

История развития и применения робототехники при ликвидации последствий аварий на радиационно опасных объектах (лекция)

К.Н. Аккузин, Е.С. Макеев

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия радиационной, химической и биологической защиты имени Маршала Советского Союза С.К. Тимошенко» Министерства обороны Российской Федерации, 156015, Российская Федерация, г. Кострома, ул. Горького, д. 16

Поступила 02.03.2021 г. Принята к публикации 20.06.2021 г.

Лекция предназначена для подготовки специалистов в высших военных учебных заведениях по Федеральному государственному стандарту «Робототехника военного и специального назначения», а также для подготовки операторов робототехнических комплексов (средств) военного назначения в учебных центрах и воинских частях.

В лекции рассмотрены два учебных вопроса:

- 1) Ретроспективный анализ радиационных аварий и их последствий.
- 2) Анализ применения роботизированной техники и робототехнических комплексов для ликвидации последствий радиационных аварий.

Вывод: материал, представленный в лекции, направлен на расширение знаний обучающихся в области истории развития радиационных аварий (катастроф) и применения роботизированной техники и робототехнических комплексов для ликвидации последствий таких аварий. Анализ применения робототехники в условиях повышенного радиационного фона показывает незаменимость робототехнических комплексов при решении задач в несопоставимых для жизни человека условиях. Вместе с тем, актуализируются проблемные вопросы развития и применения экстремальной робототехники.

Ключевые слова: радиационно-опасные объекты; радиационные аварии; радиационная разведка и контроль; ликвидация последствий аварий; робототехнические комплексы.

Библиографическое описание: Аккузин К.Н., Макеев Е.С. История развития и применения робототехники при ликвидации последствий аварий на радиационно опасных объектах (лекция) // Вестник войск РХБ защиты. 2021. Т. 5. № 2. С. 149–164. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2021-5-2-149-164>

В настоящее время развитие отечественной робототехники (в том числе и экстремальной) обусловлено появлением в последнее десятилетие потока открытой информации в области разработок, испытаний и эксплуатации робототехнических комплексов. Последнее также позволило российским военным специалистам значительно продвинуться в сфере военной робототехники.

Ключевым фактором, обуславливающим производство и совершенствование робототехнических комплексов (РТК) военного и специального назначения, является возмож-

ность их применения в опасных и смертельно опасных для человека условиях. В нашей стране такая необходимость возникла при ликвидации последствий радиационной аварии на Чернобыльской АЭС. Огромные дозы гамма-излучения делали нахождение ликвидаторов в очаге заражения несопоставимым с жизнью.

Опыт применения РТК, полученный в результате ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС, стал мощным толчком в сфере разработок экстремальных РТК, в том числе и для войск РХБ защиты.

1. Ретроспективный анализ радиационных аварий и их последствий.

Атомные технологии нашли свое применение на транспорте, в оборонной промышленности, энергетике и других сферах человеческой деятельности. Манипуляции по транспортировке, хранению, использованию и утилизации радиоактивных веществ (РВ) производятся на радиационно опасных объектах.

Радиационно опасный объект (РОО) – объект, на котором хранят, перерабатывают, используют или транспортируют радиоактивные вещества, и где в случае аварии или при разрушении может произойти облучение ионизирующим излучением или радиоактивное загрязнение людей, сельскохозяйственных животных и растений, объектов народного хозяйства, а также окружающей природной среды¹.

К типовым РОО относятся:

- атомные станции;
- предприятия по переработке отработанного ядерного топлива и захоронению радиоактивных отходов;
- предприятия по изготовлению ядерного топлива;
- научно-исследовательские и проектные организации, имеющие ядерные установки и стенды;

– транспортные ядерные энергетические установки;

– военные объекты¹.

Вместе с широкими возможностями, обеспечиваемыми эксплуатацией РОО, подобные объекты являются источником огромных рисков для окружающей среды и населения. Возможность выхода радиоактивных продуктов или ионизирующего излучения в окружающую среду в размерах, превышающих допустимые нормы, может привести к авариям катастрофических масштабов.

Радиационная авария – это нарушение правил безопасной эксплуатации ядерно-энергетической установки, оборудования или устройства, при котором произошел выход радиоактивных продуктов или ионизирующего излучения за предусмотренные проектом пределы их безопасной эксплуатации, приводящий к облучению населения и загрязнению окружающей среды [1].

Аварии с выходом РВ в окружающую среду принято классифицировать по границе распространения и количеству вышедших при аварии радиоактивных веществ. Для классификации аварий в России используется предложенная Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ) международная шкала ядерных событий (INES) [2].

Таблица 1 – Международная шкала ядерных событий (INES) с примерами

| Класс, название, пример аварии | Ожидаемые последствия |
|--|---|
| 7 класс – глобальная авария (Чернобыль, СССР, 1986 г.) | Большой выброс. Значительный ущерб здоровью людей и окружающей среде. Величина выброса по J_{131} – более 1016 Бк. |
| 6 класс – тяжелая авария (Виндскейл, Англия, 1957 г.) | Значительный выброс. Полная реализация внешнего противоаварийного плана на ограниченной территории. Величина выброса J_{131} – от 1015 до 1016 Бк. |
| 5 класс – авария с риском для окружающей среды (Три-Майл-Айленд, США, 1979 г.) | Значительное повреждение активной зоны ядерного реактора. Ограниченный выброс. Частичная реализация внешнего противоаварийного плана на ограниченной территории. Величина выброса J_{131} – от 1014 до 1015 Бк. |
| 4 класс – авария в пределах АЭС (Сант-Лоурент, Франция, 1980 г.) | Частичное повреждение активной зоны. Острые последствия для здоровья персонала. За пределами АЭС – небольшой выброс. Облучение лиц из населения – порядка нескольких мЗв. |
| 3 класс – серьезное происшествие (Ленинградская АЭС, 1975 г.) | Большое загрязнение. Переоблучение персонала АЭС. За пределами АЭС – очень небольшой выброс. Облучение населения – ниже доли от установленного предела дозы, порядка десятых долей мЗв. |
| 2 класс – происшествия средней тяжести | События с потенциальным последствием для безопасности. |
| 1 класс – незначительное происшествие | Отклонения от разрешенных границ функционирования. |
| 0 класс – инцидент ниже 1 класса шкалы | Отклонения, не влияющие на безопасность |

¹ ГОСТ Р22.0.05-94: Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. М.: ВНИИ ГОЧС, 1994. 17 с.

Шкала разделена на две большие части. Нижние три класса (1–3) относятся к происшествиям (инцидентам), а верхние классы (4–7) – к авариям. Примеры разделения ядерных событий по классам представлены в таблице 1 [2].

В зависимости от границ зон распространения радиоактивных веществ и радиационных последствий, потенциальные аварии на АЭС делятся на 6 типов [2].

Локальная авария. Радиационные последствия аварии ограничиваются пределами объекта. При этом возможно облучение персонала и загрязнение зданий и сооружений, находящихся на территории АЭС, выше уровней, установленных для нормальной эксплуатации.

Местная авария. Радиационные последствия аварии ограничиваются пределами пристанционного поселка и населенных пунктов в районе расположения АЭС. При этом возможно облучение персонала и населения выше уровней, установленных для нормальной эксплуатации.

Территориальная авария. Радиационные последствия аварии ограничиваются пределами субъекта Российской Федерации, на территории которого расположена АЭС, и включают, как правило, две и более административно-территориальные единицы субъекта. При этом возможно облучение персонала и населения нескольких административно-территориальных единиц субъекта Российской Федерации выше уровней, установленных для нормальной эксплуатации.

Региональная авария. Радиационные последствия аварии ограничиваются пределами двух и более субъектов Российской Федерации и приводят к облучению населения и загрязнению окружающей среды выше уровней, установленных для нормальной эксплуатации. Если при региональной аварии количество людей, получивших дозу облучения выше уровней, установленных для нормальной эксплуатации, может превысить 500 человек или количество людей, у которых могут быть нарушены условия жизнедеятельности, превысит 1 тыс. человек, или материальный ущерб от аварии превысит 5 млн. минимальных размеров оплаты труда, то такая авария будет федеральной.

