаж», ЦСЛ ГСПП Трест «Белпромналадка»);

подготовлены и направлены в Департамент гарантий МАГАТЭ отчеты об изменениях инвентарного количества ядерного материала по зонам баланса ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» НАН Беларуси (ВУ-А), КУП «Экорес» (ВУ-Е) и «Вне установки» (ВУ-Z), списки фактически наличного количества материала и материально-балансовые отчеты по этим зонам;

обсуждены на совместном совещании представителей МАГАТЭ, ГП «Белорусская АЭС» и Госатомнадзора технические вопросы установки приборов видеонаблюдения МАГАТЭ на Белорусской АЭС, как дополнительных мер по Соглашению о применении гарантий в связи с Договором о нераспространении ядерного оружия.

В рамках Конвенции о ядерной безопасности подготовлен очередной, 7-й Национальный доклад Республики Беларусь. Впоследствии он был представлен в МАГАТЭ и рассмотрен на совещании договаривающихся сторон Конвенции в 2017 году. Договаривающиеся стороны пришли к выводу, что наша страна соблюдает обязательства в рамках Конвенции и продемонстрировала 4 области хорошего прогресса, которые могут быть взяты на вооружение другими странами:

- управление быстрым ростом регулирующего органа;
- развитие компетенций его специалистов;
- сильные механизмы координации работ, связанных с развитием ядерной программы;
- развитие масштабного международного сотрудничества.

По итогам обсуждения для Беларуси сформулированы 5 вызовов, над решением которых предстоит провести серьезную работу в ближайшей и среднесрочной перспективе:

первый – завершение сооружения и ввод в эксплуатацию новых реакторов с обеспечением выполнения принципа 1 Венского заявления о ядерной безопасности;

второй – развитие системы технической поддержки регулирующего органа в области ядерной и радиационной безопасности;

третий – продолжение усилий по установлению двустороннего сотрудничества с Литовской Республикой;

четвертый – подготовка и проведение всех запланированных оценочных миссий МАГАТЭ в условиях интенсивного графика мероприятий, связанных с сооружением Белорусской АЭС, внедрение рекомендаций и предложений этих миссий;

и, наконец, пятый – надлежащее рассмотрение регулирующим органом заявки на получение лицензии на эксплуатацию АЭС.

Международные оценочные миссии. Республика Беларусь широко применяет практику приглашения международных оценочных миссий, прежде всего – МАГАТЭ, для получения рекомендаций экспертов по дальнейшему укреплению ядерной и радиационной безопасности в стране с опорой на лучший международный опыт и практики.

В октябре 2016 года Республика Беларусь приняла миссию МАГАТЭ по комплекс-

ной оценке регулирующей инфраструктуры ядерной и радиационной безопасности (IRRS), цель которой – оценка соответствия регулирующей инфраструктуры и деятельности в Республике Беларусь нормам безопасности МАГАТЭ. Более 20 экспертов во главе с руководителем миссии – Генеральным директором Финского агентства по ядерной безопасности (STUK) Петтери Тииппана всесторонне изучили различные аспекты регулирующей деятельности по 10 основным и 4 дополнительным тематическим модулям, в том числе:

- ответственность и функции Правительства;
- глобальный режим безопасности;
- ответственность и функции регулирующего органа;
- лицензирование;
- экспертиза безопасности;
- инспекции;
- правоприменение и др.

Эксперты миссии изучили предварительно подготовленные Республикой Беларусь материалы самооценки, провели интервьюирование представителей белорусских органов управления и организаций, приняли участие в инспекциях на площадке строительства Белорусской АЭС (Гродненская область, Островецкий р-н), в ГНУ «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» НАН Беларуси (г. Минск), ЗАО «Изотопные технологии» (г. Минск), КУП «Экорес» (г. Минск), ГУ «Республиканская клиническая больница медицинской реабилитации (Минский р-н).

По итогам работы в Беларуси миссия IRRS положительно оценила:

- трансформацию белорусского регулирующего органа с учетом развития в стране первой ядерной энергетической программы;
- подходы к стратегическому планированию регулирующей деятельности и разработанные Госатомнадзором стратегические документы;
- приверженность Республики Беларусь к безусловному исполнению международных обязательств в области ядерной и радиационной безопасности.

Отмечены 2 положительные практики, применяющиеся в Республике Беларусь. Одна из них – сильные и эффективные механизмы координации деятельности, в числе которых:

Межведомственная комиссия по координации основных мероприятий по сооружению Белорусской АЭС о контроле за его исполнением (под руководством заместителя Премьер-министра Республики Беларусь) и

межминистерская Рабочая группа по координации надзора за сооружением Белорусской АЭС (под руководством первого заместителя Министра по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь).

Вторая – подходы к управлению быстрым ростом Департамента по ядерной и радиационной безопасности МЧС Республики Беларусь, инновационные механизмы и практики построения здоровой организационной культуры, работы с молодыми специалистами.

Миссия IRRS выработала 25 рекомендаций и 20 предложений для Республики Беларусь в части:

- совершенствования нормативной правовой базы (как верхнего уровня, так и технических нормативных правовых актов);
- процедур лицензирования и надзора;
- развития системы технической поддержки регулирующего органа;
- проведения общественных обсуждений важных решений регулирующего органа и по другим вопросам.

Во многом предложения и рекомендации IRRS миссии совпали с проведенной перед ней страновой самооценкой, что свидетельствует о правильном и глубоком понимании белорусскими специалистами стандартов безопасности МАГАТЭ и способов их достижения. В последующем на основании рекомендаций и предложений будет сформирован план действий по совершенствованию регулирующей инфраструктуры ядерной и радиационной безопасности Республики Беларусь для поддержания на высоком уровне стандартов безопасности в нашей стране и их постоянного совершенствования.

Работа по приглашению в страну оценочных миссий МАГАТЭ продолжается на плановой основе. В 2016 г. Беларусь официально пригласила миссию pre-OSART (ожидается в 2018 году с учетом рекомендуемых сроков проведения миссии за 3-6 месяцев до загрузки ядерного топлива) и миссию EPREV (предмиссия состоялась 25-27 января 2017 г., миссия намечена на март 2018 г.).

Кроме того, Беларусь запланировала принять миссию INIR для 3 фазы развития ядерной энергетической программы, а также планирует пригласить ряд миссий, относящихся к сфере физической ядерной безопасности – INSServ, IPPAS, ISSAS.

Многостороннее сотрудничество. Госатомнадзор выстраивает международное сотрудничество для укрепления ядерной и радиационной безопасности как в двустороннем (через взаимодействие с регулирующими органами, организациями технической поддержки суверенных государств, другими организациями, причастными к вопросам обеспечения ядерной и радиационной безопасности), так и на многостороннем уровне (в рамках международных организаций, объединений, программ и проектов с многосторонним участием).

Приоритетами многостороннего сотрудничества является взаимодействие с:

МАГАТЭ – мировым центром по взаимодействию в атомной энергетике, ядерной и радиационной безопасности, работающим с государствами-членами и многочисленными партнерами по всему миру, способствуя продвижению безопасных и мирных атомных технологий;

а также с Европейской комиссией, которая оказывает многолетнее значимое содействие и поддержку развитию белорусского регулирующего органа в области ядерной и радиационной безопасности и осуществляет его посредством реализации комплексных проектов международной технической помощи.

При этом руководство МАГАТЭ уделяет самое пристальное внимание развитию белорусской ядерной энергетической программы и выполнению международных обязательств в ходе ее реализации. В апреле 2016 года состоялись визиты в Республику Беларусь Генерального директора МАГАТЭ Юкиа Аmano и его заместителя Хуана-Карлоса Лентихо, в ходе которых руководители Агентства заверили, что МАГАТЭ продолжит оказывать многостороннюю поддержку Беларуси в развитии инфраструктуры ядерной и радиационной безопасности.

Кроме того, многостороннее сотрудничество осуществляется также путем участия Республики Беларусь и ее представителей в международных объединениях регулирующих органов в области ядерной и радиационной безопасности:

Форум сотрудничества регуляторов (RCF, в качестве получателя помощи с 2012 г.);

Ассоциация регулирующих органов в области ядерной безопасности Западной Европы (WENRA, в качестве наблюдателя с марта 2015 г.);

Форум органов регулирования стран, эксплуатирующих водо-водяной энергетический реактор (Форум ВВЭР, в качестве наблюдателя с сентября 2015 г.).

Двустороннее сотрудничество. Республика Беларусь имеет двусторонние соглашения о сотрудничестве в области ядерной и радиационной безопасности с компетентными органами в области ядерной и радиационной безопасности и организациями их технической поддержки Австрии, Венгрии, Армении, Германии, Польши, России, Словакии, Украины, Франции и стран Северной Европы (Норвегия, Финляндия, Швеция).

При этом наиболее интенсивно реализуется двустороннее сотрудничество с Российской Федерацией и, в частности, с регулирующим органом в области ядерной и радиационной безопасности – Ростехнадзором и организациями его технической поддержки (Федеральное государственное унитарное предприятие ВО «Безопасность» и Федеральное бюджетное учреждение «Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности»), в том числе посредством участия российских специалистов в качестве консультантов в надзоре за строительством Белорусской АЭС, изготовлением и приемкой оборудования, содействия в разработке белорусских технических нормативных правовых актов, организации и проведения обучения белорусских специалистов.

Заключение. Общими тенденциями международного сотрудничества по вопросам ядерной и радиационной безопасности на современном этапе являются:

выполнение в полном объеме международных обязательств Республики Беларусь, связанных с обеспечением ядерной и радиационной безопасности;

поддержание существующего двустороннего и многостороннего сотрудничества в области ядерной и радиационной безопасности в рамках действующих соглашений, выполнение мероприятий по их практической реализации, заключение новых меморандумов о сотрудничестве;

дальнейшая интенсификация сотрудничества с целью использования опыта других стран, зарубежных и международных организаций для совершенствования регулирующей деятельности в Республике Беларусь и развития компетенций белорусских специалистов;

развитие проектной деятельности в рамках проектов международной технической помощи МАГАТЭ и Европейского союза, направленных на содействие белорусскому регулирующему органу в области ядерной и радиационной безопасности;

запросы официальных структур иностранных государств (в том числе через МАГАТЭ) на изучение белорусского опыта развития регулирующей деятельности в стране, реализующей первую ядерную энергетическую программу, в частности от Египта, Бангладеш, Вьетнама.

ЛИТЕРАТУРА

1. Обзор состояния ядерной и радиационной безопасности в Республике Беларусь в 2014 г., 10 ноября 2015 г. – Режим доступа: http://gosatomnadzor.gov.by/phocadownload/dokladi_i_obzori/The_review_of_a_status_of_NRS_in_Belarus_2014_ru.pdf. – Дата доступа: 10.11.2015.
2. Обзор состояния ядерной и радиационной безопасности в Республике Беларусь в 2015 г., 21 июля 2016 г. – Режим доступа: http://gosatomnadzor.gov.by/phocadownload/dokladi_i_obzori/The_review_of_a_status_of_NRS_in_Belarus_2015_ru.pdf. – Дата доступа: 21.07.2016.
3. Национальный доклад Республики Беларусь о выполнении Конвенции о ядерной безопасности 2016 г. 12 августа 2016 г. – Режим доступа: http://gosatomnadzor.gov.by/phocadownload/dokladi_i_obzori/BelarusCNSNatRep2016_Rus_Final.pdf. – Дата доступа: 12.08.2016.
4. Convention on Nuclear Safety. 7th Review Meeting – 2017. Country Review Report for Republic of Belarus, 2 апреля 2017 г. – Режим доступа: http://gosatomnadzor.gov.by/phocadownload/dokladi_i_obzori/CNS_7RM%20CRR%20Belarus%20Final.pdf. – Дата доступа: 10.06.2017.
5. Integrated Regulatory Review Service (IRRS) Mission to Belarus. Report. 12 апреля 2017 г. – Режим доступа: http://gosatomnadzor.gov.by/phocadownload/dokladi_i_obzori/IRRS%20report.pdf. – Дата доступа: 14.06.2017.

INTERNATIONAL COOPERATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS IN THE AREA OF NUCLEAR AND RADIATION SAFETY

Zoia Trafimchik

Oleg Sobolev

Department for Nuclear and Radiation Safety of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus Minsk, Belarus

Purpose. The article is devoted to the development of international cooperation of the Republic of Belarus in the field of nuclear and radiation safety in the context of the implementation of the first nuclear power program on a bilateral and multilateral basis, the implementation of country commitments under international conventions, agreements and treaties, the use of international best practices for improvement of the nuclear and radiation safety system in Belarus.

Methods. Analysis of progress in the improvement of the nuclear and radiation safety system in Belarus.

Findings. Necessity to use best practices for improvement of the nuclear and radiation safety system in Belarus is well recognized. Many actions for strengthening international cooperation of the Republic of Belarus in the area of nuclear and radiation safety are already done and (or) ongoing.

Application field of research. The information of the article could be used by all the stakeholders involved into nuclear and radiation safety provision in Belarus.

Conclusions. Massive bilateral and multilateral cooperation, commitments under international conventions, participation in global safety regime is the way for an embarking country like Belarus to develop its nuclear and radiation safety system in accordance with the international safety standards.

Keywords: nuclear safety, radiation safety, safety standards, bilateral cooperation, multilateral cooperation, review missions, international obligations.