Трансграничная авария. Радиационные последствия аварии выходят за территорию Российской Федерации, либо данная авария произошла за рубежом и затрагивает территорию Российской Федерации.

Число радиационных аварий и происшествий в мире исчисляется не одним десятком. Приведем их краткий ретроспективный анализ.

1 сентября 1944 г. США, штат Теннесси. В Ок-Риджской национальной лаборатории при попытке прочистить трубу в лабораторном устройстве по обогащению урана произошел

взрыв гексафторида урана, что привело к образованию опасного вещества – гидрофтористой кислоты. Пять человек, находившихся в это время в лаборатории, пострадали от кислотных ожогов и вдыхания смеси радиоактивных и кислотных паров. Двое из них погибли, а остальные получили серьезные травмы [3].

19 июня 1948 г. Объект «А» комбината «Маяк» в Челябинской области СССР.

В СССР первая тяжелая радиационная авария произошла 19 июня 1948 года, на следующий же день после выхода атомного реактора по наработке оружейного плутония (объект «А» комбината «Маяк» в Челябинской области) на проектную мощность. В результате недостаточного охлаждения нескольких урановых блоков произошло их локальное сплавление с окружающим графитом. В ходе ликвидации аварии облучению подвергся весь мужской персонал реактора, а также солдаты строительных батальонов, привлеченные к ликвидации аварии [4].

3 марта 1949 г. в результате массового сброса комбинатом «Маяк» в реку Теча высокоактивных жидких радиоактивных отходов облучению подверглись около 124 тыс. человек в 41 населенном пункте. Наибольшую дозу облучения получили 28,1 тыс. человек, проживавших в прибрежных населенных пунктах по реке Теча (средняя индивидуальная доза – 210 мЗв). У части из них были зарегистрированы случаи хронической лучевой болезни [3].

12 декабря 1952 г. – авария в Чок-Риверской лаборатории, Канада, 5 уровень INES.

Чок-Риверская лаборатория – место крупных исследований и разработок для поддержки и развития ядерных технологий, в частности, реакторной техники CANDU. 12 декабря 1952 года разрушение стержня затвора реактора, в сочетании с несколькими ошибками оператора, привело к большому выходу мощности (более чем в два раза выше номинальной) реактора NRX AECL. Радиоактивные продукты деления попали во внешнюю среду, а около 3800 кубических метров радиоактивно загрязненной воды было сброшено прямо на землю, в мелкие траншеи неподалеку от реки Оттавы [4].

1 марта 1954 г. США были проведены ядерные испытания на атолле Бикини (Маршалловы острова) под кодовым название Castle Bravo.

В начале 1950-х гг. гонка ядерных вооружений была в самом разгаре, причем США в ней отставали от СССР. У советских военных в 1953 г. уже была готовая термоядерная бомба, пригодная к сбрасыванию с самолета, в то время как у Соединенных Штатов – еще нет.

1 марта 1954 г. на атолле Бикини (Маршалловы острова) был взорван собранный накануне двухступенчатый заряд на основе

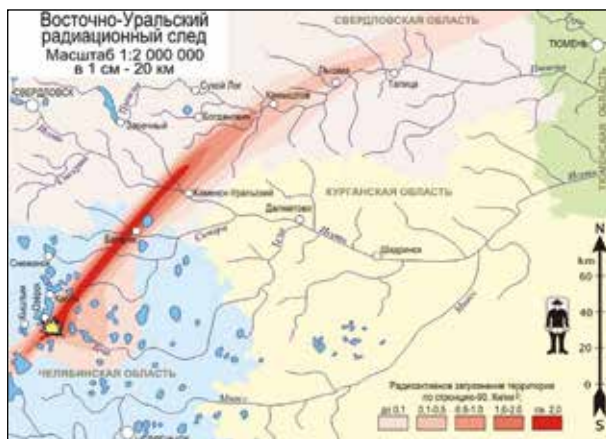


Рисунок 1 – Восточно-Уральский радиационный след при «Кыштымской» аварии
(http://souzchernobylnsk.ru/uploads/news/nuclearcronics/nuclear_chronics_31.jpg).
Дата обращения: 14.02.2021)

дейтерида лития-6. При этом выделился объем энергии, эквивалентный 15 мегатоннам. Это было самое мощное из всех ядерных испытаний, когда-либо проводившихся Соединенными Штатами. Результатом взрыва стало масштабное радиационное загрязнение окружающей среды [5].

29 ноября 1955 г. «человеческий фактор» привел к аварии на американском экспериментальном реакторе EBR-1 (штат Айдахо, США), 4 уровень INES. В процессе эксперимента с плутонием, в результате неверных действий оператора, реактор саморазрушился, выгорело 40% его активной зоны [3].

29 сентября 1957 г. – Кыштымская авария, СССР (6 уровень INES).

В хранилище радиоактивных отходов комбината «Маяк» в Челябинской области взорвалась емкость, содержащая радиоактивные вещества. Специалисты оценили мощность взрыва в 70–100 т в тротиловом эквиваленте.

Радиоактивное облако от взрыва прошло над Челябинской, Свердловской и Тюменской областями, образовав так называемый Восточно-Уральский радиоактивный след площадью свыше 20 тысяч кв. км. По оценкам специалистов, в первые часы после взрыва, до эвакуации с промплощадки комбината, подверглись разовому облучению до 100 рентген более пяти тысяч человек (рисунок 1) [4].

В ликвидации последствий аварии в период с 1957 г. по 1959 г. участвовали от 25 тыс. до 30 тыс. военнослужащих. В советское время катастрофа была засекречена [4].

10 октября 1957 г. в Уиндскейле, Великобритания, произошла крупная авария (5 уровень INES) на одном из двух реакторов по переработке оружейного плутония (рисунок 2).



Рисунок 2 – Комплекс в Уиндскейле, построенный для производства плутония
(https://i2.wp.com/souzchernobylnsk.ru/uploads/news/nuclearcronics/nuclear_chronics_20.jpg).
Дата обращения: 11.02.2021)

Вследствие ошибки, допущенной при эксплуатации, температура топлива в реакторе резко возросла, в активной зоне возник пожар, продолжавшийся в течение 4 суток. Получили повреждения 150 технологических каналов, что повлекло за собой выброс радионуклидов. Всего сгорело около 11 т урана. Радиоактивные осадки загрязнили обширные области Англии и Ирландии, радиоактивное облако достигло Бельгии, Дании, Германии и Норвегии [3].

3 января 1961 г. – авария в Айдахо-Фоллз, штат Айдахо, США (5 уровень INES). На Национальной станции испытания реакторов произошла тяжелая авария на экспериментальной АЭС, введенной в эксплуатацию в 1958 г. Стационарный реактор малой мощности номер 1, или SL-1, взорвался, убив троих рабочих и вызвав расплавление топливных элементов. Причиной послужил неправильно извлеченный стержень регулирования мощности реактора (рисунок 3).

Хотя реактор и выбросил в атмосферу 3 ТБк радиоактивного йода, его удаленное местоположение позволило минимизировать урон, нанесенный населению [4, 6].

4 июля 1961 г. на советской атомной подводной лодке К-19, находившейся в северной части Атлантического океана, была выявлена неисправность ядерного реактора. Все восемь членов экипажа, которые устраняли неисправность реактора, умерли в течение 3 недель с момента аварии. Радиационному заражению также подвергся остальной экипаж и рабочие дока, ремонтировавшие лодку. В последующие несколько лет еще 20 членов экипажа скончались от лучевой болезни [4].