(The date of submitting: July 11, 2017)

REFERENCES

1. *Obzor sostoyaniya yadernoy i radiatsionnoy bezopasnosti v Respublike Belarus' v 2014 g.* [Review of Status of Nuclear and Radiation Safety in the Republic of Belarus in 2014]. 10.11.2015 available at: http://gosatomnadzor.gov.by/phocadownload/dokladi_i_obzori/The_review_of_a_status_of_NRS_in_Belarus_2014_ru.pdf (accessed: November 10, 2015). (rus)
2. *Obzor sostoyaniya yadernoy i radiatsionnoy bezopasnosti v Respublike Belarus' v 2015 g.* [Review of Status of Nuclear and Radiation Safety in the Republic of Belarus in 2015]. 21.07.2016. available at: http://gosatomnadzor.gov.by/phocadownload/dokladi_i_obzori/The_review_of_a_status_of_NRS_in_Belarus_2015_ru.pdf (accessed: July 21, 2016). (rus)
3. *Natsional'nyy doklad Respubliki Belarus' o vypolnenii Konventsii o yadernoy bezopasnosti 2016* [National Report of the Republic of Belarus under Convention on Nuclear Safety 2016]. 12.08.2016. available at: http://gosatomnadzor.gov.by/phocadownload/dokladi_i_obzori/BelarusCNSNatRep2016_Rus_Final.pdf (accessed: August 12, 2016) (rus).
4. *Convention on Nuclear Safety. 7th Review Meeting – 2017. Country Review Report for Republic of Belarus.* 02.04.2017. available at: http://gosatomnadzor.gov.by/phocadownload/dokladi_i_obzori/CNS_7RM%20CRR%20Belarus%20Final.pdf (accessed: June 10, 2017).
5. *Integrated Regulatory Review Service (IRRS) Mission to Belarus. Report.* 12.04.2017, available at: http://gosatomnadzor.gov.by/phocadownload/dokladi_i_obzori/IRRS%20report.pdf (accessed: June 14, 2017).

УДК: 005

СОСТОЯНИЕ РЕГУЛИРУЮЩЕГО КОНТРОЛЯ (НАДЗОРА) ЗА ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ БЕЛОРУССКОЙ АЭС**Мазуренко М.В.**

Одной из задач государственного надзора (контроля) в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности является непосредственная проверка выполнения субъектами надзора регулирующих требований нормативных правовых актов. При этом результаты надзорной деятельности позволяют формировать независимую оценку состояния безопасности эксплуатации ОИАЭ, тем самым влияя и на обеспечение его безопасности.

Существующая система надзорной деятельности в целом эффективна для своевременного выявления недостатков, которые потенциально могут оказать влияние на состояние ядерной и радиационной безопасности на стадии эксплуатации Белорусской АЭС. Вместе с тем, последующие этапы сооружения станции требуют продолжения работы по совершенствованию системы надзорной деятельности. Направления развития должны учитывать особенности видов деятельности специфичных для каждого из этапов сооружения Белорусской АЭС, а их основа должна лежать в плоскости реализации миссии Госатомнадзора, закрепленной в соответствующих документах стратегического уровня.

Ключевые слова: ядерная и радиационная безопасность, государственный надзор, Белорусская АЭС, результаты надзорной деятельности, развитие надзора с учетом международных подходов.

(Поступила в редакцию 11 июля 2017 г.)

Введение. Международными подходами, имплементированными в том числе и в национальное законодательство, ответственность за вред, причиненный радиационной аварией на объекте использования атомной энергии возлагается на эксплуатирующую его организацию.

Для того, чтобы эксплуатирующая организация обеспечивала приемлемый уровень безопасности на потенциально опасном объекте государством посредством базы регулирующих требований устанавливаются достаточно жесткие стандарты к каждому из аспектов деятельности в области использования атомной энергии.

Одной из задач государственного надзора (контроля) в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности является непосредственная проверка выполнения субъектами надзора требований таких стандартов. При этом результаты надзорной деятельности позволяют формировать независимую оценку состояния безопасности эксплуатации объекта использования атомной энергии, тем самым влияя и на обеспечение его безопасности [5].

Для определения основных областей надзора (контроля), осуществляемой в отношении строительства Белорусской АЭС, необходимо отметить основные виды деятельности, которые осуществляются при сооружении и вводе в эксплуатацию блоков атомной станции. К таким видам относят:

- непосредственное возведение зданий и сооружений;
- изготовление оборудования на предприятиях-изготовителях;
- по прибытию изготовленного оборудования на площадку строительства – осуществление входного контроля такого оборудования и его последующий монтаж;
- наладка систем и оборудования, включающая его испытания в различных условиях;
- физический пуск реактора;
- энергетический пуск-освоение мощности реактора до уровня мощности включения генератора в сеть;
- опытно-промышленная эксплуатация.

Указанные виды деятельности осуществляются последовательно, в общем случае формируя соответствующие этапы сооружения Белорусской АЭС.

Следует отметить, что при сооружении и вводе в эксплуатацию надзорной деятельностью охвачены различные аспекты указанных этапов. Контроль (надзор) за обеспечением ядерной и радиационной безопасности является одной из составляющих общего процесса государственного регулирования деятельности по обеспечению безопасности при использовании атомной энергии [2].

В связи с тем, что Белорусская АЭС является единственным объектом такого рода в стране, на площадке ее строительства установлен особый порядок организации и осуществления контроля за обеспечением безопасности при сооружении и вводе станции в эксплуатацию, который позволяет всем надзорным органам осуществлять постоянный контроль (надзор) в своей сфере с применением санкций и иных мер воздействия (ранее таким правом обладал только Госатомнадзор) [1]. Порядок его организации и осуществления определен отдельным Положением, которое утверждено постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25.02.2015 № 133 [3].

Так, на площадке сооружения Белорусской АЭС установлены 2 вида проверок – комплексные и в режиме постоянного контроля (надзора). Комплексные проверки осуществляются контролирующими (надзорными) органами по решению Рабочей группы для координации надзора за строительством Белорусской АЭС [4]. Их особенность в том, что в них одновременно участвуют сразу несколько надзорных органов, что позволяет получить одномоментную полную картину обеспечения безопасности Белорусской АЭС. Проверки в режиме постоянного контроля (надзора) осуществляются надзорными органами с целью оперативной оценки состояния безопасности в целях предупреждения и пресечения нарушений и устранения их последствий с периодичностью, устанавливаемой надзорными органами. Эти проверки проводятся в рамках компетенции надзорных органов, которые самостоятельно устанавливают требования к их проведению.

В Госатомнадзоре в целях оперативной оценки состояния безопасности Белорусской АЭС и для осуществления проверок в режиме постоянного надзора создано и функционирует соответствующее территориальное подразделение – отдел надзора за ядерной и радиационной безопасностью на площадке АЭС (7 работников). Указанное подразделение обладает необходимыми полномочиями по осуществлению надзорных функций [13].

Основными нормативно-правовыми документами, которые устанавливают требования к порядку проведения Госатомнадзором проверок являются [3], [4], [9]-[11].

Для обеспечения качественной организации и осуществления контроля (надзора) за ядерной и радиационной безопасностью в рамках функционирования интегрированной системы управления Госатомнадзора разработан один из основных процессов – «Надзор за обеспечением ядерной и радиационной безопасности в области использования атомной энергии». Такой подход к организации служебной деятельности позволяет автоматизировать рутинные процедуры взаимодействия между подразделениями Госатомнадзора, вовлеченными в надзорную деятельность, в конечном итоге существенно повышая оперативность принятия решений в рамках отработанных механизмов [14].

Госатомнадзором осуществляются проверки как непосредственно на площадке сооружения Белорусской АЭС, так и на предприятиях, изготавливающих оборудование для систем, важных для безопасности будущей станции [9], [10].

Программы проводимых Госатомнадзором проверок преимущественно сконцентрированы на следующих основных направлениях:

соблюдение лицензионных требований и условий, требований выданных разрешений (деятельность в области использования атомной энергии является лицензируемой);

выполнение требований ранее выданных предписаний;

соблюдение требований нормативных правовых актов (включая технические) в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности как изданных в Республике Беларусь, так и в стране-поставщике технологий – Российской Федерации;

функционирование систем обеспечения качества;

обеспечение физической защиты, учет и контроль ядерных материалов;

обеспечение радиационной безопасности персонала и населения, находящегося в зоне влияния Белорусской АЭС;

планирование защитных мероприятий по обеспечению безопасности работающего персонала и населения в случае ядерных или радиационных аварий.

Проверки в режиме постоянного контроля (надзора), осуществляемые Госатомнадзором в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности в отношении площадки сооружения Белорусской АЭС подразделяются на плановые, внеплановые, контрольные [10].

Плановые проверки осуществляются в соответствии с планами проведения проверок. К ним относятся также проверки, которые были запланированы, однако не состоялись или были

перенесены на другой срок по независящим от Госатомнадзора причинам (перенос сроков выполнения проверяемыми организациями работ, несвоевременное представление эксплуатирующей организацией уведомлений о начале проведения работ и иные причины).

Внеплановые проверки проводятся по решению руководителя (уполномоченного заместителя руководителя) Госатомнадзора при предоставлении обоснования как одним штатным работником, так и уполномоченными работниками Госатомнадзора в составе рабочей группы.

Контрольные проверки проводятся с целью контроля устранения проверяемыми организациями нарушений, выявленных в результате проведения предыдущих проверок, с учетом информации об устранении нарушений, полученной от проверяемых организаций.

В рамках осуществления контроля (надзора) за обеспечением ядерной и радиационной безопасности у Госатомнадзора имеются достаточно широкие полномочия по принуждению проверяемых организаций к выполнению законных требований. Учитывая, что такие полномочия в целом одинаковые для организаций системы МЧС, имеющих надзорные функции, их рассмотрение не приводится.

Отмечается, что в целом существующий порядок организации и проведения проверок на площадке сооружения Белорусской АЭС эффективен для своевременного выявления недостатков, которые потенциально могут оказать существенное влияние на состояние ядерной и радиационной безопасности на стадии эксплуатации Белорусской АЭС.

Так, в 2017 году на момент подготовки статьи (вторая декада июня) Госатомнадзором в отношении деятельности по сооружению Белорусской АЭС проведено более 35 проверок. По результатам работы выдано 21 предписание, 11 из которых – о приостановке тех или иных работ.

В текущем году одним из основных видов деятельности, за которым осуществляется преимущественный надзор со стороны Госатомнадзора, является проведение работ по входному контролю и последующему монтажу оборудования важного для безопасности. Качество проведения таких мероприятий напрямую влияет на последующее состояние ядерной и радиационной безопасности. При этом основное внимание в надзорной деятельности уделяется монтажу оборудования, относящегося к 1-3 классам безопасности согласно классификации, установленной в [8].

Отмечается, что к нарушениям, выявляемым Госатомнадзором на текущем этапе сооружения станции, относятся недостатки в части, касающейся:

- производства и контроля сварочных работ;
- проведения и оформления результатов входного контроля;
- соответствия выполненных работ проектной документации;
- актуализации и внесения необходимых записей в исполнительную и распорядительную документацию.

Анализ характера и причин, способствующих возникновению таких нарушений, показывает, что их основа лежит в плоскости общей культуры строительства и видится скорее в отсутствии надлежащего контроля за функционированием систем качества подрядных организаций, выполняющих такие работы.

Как результат проведенной работы в рамках надзорной деятельности помимо непосредственного принятия мер к организациям, допустившим нарушение, Госатомнадзором начата работа по формированию базы регулирующих требований к системам управления лицензиатов в части обеспечения качества тех процессов управления, которые могут влиять на ядерную и радиационную безопасность.

Как уже отмечалось выше анализ результатов надзорной деятельности позволяет с уверенностью говорить о том, что существующая система надзорной деятельности в целом эффективна для своевременного выявления нарушений НПА (ТНПА) в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности на стадии эксплуатации Белорусской АЭС. Вместе с тем, последующие этапы сооружения Белорусской АЭС требуют продолжения работы по совершенствованию системы надзорной деятельности. При этом направления развития должны учитывать специфику видов деятельности для каждого из этапов сооружения Белорусской АЭС, а их основа должна лежать в плоскости реализации миссии Госатомнадзора, закрепленной в соответствующих документах стратегического уровня [15].

Ряд предложений по дальнейшему совершенствованию системы надзора был предложен международными экспертами в рамках миссии МАГАТЭ по комплексной оценке регулирующей инфраструктуры (IRRS), работавшей в Беларуси с 3 по 14 октября 2016 года [16].

Так, на ближайшем этапе развития (2017-2018 г.г.) основные усилия по развитию надзорной деятельности в отношении сооружения Белорусской АЭС планируется сосредоточить на дальнейшем совершенствовании:

методологии надзора;

рабочих процессах и процедурах интегрированной управляющей системы Госатомнадзора на предмет реализации принципа централизации распределения и контроля выполнения возникающих в рамках надзора задач в одном из ключевых подразделений Госатомнадзора;

правового обеспечения надзорной деятельности;

системы профилактической деятельности в отношении поднадзорных объектов;

нормативно-правовой регулирующей базы.

Соответствующие мероприятия сформированы в виде доработанной Стратегии осуществления Департаментом по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь контроля (надзора) за соблюдением законодательства в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности при сооружении и вводе в эксплуатацию Белорусской атомной электростанции и Плана по ее реализации. По проектам указанных документов планируется рассмотрение и принятие решения на очередном заседании коллегии Госатомнадзора.