17 января 1966 г. с авиабазы Сеймур-Джонсон (США) на очередное патрулирование вылетела пара стратегических бомбардировщиков



Рисунок 3 – АЭС в Айдахо-Фоллз, штат Айдахо, США
(https://miro.medium.com/max/6400/1*Rny4przjMBb23a4BYNMe2A.jpeg.
Дата обращения: 14.02.2021)



Рисунок 4 – Озеро Карачай, СССР
(https://wp.com/souzchernobylnsk.ru/uploads/news/nuclearcronics/nuclear_chronics_08.jpg.
Дата обращения: 13.02.2021)

В-52 «Стратофортресс». На борту каждого самолета находились четыре термоядерные бомбы В28R1 мощностью 1,45 Мт тротилового эквивалента. Американский стратегический бомбардировщик В-52G с термоядерным оружием на борту столкнулся с танкером КС-135 во время дозаправки в полете.

В результате катастрофы погибли 7 человек и были потеряны четыре термоядерные бомбы. Три из них были найдены сразу, четвертая, упавшая в море – лишь после двухмесячных поисков. Две бомбы, упавшие неподалеку от Паломареса, разрушились, вызвав радиационное заражение местности [7].

В апреле 1967 г. на комбинате «Маяк» произошел очередной радиационный инцидент. Озеро Карачай, которое «Маяк» использовал для сброса жидких радиоактивных отходов, сильно обмелело; при этом оголилось 2–3 гектара прибрежной полосы и 2–3 гектара дна озера. В результате ветрового подъема донных отложений с оголившихся участков дна водоема была вынесена радиоактивная пыль. Была загрязнена территория в 1,8 тыс. квадратных километров, на которой проживало около 40 тыс. человек (рисунок 4) [3].

21 января 1968 г. над базой ВВС США «Туле» в Гренландии произошла авиакатастрофа. После возникновения пожара на борту стратегического бомбардировщика В-52 экипаж был вынужден экстренно покинуть самолет. Неуправляемая машина потерпела крушение вблизи базы. Бомбардировщик выполнял боевое патрулирование в рамках операции «Хромированный купол» и нес четыре термоядерные бомбы В28F1. В результате падения самолета, оставленного экипажем, термоядерные боеприпасы разрушились, вызвав радиационное заражение местности².

В 1969 г. имела место авария подземного ядерного реактора в Люценсе (Швейцария), 5 уровень INES (рисунок 5). Пещеру, где находился реактор, зараженную радиоактивными выбросами, пришлось навсегда замуровать.

В том же 1969 г. произошла авария во Франции – на АЭС «Святой Лаврентий» взорвался запущенный реактор мощностью 500 мВт. Оказалось, что во время ночной смены оператор по невнимательности неправиль-



Рисунок 5 – Опытная АЭС в Люценсе (Швейцария), 1969 г.
(https://nashagazeta.ch/sites/default/files/styles/article/public/bez_imeni.jpg?itok=NTZl8Sjc.
Дата обращения: 13.02.2021)

² Википедия. Свободная энциклопедия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_радиационных_аварий (дата обращения: 14.03.2021).



Рисунок 6 – АЭС «Святой Лаврентий» (<https://www.topnews.ru/upload/photo/0f21c685/05e54.jpg>.
Дата обращения: 13.02.2021)

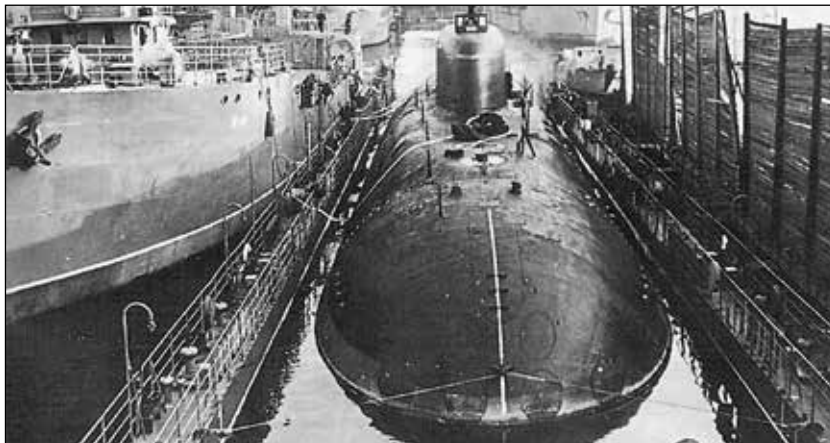


Рисунок 7 – Атомная подводная лодка К-320
(http://souzchernobylnsk.ru/uploads/news/nuclearcronics/nuclear_chronics_11.jpg.
Дата обращения: 13.02.2021)

но загрузил топливный канал. В результате часть элементов перегрелась и расплавилась, вытекло около 50 кг жидкого ядерного топлива [3] (рисунок 6).

18 января 1970 г. произошла радиационная авария на заводе «Красное Сормово», СССР. При строительстве атомной подводной лодки К-320 произошел неразрешенный запуск реактора, который отработал на запредельной мощности около 15 секунд. При этом произошло радиоактивное заражение зоны цеха, в котором строилось судно (рисунок 7).

В цехе находилось около 1 тыс. рабочих. Радиоактивного заражения местности удалось избежать из-за закрытости цеха. Основные работы по ликвидации аварии продолжались до 24 апреля 1970 г. В них приняло участие более



Рисунок 8 – Взрыв на одной площадок для ядерных испытаний Юкка-Флэт.
(http://souzchernobylnsk.ru/uploads/news/nuclearcronics/nuclear_chronics_30.jpg.
Дата обращения: 13.02.2021)

тысячи человек. К январю 2005 г. в живых из них осталось 380 человек [4].

18 декабря 1970 г. – Юкка-Флэт, штат Невада, США. Юкка-Флэт является одной из площадок для ядерных испытаний в США (рисунок 8). 18 декабря 1970 г. при детонации 10 кт атомной бомбы, закопанной на глубине в 275 м под землей, плита, удерживавшая взрыв, треснула, и в воздух поднялся столб радиоактивных осадков, в результате чего было облучено 86 человек, принимавших участие в испытаниях. Радиационные осадки выпали в округе. Кроме того, их также отнесло на север Невады, в штаты Айдахо и Калифорнию, а также в восточные части штатов Орегон и Вашингтон. В 1974 г. два специалиста, которые присутствовали при взрыве, умерли от лейкемии [4].

30 ноября 1975 г. – авария на Ленинградской АЭС, СССР (3 уровень INES). Данная авария по внешним признакам очень похожа на чернобыльскую. В результате прекращения теплосъема из технологического канала разрушилась тепловыделяющая сборка и продукты деления урана (Cs137, Cs134, Ce144, Sr90 и т.д.), а также трансурановые элементы (Pu238, Pu239, Am241 и др.) оказались в графитовой кладке реактора. Аварийный выброс радиоактивности в атмосферу продолжался в течение месяца. По разным оценкам, в окружающую среду попало от 137 тыс. до 1,5 млн Ки радиоактивных веществ. Тонны жидких радиоактивных отходов были сброшены в Балтийское море [4].

22 февраля 1977 г. – авария на АЭС в Богунице, Чехословакия, 4 уровень INES. Реактор KC-150 был экспериментальной разработкой для работы на уране, добываемом в Чехословакии. Несмотря на это, на первом в своем роде комплексе было множество аварий, поэтому за-

крыть его должны были более 30 раз. В 1976 г. погибло двое рабочих, но самая ужасная авария произошла 22 февраля 1977 г., когда один из рабочих во время обычной смены топлива неверно вытащил стержень регулирования мощности реактора. Эта ошибка вызвала масштабную утечку радиоактивных веществ из реактора [4].

24 января 1978 г. советский спутник морской космической системы разведки и целеуказания Космос-954 с ядерной энергетической установкой на борту упал на территорию Канады, вызвав радиоактивное заражение части Северо-Западных территорий [6].

28 марта 1979 г. произошла авария на АЭС «Три-Майл-Айленд» в штате Пенсильвания, США (5 уровень INES), которая стала одним из самых серьезных инцидентов в атомной энергетике США.

В результате серии сбоев в работе оборудования и грубых ошибок операторов на втором энергоблоке АЭС произошло расплавление 53% активной зоны реактора. В атмосферу были выброшены инертные радиоактивные газы – ксенон и йод. Кроме того, в реку Сукуахана было сброшено 185 м³ слаборадиоактивной воды. Из района, подвергнувшегося радиационному воздействию, было эвакуировано 200 тыс. человек [3].

13 марта 1980 г. – авария на АЭС Сен-Лоран-дез-О, Франция (4 уровень INES). Авария на АЭС Сен-Лоран-дез-О – самый тяжелый радиационный инцидент на ядерных объектах Франции.

Инцидент произошел на втором блоке (SLA-2), оснащенном графито-газовым реактором UNGG (Uranium Naturel Graphite Gaz) мощностью 500 МВт, работающем на природном уране и охлаждаемым углекислым газом. В 17 ч. 40 мин. реактор был автоматически заглушен из-за резкого повышения активности. Было выяснено, что произошло частичное расплавление активной зоны, вызванное коррозией конструктивных элементов топливных каналов. В течение 29 месяцев проводились работы по очистке реактора от расплавленного топлива, в которых участвовало около 500 человек. В процессе ликвидации аварии был произведен вынужденный контролируемый выброс радиоактивного йода в атмосферу (в объеме 0,37 ГБк). Блок SLA-2 окончательно вернулся в строй только в 1983 г., но его мощность была ограничена 450 МВт. Блок был закрыт в 1992 г. [4].

В 1982 г. в Мурманской области произошла крупнейшая по своим масштабам радиационная авария на 569-й береговой технической базе в губе Андреева, где располагалось хранилище отработанного ядерного топлива, расположенное в 55 км северо-западнее Мурманска и в 60 км от границы Норвегии на берегу залива Западная Лица (Кольский полуостров).



Рисунок 9 – Последствия радиационной катастрофы на Чернобыльской АЭС
(http://souzchernobylnsk.ru/uploads/news/nuclearcronics/nuclear_chronics_28.jpg).
Дата обращения: 15.02.2021)

На хранилище произошла утечка радиоактивной воды из бассейна здания № 5. Ликвидация аварии шла с 1983 г. по 1989 г.. За этот период в воды Баренцева моря вытекло около 700 тыс. т. высокордиоактивной воды. В ликвидации аварии участвовало около 1 тыс. человек [4].

7 февраля 1983 г. спутник Космос-1402 после завершения задачи не смог выйти на орбиту захоронения. Реактор разрушился над Атлантическим океаном, рассеяв в атмосферу 44 кг урана [6].

10 августа 1985 г. – авария в бухте Чажма, СССР (5 уровень INES).

Авария произошла на атомной подводной лодке К-431 проекта 675, которая находилась у пирса для перезарядки активных зон реакторов. При подъеме крышки реактора плавучий кран, удерживавший крышку реактора, поднял ее слишком высоко, и реактор вышел на пусковой режим, что вызвало тепловой взрыв. Мгновенно погибли 11 офицеров и матросов, осуществлявших операцию. Их тела были практически полностью испарены взрывом. В центре взрыва уровень радиации, определенный впоследствии по уцелевшему золотому кольцу одного из погибших офицеров, составлял 90 тыс. рентген/час. На подводной лодке начался пожар, который сопровождался мощными выбросами радиоактивной пыли и пара. Известно, что всего в результате аварии пострадали 290 человек. Из них 10 погибли в момент аварии, у 10 зафиксирована острая лучевая болезнь, у 39 – лучевая реакция [4].

26 апреля 1986 г. – радиационная катастрофа на Чернобыльской АЭС, СССР (7 уровень INES). В ночь с 25 на 26 апреля 1986 г. на четвертом блоке Чернобыльской АЭС произошла крупнейшая в мире ядерная авария с ча-

стичным разрушением активной зоны реактора и выходом осколков деления за пределы зоны (рисунок 9).

В результате катастрофы в атмосферу было выброшено около 190 т радиоактивных веществ. 8 из 140 т радиоактивного топлива реактора оказались в воздухе. Население в Чернобыле подверглось облучению в 90 раз большему, чем при падении бомбы на Хиросиму. В результате аварии произошло радиоактивное заражение местности в радиусе 30 км. Загрязнена территория площадью 160 тыс. км². Пострадали северная часть Украины, Беларусь и запад России. Радиационному загрязнению подверглись 19 российских регионов с территориями почти 60 тыс. км² и с населением 2,6 млн человек [3].

13 сентября 1987 г. в городе Гояния, Бразилия, произошел один из самых страшных случаев радиационного заражения местности, 5 уровень INES. Институт радиотерапии переехал, оставив в старом помещении установку для радиотерапии, в которой все еще находился хлорид цезия.

Мародеры, нашедшие установку, вывезли ее с территории больницы и продали на свалку. Владелец свалки пригласил родственников и друзей посмотреть на светящееся голубым светом вещество. Все они потом разошлись по городу и начали заражать радиацией своих друзей и родственников. Общее число зараженных составило 245 человек, четверо из них умерли [4].

6 апреля 1993 г. на радиохимическом заводе Сибирского химического комбината произошел взрыв. В результате взрыва был разрушен один из аппаратов по экстракции урана и плутония, содержащий раствор нитрата уранила. При взрыве значительная часть плутония и других радиоактивных веществ была выброшена в атмосферу.

После аварии на расстоянии 8 км к северо-востоку от места аварии радиационный фон составил до 300 микрорентген/час. В результате аварии подверглись радиоактивному облучению 1946 человек. Жертв при взрыве и ликвидации аварии не было. Индекс по международной шкале ядерных событий INES-4 [4].

17 июня 1997 г. в лаборатории Всероссийского Научно-исследовательского института экспериментальной физики (ВНИИЭФ) при монтаже оборудования на экспериментальной установке вследствие нарушения регламента работ создались условия для возникновения самопроизвольной цепной ядерной реакции. Произошла ядерная вспышка с резким повышением температуры и одновременным образованием мощного нейтронного излучения. Мощный поток нейтронов инициировал возникновение наведенного жесткого гамма-излучения. В результате реакции возник постоянный источник тепла и нейтронов. Сотрудник

ядерного центра, проводивший эксперимент, получил смертельную дозу облучения. Повышение температуры могло привести к тепловому взрыву и возгоранию радиоактивных материалов с образованием аэрозоля, который при выбросе из помещения лаборатории вызвал бы сильное радиоактивное загрязнение воздуха и местности [8].

30 сентября 1999 г. произошла авария на ядерном объекте Токаймура, Япония (4 уровень INES). На заводе по изготовлению топлива для АЭС в научном городке Токаймура (префектура Ибараки) из-за ошибки персонала началась неуправляемая цепная реакция, которая продолжалась в течение 17 ч. Облучению подверглись 439 человек, 119 из них получили дозу, превышающую ежегодно допустимый уровень. Трое рабочих получили критические дозы облучения. Двое из них скончались [3].

11 марта 2011 года произошла авария на АЭС Фукусима-1, Япония (7 уровень INES). Причиной аварии стало разрушительное землетрясение магнитудой более 9 баллов, которое было признано самым сильным землетрясением в истории Японии. Толчки на глубине более 32 км парализовали работу пятой части всех энергоблоков в Японии, которые находились под управлением автоматики и предусматривали такую ситуацию. Цунами, которое накрыло Японию спустя полчаса после землетрясения, вывело из строя систему аварийного питания охлаждения реактора.

Персонал АЭС приложил все усилия, чтобы дать охлаждение на раскаленные реакторы, однако трагедии избежать не удалось. Водород, скопившийся в контурах первого, второго и третьего реакторов, создал такое давление в системе, что конструкция не выдержала и раздалась серия взрывов, вызвавшая обрушение энергоблоков. В воздух поднялись радиоактивные металлы и газы, которые распространились по близлежащей территории и попали в воды океана. После катастрофы на атомной станции «Фукусима-1» было эвакуировано более 120 тыс. жителей близлежащих территорий [4].