В качестве некоторых примеров мероприятий на 2017-2018 годы, планируемых к реализации в рамках совершенствования надзорной деятельности возможно отметить:

разработка и внедрение критериев в рамках дифференцированного подхода к выделению ресурсов инспекторского состава на проведение надзорных мероприятий на этапах сооружения Белорусской АЭС, связанных с пуско-наладочными работами, испытаниями систем и оборудования;

разработка детальных программ инспектирования и чек-листов для осуществления надзорной деятельности на последующие этапы сооружения Белорусской АЭС, связанные с испытаниями систем и оборудования, физического и энергетического пусков реактора;

актуализация локальных правовых документов Госатомнадзора в части, касающейся дополнительных критериев назначения различных видов проверок, внесение определенных изменений в классификацию проверок, порядка их проведения и оформление результатов по их завершению. Основу таких изменений составят предложения миссии МАГАТЭ по комплексной оценке регулирующей инфраструктуры (IRRS) [16];

актуализация основного документа, определяющего порядок организации и осуществления надзора на площадке сооружения Белорусской АЭС – постановление Совета Министров Республики Беларусь от 25.02.2015 № 133 «Об утверждении Положения об организации и осуществлении контроля (надзора) за обеспечением безопасности при сооружении и вводе в эксплуатацию Белорусской атомной электростанции». Так, анализ результатов проведения комплексных проверок указывает на целесообразность изменения подходов к их тематическому наполнению – концентрации на одном из наиболее актуальных на момент планирования проверки направлений и комплексному его рассмотрению заинтересованными надзорными органами с учетом компетенций их деятельности. В целом на дальнейших этапах сооружения Белорусской АЭС планируется уход от концепции комплексных проверок и применение подхода совместных проверок заинтересованных надзорных органов;

проведение внутреннего аудита основного процесса интегрированной системы управления Госатомнадзора «Контроль (надзор) за соблюдением законодательства в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности при осуществлении деятельности по использованию атомной энергии» с разработкой соответствующих предложений по его совершенствованию;

в рамках политики правоприменения Госатомнадзора – документа, определяющего приоритеты, цели и принципы, лежащие в основе принятия Госатомнадзором решений при осуществлении контроля (надзора) за обеспечением ядерной и радиационной безопасности – разработка критериев дифференциации использования инструментов принуждения лицензиатов к выполнению требований законодательства, соответствующих нарабатанной международной практике [16], [17];

организация и обеспечение проведения на периодической основе технических совещаний с руководством эксплуатирующей организации и Госатомнадзора по проблемным вопросам, возникающим в ходе осуществления надзорной деятельности, а также особенно-

стям применения НПА (ТНПА) в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности, в том числе изданных в Российской Федерации и имеющих юридическую силу на площадке сооружения Белорусской АЭС;

разработка общих регулирующих требований в отношении систем управления качеством лицензиатов, в части обеспечения ядерной и радиационной безопасности. Принятие соответствующего ТНПА позволит как сформулировать и имплементировать в национальное законодательство современные международные подходы [18], так и создать основу для последующего формирования общей системы регулирующих требований, направленных на повышение уровня культуры безопасности лицензиатов.

Как было указано выше приведенные мероприятия являются лишь отдельными примерами, позволяющими составить общее представление о направлениях развития надзорной деятельности в отношении Белорусской АЭС. Полный перечень мероприятий существенно шире и включает в себя, в том числе, предложения на перспективу до 2021 года.

В заключение хотелось бы еще раз отметить тезис о том, что система регулирующего контроля (надзора) за обеспечением ядерной и радиационной безопасности Белорусской АЭС сформирована и достаточна на текущем этапе развития ядерной программы в Республике Беларусь. Ее существующая организация в целом соответствует международным подходам и требованиям стандартов МАГАТЭ, о чем свидетельствуют заключения миссии МАГАТЭ по комплексной оценке регулирующей инфраструктуры (IRRS) [16].

Вместе с тем, как и для любой системы требуются дальнейшие шаги по совершенствованию и развитию с учетом последующих этапов строительства первого ядерно-энергетического объекта в Республике Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента Республики Беларусь от 16 февраля 2015 г. № 62 «Об обеспечении безопасности при сооружении и вводе в эксплуатацию Белорусской атомной электростанции».
2. Закон Республики Беларусь от 30 июля 2008 г. № 426-З «Об использовании атомной энергии».
3. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 25 февраля 2015 г. № 133 «Об утверждении Положения об организации и осуществлении контроля (надзора) за обеспечением безопасности при сооружении и вводе в эксплуатацию Белорусской атомной электростанции».
4. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2011 г. № 1791 «О создании рабочей группы для координации осуществления государственного контроля (надзора) за строительством атомной электростанции».
5. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 31.12.2008 № 2056 (ред. от 29.06.2016) «О некоторых вопросах осуществления государственного надзора в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности» (вместе с «Положением о государственном надзоре в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности»).
6. Постановление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 24 января 2011 г. № 4 «О наделении должностных лиц Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь полномочиями на составление протоколов об административных правонарушениях и подготовку дел об административных правонарушениях к рассмотрению».
7. Приказ Министра по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 31 декабря 2015 г. № 293 «Об утверждении Инструкции о порядке формирования и ведения Департаментом по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь Общего дела при осуществлении контроля (надзора) за обеспечением безопасности при сооружении и вводе в эксплуатацию Белорусской атомной электростанции».
8. Приказ Министра по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 17.02.2009 № 14 «Об утверждении и введении в действие технических кодексов установившейся практики».
9. Приказ начальника Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 25 апреля 2015 г. № 15-о/д «Об утверждении Инструкции о порядке проведения контроля (надзора) за изготовлением, монтажом и наладкой оборудования объектов использования атомной энергии».
10. Приказ начальника Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 23 сентября 2016 г. № 45 «Об утверждении Инструкции об организации, порядке проведения и оформления результатов проверок в режиме постоянного контроля (надзора), осуществляемых Департаментом по ядерной и радиационной

- безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь при сооружении и вводе в эксплуатацию Белорусской АЭС».
11. Приказ начальника Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 31 марта 2016 г. № 14 «Об утверждении Порядка осуществления контроля (надзора) за вводом в эксплуатацию блоков атомных электростанций с реакторами типа ВВЭР».
 12. Приказ начальника Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 28 января 2016 г. № 2 «Об утверждении Методических рекомендаций по применению норм материального и процессуального права в административных правоотношениях уполномоченными должностными лицами Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».
 13. Приказ начальника Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 30.09.2016 № 49 «О предоставлении дополнительных полномочий ОНЯиРБ на площадке АЭС и организации регулярных технических совещаний».
 14. Приказ начальника Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 07.10.2016 № 50 «Об утверждении паспортов процессов интегрированной системы управления Госатомнадзора».
 15. Регулирующая стратегия Госатомнадзора на 2015-2018 гг. и на период до 2020 г., одобренная Решением коллегии Департамента по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 28.01.2016 «Об итогах служебной деятельности департамента по ядерной и радиационной безопасности МЧС за 2015 г. и задачах на 2016 г., текущих задачах Госатомнадзора по организации проведения лицензионного процесса в отношении Государственного предприятия «Белорусская АЭС» в части эксплуатации блока № 1 и надзора за монтажом оборудования на площадке Белорусской АЭС, рассмотрении стратегических документов Госатомнадзора».
 16. Отчет Миссии МАГАТЭ по комплексной оценке регулирующей инфраструктуры (IRRS) IAEA-NS-IRRS-2016/08, МАГАТЭ [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://gosatomnadzor.gov.by/phocadownload/dokladi_i_obzori/IRRS%20report.pdf.
 17. Руководство № GS-G-1.3. «Инспекции для целей регулирования ядерных установок и санкции регулирующего органа», – МАГАТЭ [Электронный ресурс] / Режим доступа: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1253r_web.pdf.
 18. General safety requirements № GSR Part 2 «Leadership and management for safety», – МАГАТЭ / [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1750web.pdf>.

THE CURRENT STATUS OF REGULATORY CONTROL (SUPERVISION) OVER NUCLEAR AND RADIATION SAFETY AT THE SITE OF THE BELARUSIAN NPP

Maksim Mazurenka

Department for Nuclear and Radiation Safety of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus

Purpose. The article is devoted to the analysis of the current status of the state supervision over nuclear and radiation safety of the first Belarusian nuclear power plant.

Methods. Legal framework presented in legal acts of the Republic of Belarus was analyzed.

Findings. It is stated, that one of the task of state supervision (control) over nuclear and radiation safety of such licensee as Belarusian nuclear power plant - is the verification of licensee`s activity compliance with regulatory requirements. On the other hand, the results of the regulator`s activity make it possible to form and to provide to the stakeholders an independent assessment of the safety status of the NPP, thereby affecting its safety.

The existing system of supervisory activities in general is effective for the timely identification of shortcomings that could potentially have a significant impact on the level of nuclear and radiation safety at the operational stage of the Belarusian NPP. At the same time, the subsequent stages of the plant construction require that the activity on the supervisory system of the regulatory body improving should be continued.

Conclusions. Directions of improvement activity regarding oversight practice should take into account the specifics of the activities at the different stages of Belarusian NPP construction as well as their basis should lie in the framework of the Gosatomnadzor`s mission, stated in relevant strategic documents.

Keywords: nuclear and radiation safety, state supervision, the Belarusian NPP, results of supervisory activities, development of supervision taking into account international approaches.

(The date of submitting: July 11, 2017)

REFERENCES

1. *Decree of the President of the Republic of Belarus of February 16, 2015 No.62 «On Provision of Safety during the Construction of the Belarusian Nuclear Power Plant».*
2. *Law of the Republic of Belarus of 30.07.2008 No.426-3 (revised on 22.12.2011) «On Nuclear Energy Use».*
3. *Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus of 25.02.2015 No. 133 «On Approving Regulations on Organization and Implementation of Control (Supervision) over Safety Assurance during the Construction and Commissioning of the Belarusian Nuclear Power Plant».*
4. *Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus of 30.12.2011 No. 1791 «On Creation of a Working Team to Coordinate Supervision of the Belarusian NPP Construction headed by the First Deputy Minister of Emergency Situations of the Republic of Belarus».*
5. *Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus of December 31, 2008, No. 2056 «On Some Issues of Implementing State Supervision in the Field of Industrial Safety, Nuclear and Radiation Safety».*
6. *Decree of the Ministry of Emergency Situations of January 24, 2011 No. 4 «On Granting Officials of the Department for Nuclear and Radiation Safety of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus with Authorities to Draw Up Administrative Offence Protocols and Finalizing Initiation of Administrative Proceedings».*
7. *Decree of the Ministry of Emergency Situations of December 31, No. 293 «On approval of the Instruction on the procedure for the forming and maintenance by the Department for Nuclear and Radiation Safety of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus of the General files on issuing control (supervision) over safety during the construction and commissioning of the Belarusian Nuclear Power Plant».*
8. *TCP 170-2009 (02300) «General provisions of safety of nuclear power plants (GPS NPP)», approved by the Order of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus of February 17, 2009 No. 14.*
9. *Order of the Chief of Department for Nuclear and Radiation Safety of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus of 25.04.2015 No. 15-OD «On approving the Instruction «On the procedure of the control (supervision) over the manufacture, installation and setup of the equipment of nuclear facilities».*
10. *Order of the Chief of Department for Nuclear and Radiation Safety of the Ministry for Emergency*

Situations of the Republic of Belarus of 23.09.2016 No. 45 «On approving the instruction on organization, procedure and registration of audit results in constant control (supervision) mode performed by the Department of Nuclear and Radiation Safety of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus in the course of construction and commissioning of the Belarusian Nuclear Power Plant».

11. *Order of the Chief of Department for Nuclear and Radiation Safety of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus of 31.03.2016 No. 14* «On approval of the Procedure for supervision over the commissioning of power plants with VVER-type reactors».
12. *Order of the Chief of Department for Nuclear and Radiation Safety of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus of 28.01.2016 No. 2* «On the approval of the Methodological Recommendations on the Application of the Rules of Material and Procedural Law in Administrative Legal Relations by the Authorized Officials of the Department for Nuclear and Radiation Safety of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus».
13. *Order of the Chief of Department for Nuclear and Radiation Safety of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus of 30.09.2016 No 49* «On granting additional authority to ONAiRB at the site of the NPP and organizing regular technical meetings».
14. *Order of the Chief of Department for Nuclear and Radiation Safety of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus of 07.10.2016 No. 50* «On approval of the passports of the processes of the integrated management system of Gosatomnadzor».
15. GAN's Control Strategy on 2015-2018 and up to 2020.
16. *Review report of IAEA's IRRS mission IAEA-NS-IRRS-2016/08*, IAEA, available at: http://gosatomnadzor.gov.by/phocadownload/dokladi_i_obzori/IRRS%20report.pdf.
17. *Safety Guide № GS-G-1.3. «Regulatory Inspection of Nuclear Facilities and Enforcement by the Regulatory Body»*, IAEA, available at: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1253r_web.pdf.
18. *General safety requirements № GSR Part 2 «Leadership and management for safety»*, IAEA, available at: <http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1750web.pdf>.

УДК 519.87

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ АНАЛИЗА И ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В ЧАСТИ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Третьякевич С.С., Сперанский Ф.А.

Представлен обзор нейтронно-физических программных средств различных стран, используемых для анализа и обоснования безопасности блока АЭС, в том числе для определения параметров активной зоны блока АЭС в различных режимах эксплуатации, расчета топливной кампании, выгорания ядерного топлива и т. д. Рассмотрены программные средства для создания библиотек малогрупповых констант, включающих нейтронные макроскопические сечения элементов активных зон ядерных реакторов в зависимости от физических характеристик ядерного реактора, программы-имитаторы активных зон ядерных реакторов для сравнительно быстрых вычислений нейтронно-физических характеристик на основе предварительно подготовленной библиотеки малогрупповых констант, и прецизионные программы на основе метода Монте-Карло. Предложены программные средства для проведения нейтронно-физических расчетов ядерных реакторов Белорусской АЭС эксплуатирующей организацией и регулирующим органом и его организациями технической поддержки.

Ключевые слова: атомные электростанции, анализ безопасности, обоснование безопасности, ядерный реактор, активная зона, нейтронно-физические расчеты, программные средства, безопасность атомных электростанций.

(Поступила в редакцию 11 июля 2017 г.)

Введение. Согласно базе данных МАГАТЭ PRIS [1] о состоянии мировой ядерной энергетики на 21 июня 2017 года в эксплуатации находятся 449 ядерных энергоблоков, общая установленная электрическая мощность которых составляет 392 116 МВт. На различных стадиях строительства находятся 60 энергоблоков АЭС. Общая наработка энергоблоков АЭС в мире составляет 17 176 реактор-лет эксплуатации [1]. Наибольшее количество АЭС (99 энергоблоков) эксплуатируется в США. Второе место занимает Франция (58 энергоблоков), третье место – Япония (42 энергоблока). На территории бывшего СССР эксплуатируется 51 энергоблок, 35 из них находятся в России, 15 – в Украине и 1 – в Армении. Китай активно развивает свою ядерную программу и к настоящему моменту эксплуатирует 37 энергоблоков, обогнав Россию после ввода в эксплуатацию третьего энергоблока АЭС Фуцин 07.09.2016 (китайский проект – CNP-1000).