8 августа 2019 г. в районе ракетного полигона ВМФ России «Ненокс» в Архангельской области произошла нештатная ситуация в ходе испытаний военной техники (рисунок 10).

В результате инцидента пять человек погибли на месте, двое скончались от травм в больнице и еще четверо пострадавших получили высокие дозы облучения. Инцидент привел к кратковременному повышению радиационного фона в Северодвинске. По сообщению Министерства обороны РФ, причиной инцидента явился взрыв жидкостного ракетного двигателя. Позже государственная корпорация «Рос-

атом» сообщила, что в двигателе использовался радиоизотопный источник питания [4].

2. Анализ применения роботизированной техники и робототехнических комплексов для ликвидации последствий радиационных аварий.

Воздействие высоких уровней радиации на человеческий организм в результате радиационных аварий обуславливает необходимость совершенствования имеющихся и разработки новых современных технических средств и тактики их применения для ликвидации последствий таких аварий.

Поэтому актуальность применения роботизированной техники для радиационной разведки местности и ликвидации последствий аварий на радиационно опасных объектах не вызывает сомнений.

Применение дистанционно управляемой и роботизированной техники в ядерной промышленности не является инновацией. Одним из первых роботов, предназначенных для практического применения, был разработанный в 1958 г. компанией Хьюз Эйркрафт робот для обращения с радиоактивными материалами на ядерных установках США [9].

Использование подобной роботизированной техники обеспечивало доступ к таким зонам на ядерной установке, в которых тепловая или радиационная обстановка делала невозможным или ограничивала пребывание человека.

Впервые робототехника применялась при ликвидации последствий радиационной аварии на АЭС «Три-Майл-Айленд» в марте 1979 г., которая стала одним из самых серьезных инцидентов в атомной энергетике США. Большая часть активной зоны реактора была разрушена и многие технологические помещения стали недоступны для человека.

Наиболее широкомасштабной попыткой использования роботов при ликвидации последствий на АЭС «Три-Майл-Айленд» стало применение робота дистанционной рекогносцировки (RRV), названного «скитальцем», для обследования подвальных помещений защитной оболочки реактора [10].

На станции использовались три таких робота, два из которых действовали в наиболее загрязненных помещениях и осуществляли замеры радиации (достигавшей 10–30 Зв/ч) и других параметров, передачу видеоизображения от трех телекамер, сбор образцов, снятие и удаление радиоактивно загрязненного слоя бетона с пола контейнента и некоторые демонтажные работы.

Робот Louie, две усовершенствованные модификации которого работали на АЭС «Три-Майл-Айленд», был создан ранее Westinghouse



**Рисунок 9 – Расположение испытательного полигона под Северодвинском (https://i1.wp.com/souzchernobylnsk.ru/uploads/news/nuclearcronics/nuclear_chronics_13.jpg).
Дата обращения: 15.02.2021)**

для площадки ядерно-оружейного комплекса в Хэнфорде, штат Вашингтон. Это был многоцелевой манипулятор с громоздкими камерами и освещением, установленный на гусеничную платформу. Один из этих роботов использовался для замера радиации в местах, недоступных для RRV; второй применялся для очистительных работ [10].

Робот Fred весом около 200 кг представлял собой удаленно управляемый манипулятор, способный поднять груз весом с человека на двухметровую высоту. Он был установлен на шестиколесную полноприводную платформу, оснащен мойкой высокого давления и использовался для дезактивации помещений и оборудования во вспомогательных зданиях [10].

В августе 1982 г. для фотографирования и получения данных об уровнях радиации на этой АЭС был применен робот SISI, представляющий собой гусеничную платформу массой 12 кг с навесным оборудованием [9].

Под влиянием аварии на АЭС «Три-Майл-Айленд» в 1980-х гг. был разработан целый ряд новых роботов для атомной отрасли, таких как IRIS, ODEX, Kluge, Rocomp, Surbot, Surveyor (тезка современной разработки GE Hitachi). Особенно революционным для того времени казался ODEX, созданный компанией Odetics (позже Iteris) и доработанный американским Исследовательским институтом электроэнергетики (EPRI). Этот «шестилапый» шагающий робот-паук при весе 170 кг мог приподнять легковой автомобиль и нести до 400 кг груза (рисунок 11).

Он обладал автономной энергетической установкой и невиданной по тем временам ловкостью движений благодаря координации с помощью нескольких микропроцессоров и участию удаленного оператора или компьютера [10].

Еще более серьезным полигоном для испытаний робототехники стала авария на Черно-



Рисунок 11 – Шагающий робот универсального действия ODEX, США
 (<https://theoldrobots.com/images30/robot53.JPG>.
 Дата обращения: 15.02.2021)

больской АЭС. Необходимость в применении роботизированной техники при ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС стала своеобразным толчком к развитию отечественной экстремальной робототехники. Именно эта трагедия впервые остро поставила вопрос о необходимости иметь технику для выполнения работ в подобных чрезвычайных ситуациях.

Начиная с первых месяцев после катастрофы роботы и роботизированная техника с разной степенью успешности применялись для визуального осмотра и измерения радиации (машины радиационной разведки типа РР, РР-Г, РКК, РДК, РДГ), разбора завалов, тяжелых земляных работ в районе станции, захоронения РАО (машины разграждения и тяжелые бульдозеры: советский «Клин-1», финский Tamrock, японский Kamatsu D-155, немецкий Liebherr PR751 и др.); расчистки, снятия и удаления радиоактивно загрязненного слоя на станции, в том числе на крышах зданий (СТР-1, МОБОТ, ТР-А, ТР-Б, ТР-Г, ДДК-Р1, немецкие MF2, и MF3); погрузки радиационно опасных отходов (ПДП, финский манипулятор Foresteri); дезактивации и сбора отдельных радиоактивных фрагментов («Урал», «Крот», РПБ, «Белоярец») и т.д. [10].

Остальные РТК, использовавшиеся на Чернобыльской АЭС, выполняли работы по радиационной разведке в помещениях и на территории, регулярному контролю уровней излучения и состава аэрозольной фракции газа над аварийным реактором, очистке от высокоактивных отходов кровель энергоблоков, расчистке завалов, сбору и контейнеризации высокоактивных отходов, дезактивации помещений энергоблоков, резке металлических элементов и закрытию задвижек на аварийном оборудовании [11].

Оснащенные радиометрической, телевизионной аппаратурой и другим оборудованием, наземные РТК выполняли технологические операции в чрезвычайно опасных, недоступных для человека аварийных зонах с высокими уровнями радиации, что сохранило жизнь и здоровье многих людей.

В целом, по оценкам разных специалистов, эффективность применения РТК в первой, самой тяжелой фазе ликвидации последствий аварии в Чернобыле оказалась невысокой. Многие РТК и роботизированная техника оказались неэффективными или неспособными работать в условиях сильных радиационных полей (сотни и тысячи рентген/час). Среди РТК, вызвавших наименьшие нарекания и принесших ощутимую пользу, были, в частности, РТК МОБОТ, СТР-1, «Клин-1», ДДК-Р-1, ТР-Г, РКК-1, ПДП [10].

МОБОТ, разработанный МГТУ им. Н.Э. Баумана, в усовершенствованной модификации МОБОТ Ч-ХВ-2 представлял собой компактную гусеничную машину весом порядка полутонны, оснащенную фронтальным погрузчиком с бульдозерным ковшом, отбойным молотком, манипулятором с грейфером (клещевым хватом для обломков и сыпучих грузов). Робот был оснащен электромеханическими приводами, управлялся и получал энергию по кабелю, оборудованному кабелеукладчиком, и мог передавать операторам визуальную (от двух телекамер), акустическую и дозиметрическую информацию [10, 13].