При обосновании безопасности АЭС рассматриваются различные технические решения, характеристики активных зон блока АЭС меняются в зависимости от загрузки и эксплуатации блока АЭС в ходе предыдущей топливной кампании. Использование экспериментальных методов для обоснования безопасности АЭС, необходимого в связи с высоким риском АЭС для безопасности населения, очень часто требует больших финансовых затрат. В связи с этим для оценки безопасности и эффективности проектных решений АЭС применяются программные средства (ПС).

Требования к безопасности АЭС постоянно совершенствуются, добавляются новые, учитывающие уроки аварий на АЭС. Изменение требований и проектных решений заставляет постоянно улучшать имеющиеся ПС и разрабатывать новые ПС, в том числе для учета человеческого фактора, анализа рисков и принятия риск-информированных решений.

Для анализа безопасности блока АЭС требуется выполнение взаимосвязанных нейтронно-физических, теплофизических и термомеханических расчетов [2]. Основным из них является расчет нейтронно-физических характеристик при заданных значениях теплофизических параметров. Нейтронно-физические ПС используются для определения параметров активной зоны блока АЭС в различных режимах эксплуатации, расчета топливной кампании, выгорания ядерного топлива и т. д.

ПС в части нейтронно-физических вычислений подразделяются на следующие группы в зависимости от сферы их применения [2]:

1. инженерные (спектральные) ПС, применяемые для расчета пространственно-энергетического распределения нейтронов в элементах активной зоны, которое определя-

ется в зависимости от физических характеристик ядерного реактора, в том числе, в зависимости от выгорания ядерного топлива;

2. программы-имитаторы активных зон ядерных реакторов, основанные на численном решении уравнения переноса нейтронов или диффузионном приближении;

3. прецизионные программы, как правило, основанные на методе Монте-Карло и в качестве константной базы использующие файлы оцененных значений ядерных данных.

Спектральные ПС используют для создания библиотек малогрупповых констант, включающих нейтронные макроскопические сечения элементов активных зон ядерных реакторов в зависимости от физических характеристик ядерного реактора.

Программы-имитаторы активных зон ядерных реакторов позволяют выполнять сравнительно быстрые вычисления нейтронно-физических характеристик, используя предварительно подготовленную библиотеку малогрупповых констант, данные об исходном состоянии, переходном процессе.

Прецизионные программы в первую очередь используются для решения сложных или нетиповых задач физики реакторов. Также их применяют для верификации и обоснования точности инженерных ПС, которая проводится путем сравнения нейтронно-физических характеристик ядерного реактора, полученных по прецизионным и инженерным методикам.

Создание библиотек малогрупповых констант

Среди инженерных ПС для расчета нейтронно-физических характеристик ядерных реакторов можно выделить наиболее используемые ячеечные ПС. Среди российских ПС – это ТВС-М, UNK, WIMS/ABBN. Среди ПС других стран – WIMS, CASMO, HELIOS, DRAGON.

ПС **ТВС-М** является основной ячеечной программой, используемой для проектных и эксплуатационных расчетов реакторов типа ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор) [3–4]. Программа создана в РНЦ им. Курчатова. Расчет сечений основан на использовании банка данных программы MCU RFFI/A и программ семейства MCU: CROSS и ТЕРМАК [5, 6].

ПС ТВС-М предназначено для расчета нейтронно-физических характеристик однородных топливных решеток и топливных кассет реакторов типа ВВЭР (LWR). В ПС детально моделируется конфигурация тепловыделяющих сборок реакторов ВВЭР и их изотопный состав. Кроме того, в состав топливной композиции могут входить выгорающие поглотители *B*, *Dy*, *Gd*.

Результатом расчета ТВС по программе ТВС-М является библиотека малогрупповых констант каждого типа ТВС, зависящих от глубины выгорания топлива и других параметров, а также ядерные концентрации актиноидов и продуктов деления в топливе в зависимости от глубины выгорания (в единицах МВт·сут/кгU) [3–4].

Программа ТВС-М входит в инженерный программный комплекс КАСКАД, предназначенный для эксплуатационных и проектных расчетов реакторов ВВЭР.

ПС **UNK** создано в РНЦ им. Курчатова [7]. Оно применяется в нескольких комплексах программ как в самом РНЦ им. Курчатова, так и в других организациях. В ПС UNK реализовано несколько различных методов транспортного расчета: одномерный, двумерный и трехмерный метод вероятностей первых столкновений, метод характеристик и метод Монте Карло. Для подготовки сечений используются файлы оцененных данных в формате ENDFB [8]. Учет резонансов ведется как в приближении теоремы эквивалентности, так и с помощью расчетов на ультратонкой сетке [7].

ПС **HELIOS** разработано в STUDSVIK SCANDPOWER в начале 1990-х годов. Наиболее важной областью расчетов в HELIOS является решение транспортного уравнения и расчет резонансного поглощения [9]. Расчет групповых сечений основан на файлах ENDF/B-VII [9] и программе NJOI [10].

ПС HELIOS предназначено для выполнения расчетов пространственно-энергетического распределения плотности потока нейтронов в транспортном приближении для ячейки (в случае ВВЭР-1000 это может быть тепловыделяющая сборка, в случае РБМК-1000 – тепловыделяющая сборка и графитовый замедлитель) ядерного реактора [11]. Расчет ячейки выполняется в двумерной геометрии, что позволяет адекватно отражать геометрию и состав сборки (ячейки) в поперечном сечении.

Одним из наиболее важных аспектов ПС HELIOS является гибкость создания геометрической модели [2, 11]. HELIOS позволяет рассчитывать тепловыделяющие сборки

реакторов любого типа в отличие от большинства ячеечных программ, которые настроены на геометрию ТВС определенного типа и поэтому могут рассчитывать топливные элементы только для конкретных типов реактора. ПС HELIOS может выполнять расчеты любого количества топливных сборок или их частей [12]. В состав топливной композиции могут входить выгорающие поглотители. В настоящее время ПС HELIOS является одной из наиболее широко используемых в мировой практике компьютерных программ, применяемых для всех типов реакторов.

ПС **WIMS** разработано в Винфризской лаборатории (The Winfrith Improved Multigroup Scheme) и является одной из старейших и наиболее часто используемых программ в мире [13 – 15]. Первая ее версия появилась в конце 1960-х годов, а сейчас используется 9-я версия [16, 17]. В России особое распространение получила версия WIMS/D с многочисленными библиотеками. С самого начала это ПС основывалось на ряде расчетных методов: Sn-методы, диффузионном и методе вероятностей первых столкновений, причем наибольшей популярностью пользуется последний метод, позволяющий вести расчет одномерных и кластерных ячеек [18]. В последних версиях к этим методам добавились метод характеристик и метод Монте-Карло [16]. Для подготовки сечений используется библиотека оцененных данных JEF2.2 и программа NJOI [19].

Программный комплекс **WIMS/ABBN** предназначен для инженерных расчетов ячеек гетерогенных реакторов на тепловых нейтронах и кластеров из нескольких различных ячеек в одно- или двумерной геометрии, в групповом приближении методами вероятностей первых столкновений или методом дискретных ординат [20, 21]. При расчете может быть принято во внимание выгорание топлива и поглотителя, изменение нуклидного состава топлива и накопление продуктов деления. Может быть произведен расчет гомогенизированных микро- и макроконстант, распределений скоростей нейтронных реакций, времени жизни нейтронов и пр. Расчеты могут проводиться с учетом выгорания и расчетом накопления продуктов деления на основе данных библиотеки ABBN-69gr, а также могут быть рассчитаны некоторые характеристики запаздывающих нейтронов [22].

Главным отличием комплекса WIMS/ABBN от лежащей в его основе известной программы WIMS/D4 [22] является замена прежней, устаревшей системы 69-групповых констант новой, полученной, как и система констант ABBN-93 [23 - 26], на основе библиотеки файлов, оцененных нейтронных данных ФОНД-2.2 [27].

ПС **CASMO** разработано в компании Studsvik Scandpower. Версия CASMO-4 появилась в начале 1990-х годов [28]. В 2006 году представлена версия программы CASMO-5, отличающаяся от предыдущей версии числом энергетических групп, увеличенным с 70 до 600 [29]. ПС CASMO выполняет расчеты одномерных ячеек, используемых для получения сечений в крупных и промежуточных группах. Возможен расчет в двумерной кластерной геометрии (pin cell) [29, 30]. Кроме того, программа выполняет расчеты методом характеристик в универсальной двумерной геометрии. ПС CASMO использует библиотеки оцененных данных JEF2.2, JEF3.1, ENDFB-VI и ENDFB-VII. При расчете методом характеристик может учитываться анизотропия рассеяния. Для учета резонансной блокировки используется теорема эквивалентности. Факторы блокировки в произвольной геометрии рассчитываются с использованием метода характеристик [30].

Еще одним ПС, используемом для подготовки ячеечных констант, является программа **DRAGON** (Ecole Polytechnique de Montreal, Канада) [31]. В этой программе используется метод вероятностей первых столкновений в одномерной, двумерной прямоугольной и гексагональной геометрии. Возможен расчет вероятностей в универсальной геометрии. Данные для расчета сечений считываются из файлов, подготовленных в форматах программ DRAGN, MATXS (TRANSX-CTR), WIMSD4, WIMS-AECL, APOLLO [31].

Программы-имитаторы активных зон ядерных реакторов АЭС

ПС **DYN3D**, разработанное в Германии, моделирует поведение ядерных реакторов различных типов при установившихся и переходных процессах [32]. ПС DYN3D разработано для исследований безопасности ядерных реакторов после изменений реактивности системы, также может использоваться для вычислений характеристик ядерного топлива [32].

ПС DYN3D подвергается постоянному совершенствованию относительно улучшенных физических моделей и численных методов. Трехмерный поток и распределение энергии в активной зоне, подразделенной на расчетные узлы, построены центральными методами расширения для решения нейтронного уравнения распространения для квадратной или шестиугольной топливной геометрии [32].

ПС DYN3D позволяет получить большой спектр данных, которые изображаются в различных графиках и диаграммах. С помощью DYN3D можно рассчитать такие параметры активной зоны ядерного реактора, как давление, температуру охладителя, плотность охладителя, массу пара, газосодержание, массовую скорость расхода охлаждающей жидкости, концентрацию борной кислоты, линейную скорость мощности, тепловой поток, режим теплового движения, температуру поверхности, радиальную среднюю температуру топлива, температуру центра топлива, коэффициент теплопередачи охлаждающей жидкости оболочки, газ коэффициента теплопередачи, толщину оксидного слоя, пластическую деформацию оболочки и другие [32].

ПС DYN3D используется научно-исследовательскими институтами, университетами и регулирующими органами в Германии и других европейских странах для оценки безопасности ядерных реакторов.

Программный комплекс **ATHLET/BIPR-VVER** является результатом совместной разработки РНЦ «Курчатовский Институт» (РНЦ КИ, Россия) и Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS mbH) (GRS, Германия) [33]. Каждую из его частей можно охарактеризовать следующим образом:

Теплогидравлический системный код ATHLET (Analysis of THERmal-hydraulics of LEaks and Transients) разработан в Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS mbH) и первоначально предназначался для анализа всего спектра анализов течей и переходных процессов в LWR – легководных реакторах на тепловых нейтронах типа PWR или BWR (корпусные реакторы с водой под давлением или кипящие). Однако опыт работы с ним показал, что он с успехом может быть в полной мере использован для российских реакторов типа ВВЭР и РБМК (реактор большой мощности канальный) [34].

ATHLET состоит из нескольких основных модулей, позволяющих описывать различные явления в поведении реакторов на легкой воде: теплогидравлический модуль (TFD), модуль теплообмена и теплопроводности (HECU), нейтронно-кинетический модуль (NEUKIN) для описания точечной и одномерной кинетики, модуль для описания работы оборудования (GCSM) и неявный модуль для численного интегрирования FEBE [33].

Статическая часть этого кода позволяет рассчитывать выгорание и перегрузку, включая расчет собственных чисел и других параметров критичности и коэффициенты реактивности для различных состояний зоны. Библиотеки для кода BIPR8KN предварительно рассчитываются по специальным программам с учетом свойств топливных сборок различного типа, выгорания топлива, параметров теплоносителя и температуры топлива, отравления ксеноном и самарием [33].

Кинетическая часть кода рассчитывает изменение во времени мощности зоны и деформацию 3D нейтронного потока вследствие изменения реактивности, вызванного различными факторами (движением стержней управления и защиты, попаданием в зону холодной или деборированной воды и т. д.) с учетом быстрых нейтронов, шести групп запаздывающих нейтронов и эффектов обратных связей.

Комплекс ATHLET/BIPR-VVER применялся в проектах перевода реакторов АЭС Чехии, Словакии, Венгрии, Ровенской и Кольской АЭС в 5-6 годичный топливный цикл с усовершенствованными схемами перегрузки топлива и топливными сборками второго поколения. Комплекс ATHLET/BIPR-VVER применялся для обоснования безопасности ВВЭР-1000 при внедрении альтернативных топливныхборок на Калининской АЭС, а также на АЭС Украины и Болгарии. Было обосновано внедрение топливныхборок с увеличенной высотой топливного столба на Балаковской АЭС. Были проведены анализы безопасности для АЭС «Куданкулам» в Индии, «Тяньвань» в Китае и других новых проектов, включая проект ВВЭР-1500 [33, 34]. Во всех случаях результаты анализа аварий с использованием сопряженных комплексов, включенные в отчеты по безопасности блоков АЭС, получили одобрение надзорных органов. Проводятся работы по обоснованию безопасности применительно к проекту реактора ВВЭР-1200.

Инженерный проектно-эксплуатационный программный комплекс **КАСКАД** предназначен для эксплуатационных и проектных расчетов ядерных реакторов типа ВВЭР [36]. Комплекс программ КАСКАД включает в себя спектральную программу ТВС-М (решение уравнения переноса нейтронов для отдельной кассеты и подготовка гомогенизированных констант), трехмерную диффузионную программу БИПР-7А и двумерную диффузионную программу ПЕРМАК-А [36 - 40]. Потвэльская малогрупповая диффузионная программа ПЕРМАК является одной из основных программ расчета физики ВВЭР [38, 40]. Расчетный

код БИПР проводит нодальное (покасетное) нейтронно-физическое моделирование реактора [37, 39].

Комплекс КАСКАД используется в РНЦ КИ, проектных организациях (ОКБ ГП, ВНИИАЭС, ОКБМ) и на атомных станциях в России и других странах для решения вопросов выбора и оптимизации топливных циклов реакторов ВВЭР [2, 38].

Комплекс КАСКАД внедрен на всех АЭС с ВВЭР-1000 и ВВЭР-440. Соответственно, комплекс КАСКАД, доработанный для условий АЭС-2006, может быть использован на Белорусской АЭС. В настоящее время осуществляется дальнейшее развитие и повышение точности нейтронно-физических компьютерных программ комплекса КАСКАД (ТВС-М, ПЕРМАК, БИПР) [2, 38].

Комплекс программ САПФИР_95&RC_ВВЭР предназначен для расчетов нейтронно-физических характеристик при проектировании и эксплуатации водо-водяных реакторов, критических сборок, хранилищ топлива [41 – 48]. ПС САПФИР_95&RC_ВВЭР включает программу расчета нейтронно-физических характеристик в ячейках реактора САПФИР_95.1 [42] и программу расчета нейтронно-физических характеристик реактора САПФИР_95&RC_ВВЭР [43].

Комплекс программ САПФИР_95&RC_ВВЭР разработан на основе базового комплекса программ САПФИР_95&RC, аттестованного для широкого класса реакторов транспортно-го назначения [44].

Для решения определенного класса вычислительных задач нейтронно-физического расчета реактора с использованием файлов оцененных ядерных данных формируются рабочие библиотеки констант [46, 47]. Для конкретных приложений подготавливаются комплексы программ, которые верифицируются и представляются к аттестации и регистрации в регулирующий орган Российской Федерации.

Формат выходных данных комплекса ПС САПФИР_95&RC_ВВЭР согласован с форматом данных для теплогидравлического расчетного кода КОРСАР/В2 [48]. Комплекс применяется в этой связке для подготовки библиотеки мало групповых констант, файлов распределений выгорания и отравления, используемых модулем пространственной нейтронной кинетики ПС КОРСАР/В2 в качестве начальных данных при моделировании динамических режимов [49].

SCALE – модульная система стандартизированного компьютерного анализа для лицензирования – была разработана Окриджской Национальной лабораторией США по заказу комиссии ядерного регулирования США (US NRC) для проведения анализа критичности, радиационной безопасности, теплопереноса и выгорания [50]. Начиная с первого выпуска в 1980 г., пакет программ SCALE постоянно используется в США и других странах для моделирования систем обращения со свежим и отработавшим топливом, а также хранилищ ядерного топлива [50].

ПС SCALE – это многофункциональный программный комплекс, выполняющий различные типы расчетов путем вызова так называемых расчетных последовательностей. Расчеты критичности выполняются вызовом расчетной последовательности CSAS26 (Criticality Safety Analysis Sequences). Эта расчетная последовательность вызывает функциональные модули BONAMI, NITAWL и KENO-VI. Основным модулем по расчету критичности является модуль KENO-VI, для которого модули BONAMI и NITAWL готовят много групповую библиотеку сечений для материалов, определенных в расчете. Традиционно в различных версиях пакета доступны следующие библиотеки нейтронных сечений: 27-групповая библиотека 27GROUPNDF4, 44-групповая библиотека 44GROUPNDF5 и 238-групповая библиотека 238GROUPNDF5 [50].

С момента выхода первой версии SCALE прошло уже 30 лет. За этот период времени выпущены новые версии включительно до 6.0 (февраль 2009 г. [50]). SCALE включает в себя 89 вычислительных модулей, в том числе 3 инженерных и 3 кода Монте-Карло [50]. Система SCALE имеет текущую библиотеку ядерных данных, инструменты для обработки непрерывной энергии, много групповых нейтронных расчетов, связанных много групповых гамма-нейтронных расчетов, а также расчетов активации и распада [50].

Прецизионные программы

ПС **SERPENT** разработано в Техническом исследовательском центре Финляндии (VTT) в 2004 году (до октября 2008 г. был под рабочим названием PSG – Probabilistic Scattering Game) [51 - 53]. SERPENT представляет собой непрерывный энергетический Монте-Карло код для расчета выгорания реакторов. Расчетный код SERPENT предназна-

чен для исследования топливного цикла, связанного с подробным расчетом выгорания топлива в сборке, расчета физики реакторов, которая традиционно обрабатывается с помощью детерминированных кодов транспортной решетки и образовательных целей, демонстрации явлений физики реакторов [53].

ПС SERPENT работает с трехмерной геометрией, которая позволяет описать практически любое 2D или 3D топливо и конфигурацию активной зоны реактора. SERPENT использует CSG модель геометрии (по аналогии с MCNP и KENO-VI), которая состоит из материала ячеек и определяется произвольным типом поверхности. Код также имеет дополнительные геометрии, которые можно использовать для проектирования топлива [53, 54].

Радиоактивный распад и выход деления используются в расчетах из стандартного формата библиотеки данных ENDF. Библиотеки распадов могут содержать данные о 4000 нуклидах, которые доступны для расчета. Общее количество различных нуклидов, образующихся в результате деления, преобразования и реакций распада, составляет порядка 1500 [54].

ПС семейства MCU позволяют решать уравнения переноса нейтронов, фотонов, электронов и позитронов с точностью, ограниченной практически только точностью используемых ядерных данных [55 – 58]. Допускается непрерывное, поточечное, подгрупповое или ступенчатое (кусочно-постоянное и групповое) представление сечений ядерных реакций [55].

ПС MCU используется для расчета нейтронно-физических параметров реакторов различных типов, хранилищ топлива и других размножающих систем. Математически это означает, что для рассматриваемой системы решается кинетическое уравнение с заданными граничными условиями, описывающее распределение в ней потока частиц [2, 56].

Моделирование процессов переноса частиц выполняется в системах с трехмерной геометрией [57]. Моделирование проводится на основе точного описания геометрической структуры и материального состава рассматриваемых систем и использования законов взаимодействия частицы с веществом, параметры которых содержатся в библиотеках констант [57].

Версии программы MCU-REA переданы и эксплуатируются в следующих отраслевых организациях: НИИАР, НИКИЭТ, ВНИИАЭС, ВНИИНМ, РНЦ «Курчатовский институт». Также версии программы MCU-REA переданы и эксплуатируются на АЭС «Тяньвань» (Китай) и «Куданкулам» (Индия) [58].

Код MCNP (Monte Carlo N-Particle) разработан в Лос-Аламосской национальной лаборатории (Los Alamos National Laboratory) в США на языках программирования ANSI C и FORTRAN (90 и 95) [59, 60]. Последняя версия MCNP 5.1.60 выпущена 15 сентября 2010 года. Код относится к кроссплатформенному пакету и может быть использован на различных операционных системах. Используется для решения задач в области физики ядерных реакторов, радиационной защиты, радиационной медицины.

MCNP является универсальной программой, реализующей метод Монте-Карло расчета переноса совокупности нейтронов, фотонов, электронов с непрерывной энергией в обобщенной геометрии и с зависимостью от времени. Код может быть использован в нескольких режимах переноса: только нейтронов, только фотонов, где фотоны возникают при взаимодействии нейтронов, нейтрон/фотон/электрон, фотон/электрон или электрон/фотон [59, 60]. Диапазон нейтронных энергий – от 10^{-11} МэВ до 20 МэВ, а диапазон энергий фотонов и электронов – от 1КэВ до 1000 МэВ [59, 60]. Стандартной процедурой является также способность вычислять собственные значения коэффициента размножения нейтронов для делящихся систем.

MCNP моделирует истории частиц для получения решения задачи переноса, не решая при этом уравнение переноса как таковое. Можно показать, что уравнение, описывающее распределение вероятности плотности частиц для элементов фазового пространства совпадает с интегральным уравнением переноса. Метод Монте-Карло может быть использован для теоретически точного соответствия статистическому процессу (такому как взаимодействие частиц (нейтронов, фотонов) с материалами) и особенно полезен для сложных задач, которые не могут быть смоделированы компьютерными программами, использующими детерминистические методы [59, 60]. В практическом переносе Монте-Карло приводит к реалистичным результатам вычислений.

Программа MCNP также могут использоваться для расчетов наработки различных ядерных материалов и попадают под экспортные ограничения Министерства энергетики США, а доступ к этим программам (платный в общем случае) предоставляется по выполнению ряда требований.

Заключение. В настоящее время специалистами НИИ ЯП БГУ и ГНУ «ОИЭЯИ-Сосны» НАН Беларуси ведется освоение ПС DYN3D и SERPENT для расчета нейтронно-физических характеристик ядерных реакторов Белорусской АЭС. Поскольку SERPENT является прецизионной программой, преимущественно применяемой для научных изысканий, и требует больших вычислительных ресурсов, подготовка константного обеспечения в нем занимает продолжительное время, что не позволяет оперативно выполнить вычисления в DYN3D. Учитывая эти обстоятельства, в настоящее время принято решение рассмотреть различные варианты получения лицензии на использование ПС HELIOS.

Инженерный проектно-эксплуатационный программный комплекс КАСКАД, доработанный для условий АЭС-2006, является потенциальным кандидатом для использования эксплуатирующей организацией при проведении нейтронно-физических расчетов ядерных реакторов Белорусской АЭС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Система PRIS МАГАТЭ // Ресурс МАГАТЭ PRIS посвященный опыту эксплуатации АЭС в мире [Электронный ресурс]. Режим доступа – <https://www.iaea.org/PRIS/>. – Дата доступа 19.06.2017.
2. Калугин, М.А. Развитие прецизионных и инженерных методов и программ расчета ядерных реакторов с использованием алгоритмов Монте-Карло: дис. ... докт. тех. наук: 05.13.18 / М.А. Калугин. – М., 2009. – 295 л.
3. Курченко, А.Ю. Программа ТВС-М. Описание алгоритма и инструкция для пользователей. / А.Ю. Курченко, С.Н. Большагин – Отчет РНЦ КИ, инв. № 32/1-18-203 от 21.04.2003. – М., 2003.
4. Программа ТВС-М (версия 1.4). Аттестационный паспорт программного средства. Регистрационный номер ПС в ЦЭП № 611 от 31.07.2006. Регистрационный номер паспорта регистрации ПС № 239 от 23.09.2008 / Федеральная служба РФ по экологическому, технологическому и атомному надзору. – М., 2008.
5. Абагян, Л.П. Аннотация пакета программ и библиотек CROSS / Л.П. Абагян, В.В. Тебин, М.С. Юдкевич // ВАНТ, Сер. Физика и техника ядерных реакторов, 1985, вып. 4. – С. 44-45.
6. Гомин, Е.А. Аннотация программы ТЕРМАК / Е.А. Гомин, Г.Ф. Лиман, Л.В. Майоров // ВАНТ, Сер. Физика и техника ядерных реакторов, 1985, вып. 4. – С. 53-55.
7. Белоусов, Н.И. Программа UNK для детального расчета спектра нейтронов в ячейке ядерного реактора / Н.И. Белоусов, В.Д. Давиденко, В.Ф. Цибульский. – ИАЭ-6083/4. – М.: Рос. науч. центр «Курчат. ин-т», 1998.
8. Библиотека оцененных ядерных данных ENDF/B-VII // Лос-Аламосская национальная лаборатория [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://t2.lanl.gov/data/endl/decay/VII.1.html>. – Дата доступа: 20.06.2017.
9. Villarino, E.A. HELIOS: Angularly Dependent Collision Probabilities / E.A. Villarino, R.J.J. Stamm'ler, A.A. Ferri, J.J. Casal. – Nucl. Sci. Eng., 112, 16-32 1992.
10. MacFarlane, R.E. The NJOI Nuclear Data Processing system, Version 91 / R.E. MacFarlane, D.W. Muir. – LA-12740-M, Los Alamos National Laboratory, 1994.
11. Murphy, B.D. Simulation of Low-Enriched Uranium (LEU) Burnup in Russian VVER Reactors with the HELIOS Code Package / B.D. Murphy, J. Kravchenko, A. Lazarenko, A. Pavlovitchev, V. Sidorenko, A. Chetverikov. – ORNL/TM-1999/168, 1999.
12. Stamm'ler, J.J. Casal HELIOS: Geometric capabilities of a new fuel-assembly program / J.J. Stamm'ler, E.A. Villarino, A.A. Ferri J.J. – Pittsburg: Proc. International topical meeting on advances in mathematics, computations and reactor physics, 1991.
13. Askew, J.R. A general description of lattice code WIMS / J.R. Askew, F.J. Fayers, P.B. Kemshell // Journal of the British nuclear energy society, 1966. – Vol. 5. Pp. 564-585.
14. Askew, J.R. A General Description of the Code WIMS / J.R. Askew, F.L. Fayers, P.B. Kemshell. – Journal of British Nucl. Energy Soc., 1966. – p.564.
15. Halsall, M.J. A Summary of WIMSD4 Input Options / M.J. Halsall – AEEW-M 1327, Reissued, 1980.
16. Newton, T.D. The next generation WIMS lattice code: WIMS9 / T.D. Newton, J.L. Hutton. – Physors, Japan, 2002.
17. Powney, D.J. Overview of the WIMS9 resonance treatment / D.J. Powney, T.D. Newton. – ANSWERS/WIMS/TR, 26 Issue, a report produced for ANSWERS, 2004.
18. A modular scheme for neutronics calculations – ANSWERS Software Service WIMS / user guide for version 8: report ANSWERS/WIMS(99)9 – s.l., 1999.