СТР-1 (специализированный транспортный робот), в котором были соединены разработки ВНИИТрансмаша, ГосИФТП, ВНИИ АЭС, НПО «Энергия» и других организаций, представлял собой легкий (1,1 т) радиоуправляемый бульдозер с регулируемым ковшом, телекамерами, автономным электропитанием и шасси, созданным на основе конструкций луноходов и концептуального марсохода. «Клин-1», разработку которого возглавлял ВНИИТрансмаш, был тяжелой многоцелевой машиной – роботизированной версией ИМР (инженерной машины разграждения), созданной на основе танка Т-72 для расчистки завалов и обеспечения прохода войск. «Клин-1» оснащался бульдозерным отвалом, мощным манипулятором, грейфером, телекамерами, дозиметрическими приборами. Роботизированная машина действовала в полях повышенной радиации и управлялась по радиоканалу из располагавшейся поодаль машины управления. «Клин-1», наряду с другой тяжелой техникой, снимал слой почвы вокруг станции, валил погибший, радиоактивно загрязненный лес, расчищал наиболее серьезные завалы, осуществлял радиационную разведку [10].

На радиоуправляемые РТК возлагались большие надежды, однако, несмотря на достигнутые положительные результаты, опыт

показал техническое несовершенство применяемых РТК.

Ограниченные технологические возможности (недостаточная управляемость, надежность, радиационная стойкость элементов систем управления и контроля) РТК, использовавшихся для выполнения работ по ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС, обусловили необходимость создания РТК различных классов и типов для ликвидации как радиационных, так и других аварий [11].

После частичной ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС и сооружения объекта «Укрытие» был разработан ряд образцов РТК, привлекавшихся к работам на АЭС.

Это были, в частности, компактные РТК, разработанные совместно украинскими и российскими организациями для действий в наиболее опасных зонах внутри «Укрытия» или на его периферии. Среди них: ТР-3 (для визуального обследования внутренних помещений «Укрытия»), ТР-4 (для отбора проб в радиоактивных завалах), ТР-7 (для покрытия сильно фрагментированных РАО пылеподавляющими материалами), ТР-11 (для дробления топливо-содержащих осколков), ТР-12 (для удаления труб реакторного контура), КТ (для упаковки РАО), КТ-100 (для обследования наиболее радиационно опасных помещений), «Магнитход» (для дозиметрического обследования опасных участков на металлических конструкциях «Укрытия»), ИЛ (для извлечения наиболее активных фрагментов из недр «Укрытия») и др. [10, 13].

Еще одним примером использования РТК для ликвидации последствий радиационных аварий является инцидент, произошедший 17.06.1997 г. в лаборатории Всероссийского научно-исследовательского института экспериментальной физики (ВНИИЭФ). Вследствие человеческого фактора в ядерной установке возник постоянный источник тепла и нейтронов. Повышение температуры могло привести к тепловому взрыву и возгоранию радиоактивных материалов с образованием аэрозоля, который при выбросе из помещения лаборатории вызвал бы сильное радиоактивное загрязнение воздуха и местности.

Удаление контейнеров из бокса и перевод установки в подкритическое состояние «вручную» были невозможны, т.к. мощный нейтронный поток представлял собой смертельную опасность для людей. Поэтому основным средством ликвидации последствий аварии должны были стать дистанционно управляемые РТК [8].

К работам были привлечены все доступные на тот момент РТК, пригодные к действиям внутри помещения:

- МРК-25, разработанный опытным конструкторским бюро Специальной Робототехники МГТУ им. Н.Э. Баумана

- мобильные РТК «НОВО» и «RASCAL» из состава подвижной криминалистической взрывотехнической лаборатории ФСБ России;

- РТК MF-4, принадлежащий аварийно-техническому центру ВНИИЭФ.

Подготовительные работы перед ликвидацией аварии включали: изучение места аварии по схемам, фотографиям, материалам видеосъемок и с помощью перископа, установленного в пультовой; защита электронных блоков и телекамер РТК MF-4, МРК-25 и «НОВО» от нейтронного излучения радиационно-стойкими материалами с целью обеспечения их работоспособности более длительное время; размещение вспомогательных телекамер с использованием РТК «НОВО», «RASKAL» и MF-4 в аварийном и смежных помещениях с целью повышения надежности управления РТК; планирование и практическая отработка тактики движения РТК МРК-25 с целью сокращения времени его пребывания в зоне действия нейтронного потока [8].

Тактика движения РТК в аварийном боксе определялась, во-первых, необходимостью сокращения времени пребывания в зоне действия нейтронного потока и, во-вторых, требованием не подставлять под нейтронный поток слабозащищенные борты и объективы телекамер. Все движения робота выполнялись на максимально возможной скорости.

Для каждого этапа работ были определены: рабочий РТК (выполняющий основные операции); страхующий РТК (обеспечивающий эвакуацию рабочего РТК в случае выхода его из строя под воздействием радиации и продолжающий выполнение незавершенных работ); резервный РТК. Назначение РТК определялось с учетом их технических возможностей и по результатам предварительной отработки операций в помещении-аналоге.

Практически операции по ликвидации радиационной аварии были проведены в следующем порядке:

1. Эвакуация пяти контейнеров с радиоактивным источником из аварийного помещения с помощью МРК-25 с предварительной опытной отработкой операции.

2. Отработка операции по переводу аварийного объекта в подкритическое состояние с помощью мобильного РТК MF-4.

3. Ликвидация нештатной ситуации, возникшей при выполнении операции по переводу аварийного объекта в подкритическое состояние и эвакуация РТК MF-4 с помощью МРК-25.



Рисунок 12 – Робототехнический комплекс SWAN
(<https://www.secretprojects.co.uk/proxy.php?image=http%3A%2F%2Fwww10.plala.or.jpg>
Дата обращения: 15.02.2021)



Рисунок 13 – Многоцелевой робототехнический комплекс RaBOT (<https://www.secretprojects.co.uk/data/attachments/53/53306-c4e0aee406158587dd94edc10104a62e.jpg>. Дата обращения: 13.02.2021)

4. Анализ, разработка и экспериментальная отработка вариантов по переводу аварийного объекта в подкритическое состояние.

5. Вывод МРК-25 из аварийного помещения, дозиметрический контроль и дезактивация МРК-25 и MF-4 [12].

Следующий толчок развития «атомная» робототехника получила в Японии. В 1999 г. на заводе по переработке урана в Токаймура из-за нарушения технологии и техники безопасности возникла авария, сопровождающаяся спонтанной цепной реакцией в урановом материале. Вскоре после этого правительство Японии выделило средства на разработку новых технологий локализации ядерных аварий, и несколько японских организаций инициировали программы создания новых РТК, предназначенных для действий при аварийных ситуациях на радиационно-опасных объектах. К проектам были привлечены компании Hitachi, MHI, Toshiba, французская Cybernetix. В результате менее чем за два года были разработаны новые РТК и их семейства: Monirobo, RESQ, RaBOT, SMERT, MARS, MENHIR и SWAN.

В частности, SWAN, созданный MSTC и Hitachi, – многоцелевой РТК на трансформируемых гусеницах, способных менять конфигурацию для преодоления препятствий. Он может проводить визуальный осмотр тремя камерами, радиационную разведку, сбор образцов (рисунок 12) [10].

У РТК имеется сложный манипулятор с собственной миниатюрной камерой на нем и сменяемыми во время миссии рабочими органами, приспособленными для разнообразных операций.

Проект RESQ (от JAERI/JAEA и Hitachi) – это три разных взаимодополняющих РТК,

предназначенных, главным образом, для обследования и осмотра аварийных объектов. Самый компактный из них – RESQ-A, на полноприводном четырехколесном шасси, создан для визуального осмотра камерами, размещенными на подъемной этажерке. RESQ-B на гусеничном ходу представляет собой передвижную лабораторию для замера радиации и других параметров среды. Гусеничный RESQ-C приспособлен для сбора образцов. Два последних РТК оснащены манипуляторами для сложных активных действий [10].

RaBOT (созданный JAERI/JAEA и MHI) – многоцелевой РТК с некоторыми антропоморфными чертами в дизайне, на двух совмещенных парах гусениц, с двумя способными действовать согласованно манипуляторами и камерами (рисунок 13).

SMERT-M (MSTC и Toshiba) – РТК на гусеничном шасси, несущий на себе маленькую колесную машину SMERT-K, с помощью которой обследуются труднодоступные места.