19. WIMSD5 Deterministic Code System for Reactor-Lattice Calculations // RSICC COMPUTER CODE COLLECTION – OAK RIDGE National Laboratory, 1997.
20. Николаев, М.Н. Валидация комплекса программ WIMS-ABBN для нейтронно-физических расчетов реакторов типа ВВЭР / М.Н. Николаев, Г.М. Жердев, А.М. Цибуля. – Отчет ФЭИ, Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации. – Физико-энергетический институт», Обнинск, 1997.
21. Жердев, Г.М. Комплекс программ WIMS/ABBN: Описание применения, результаты верификации, инструкция пользователя // Г.М. Жердев, С.В. Забродская, В.Н. Кощев, А.М. Цибуля. – Отчет ФЭИ, Инв. № 10345, ФЭИ 2000.
22. Программа WIMS-D на ЭВМ ЕС-1040 // Отчет Института атомной энергии им. Курчатова [Текст], инв. № 35/90479, 1979.
23. Абагян, Л.П. Групповые константы для расчета ядерных реакторов [Текст] / Л.П. Абагян, Л.О. Базазянц, И.И. Бондаренко – М.: Атомиздат, 1964.
24. Абагян, Л.П. Групповые константы для расчета реакторов и защиты / Л.П. Абагян, Н.О. Базазянц, М.Н. Николаев, А.М. Цибуля. – М.: Энергоиздат, 1981.
25. Мантуров, Г.Н. Система групповых констант БНАБ-93 / Г.Н. Мантуров, М.Н. Николаев, А.М. Цибуля. – Верификационный отчет. М.ЦНИИАИ, 1995.
26. Мантуров, Г.Н. Ядерные константы для расчета нейтронных полей и фотонных полей излучения / Г.Н. Мантуров, М.Н. Николаев, А.М. Цибуля // ВАНТ. Сер.: Ядерные константы, 1996, вып. 1, 1996. – С. 59.
27. Кощев, В.Н. Библиотека оцененных нейтронных данных ФОНД-2.2 / В.Н. Кощев, М.Н. Николаев, Ж.А. Корчагина, Г.В. Савоськина // ВАНТ. Сер.: Ядерные константы, вып. 2, 2000.
28. Rhodes, J., Edenius, M. CASMO-4, a fuel assembly burnup program, user's manual // Studsvik of America, SSP-01/400 Rev 4, 2001.
29. Rhodes, J. CASMO-5 development and applications / J. Rhodes, K. Smith, D. Lee, Z. Xu. – Physor, Vancouver, Canada, 2006.
30. Smith, K., Rhodes, J. CASMO-4 Characteristic Methods for Two-dimensional PWR and BWR Core Calculations // Trans. Am. Nuc. Soc. 83, 322, 2000.
31. Marleau, G. A user's guide for DRAGON // IGE-174, Rev.3, Ecole Polytechnique de Montreal, 1997.
32. Grundmann, U., Rohde, U. DYN3D, Version 3.2, Code for calculation of transient in Light Water Reactors (LWR) with Hexagonal or Quadratic Fuel Elements. Description of Models and Methods / U. Grundmann, U. Rohde, S. Mittag, S. Kliem. – Report FZR-434, Rossendorf, 2005.
33. Никонов, С.П. Использование комплекса программ ATHLET/BIPR-VVER для моделирования эффектов перемешивания теплоносителя в корпусе реактора / С.П. Никонов, М.П. Лизоркин, А.В. Коцарев. – Москва, 2006.
34. Nikonov, S. ATHLET_BIPR8KN application for a realistic core calculations. / Nikonov S., Velkov K., Langenbuch S., Lizorkin M. – Working Group D Meeting Report, Obninsk, 2006.
35. Комплекс программ КАСКАД. Программа БИПР-7А. Описание алгоритма. Описание применения. // Отчет о научно-исследовательской работе РНЦ КИ, инв. № 32/1-52-402, 2002.
36. Томилов, М.Ю. Комплекс программ КАСКАД. Инструкция по использованию графического интерфейса комплекса КАСКАД / М.Ю. Томилов, Н.А. Бычкова, Е.К. Косоуров // Отчет РНЦ КИ, инв. № 32/1-51-402 от 28.11.2002, 2002.
37. Большагин, С.Н. и др. Программа БИПР-7А (версия 1.2). Описание применения // Отчет РНЦ «Курчатовский институт» № 32/1-54-97, 1997.
38. Болобов, П.А. Программа ПЕРМАК-3D. Описание алгоритма. Описание применения // Отчет РНЦ КИ инв. № 32/1-61-103, 2003.
39. Программа БИПР-7А (версия 1.5). Аттестационный паспорт программного средства. Регистрационный номер ПС в ЦЭП при РНК КИ № 613 от 31.07.2006. Регистрационный номер паспорта аттестации ПС № 241 от 23.09.2008. Федеральная служба РФ по экологическому, технологическому и атомному надзору. – М.: 2008.
40. Программа ПЕРМАК-А (версия 1.5). Аттестационный паспорт программного средства. Регистрационный номер ПС в ЦЭП при РНК КИ №240 от 23.09.08.
41. Тебин, В.В., Обухов, В.В. Проект пакета программ САПФИР для решения задач расчета ячейки реактора. / В.В. Тебин, В.В. Обухов, В.К. Сергеев, А.С. Иванов // ВАНТ Физика и техника ядерных реакторов, вып. 4. – М.: 1985. – С. 68-71.
42. Программа САПФИР 95.1 с библиотекой констант БНАБ-78/С-95. Регистрационный номер паспорта аттестации ПС № 205 от 15.12.2005. Федеральная служба РФ по экологическому, технологическому и атомному надзору. – М.: 2005.

43. Комплекс программ САПФИР_95&RC_ВВЭР. Регистрационный номер паспорта аттестации ПС № 206 от 15.12.2005. Федеральная служба РФ по экологическому, технологическому и атомному надзору. – М.: 2005.
44. Комплекс программ САПФИР_ввр95&BC. Регистрационный номер паспорта аттестации ПС №87 от 18.12.1997. Федеральная служба РФ по экологическому, технологическому и атомному надзору. – М.: 1997.
45. Карпов, А.С., Тебин, В.В. Система подготовки многогрупповых констант для делящихся материалов на основе оцененных ядерных данных пакета САПФИР / Материалы десятого симпозиума по проблемам физики реакторов. М.: 1997. – С. 191.
46. Программа САПФИР_95 с библиотекой констант БНАБ-78/С-95. Регистрационный номер паспорта аттестации ПС №116 от 02.03.2000. Федеральная служба РФ по экологическому, технологическому и атомному надзору. М.: 2000.
47. Программный комплекс САПФИР_95&BC_ХОЯТ (с библиотекой констант БНАБ-78/С-95). Регистрационный номер паспорта аттестации ПС № 203 от 23.06.2005 г. Федеральная служба РФ по экологическому, технологическому и атомному надзору. – М.: 2005.
48. Василенко, В.А. Опыт создания и основные характеристики теплогидравлического расчетного кода нового поколения КОРСАР / В.А. Василенко, Ю.А. Мигров, С.Н. Волкова // Теплоэнергетика, 2002. – № 11. – С. 11.
49. Артемов, В.Г. Разработка нестационарных нейтронно-физических и теплогидравлических моделей ВВЭР на основе кодов КОРСАР и САПФИР / В.Г. Артемов, В.И. Гусев, В.Г. Коротаев // Тезисы докладов 4-й Международной научно-технической конференции «Обеспечение безопасности ВВЭР». – Подольск: 2005. – С. 69.
50. Bowman, S. M. SCALE: A comprehensive Modeling and Simulation Suite for Nuclear Safety Analysis and Design: ORNL/TM-2005/39 – s. 1.: Oak Ridge National Laboratory: 2005.
51. Serpent (a Continuous-energy Monte Carlo Physics Burnup Calculation Code) official website [Electronic Resource]. Access mode: <http://montecarlo.vtt.fi/index.htm>. – Date of access: 23.06.2017.
52. Leppanen, J. PSG2/SERPENT – A Continuous Energy Monte-Carlo Reactor Physics Burnup Calculation Code. – VTT Technical Research Centre of Finland release, Helsinki: 2012.
53. Аникин, А.Ю. Использование кода PSG2/SERPENT для расчета K_{eff} уран-водо-графитовых систем / А.Ю. Аникин, Д.К. Герасимов, А.В. Курындин, А.А. Строганов // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов. Обнинск, 2011. – Вып. 3. – С. 72-76.
54. Аникин, А.Ю. Верификация программного средства PSG2/SERPENT для расчета K_{eff} уран-водных систем / А.Ю. Аникин, Д.К. Герасимов, А.В. Курындин, К.Ю. Соколов, А.А. Строганов. – Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов. Обнинск, 2012. – Вып. 3. – С. 70-73.
55. Гомин, Е.А. Программа MCU-FCP для расчета переноса нейтронов методом вероятностей первых столкновений. / Е.А. Гомин, М.И. Гуревич, А.П. Жирнов, М.А. Калугин, И.М. Рождественский, М.С. Юдкевич // Атомная энергия. – М.: 2008. – Т. 105. – Вып. 2.
56. Гомин, Е.А. Описание применения и инструкция для пользователей программы MCU-RFFI расчета методом Монте-Карло нейтронно-физических характеристик ядерных реакторов – ИАЭ-5837/5. – М., 1994. – 63 с.
57. Калугин, М.А. Статус MCU-FCP // ВАНТ, Сер. Физика ядерных реакторов. – Обнинск, 2006. – Вып. 1. – С. 6-32.
58. Гомин, Е.А. Программа MCU-REA и ее библиотека микроконстант DLC/MCUDAT-2.1 // ВАНТ, Сер. Физика ядерных реакторов. Обнинск, 2001. – С. 55-62.
59. MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5. – Los Alamos Report LA-UR-03-1987, 1987.
60. MCNP4C: Monte Carlo N-particle Transport Code System – s.l.: RSICC Computer Code Collection, 2000.

NEUTRON CALCULATIONS CODES APPLICABLE TO THE NUCLEAR POWER PLANTS SAFETY ANALYSIS AND SAFETY JUSTIFICATION

Sergey Tretiakevich

Philip Speransky

Department for Nuclear and Radiation Safety of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus (Gosatomnadzor)

Purpose. The aim of authors was to consider the neutron-physical software of various countries used to analyse and justify the safety of the nuclear power plant in terms determination of the parameters of the nuclear power plant unit core in various operating modes, calculating the fuel campaign, burnup and etc.

Methods. In-depth analysis was applied for definition of the characteristics of the calculation codes spectrum.

Findings. The range of most beneficially applicable neutron calculations codes were sorted during whole spectrum overview.

Application field of research. Safety assessment and safety justification of nuclear power plants design and structure are in the area of high importance for Belarusian society. As far as officials has a responsibility for actual safety state ascertaining it is important to stay in line with best practices approved internationally.

Conclusion. Thus the suggestions concerning neutron calculations codes application in Belarusian expert (technical support) and operating organisations were prepared.

Keywords: Nuclear power plants, safety assessment, safety justification, nuclear reactor, nuclear core, neutron-physical calculations, nuclear codes, safety of nuclear power plants.

(The date of submitting: July 11, 2017)

REFERENCES

1. *PRIS IAEA. IAEA resource on NPP operation experience worldwide*, available at: <https://www.iaea.org/PRIS/> (accessed: June 19, 2017).
2. Kalugin M.A. *Development of precisional and engineering methods and programs for nuclear reactors calculations using Monte Carlo algorithms*. Dr. tech. sci. diss.: 05.13.18 / M.A. Kalugin. Moscow, 2009. P. 295.
3. Kurchenkov A.Y., Bolshagin S.N. *TVS-M code. Description of the algorithm and instruction for users. Report of RRC KI, Inv. No. 32/1-18-203 from 21.04.2003*. Moscow, 2003.
4. *TVS-M program (version 1.4). Certification passport of the code*. Registration number of the code in CEP is No 611 from July 31, 2006. The registration number of the code registration certificate No. 239 dated September 23, 2008. Federal Service of the Russian Federation for Environmental, Technological and Technical Supervision. Moscow, 2008.
5. Abagyan L.P., Tebin B.B., Yudkevich M.S. Annotation to the programs package and libraries CROSS VANT, *Ser. Physics and technology of nuclear reactors*, 1985. Iss. 4. Pp. 44-45.
6. Gomin E.A., Liman G.F., Mayorov L.V. Abstract to the program TERMAK. VANT, *Ser. Physics and Technology of Nuclear Reactors*, 1985. Iss. 4. Pp. 53-55.
7. Belousov N.I., Davidenko V.D., Tsubulsky V.F. UNK program for detailed calculation of the neutron spectrum in the nuclear reactor cell – IAE-6083/4. Moscow: Rus. Sci. Center «Kurchat. In-t», 1998.
8. *The Library of Estimated Nuclear Data ENDF/B-VII*. Los Alamos National Laboratory, available at: <http://t2.lanl.gov/data/endl/decayVII.1.html> (accessed: June 20, 2017).
9. Villarino E.A., Stamm'ler R.J.J., Ferri A.A., Casal J.J. *HELIOS: Angularly Dependent Collision Probabilities*. Nucl. Sci, Eng., 112, 16-32 1992.
10. MacFarlane R.E., Muir, D.W. *The NJOI Nuclear Data Processing system, Version 91*. LA-12740-M, Los Alamos National Laboratory, 1994.
11. Murphy B.D., Kravchenko J., Lazarenko A., Pavlovitchev A., Sidorenko V., Chetverikov A. *Simulation of Low-Enriched Uranium (LEU) Burnup in Russian VVER Reactors with the HELIOS Code Package*. ORNL/TM-1999/168, 1999.
12. Stammler J.J., Villarino E.A., Ferri A.A. Casal HELIOS: Geometric capabilities of a new fuel-assembly program. *Pittsburg: Proc. International topical meeting on advances in mathematics, computations and reactor physics*, 1991.
13. Askew J.R., Fayers F.J., Kemshell P.B. A general description of lattice code WIMS. *Journal of the British nuclear energy society*, 1966. Vol. 5. Pp. 564-585.