SMERT-M включает обычные и инфракрасную камеры, средства для измерения гамма- и нейтронного излучения, концентрации кислорода и водорода, температуры и влажности. Он оснащен сложным манипулятором для разнообразных действий.

Большинство из перечисленных РТК рассчитаны на работу в полях высокой радиации, могут функционировать в беспроводном режиме, но предусмотрен и кабельный вариант на случай сильных радиопомех. Все они относительно компактны и приспособлены для работы в ограниченных пространствах и в условиях затрудненного передвижения [10].

РТК, созданные японскими инженерами, остались на уровне опытных образцов и не были



Рисунок 14 – Робототехнический комплекс PMORPH (https://social-innovation.hitachi/-/media/project/hitachi/sib/ja-jp/case_studies/pmorph_interview/image/hairorobot_02_01.jpg).
Дата обращения: 15.02.2021)



Рисунок 15 – РТК Mini Mola Mola (https://ichef.bbci.co.uk/news/976/cpsprodpb/873D/production/_96512643_040066241-1.jpg).
Дата обращения: 15.02.2021)

внедрены в виде, например, мобильных роботизированных подразделений для ликвидации радиационных аварий, созданных во Франции, Германии и некоторых других странах. Это объясняется принятой государством в 2000-х гг. концепцией ядерной безопасности, в которой делалась ставка на полное исключение запроектных аварий, а не на локализацию их последствий. Финансирование проектов с новыми РТК было прекращено, большинство опытных экземпляров ржавели на складах или были разобраны (RESQ, RaBOT), нашли свое место в музеях или пожарных командах (SMERT, MENHIR и SWAN), а в отношении некоторых были утеряны ключевые особенности производства (например, RESQ) [10].

В результате Япония, известная своими достижениями в ряде других областей робототехники, к моменту аварии на АЭС «Фукусима-1» в марте 2011 г. оказалась без собственной линейки экстремальных РТК и была вынуждена привлекать многочисленные зарубежные разработки (из США, Франции, Великобритании, Швеции и т. д.) и срочно создавать заново свои. Так, для радиационной разведки и взятия проб использовались РТК PackBot и Warrior (созданные iRobot), Talon и DR-20 (от QinetiQ), T-Hawk (Honeywell), Survey Runner (Topu Industries), MEISTeR (MHI и IRID – японской организацией НИОКР в сфере вывода из эксплуатации), Frigoma (MELCO), Rosemary, Sakura и Quince (разработки Технологического института Чибы в сотрудничестве с другими научными организациями), J-3 (от JAEA), HaSR (разработка японского Института передовой промышленной науки и технологий – AIST и компании Honda Motor) и т.д. [10].

В частности, для обследования контейнента изнутри были созданы РТК PMORPH (от Hitachi и IRID), Scorpion, Mini Mola Mola

и Tetrapod (Toshiba в сотрудничестве с IRID) и др. Для расчистки завалов, демонтажа конструкций на площадке применялись РТК ASTACO-SoRa (от Hitachi), Brokk 90 и Brokk 330 (одноименной шведской фирмы), Spartacus/Bobcat (совместные изделия компаний Bobcat и QinetiQ), различные дистанционно управляемые экскаваторы, бульдозеры, грузовики, погрузчики. К уборке и дезактивации в помещениях станции привлекались РТК Raccoon (создана Atox), DX-140 (Husqvarna), Warrior (iRobot), Revi (Toshiba), MEISTeR и Super-Giraffe (разработки MHI и IRID), Arounder (IRID) и т. д. [10].

Некоторые из перечисленных РТК созданы на основе разработок, последовавших за аварией в Токаймуре, например, J-3 представляет собой доработанный вариант RESQ-A, MEISTeR создан на базе RaBOT, а Super-Giraffe является продолжением проекта MARS.

Среди образцов РТК, появившихся в результате аварии на Фукусиме, можно выделить, например, PMORPH – один из примеров современных мини-роботов, способных менять форму для проникновения в труднодоступные места (рисунок 14).

При массе менее 8 кг и диаметре около 10 см он состоит из трех звеньев, которые могут поворачиваться относительно друг друга под прямым углом. Робот предназначен для визуальной и радиационной разведки, измерения температуры в условиях высокой радиации: его камеры рассчитаны на суммарную дозу 1000 Зв. Это было первое устройство, с помощью которого провели удачную серию обследований нижней части контейнента аварийного блока № 1 АЭС «Фукусима-1» [10].

Другой РТК схожего назначения и габаритов, получивший неформальное название Mini



Рисунок 16 – Многофункциональный робототехнический комплекс MEISTeR
(<https://irid.or.jp/common/img/meister/2.jpg>.
Дата обращения: 15.02.2021)

Mola Mola, может проводить аналогичную разведку в затопленном контейненте, плаывая в радиоактивной воде при помощи пяти винтов. РТК весом всего 2 кг имеет диаметр 13 см и длину 27 см и несет на себе две разнонаправленные камеры (рисунок 15).

Пример многофункционального РТК – MEISTeR, использование которого на АЭС «Фукусима-1» началось в 2014 г. Этот РТК весом 440 кг на четырех гусеницах может преодолевать подъемы крутизной до 40° и ступени высотой до 22 см, способен осуществлять как разведку, так и механические работы посредством двух манипуляторов со сменным инструментарием, обладающих семью степенями свободы: очистку и дезактивацию горизонтальных и вертикальных поверхностей с помощью мощного пылесоса, резку и демонтаж металлических конструкций, открывание и закрывание клапанов и дверей, сверление отверстий, взятие проб из бетонных поверхностей, ремонт и т. д. (рисунок 16) [10].

Необычный РТК, разработанный для демонтажных работ и дезактивации на АЭС «Фукусима-1» – Super-Giraffe. Этот колесный радиоуправляемый РТК массой 4 т, но относительно компактных габаритов (длиной 235 см и шириной всего 80 см) может работать в помещениях

на высоте до 8 м с помощью выдвигной штанги, на конце которой установлен манипулятор с семью степенями подвижности. Манипулятор имеет сменное (дистанционно устанавливаемое) приспособление для открытия и закрытия клапанов. РТК может функционировать и в режиме крана, поднимая на восьмиметровую высоту грузы до 150 кг. Литий-ионный аккумулятор рассчитан на пять часов работы [11].

Заключение

Таким образом, анализ радиационных аварий и применения роботизированной техники и робототехнических комплексов для ликвидации последствий таких аварий, позволил сделать следующие выводы. Одним из главных сдерживающих факторов развития экстремальных РТК является специфичность и конструкционная обособленность большинства из них. Недостаточная стандартизация и унификация образцов РТК и полезной нагрузки, и как следствие, колоссальная стоимость производства, трудности в эксплуатации и ремонте.

Вместе с тем, необходимо отметить, что опыт использования робототехники в атомной отрасли (как при авариях, так и при повседневной деятельности) постепенно приводит к формированию стандартных технических требований и к переходу от индивидуальных решений к типовым.

Крупнейшие аварии и катастрофы в атомной индустрии (зачастую с чудовищными последствиями) являются мощным толчком в развитии как экстремальной, так и остальной робототехники.

Авария на АЭС «Фукусима-1» в очередной раз явно показала необходимость международной консолидации в сфере разработок специализированных РТК для атомной отрасли. В виду этого также необходимо подчеркнуть потребность развития и постоянного совершенствования РТК войск РХБ защиты, а именно активного проведения НИОКР, основными целями которых должны являться создание линейки стандартизированных, недорогих и простых в управлении РТК и БЛА, предназначенных выполнения задач РХБ защиты.

Вклад авторов/Author Contributions

Оба автора участвовали в обсуждении и написании этой рукописи и одобрили окончательную версию. Оба автора прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.

Both authors contributed to the discussion and writing of this manuscript and approved the final version. Both authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют, что исследования проводились при отсутствии любых коммерческих или финансовых отношений, которые могли бы быть истолкованы как потенциальный конфликт интересов.

Сведения о рецензировании

Статья прошла открытое рецензирование двумя рецензентами, специалистами в данной области. Рецензии находятся в редакции журнала и в РИНЦе.

Литература для подготовки

1. МЧС: URL: <https://19.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/rekomendacii-naseleniyu/chs-tehnogennogo-haraktera> (дата обращения: 08.04.2021).
2. CYBERLESSON.RU: <https://cyberlesson.ru/klassifikacija-radiacionnyh-avarij/#klassifikaciya-radiacionnyh-avarij> (дата обращения: 08.04.2021).
3. РИА Новости: <https://ria.ru/20110312/347505544.html> (дата обращения: 14.04.2021). – Текст : электронный.
4. Сибирский региональный Союз «Чернобыль»: <http://souzchernobylnsk.ru/articles/hronologiyaradiacionnyhavarij#:~:text=22%20февраля%201977%20года%20авария,на%20уране%2C%20добываемом%20в%20Чехословакии> (дата обращения: 14.04.2021).
5. Научная Россия. <https://scientificrussia.ru/articles/march1-castle-bravo> (дата обращения: 28.04.2021).
6. Владыка. Безопасность и чрезвычайные ситуации: <https://vladyka23.ru/entsiklopediya/spisok-radiacionnyh-avarij.html> (дата обращения: 14.04.2021).
7. Инфоцентр AfterShock. Каким будет завтра?: <https://aftershock.news/?q=node/364805&full> (дата обращения: 14.04.2021)
8. ФГБУ ВНИИПО МЧС России: <http://www.vniipo.ru/departments/nicntr.html> (дата обращения: 15.04.2021). –
9. Мур Т. Роботы для атомных электростанций. Бюллетень МАГАТЭ. 1985. С. 35-44.
10. ATOMICEXPERT.COM: https://atomicexpert.com/robots_in_nuclear (дата обращения: 15.04.2021).
11. Чернобыльская катастрофа (1986 г.): Катастрофы конца XX века. М.: 1998. 400 с.
12. Специальная техника: технология применения управляемых мобильных комплексов / А.Ф. Батанов, С.Н. Грицынин, С.В. Муркин. М., 1998–2016.
13. Аккузин К.Н. Робототехнические комплексы (средства) войск радиационной, химической и биологической защиты Вооруженных Сил Российской Федерации (лекция) // Вестник войск РХБ защиты. 2021. Т. 5. № 1. С. 71–82.

Об авторах

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия радиационной, химической и биологической защиты имени Маршала Советского Союза С.К. Тимошенко» Министерства обороны Российской Федерации, 156015, Российская Федерация, г. Кострома, ул. Горького, д.16.

Аккузин Константин Николаевич. Начальник отдела (организации научной работы и подготовки научно-педагогических кадров) ВА РХБЗ, канд. воен. наук.

Макеев Евгений Сергеевич. Начальник научно-исследовательской лаборатории (обоснования исходных данных для планирования развития системы вооружения и средств РХБ защиты) ВА РХБЗ.

Контактная информация авторов: varhbz@mil.ru

Контактное лицо: Аккузин Константин Николаевич; varhbz@mil.ru

The History of the Development and Application of Robotics in the Elimination of Consequences at Radiation-Hazardous Facilities

K.N. Akkuzin, E.S. Makeev

The Federal State Official Military Educational Establishment of Higher Education «Military Academy of Radiological, Chemical and Biological Defence named after Marshal of the Soviet Union S.K. Timoshenko», Gorky Street 16, Kostroma 156013, Russian Federation

Received 02.03.2021. Accepted for publication 20.06.2021.

The lecture is intended for training specialists in higher educational establishments according to the Federal state standard «Robotics for military and special purposes» and also for training operators of robotic complexes (facilities) for military purposes in training centers and military units.

The lecture addresses two study questions:

- 1) Retrospective analysis of radiation accidents and their consequences.
- 2) Analysis of the use of robotic technology and robotics systems for elimination the consequences of radiation accidents.

Conclusion: The material presented in the lecture is aimed at expanding the knowledge of those who are trained in the history of radiation accidents (disasters), as well as in the use of robotic technology and robotic systems for eliminating the consequences of such accidents. The analysis of the use of robotics in conditions of an increased radiation background, given in the lecture, will make it possible to form the necessary competencies of specialists of the NBC protection troops in order to effectively perform their tasks as intended.

Keywords: radiation-hazardous facilities; radiation accidents; radiation reconnaissance and control; elimination of consequences at radiation-hazardous facilities; robotics systems.

For citation: Akkuzin K.N., Makeev E.S. *The History of the Development and Application of Robotics in the Elimination of Consequences at Radiation-Hazardous Facilities (lecture)* // *Journal of NBC Protection Corps*. 2021. V. 5. № 2. P. 149–164. <https://doi.org/10.35825/2587-5728-2021-5-2-149-164>

Conflict of interest statement

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationship that could be construed as a potential conflict of interest.

Peer review information

The article has been peer reviewed by two experts in the respective field. Peer reviews are available from the Editorial Board and from Russian Science Citation Index database.

References

1. Ministry of Emergency Situations: <https://19.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/rekomendacii-naseleniyu/chs-tehnogennogo-haraktera> (date of access: 08.04.2021).
2. CYBERLESSON.RU: <https://cyberlesson.ru/klassifikacija-radiacionnyh-avarij/#klassifikacija-radiacionnyh-avarij> (date of access: 08.04.2021).
3. RIA Novosti: <https://ria.ru/20110312/347505544.html> (date of access: 08.04.2021).
4. Siberian Regional Union «Chernobyl»: <http://souzchernobylnsk.ru/articles/hronologiya-radiacionnyh-avarij#>: On February 20, 1977, an accident involving uranium mined in Czechoslovakia (date of access: 04.14.2021).
5. Electronic periodical «Scientific Russia»: <https://scientificrussia.ru/articles/march1-castle-bravo> (date of access: 28.04.2021).
6. Vladyka. Security and emergencies: <https://vladyka23.ru/entsiklopediya/spisok-radiacionnyh-avarij.html> (date of access: 14.04.2021).
7. Infocenter AfterShock. What will be tomorrow?: <https://aftershock.news/?q=node/364805&full> (date of access: 08.04.2021).
8. FGBU VNIPO EMERCOM of Russia: <http://www.vniipo.ru/departments/nicntr.html> (date of access: 08.04.2021).
9. Moore T. Robots for nuclear power plants. IAEA BULLETIN. 1985. P. 35-44.
10. ATOMICEXPERT / COM: https://atomicexpert.com/robots_in_nuclear (date of access: 15.04.2021).
11. The Chernobyl disaster (1986): Disasters at the end of the twentieth century / Under total, ed. Dr. tech. V.A. Vladimirov. Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, -Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters. Moscow. 1988.
12. Special Technique: Technology of using controlled mobile complexes / A.F. Batanov, S.N. Gritsinin, S.V. Murkin. Moscow. 1998–2016.
13. Akkuzin K.N. Robotic complexes (means) of radiation, chemical and biological defense troops of the Armed Forces of the Russian Federation (lecture) // *Journal of NBC Protection Corps*. 2021. T. 5. No. 1. P. 71–82.

Authors

The Federal State Official Military Educational Establishment of Higher Education «Military Academy of Radiological, Chemical and Biological Defence named after Marshal of the Soviet Union S.K. Timoshenko», Gorky Street 16, Kostroma 156013, Russian Federation

Konstantin Nikolayevich Akkuzin. Chef of Department of Scientific Work Organization and Scientific-Pedagogical Personnel of Military Academy of NBC Defense, PhD of Military Studies.

Makeev Evgeny Sergeevich. Chief of the research laboratory (on the substantiation of the initial data for planning the development of the weapons system and means of NBC protection) of Military Academy of NBC Defense.

Contact information for all authors: varhbz@mil.ru

Contact person: Konstantin Nikolayevich Akkuzin; varhbz@mil.ru