14. Askew, J.R., Fayers, F.L., Kemsshell, P.B. A General Description of the Code WIMS. *Journal of British Nucl. Energy Soc.*, 1966. P. 564.
15. Halsall M.J. *A Summary of WIMSD4 Input Options*. AEEW-M 1327, Reissued, 1980.
16. Newton T.D., Hutton J.L. *The next generation WIMS lattice code: WIMS9*. Physor, Japan, 2002.
17. Powney D.J., Newton T.D. *Overview of the WIMS9 resonance treatment*. ANSWERS/WIMS/TR, 26 Issue, a report produced for ANSWERS, 2004.
18. *A modular scheme for neutronics calculations* – ANSWERS Software Service WIMS / user guide for version 8: report ANSWERS/WIMS(99)9, s.l., 1999.
19. *WIMSD5 Deterministic Code System for Reactor-Lattice Calculations*. RSICC COMPUTER CODE COLLECTION – OAK RIDGE National Laboratory, 1997.
20. Nikolaev M.N., Zherdev G.M., Tsubulya A.M. *Validation of the WIMS-ABBN codes complex for VVER reactors neutron-physics calculations*. Report of the FEI, Joint Stock Company «State Scientific Center of the Russian Federation – Physics and Power Institute», Obninsk, 1997.
21. Zherdev G.M., Zabrodskaya S.V., Koshcheev V.N., Tsubulya A.M. *Complex of codes WIMS/ABBN: Description of application, verification of results, user's manual*. Report of the FEI, Inv. No. 10345, FEI 2000.
22. *WIMS-D code on the EC-1040 computer*. Report of the Kurchatov Institute of Atomic Energy, Inv. No. 35/90479, 1979.
23. Abagyan L.P., Bazaziants L.O., Bondarenko I.I. *Group constants for the nuclear reactors calculations*. Moscow: Atomizdat, 1964.
24. Abagyan L.P., Bazayants N.O., Nikolaev M.N., Tsubulya A.M. *Group constants for the calculation of reactors and protection*. Moscow: Energoizdat, 1981.
25. Manturov, G.N., Nikolaev M.N., Tsubulya A.M. *System of group constants BNAB-93*. Verification report. Moscow: TSNIIAI, 1995.
26. Manturov G.N., Nikolaev M.N., Tsubulya A.M. Nuclear constants for the calculation of neutron fields and photon radiation fields. *VANT. Ser.: Nuclear Constants*, 1996. Iss. 1. P. 59.
27. Koshcheev V.N., Nikolaev M.N., Korchagina Zh.A., Savos'kina G.V. Library of the estimated neutron data FOND-2.2. *VANT. Ser.: Nuclear constants*, 2000. Iss. 2.
28. Rhodes J., Edenius M. CASMO-4, a fuel assembly burnup program, user's manual. *Studsvik of America*, SSP-01/400 Rev 4, 2001.
29. Rhodes J., Smith K., Lee D., Xu Z. *CASMO-5 development and applications*. Physor, Vancouver, Canada, 2006.
30. Smith K., Rhodes J. CASMO-4 Characteristic Methods for Two-dimensional PWR and BWR Core Calculations. *Trans. Am. Nuc. Soc.* 83, 322, 2000.
31. Marleau G. A user's guide for DRAGON. *IGE-174, Rev.3, Ecole Polytechnique de Montreal*, 1997.
32. Grundmann U., Rohde U., Mittag S., Kliem S. *DYN3D, Version 3.2, Code for calculation of transient in Light Water Reactors (LWR) with Hexagonal or Quadratic Fuel Elements. Description of Models and Methods*. Report FZR-434, Rossendorf, 2005.
33. Nikonov S.P., Lizorkin M.P., Kotsarev A.V. *ATHLET/BIPR-VVER codes complex usage for simulation of the mixing effects in the reactor vessel coolant*. Moscow, 2006.
34. Nikonov S., Velkov K., Langenbuch S., Lizorkin M. *ATHLET_BIPR8KN application for a realistic core calculations*. Working Group D Meeting Report, Obninsk, 2006.
35. *Complex of codes CASCADE. The BIPR-7A program. Description of the algorithm. Description of the application*. Report on the research work of RRC KI, Inv. No. 32/1-52-402, 2002.
36. Tomilov M.Y., Bychkova N.A., Kosourov E.K. *Complex of codes CASCADE. User instructions for the graphical interface of the CASCADE system*. Report of RRC KI, Inv. No. 32/1-51-402 of 28.11.2002, 2002.
37. Bolyagin S.N. and others. *BIPR-7A code (version 1.2). Description of the application*. Report of the RRC «Kurchatov Institute» № 32/1-54-97, 1997.
38. Bolobov P.A. *PERMAK-3D code. Description of the algorithm. Description of the application*. Report of RRC «Kurchatov Institute» inv. No. 32/1-61-103, 2003.
39. *BIPR-7A code (version 1.5). Certification passport of the software*. The registration number of the code in the CEP No. 613 dated July 31, 2006. Registration number of the passport of the certification of the code No. 241 from 23.09.2008. Federal Service of the Russian Federation for Environmental, Technological and Nuclear Supervision, Moscow, 2008.
40. *PERMAK-A code (version 1.5). Certification passport of the code*. The registration number of the code in the CEP No. 240 dated September 23, 2008.
41. Tebin V.V., Obukhov V.V., Sergeev V.K., Ivanov A.S. The project of the SAPPHIRE code package

- for solving the tasks of the reactor cell calculations. *VANT Physics and technology of nuclear reactors*, 1985. Iss. 4. Pp. 68-71.
42. *SAPPHIRE_95.1 code with constants library BNAB-78/S-95*. The registration number of the passport of the certification of the code No. 205 dated December 15, 2005. Federal Service of the Russian Federation for Environmental, Technological and Nuclear Supervision, Moscow, 2005.
 43. *SAPPHIRE_95&RC_BBEP codes complex*. Registration number of the passport of the certification of the code No. 206 dated December 15, 2005. Federal Service of the Russian Federation for Environmental, Technological and Nuclear Supervision, Moscow, 2005.
 44. *SAPPHIRE_yvr95&VS codes complex*. Registration number of the passport of the certification of the code No. 87 dated by 18.12.1997. Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision, Moscow, 1997.
 45. Karpov A.S., Tebin V.V. The system of multigroup constants preparation for fissile materials on the basis of the estimated nuclear data of the SAPPHIRE package. *Proceedings of the Tenth Symposium on Problems of Reactor Physics*, Moscow, 1997. Pp. 191.
 46. *SAPPHIRE_95 code with the library of constants BNAB-78/S-95*. Registration number of the passport of the certification of the code No. 116 dated by 02.03.2000. Federal Service of the Russian Federation for Environmental, Technological and Nuclear Supervision, Moscow, 2000.
 47. *SAPPHIRE_95&VS_SONF code complex (with library of constants BNAB-78/S-95)*. Registration number of the passport of the certification of the code No. 203 of June 23, 2005. Federal Service of the Russian Federation for Environmental, Technological and Nuclear Supervision, Moscow, 2005.
 48. Vasilenko V.A., Migrov Y.A., Volkova S.N. Experience of creation and main characteristics of the new generation thermal-hydraulic design code KORSAR. *Teploenergetika*, 2002. No. 11. Pp. 11.
 49. Artemov V.G., Gusev V.I., Korotaev V.G. Development of non-stationary neutron physics and thermal-hydraulic VVER models based on CORSAR and SAPPHIRE codes. *Abstracts of the 4th International Scientific and Technical Conference «Ensuring the Safety of WWER»*. Podolsk, 2005. Pp. 69.
 50. Bowman S.M. *SCALE: A comprehensive Modeling and Simulation Suite for Nuclear Safety Analysis and Design*: ORNL/TM-2005/39 – s. 1.: Oak Ridge National Laboratory: 2005.
 51. Serpent (a Continuous-energy Monte Carlo Physics Burnup Calculation Code) official website, available at: <http://montecarlo.vtt.fi/index.htm> (accessed: June 23, 2017).
 52. Leppanen J. *PSG2/SERPENT – A Continuous Energy Monte-Carlo Reactor Physics Burnup Calculation Code*. VTT Technical Research Centre of Finland release, Helsinki: 2012.
 53. Anikin A.Yu., Gerasimov D.K., Kuryndin A.V., Stroganov A.A. Usage of the PSG2/SERPENT code for a Keff calculations in uranium-water-graphite systems. *Problems of Atomic Science and Technology. Ser. Physics of Nuclear Reactors*, Obninsk, 2011. Iss. 3. Pp. 72-76.
 54. Anikin A.Yu., Gerasimov D.K., Kuryndin A.V., Sokolov K.Y., Stroganov A.A. Verification of PSG2/SERPENT software for a Keff calculations a Keff calculations of uranium-water systems. *Questions of atomic science and technology. Ser. Physics of Nuclear Reactors*, Obninsk, 2012. Iss. 3. Pp. 70-73.
 55. Gomin E.A., Gurevich M.I., Zhirnov A.P., Kalugin M.A., Rozhdestvenskiy I.M., Yudkevich M.S. The MCU-FCP program for the calculation of neutron transport by the method of the first collisions probabilities. *Atomic Energy*, Moscow, 2008. Vol. 105. No. 2.
 56. Gomin E.A. *Description of the application and instruction for users for the MCU-RFFI code for the neutron physics calculations of a nuclear reactors characteristics by the Monte Carlo method – IAE-5837/5*. Moscow, 1994. 63 p.
 57. Kalugin M.A. Status of MCU-FCP. *VANT, Ser. Physics of Nuclear Reactors*, Obninsk, 2006. Vol. 1. Pp. 6-32.
 58. Gomin, E.A. The MCU-REA program and its microconstants library DLC/MCUDAT-2.1. *VANT, Ser. Physics of Nuclear Reactors*, Obninsk, 2001. Pp. 55-62.
 59. *MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5*. Los Alamos Report LA-UR-03-1987, 1987.
 60. *MCNP4C: Monte Carlo N-particle Transport Code System – s.1.*: RSICC Computer Code Collection, 2000.

АВТОРЫ СТАТЕЙ

Балькин Александр Сергеевич

Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», научный сотрудник НИЧ,
220023, Беларусь, г. Гродно, ул. Ожешко, 22
тел. +375 (15) 43-33-46, e-mail: kaf_lazfiz@grsu.by

Богданова Валентина Владимировна, доктор химических наук, профессор

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
профессор кафедры университета
220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. +375 (17) 226-46-97, e-mail: bogdanova@bsu.by

Борисевич Сергей Анатольевич, кандидат технических наук,

Белорусский государственный технологический университет, ассистент кафедры
220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь
тел.+375 (29) 765-56-04, e-mail: borsera@belstu.by

Василевич Александр Евгеньевич, кандидат физико-математических наук, доцент

Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», доцент кафедры электротехники и электроники
физико-технического факультета
220023, Беларусь, г. Гродно, ул. Ожешко, 22
тел. +375 (15) 45-06-89, e-mail: vasil@grsu.by

Веренич Кирилл Андреевич

Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем»
Белорусского государственного университета, научный сотрудник
220030, Беларусь, г. Минск, ул. Бобруйская, 11
тел. +375 (17) 226-42-25, e-mail: verenich@inp.bsu.by

Врублевский Андрей Валерьевич

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», старший методист
отдела стандартизации и методического обеспечения учебно-методического центра
220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. +375 (17) 340-35-56, e-mail: anv2rad@mail.ru

Горбачева Наталья Владимировна, кандидат технических наук

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических
и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси,
заведующий лабораторией
220109, Беларусь, г. Минск, а/я 119
тел. +375 (17) 391-13-58, e-mail: harbachova.nv@gmail.com

Дунец Андрей Петрович

Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем»
Белорусского государственного университета, старший научный сотрудник
220030, Беларусь, г. Минск, ул. Бобруйская, 11
тел. +375 (17) 212-17-26, e-mail: dunets@gmail.com

Исаченко Сергей Александрович

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Институт
радиологии» Национальной академии наук Беларуси, научный сотрудник
246007, Беларусь, г. Гомель, ул. Федюнинского, 16

Камлюк Андрей Николаевич, кандидат физико-математических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
заместитель начальника университета по научной и инновационной деятельности
220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. +375 (17) 340-35-59, e-mail: timax1978@gmail.com

Коваленко Антон Николаевич

Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем»
Белорусского государственного университета, старший научный сотрудник
220030, Беларусь, г. Минск, ул. Бобруйская, 11
тел. +375 (17) 212-17-26, e-mail: anton.kavalenka@gmail.com

Крюк Юлиана Евгеньевна, кандидат биологических наук

Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, начальник отдела организации научно-технического сопровождения регулирующей деятельности
220030, Беларусь, г. Минск, ул. Берсона, 16
тел. +375 (17) 226-57-25, e-mail: Kruk@gosatomnadzor.gov.by

Кузьмина Наталья Дмитриевна

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси,
старший научный сотрудник
220109, Беларусь, г. Минск, а/я 119
тел. +375 (17) 391-14-32, e-mail: lab14@sosny.bas-net.by

Куликовская Алла Васильевна

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси,
научный сотрудник лаборатории 21
220109, Беларусь, г. Минск, а/я 119
тел. +375 (17) 391-18-21, e-mail: alla-sosny@tut.by

Кулич Николай Васильевич

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси,
старший научный сотрудник
220109, Беларусь, г. Минск, а/я 119
тел. +375 (17) 391-13-58, e-mail: harbachova.nv@gmail.com

Кутень Семен Адамович, кандидат физико-математических наук

Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем»
Белорусского государственного университета, заведующий лабораторией
220030, Беларусь, г. Минск, ул. Бобруйская, 11
тел. +375 (17) 226-42-25, e-mail: kut@inp.bsu.by

Леванович Андрей Викторович

Учреждение «Гродненское областное управление МЧС Республики Беларусь»,
начальник Научно-практического центра
230005, Беларусь, г. Гродно, пер. Дзержинского, 15
тел. +375 (15) 93-99-62, e-mail: npc-grodno@mail.ru

Левчук Аллаида Степановна

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси,
научный сотрудник
220109, Беларусь, г. Минск, а/я 119
тел. +375 (17) 391-14-32, e-mail: lab14@sosny.bas-net.by

Лозовая Зоя Вячеславовна, кандидат сельскохозяйственных наук

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Институт радиологии» Национальной академии наук Беларуси, старший научный сотрудник
246007, Беларусь, г. Гомель, ул. Федюнинского, 16
e-mail: zoyalozovaya@yandex.by

Лукашенко Наталья Константиновна, кандидат сельскохозяйственных наук

Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, главный специалист отдела организации научно-технического сопровождения регулирующей деятельности
220030, Беларусь, г. Минск, ул. Берсона, 16
тел. + 375 (17) 226-58-24, e-mail: Lukashenko@gosatomnadzor.gov.by

Мазаник Аркадий Леонидович

Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета, старший научный сотрудник
220030, Беларусь, г. Минск, ул. Бобруйская, 11
тел. + 375 (17) 212-17-26, e-mail: arkadimazanik@gmail.com

Мазуренко Максим Валерьевич

Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, начальник отдела организации надзора за ядерной и радиационной безопасностью
220030, Беларусь, г. Минск, ул. Берсона, 16
тел. + 375 (17) 200-13-71, e-mail: mazurenko@gosatomnadzor.gov.by

Макаревич Кристина Олеговна

Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета, младший научный сотрудник
220030, Беларусь, г. Минск, ул. Бобруйская, 11
тел. +375 (17) 226-42-25, e-mail: kristinanevdokh@tut.by

Мамедов Анар Михманович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», заместитель начальника курса университета
220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. +375 (17) 547-35-02

Миненко Виктор Федорович, кандидат биологических наук, доцент

Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета, ведущий научный сотрудник
220030, Беларусь, г. Минск, ул. Бобруйская, 11
тел. +375 (17) 226-42-25, e-mail: vminenko@list.ru

Подоляк Александр Григорьевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Институт радиологии» Национальной академии наук Беларуси, заместитель директора по научной работе
246007, Беларусь, г. Гомель, ул. Федюнинского, 16
тел.+375 (23) 261-03-27, e-mail: alexpodolyak@tut.by

Плещанков Игорь Геннадьевич

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси, старший научный сотрудник
220109, Беларусь, г. Минск, а/я 119
тел. +375 (17) 391-14-32, e-mail: lab14@sosny.bas-net.by

Ребко Дмитрий Вячеславович

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», преподаватель
220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. +375 (33) 635-07-48, e-mail: rebko.dmitriy@yandex.by

Рутковская Кристина Константиновна

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси, научный сотрудник лаборатории 21
220109, Беларусь, г. Минск, а/я 119
тел. + 375 (17) 391-18-21, e-mail: chris@sosny.bas-net.by

Сакович Эрнест Иванович

Учреждение «Гродненское областное управление МЧС Республики Беларусь», ведущий научный сотрудник Научно-практического центра
230005, Беларусь, г. Гродно, пер. Дзержинского, 15
тел. +375 (15) 93-99-66, e-mail: npc-grodno@mail.ru

Седукова Галина Валерьевна, кандидат сельскохозяйственных наук

Республиканское научно-исследовательское унитарное предприятие «Институт радиологии» Национальной академии наук Беларуси, заведующая лабораторией агроэкологии
246007, Беларусь, г. Гомель, ул. Федюнинского, 16
тел.+375 (23) 261-03-06

Сидорович Татьяна Петровна

Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета, научный сотрудник
220030, Беларусь, г. Минск, ул. Бобруйская, 11
тел. + 375 (17) 212-17-26, e-mail: tansid@yahoo.com

Соболев Олег Владимирович

Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, начальник отдела коммуникаций и общественной информации
220030, Беларусь, г. Минск, ул. Берсона, 16
тел. + 375 (17) 200-92-16, e-mail: sobolev@gosatomnadzor.gov.by

Соловьев Виталий Николаевич, кандидат технических наук

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси, заведующий лабораторией
220109, Беларусь, г. Минск, а/я 119
тел. + 375 (17) 391-14-87, e-mail: solov@sosny.bas-net.by

Сперанский Филипп Александрович

Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, главный специалист управления оценки безопасности систем и оборудования ядерных установок,
220030, Беларусь г. Минск, ул. Берсона, 16
тел. +375 (17) 226-58-02, e-mail: speransky@gosatomnadzor.gov.by

Сытова Светлана Николаевна, кандидат физико-математических наук

Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета, заведующий лабораторией
220030, Беларусь, г. Минск, ул. Бобруйская, 11
тел. + 375 (17) 226-47-39, e-mail: sytova@inp.bsu.by

Тарковский Викентий Викентьевич, кандидат физико-математических наук, доцент

Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», заместитель декана физико-технического факультета
220023, Беларусь, г. Гродно, ул. Ожешко, 22
тел. +375 (15) 48-59-56, e-mail: tarkovsky@grsu.by

Тихонов Максим Михайлович, кандидат технических наук, доцент

Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»,
начальник кафедры гражданской защиты
220118, Беларусь, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25
тел. +375(17) 340-35-59, e-mail: timax1978@gmail.com

Третьякевич Сергей Станиславович

Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, заместитель начальника управления оценки безопасности систем и оборудования ядерных установок,
220030, Беларусь г. Минск, ул. Берсона, 16
тел. +375 (17) 226-58-02, e-mail: tretyakevich@gosatomnadzor.gov.by

Трафимчик Зоя Ивановна

Департамент по ядерной и радиационной безопасности Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, заместитель начальника департамента
220030, Беларусь, г. Минск, ул. Берсона, 16
тел. + 375 (17) 226-584-0, e-mail: trafimchik@gosatomnadzor.gov.by

Филипович Сергей Михайлович

Учреждение «Гродненское областное управление МЧС Республики Беларусь»,
научный сотрудник Научно-практического центра
230005, Беларусь, г. Гродно, пер. Дзержинского, 15
тел. +375 (15) 93-99-66, prc-grodno@mail.ru

Фоков Юрий Григорьевич

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси,
старший научный сотрудник лаборатории 21
220109, Беларусь, г. Минск, а/я 119
тел. + 375 (17) 391-18-21, e-mail: yurii.fokov@gmail.com

Фокина Галина Ивановна

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси,
научный сотрудник
220109, Беларусь, г. Минск, а/я 119
тел. +375 (17) 391-14-32, e-mail: lab14@sosny.bas-net.by

Хрущинский Аркадий Аркадьевич, кандидат физико-математических наук

Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем»
Белорусского государственного университета, ведущий научный сотрудник,
220030, Беларусь, г. Минск, ул. Бобруйская, 11
тел. +375 (17) 226-42-25, e-mail: chr@inp.bsu.by

Черепица Сергей Вячеславович

Научно-исследовательское учреждение «Институт ядерных проблем»
Белорусского государственного университета, ведущий научный сотрудник
220030, Беларусь, г. Минск, ул. Бобруйская, 11
тел. + 375 (17) 212-17-26, e-mail: svcharapitsa@tut.by

Шишкина Мария Владимировна

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси, младший научный сотрудник лаборатории 14
220109, Беларусь, г. Минск, а/я 119
тел. +375 (17) 391-14-32, e-mail: maria_0705@mail.ru

**ПРАВИЛА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
статей для публикации в научном журнале
«Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси»**

1. Направляемые в журнал «Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси» статьи должны представлять собой результаты научных исследований и испытаний, описания технических устройств и программно-информационных продуктов, проблемные обзоры, краткие сообщения, комментарии к нормативно-техническим документам, справочные материалы и т. п.

2. Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять не менее 0,35 авторского листа (14000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и другие). В этот объем входят таблицы, фотографии, графики, рисунки и список литературы.

3. Статья представляется в двух экземплярах. Второй экземпляр статьи должен быть постранично пронумерован и подписан всеми авторами. К рукописи статьи прилагаются: а) рекомендация кафедры, научной лаборатории или учреждения образования; б) экспертное заключение о возможности опубликования статьи в открытой печати; в) подписанный лицензионный договор на право опубликования статьи (заключается с каждым автором отдельно и печатается с двух сторон на одном листе). Форма договора размещена на сайте журнала <http://vestnik.ucp.by>.

4. Электронная версия статьи, подготовленная в текстовом редакторе Microsoft Word, представляется на стандартных носителях либо по электронной почте на адрес vestnik@ucp.by. Рисунки дополнительно представляются как отдельные файлы.

5. Материал статьи излагается в следующей последовательности:

- номер УДК (универсальная десятичная классификация);
- название статьи;
- информация о каждом авторе: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, ученое звание, место работы (полное название, адрес с указанием индекса и страны), должность, рабочий телефон, e-mail. Если авторов много указывается корреспондент по вопросам содержания статьи;
- аннотация, ясно излагающая содержание статьи и пригодная для опубликования в аннотациях к журналам отдельно от статьи (не мене 80 и не более 120 слов);
- ключевые слова и словосочетания статьи (не более 15 слов);
- дата поступления статьи (месяц и год);
- введение; основная часть статьи; заключение, завершаемое четко сформулированными выводами;
- список цитированной литературы.

На отдельной странице на английском языке приводятся следующие сведения: название статьи; информация о каждом авторе: фамилия и имя (указываются по паспорту), ученая степень, ученое звание, страна, город, место работы; аннотация; ключевые слова и словосочетания; транслитерация на латинице и перевод на английский язык списка цитированной литературы.

Для русскоязычных источников в транслитерации на латинице приводятся Ф.И.О. авторов, названия статей, журналов (если нет англоязычного названия), материалов конференций и издательств и на английском языке – названия публикаций и выходные сведения (город, том и номер издания, страницы). Для транслитерации на латиницу следует применять систему транслитерации BGN, при этом можно использовать Интернет-ресурсы, например сайт <http://translit.net>.

Необходимо учитывать, что англоязычная аннотация – независимый от статьи источник информации, предназначенный для англоязычных читателей, которые смогут по ней ознакомиться с содержанием работы. Рекомендуемый объем – 150-300 слов. В англоязычной аннотации уместно размещать ключевые фрагменты основной части статьи. Англоязычная аннотация должна включать в себя следующие пункты: *purpose* – раскрывается название статьи, определяется круг рассматриваемых вопросов, обозначаются цель и задачи работы, объект и предмет исследования; *methods* – излагаются подходы, методы и технологии исследования; *findings* – приводятся наиболее значимые теоретические положения, экспериментальные данные, подчеркивается их актуальность и новизна; *application field of research* – описываются возможности использования полученных результатов, отмечается их научно-практическая значимость; *conclusions* – подводятся итоги статьи, даются рекомендации, оценки, обозначаются перспективы исследования.

Основные требования к набору статей, представляемых в журнал, и пример оформления статьи размещены на сайте журнала <http://vestnik.ucp.by>.

6. Содержание разделов статьи, таблицы, рисунки, цитированная литература должны отвечать требованиям межгосударственного стандарта ГОСТ 7.1-2003 и Инструкции о порядке оформления квалификационной научной работы (диссертации) на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, автореферата и публикаций по теме диссертации, утвержденной Постановлением ВАК Беларуси от 28 февраля 2014 г. № 3.

7. Редакция оставляет за собой право на изменения, не искажающие основное содержание статьи. Рукописи отклоненных статей авторам не возвращаются.

**ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ МИНИСТЕРСТВА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»**

Факультет заочного обучения

Проводит:

Подготовку по специальностям:

1-94 01 01 «Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций» с присвоением квалификации «Инженер по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций». Форма обучения заочная – 5 лет.

1-94 02 02 «Пожарная и промышленная безопасность» с присвоением квалификации «Инженер по пожарной и промышленной безопасности». Форма обучения заочная – 5 лет.

По окончании обучения выдается диплом о высшем образовании государственного образца.

Факультет безопасности жизнедеятельности

Проводит:

Переподготовку лиц с высшим образованием по специальностям:

1-94 02 72 «Инжиниринг безопасности объектов строительства» с присвоением квалификации «Инженер по безопасности». Срок обучения 18 месяцев. Форма обучения заочная (три сессии).

1-94 02 71 «Промышленная безопасность» с присвоением квалификации «Инженер по промышленной безопасности». Срок обучения 18 месяцев. Форма обучения заочная (три сессии).

1-59 01 06 «Охрана труда в отраслях непромышленной сферы» с присвоением квалификации «Специалист по охране труда». Срок обучения 19 месяцев. Форма обучения заочная (четыре сессии).

По окончании обучения выдается диплом государственного образца о переподготовке на уровне высшего образования.

Курсы повышения квалификации (на базе высшего и среднего специального образования) по образовательным программам:

- «Экспертная деятельность»;
- «Экспертная деятельность» для работников проектных организаций;
- «Экспертная деятельность» для работников органов и подразделений по ЧС;
- «Пожарная безопасность и предупреждение чрезвычайных ситуаций»;
- «Монтаж, наладка и техническое обслуживание систем автоматической пожарной сигнализации, систем автоматического пожаротушения, систем противодымной защиты, систем передачи извещений, систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией»;
- «Проектирование систем автоматической пожарной сигнализации, систем автоматического пожаротушения, систем противодымной защиты, систем передачи извещений, систем оповещения о пожаре и управления эвакуацией»;
- «Лица, осуществляющие капитальный ремонт (перезарядку) огнетушителей, торговлю средствами противопожарной защиты по перечню, утвержденному Министерством по чрезвычайным ситуациям»;
- «Выполнение работ с огнезащитным составом (инженерно-технические работники)»;
- «Выполнение работ с огнезащитным составом (исполнители работ)»;
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах Республики Беларусь»;
- «Обеспечение пожарной безопасности на объектах с массовым пребыванием людей».

Занятия на курсах повышения квалификации проводятся по мере комплектования учебных групп. За неделю до начала учебных занятий заинтересованным лицам на указанный в заявке факс направляются письма с необходимой информацией.

Обучение проводит профессорско-преподавательский состав университета и ведущие специалисты Республики Беларусь в области пожарной и промышленной безопасности.

**Наш адрес: 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25,
тел./факс 340-71-89 (ФЗО), тел. 340-69-55, факс 340-35-58 (ФБЖ).**

Дополнительная информация размещена на сайте института <http://ucsp.by>.

Научный журнал

Вестник
Университета гражданской защиты МЧС Беларуси
Том 1, № 3, 2017

Технический редактор М.В. Лапина

Подписано в печать 14.08.2017.
Формат 60x84 1/8.
Бумага офсетная. Цифровая печать.
Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 14,99. Уч.-изд. л. 15,71.
Тираж 110 экз. Заказ 111-2017.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты Министерства
по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/259 от 14.10.2016.
Ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск.