

УЯЗВИМОСТЬ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ К АТАКАМ ТЕРРОРИСТОВ

*Джордж Банн, Хаим Браун, Александр Глезер, Эдвард Лайман,
Фриц Штейнхаузлер*

Атаки террористов 11 сентября показали, что техническая компетентность, имеющиеся ресурсы, уровень подготовки, и готовность к самопожертвованию современных террористических групп, подобных Аль-Каиде, сильно возросли за последние десять лет. В этой статье оценивается вероятность того, что подготовленные террористические группы могут успешно совершить диверсионные нападения на ядерные исследовательские реакторы и вызвать радиоактивные выбросы, угрожающие соседним населенным пунктам. Хотя в течение некоторого времени вызывало опасения хищение террористами высокообогащенного урана (ВОУ) из исследовательских реакторов для изготовления относительно простых ядерных взрывных устройств пушечного типа, угроза диверсий на исследовательских реакторах – угроза, не зависящая от степени обогащения топлива – широко не обсуждалась. Ядерные регулирующие органы должны в свете возрастающей террористической угрозы пересмотреть уровень физической защиты, который предусматривается операторами исследовательских реакторов.

Получено 19 декабря 2002 года, принято 21 июля 2003 года.

Корреспонденцию направлять на имя Дж. Банна, работающего в Центре международной безопасности и сотрудничества, Энсина Холл, Стэнфордский университет, Стэнфорд, СА 943056 США.

Х. Браун работает в компании Altos Management Partners, Пало-Альто, СА.

А. Глезер работает по программе исследований по безопасности, Массачусетский технологический институт.

Э. Лайман работает в Союзе обеспокоенных ученых, Вашингтон, DC.

Ф.. Штейнхаузер работает в институте физики и биофизики, Зальцбург, Австрия.

ВВЕДЕНИЕ

Перед 11 сентября в большинстве террористических актов, как правило, обычное оружие использовалось обычным способом, что чаще всего приводило к относительно небольшому числу пострадавших и локализованным имущественным потерям. После атак 11 сентября разведывательные службы неоднократно предупреждали, что террористические группы, подобные Аль-Каиде, стремятся увеличить летальность и область своих действий за счет получения возможности проводить химические, биологические, ядерные, и радиологические нападения. Одним из радиологических сценариев, который привлек значительное внимание, состоял в угрозе того, что хорошо подготовленная и оборудованная группа террористов-самоубийц может предпринять диверсионный акт на ядерной электростанции, который приведет к расплавлению активной зоны и большому радиологическому выбросу, который может угрожать находящемуся на подветренной стороне населению¹. Напротив, последствия террористической атаки на исследовательский реактор, которая также приведет к выбросу радиоактивности, обсуждалась мало, не-

¹ См., например, U.S. Nuclear Regulatory Commission (NRC), "NRC Will Order All Nuclear Power Plants and Key Facilities to Enhance Security," NRC News No. 02-018 (Sept. 27, 2002), available at (www.nrc.gov); G. Bunn and F. J. Steinhausler, "Guarding Nuclear Reactors and Material from Terrorists and Thieves," *Arms Control Today* (Oct. 2001), p. 8; M. Bunn and G. Bunn, "Nuclear Theft and Sabotage: Priorities for Reducing New Threats," *IAEA Bulletin* (v. 4, no. 2, 2001), p. 20; G. Bunn and L. Zaitseva, "Efforts to Improve Nuclear Material and Facility Security," *SIPRI Yearbook 2002*, App. D, p. 74; R. Alvarez, J. Beyea, K. Janberg, J. Kang, E. Lyman, A. MacFarlane, G. Thompson, F. N. von Hippel, "Reducing the Hazards from Stored Spent Power-Reactor Fuel in the US," *Science and Global Security* (v. 11, No. 1, 2003), p. 1.

смотря на то, что исследовательские реакторы по всему миру, как правило, гораздо меньшие энергетических реакторов, не так хорошо защищены от такой террористической атаки². Это происходит по нескольким причинам:

- Не существует никакого международного договора, требующего какой-либо защиты исследовательских реакторов (или, в том же аспекте, атомных электростанций)³. Международно признанные, но не обязывающие руководящие указания для ядерных поставщиков по экспорту расщепляющихся материалов и ядерного оборудования указывают, что соглашения между получателями исследовательских реакторов и их странами-поставщиками, чаще всего США, или Россией или ее предшественником, должны призывать к мерам по защите ядерных материалов от хищения. Тем не менее, хотя эти руководящие указания и ссылаются на общие рекомендации Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), они оставляют защиту на усмотрение поставщика и получателя, и не требуют инспекций для подтверждения эффективности защитных мероприятий⁴.
- Эти рекомендации МАГАТЭ направлены на защиту пяти килограммов или более высокообогащенного урана (ВОУ) или других пригодных для оружия расщепляющихся материалов на исследовательских реакторах от хищения посторонними лицами. Они содержат только одно предложение, весьма общую рекомендацию по защите даже крупных исследовательских реакторов от диверсионных актов (хотя для атомных электростанций МАГАТЭ выпустило гораздо более подробные рекомендации, относящиеся к диверсиям)⁵.
- Исследование агентства по ядерной энергии международной Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) по национальным правилам и состоянию физической защиты реакторов в наиболее развитых странах показало заметное различие в требованиях от страны к стране⁶. В основанном на вопросниках исследовании практики ядерной безопасности в нескольких странах Западной и Восточной Европы, Центральной и Южной Азии, и Латинской Америки, проведенном учеными Стэнфордского университета, проявилось существенное различие между странами в действующей практике защиты исследовательских реакторов⁷.
- Причины таких различий в действующей практике защиты, приведенные ядерными экспер-

² См., например, O. Bukharin, C. Ficek and M. Roston, "U.S.-Russian Reduced Enrichment for Research and Test Reactors (RERTR) Cooperation" (RANSAC, 2002), p. 6.

³ В настоящее время Конвенция о физической защите ядерных материалов предусматривает стандарты по защите только для международной перевозки ядерных материалов. С 1999 г. проводятся совещания экспертов для согласования дополнения, которое сделало бы этот договор применимым к ядерным материалам внутри страны, а не только при международных перевозках. Имеющиеся проекты возможных дополнений должны предоставить некоторые полезные общие принципы, но никаких числовых или специфических стандартов. Даже если они будут приняты сторонами договора, для их внедрения всеми странами с исследовательскими реакторами потребуются много лет.

⁴ Nuclear Suppliers' Guidelines, IAEA Information Circular 254, Revision 4 (2000), Part 1, par. 3 и Annex C. В этом приложении содержится несколько особых положений, которые рекомендуются для соглашения, таких, как помещение пригодного для оружия ядерного материала (например, 5 г ВОУ, или более) под охрану, и ограничение доступа кругом лиц, "надежность которых была проверена".

⁵ IAEA Information Circular 225, Revision 4, 1999. Смотрите параграф 6.1.1 и сравните параграфы 6.2. и 7.3.

⁶ Nuclear Energy Agency, *Nuclear Legislation: Analytical Study: Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities* (NEA: Organization for Economic Cooperation and Development, 2000 and 2001 supplement); смотрите также International Nuclear and Radioactive Material Working Group, "Reducing the Threat from the Loss of Control over Nuclear and Other Radioactive Material," Report for European Forum, Institute for International Studies, Stanford University (2002), pp. 27-34, 49-53.

⁷ G. Bunn, F. Steinhausler, L. Zaitseva, "Could Terrorists or Thieves Get Weapons Usable Material from Research Reactors and Facilities?", paper for the Institute of Nuclear Materials Management 43rd Annual Meeting, June 2002; см. также ссылку [5], International Nuclear and Radioactive Material Working Group.

тами, которые входили в состав групп советников МАГАТЭ по проблемам безопасности реакторов в 10 странах – в основном в Восточной Европе – были «различия в культуре и восприятии угрозы, финансовых и технических ресурсах, и национальном законодательстве»⁸.

- Более того, большинство национальных уставов и правил содержали гораздо больше подробных указаний по защите атомных электростанций от хищения и саботажа, чем это делалось для исследовательских реакторов⁹.

Опасность использования ВОУ из исследовательских реакторов для бомб была выявлена довольно давно, и была основной целью мероприятий по защите, принимавшихся в прошлом на таких исследовательских реакторах. В 1981 г. израильская авиация атаковала в Ираке поставленный Францией строящийся исследовательский реактор с топливом из ВОУ из-за опасения, что ВОУ из топлива может быть использован для изготовления ядерного оружия, или что реактор может быть использован для накопления плутония для оружия. Позднее, прямо перед войной в Персидском заливе в 1991 г., когда Ирак осуществлял срочную программу создания оружия, его ученые планировали использовать примерно 36 кг свежего и облученного топлива, поставленного из Франции и Советского Союза для поставленного из Франции исследовательского реактора. В 1998 г. свежее и облученное топливо с ВОУ из построенного в советские времена исследовательского реактора в Грузии было извлечено и по воздуху доставлено в Британию из опасений, что оно может быть использовано диссидентами для изготовления бомбы. В августе 2002 г. количество ВОУ, достаточное для одной или двух бомб, было извлечено из остановленного исследовательского реактора в Сербии, построенного Советским Союзом, и было возвращено в Россию из опасений, что оно может достаться террористам, или не обладающему ядерным оружием государству, стремящимся получить пригодные для оружия материалы¹⁰.

Из-за известных опасений использования ВОУ из топлива исследовательских реакторов для изготовления ядерного оружия Аргоннская национальная лаборатория, действующая от имени Министерства энергетики США, в течение многих лет предпринимала значительные усилия для преобразования поставленных США в другие страны исследовательских реакторов с топливом с ВОУ в реакторы с топливом с низкообогащенным ураном (НОУ) с содержанием урана-235 менее 20%. Эти усилия предпринимались в рамках программы уменьшения обогащения для исследовательских и испытательных реакторов (УОИИР). НОУ не пригоден для использования в ядерном оружии без дальнейшего обогащения (серьезного технического мероприятия). США возвратило к себе ВОУ из многих поставленных ими исследовательских реакторов после того, как они были переделаны на использование НОУ. Таким способом были преобразованы около половины исследовательских реакторов, поставленных из США. Эта программа в прошлом не осуществлялась достаточно быстро из-за недостаточного финансирования и из-за необходимости серьезных исследований, требовавшихся для разработки топлива с ВОУ, которое бы позволило преобразовать все исследовательские реакторы без ухудшения их характеристик¹¹.

Около 80 процентов действующих и остановленных исследовательских реакторов в мире получили свое урановое топливо из США и России (или Советского Союза)¹². В 80-х г.г. у Советского Союза также была программа конверсии исследовательских реакторов с ВОУ, которые были поставлены в восточноевропейские страны Варшавского договора, в Ирак, Северную Ко-

⁸ M. H. Soo Hoo, D. Ek, A. Hageman, T. Jenkins, C. Price, and B. Weiss, "International Physical Protection Advisory Service: Observations and Recommendations for Improvement," Proceedings of the 42nd Annual Meeting of the Institute of Nuclear Materials.

⁹ См., например. G. Bunn, C. Braun, and F. Steinhausler, "Terrorism Potential for Research Reactors Compared with Power Reactors: Nuclear Weapons, 'Dirty Bombs', and Truck Bombs," International Conference on Physical Protection, Strengthening Global Practices for Protecting Nuclear Material," September 8-13, 2002, University of Salzburg, Austria.

¹⁰ См. [2], p.6.

¹¹ См. A. Travelli, "The Reduced Enrichment for Research and Test Reactors (RERTR) Program," Center for International Security and Cooperation Summer Study, Stanford University (2002).

¹² См. U.S. Department of Energy, *Final Environmental Impact Statement on a Proposed Nuclear Weapons Nonproliferation Policy Concerning Foreign Research Reactor Spent Nuclear Fuel*, App. B (DOE/EIS 0218F, 1996), v. 2.

рею и Вьетнам. Советский план остановился из-за недостатка средств¹³. С финансовой помощью США была начата новая российская программа, похожая на американскую программу УОИИР, для разработки топлива с НОУ для преобразования поставленных Советским Союзом и Россией исследовательских реакторов с топливом с ВОУ¹⁴.

Эти усилия по конверсии должны в конце концов привести к тому, что исследовательские реакторы, поставленные Советским Союзом или Россией, и США, станут менее привлекательными для террористов, которые хотят украсть ВОУ для изготовления ядерного оружия. Почти все малые исследовательские реакторы университетов США были преобразованы к НОУ¹⁵. Но во всем мире имеется около 200 реакторов с ВОУ, которые были выключены, но не преобразованы, и на площадке некоторых из них все еще находится ВОУ. В 43 странах остается около 20 т гражданского ВОУ в исследовательских реакторах¹⁶. (Хотя большая часть этого материала содержится в облученном топливе, уровень радиации во многих случаях слишком низок, чтобы обеспечить адекватную самозащиту. Существование опасности, несмотря на успехи программы УОИИР и аналогичных программ, демонстрируется все новыми сообщениями о нелегальном перемещении небольших количеств урана из исследовательских реакторов в ряде стран¹⁷).

Указанная выше программа УОИИР и связанные с нею программы предназначены для противодействия угрозе возможности использования ВОУ из исследовательских реакторов для изготовления ядерного оружия, а не для предотвращения диверсий, которые могут привести к выбросу радиоактивности в населенные районы. Даже исследовательские реакторы с НОУ в университетах и других организациях могут представлять опасность такого выброса от террористических атак. Такие реакторы в целом хуже всего защищены от хищения или диверсий¹⁸.

УЯЗВИМОСТЬ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ США К ДИВЕРСИЯМ

В этом разделе мы обратим основное внимание на практику защиты исследовательских реакторов США, поскольку мы больше знаем об американских реакторах, и потому что многие формы обеспечения безопасности (или их отсутствие) для конкретных исследовательских реакторов не известны общественности. После 11 сентября секретность все больше проникает в американскую практику требований обеспечения безопасности. Поскольку правила Ядерной регулятивной комиссии США (ЯРК) по защите исследовательских реакторов все еще частично остаются открытыми, и потому что в прошлом появлялось много публикаций об американской практике безопасности, мы знаем о ней намного больше, чем об аналогичной практике на исследовательских реакторах в других странах мира.

Сравнение безопасности на исследовательских и энергетических реакторах

В США, где практические меры меняются от одного исследовательского реактора к другому, многие исследовательские реакторы, работающие в университетах, а иногда и в промышленности, открыты для посещения специалистами (если не публике) и на них принимается меньше мероприятий по обеспечению безопасности, чем на типичных реакторах атомных электростан-

¹³ См. [2], p.5; International Atomic Energy Agency, *Nuclear Research Reactors of the World*, IAEA Reference Data Series No. 3 (Vienna, 2000), Tab. 9.

¹⁴ См. Т. Р. Mustin, М. Clapper, and J. E. Reilly, "A Continuing Success: The U.S. Foreign Research Reactor Spent Nuclear Fuel Acceptance Program," International RERTR 2000 Meeting, Las Vegas, NV (2000).

¹⁵ США недавно объявили, что к 2012 г. пять крупных исследовательских реакторов будут переведены на НОУ.

¹⁶ См. М. and G. Bunn, "Strengthening Nuclear Security against Post-September 11 Threats of Theft and Sabotage," *Journal of the Institute of Nuclear Materials Management* (Spring 2002), pp. 48–49.

¹⁷ Stanford University Center for International Security and Cooperation, *Illicit Trafficking Data Base: DSTO* (2002).

¹⁸ См. [2], p.6.

ций.

- Исследовательский реактор часто является частью большого исследовательского центра или университета, где имеется потенциально много пользователей, представляющих различные научные дисциплины. На атомных электростанциях обычно находятся только операторы реактора и охрана, работающие посменно в течение 24 часов каждые сутки.
- Исследовательский реактор скорее будет расположен в городе или вблизи него для упрощения доступа пользователей. Обычно требуют, чтобы ядерные энергетические реакторы помещались на некотором расстоянии от населенных центров.
- Защита исследовательского реактора по периметру, если таковая вообще имеется, обычно представляет собой проволочный забор без барьеров от проникновения транспортных средств, и без датчиков перемещения или электронно-компьютерных систем обнаружения и оценки. На ядерных энергетических реакторах обычно имеются такие барьеры от проникновения транспортных средств и системы обнаружения и оценки, а их заборы значительно больше удалены от реактора.
- Защита в дневное время в течение рабочих часов (скорее всего, пять дней в неделю) обычно основана на контроле доступа пользователей и посетителей невооруженными охранниками. Атомные электростанции работают 24 часа в сутки и семь дней в неделю, и охрана, обычно вооруженная, присутствует все время.
- Ночная защита заключается в запирании дверей и окон, окружающем заборе и патрулировании вблизи реактора охранником, обычно вооруженным пистолетом. В некоторых случаях охранник появляется вблизи реактора периодически, поскольку она (она) несет другие обязанности в университетском городке или исследовательском институте. Ночная защита атомных электростанций осуществляется точно так же, как и в дневное время.

Хотя уровень защиты исследовательского реактора в целом ниже, чем на энергетических реакторах, исследовательские реакторы при авариях представляют меньшую радиологическую опасность для населения, чем энергетические реакторы. Во-первых, общее количество радиоактивных изотопов в исследовательских реакторах намного меньше, чем в энергетических реакторах, из-за их меньшей мощности и, нередко, из-за меньшей длительности эксплуатационного цикла. Во-вторых, меньшая теплота распада в активных зонах исследовательских реакторов приводит к меньшему риску ее расплавления и выброса продуктов деления в случае аварии с потерей охладителя (АПО).

Тем не менее, количество радиоактивных материалов в активных зонах исследовательских реакторов и хранящемся отработанном топливе может быть значительным (порядка миллионов кюри) и может представлять значительную радиологическую опасность при выбросе в окружающую среду. Этот риск усугубляется тем фактором, что правовой режим, управляющий обеспечением безопасности исследовательских реакторов, как мы видели, значительно менее строгий, чем для энергетических реакторов. Фактически, ЯРК устранился от наложения строгих правил для исследовательских реакторов законом об атомной энергии в США, который позволяет ЯРК накладывать «только такие минимальные ограничения, ... которые позволяют Комиссии выполнять свои обязательства по данному закону...»¹⁹.

Соответственно, по сравнению с энергетическими реакторами, на исследовательских реакторах США обычно отсутствуют толстостенные герметичные и выдерживающие давление противояварийные оболочки. Кроме того, они обладают меньшим радиусом исключения населения, меньшим дублированием и разнообразием оборудования, и менее строгими программами подготовки операторов, хотя специфические требования могут различаться достаточно сильно²⁰. Требования по аварийному планированию, включая размеры зон аварийного планирования вокруг реакторов, если таковые определены, для исследовательских реакторов также формируются от случая к случаю, в то время как для всех крупных энергетических реакторов должны быть разработаны аварийные планы для защиты населения внутри зоны радиусом в 10 миль (16 км).

Требования ЯРК по физической защите исследовательских реакторов от диверсий, хотя и предоставляют конкретный пример требований, являются значительно менее строгими, чем для

¹⁹ U.S. Atomic Energy Act of 1954, as amended, Sec. 104(b).

²⁰ U.S. NRC, Division of Systems Analysis and Regulatory Effectiveness, *Survey of Research Reactors* (undated), ADAMS Accession Number ML003706367.

энергетических реакторов. Правила ЯРК для энергетических реакторов требуют, чтобы была предоставлена защита от угрозы диверсии, возможно реалистически основанной на прошлом опыте, и называемой «базовая проектная угроза» (БПУ) радиологической диверсии. Она предполагает участие «несколько» атакующих с четырех колесными транспортными средствами, оружием, взрывчаткой, пользующихся помощью работника на реакторе²¹. Специфические подробности БПУ для каждого энергетического реактора, выходящие за пределы этой общей угрозы – такие, как размеры, оружие и тактика атакующих сил, или размер бомбы на транспортном средстве – представляют собой «информацию обеспечения безопасности» и не раскрываются публике. Для защиты от БПУ операторы энергетического реактора должны иметь под рукой утвержденный ЯРК план обеспечения безопасности. Эти планы зависят от площадки, но в целом они требуют наличия номинальных вооруженных сил противодействия внешней атаке из 10 человек, программу проверки работников для защиты от внутренней угрозы, и строгие меры контроля доступа физических лиц и транспортных средств вблизи «жизненно важных» областей площадки реактора. Дополнительные требования по структуре, датчикам, и сигналам тревоги уже были отмечены.

В отличие от энергетических реакторов, от исследовательских реакторов США в целом не требуется защиты от радиологической диверсии, и обеспечения вооруженного противодействия атаке²². Исследовательские реакторы также особо исключены из требования защиты от атак посредством бомб на грузовиках. Исключением является класс реакторов, работающих при мощности в 2 МВт или более, для которых ЯРК имеет полномочия требовать дополнительных мер по защите от радиологического саботажа, в зависимости от индивидуальной установки и условий на площадке²³. Однако, такие дополнительные меры, вероятно, являются секретными.

Поскольку использующие ВОУ исследовательские реакторы должны обеспечивать защиту от хищения этого пригодного для оружия материала, они могут обладать лучшей защитой от диверсии по сравнению с исследовательскими реакторами с топливом из НОУ. Тем не менее, при одинаковой защите, мощности и прочих характеристиках радиологические последствия выброса радиоактивных веществ при диверсии террористов на исследовательский реактор с НОУ будут примерно такими же, как при аналогичной атаке на исследовательский реактор с ВОУ. Полная эффективная эквивалентная доза (ПЭЭД) определяется не актинидами, а продуктами деления (например, иодом и цезием), запасы которых в активных зонах реакторов с НОУ и ВОУ весьма близки²⁴.

Для исследовательских реакторов в США требуется разрешение для работы посредством демонстрации того, что опасность для публики при «базовой проектной аварии» будет ниже законодательных пределов. Базовые проектные аварии не являются, конечно, авариями с наилучшим исходом, но они обладают достаточно высокой вероятностью, чтобы требовать законодательного рассмотрения. При базовых проектных авариях обычно доверяют автоматическим аварийным системам, аварийным системам охлаждения активной зоны (если таковые имеются), вмешательству оператора, системам противоаварийных оболочек²⁵. Так называемые «серьез-

²¹ ЯРК определяет «радиологическую диверсию» как «любой преднамеренный акт против завода или транспортного средства ... или против составной части такого завода или транспортного средства, который может прямо или косвенно угрожать здоровью или безопасности населения из-за воздействия радиации». (10 Code of Federal Regulations, Sec. 73.2).

²² Исследовательские реакторы США, в которых используются специальные ядерные материалы (СЯМ) должны обеспечивать защиту от извлечения таких материалов. Однако, даже если количество СЯМ превышает «формальную величину» в 5 кг, возможность вооруженного противодействия все еще не требуется. См. E. Lyman and A. Kuperman, "A Re-evaluation of Physical Protection Standards for Irradiated HEU Fuel," 24th International Meeting on Reduced Enrichment for Research and Test Reactors (RERTR-2002), Bariloche, Argentina, November, 2002.

²³ 10 Code of Federal Regulations, Sec. 73.60(f).

²⁴ I. G. Kollas, "Research Reactor Accidents: Analysis and Impacts," Fourth International MACCS Users Group Meeting, Sept. 6, 2002, Monte Carlo, Monaco.

²⁵ Важно не путать термины «базовую проектную угрозу» и «базовую проектную аварию». Базовая проектная угроза может привести к аномальным условиям, гораздо более серьезным, чем базовая проектная авария.

ные» аварии включают отказ многих систем и потенциально могут привести к большему ущербу и большим радиологическим выбросам по сравнению с «базовыми расчетными авариями», но они не рассматриваются при выдаче лицензий ЯРК (за исключением, иногда, заявлений о влиянии на окружающую среду по закону о политике защиты окружающей среды США).

Однако, когда рассматривается диверсия, рассмотрение последствий, похожих на последствия серьезных аварий, становится более важным. Если одновременный множественный отказ систем безопасности считается маловероятным, если он происходит в результате аварии, то он может быть инициирован знающими диверсантами, намерившимися произвести массивный радиологический выброс. Поэтому анализ последствий успешной диверсионной атаки должен учитывать сценарии более серьезные, чем случаи «базовой проектной аварии», смягчая некоторые из предположений, которые ограничивают последствия базовых проектных аварий.

Этот вид анализа используется в США для разработки планов безопасности для энергетических реакторов. Аналитики используют вероятностные оценки риска (ВОР) для атомных электростанций для выделения «наборов целей» – минимальных наборов систем, которые при одновременной неисправности могут привести к «существенному повреждению активной зоны» (расплавлению). После этого могут быть разработаны планы обеспечения безопасности для защиты по крайней мере одного элемента из каждого набора целей в случае атаки, предотвращая таким образом ее расплавление. В дополнение к повреждению активной зоны, террористы могут также повредить системы противоаварийной оболочки, облегчая выброс радиоактивности в окружающую среду.

На исследовательских реакторах повреждение активной зоны может произойти в результате нескольких различных классов аварий, включая увеличение реактивности, блокировку потока первичного охладителя, и потерю первичного охладителя. Относительная серьезность этих классов аварий зависит от специфических особенностей реактора, включающих его конструкцию, уровень мощности, тип топлива, и наличие дополнительных систем безопасности на площадке и вне ее. Отсутствие дублирования, диверсификации, и физического разделения функций безопасности на исследовательских реакторах приводит к тому, что наборы целей, как правило, сокращаются по сравнению с энергетическими реакторами; поэтому диверсантам потребуется атаковать меньшее количество целей для достижения повреждения активной зоны.

Поскольку ЯРК не требует от исследовательских реакторов США защиты от БПУ радиологической диверсии, применимой для энергетических реакторов, не существует и требования проведения их операторами анализа набора целей для их установок. Однако, в период после 11 сентября необходимо сделать такой анализ в срочном порядке – он представляет собой важное средство для определения уязвимости исследовательских реакторов и для разработки планов ее уменьшения.

КЛАССИФИКАЦИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ

На основе уровня мощности мы различаем малые, средние и крупные реакторы, которые сейчас находятся в эксплуатации (табл. 1). В оставшейся части этой работы не рассматриваются реакторы с мощностью менее 100 кВт из-за относительно малых количеств их топлива и радиоактивных материалов²⁶.

Количество радиоактивности в активной зоне зависит в первом приближении от полной произведенной энергии (т.е., происшедших событий деления) в топливе реактора в конце срока его работы или равновесного цикла. Для более точных оценок, чем приведенные в табл. 1, следует учитывать много дополнительных специфических для реактора данных – таких, как тип топлива, поток и спектр нейтронов, или стратегия управления топливом и эксплуатационная история реактора. Для оценки из таблицы вероятного влияния диверсии на исследовательском реакторе из таблицы приводятся типичные максимальные запасы продуктов деления²⁷. Даже в условиях серьезной аварии доли выброса для изотопов в топливе могут изменяться от практически 0% для некоторых элементов до 100% для благородных газов. Радиологическое воздействие за

²⁶ МАГАТЭ перечисляет 132 исследовательских реактора с мощностью менее 60 кВт, которые составляют примерно 50% от общего количества. См. выше ссылку [13], International Atomic Energy Agency, *Nuclear Research Reactors in the World*, Figure 7.

²⁷ Актиниды не вносят существенного вклада в общее количество радиоактивных материалов во время эксплуатации или сразу после разгрузки облученного топлива.

пределами площадки будет определяться изотопами цезия и галогенов, в особенности, изотопами йода. В целом эти изотопы составляют 10-20% от общего количества продуктов деления, и обе группы характеризуются высокой долей выброса в условиях серьезной аварии или диверсии.

Табл. 1. Общие характеристики современных исследовательских реакторов в зависимости от уровня мощности²⁸.

	Малый реактор	Средний реактор	Большой реактор
Уровень мощности	100 кВт – 1 МВт	1 МВт – 10 МВт	10 – 250 МВт
Назначение (примеры)	В особенности TRIGA	MTR, несколько TRIGA, ИРТ	MTR, VVR
Число работающих (во всем мире)	Около 40	Около 60	Около 50
Тип реактора	Бассейновый	Бассейновый или резервуарный	Резервуарный
Запас делящихся материалов	Обычно меньше 5 кг U-235	Примерно 10 кг U-235	10 – 40 кг U-235
Плотность мощности в активной зоне	Менее 10 кВт/л	10 – 100 кВт/л	До 2000 кВт/л
Выгорание U-235	Обычно менее 5%	20 – 50%	20 – 50%
Максимальный запас продуктов деления в активной зоне	Около 0,1 МКи (3,7·10 ¹⁵ Бк)	1 – 10 МКи ((37 – 370)·10 ¹⁵ Бк)	До 100 МКи (3700·10 ¹⁵ Бк)

Имеется много типов исследовательских реакторов, и в следующем разделе будут рассмотрены немногие аварии на нескольких реакторах, не принадлежащих к главным типам, так же как и аварии на реакторах, принадлежавших к главным типам. Мы обсудим ниже некоторые из технических характеристик многих типов исследовательских реакторов²⁹.

Среди часто используемых реакторов с тепловой мощностью менее 1 МВт основным типом являются реакторы TRIGA (Обучение, Исследования, Изотопы, компания «Дженерал Атомикс»), и они фактически являются самыми широко используемыми реакторами в мире. Их топливные стержни – одна из наиболее отличительных особенностей реактора TRIGA – состоят из гидрида урана и циркония (UZrH), который замедляет нейтроны на месте, т.е. в топливе, а не в водяном охладителе. Выгорание топлива относительно невелико и в течение срока службы установки заменяется относительно немного стержней. В то время как ранние реакторы TRIGA были разработаны для топлива с ВОУ, в реакторах, построенных в последнее время, используется ЛОУ.

Вторым «базовым» типом реакторов является реактор для испытания материалов (MTR), который представлен во всех трех категориях по размеру, перечисленных в табл. 1. Оригинальный реактор MTR был разработан Аргоннской национальной лабораторией и был предназначен для облучения и испытания материалов, используемых в других реакторах. Конструкция реакто-

²⁸ Типичные значения, определенные по данным из R. R. Burn, ed., *Research, Training, Test, and Production Reactor Directory. United States of America. Second Edition* (American Nuclear Society: La Grange Park, 1983). Количество действующих реакторов в различных категориях взяты из [13] IAEA.

²⁹ Существуют много типов исследовательских реакторов, которые не вписываются в любые из приведенных выше проектных характеристик. Среди них реакторы с жидкой или водной гомогенной средой, в которых топливо представляет собой раствор урановых соединений. Кроме того, имеются реакторы с графитовым или органическим замедлителем. Другие исследовательские реакторы рассматривались как прототипы для будущих коммерчески эксплуатируемых реакторов. К ним относятся, в частности, прототипы К ним относятся, в частности, прототипы реакторов-размножителей на быстрых нейтронах, которые часто классифицируются как исследовательские реакторы. Наконец, в некоторых случаях, исследовательские реакторы используются для военных целей, таких, как производство плутония для ядерного оружия, что снова приводит к специфическому выбору конструкции и топлива.

ров, и, в особенности, его топливо пластинчатого типа с алюминиевой оболочкой впоследствии использовалось в качестве прототипа для многочисленных исследовательских реакторов, построенных в США, и предоставленных США другим странам. Уровни мощности изменяются от близкой к нулю (около 100 Вт) до 250 МВт для крупнейшего исследовательского реактора такого типа, американского реактора усложненного типа (ATR). Реакторы MTR с малым уровнем мощности до мегаватт представляют собой открытые реакторы бассейнового типа, охлаждаемые либо естественной конвекцией, либо прокачкой воды из бассейна через активную зону. В табл. 1 средние и большие реакторы MTR обычно принадлежат к резервуарному типу для того, чтобы удовлетворить более строгие требования по охлаждению. Плотность мощности в реакторах типа MTR может достигать 2000 кВт на литр, что значительно превышает допустимую плотность в реакторах TRIGA. В противоположность реакторам TRIGA, крупные реакторы типа MTR требуют регулярной подачи свежего топлива. Во многих реакторах типа MTR использовалось, а в некоторых из них используется и сейчас, топливо с ВОО.

Многие из исследовательских реакторов, разработанные в СССР и России технически очень похожи на реакторы типа MTR американской конструкции и так же основаны на применении топлива пластинчатого типа с алюминиевой оболочкой. Для реакторов средней мощности из табл. 1 основной конструкцией является так называемый реактор ИРТ бассейнового типа. Точно так же для целей охлаждения реакторы большей мощности принадлежат к резервуарному типу. Основным представителем этого класса являются реакторы класса ВВР с замедлителем из обычной воды.

В табл. 1 реакторы, работающие на уровне мощности выше 10 МВт, классифицируются как большие реакторы. Среди них находятся, в частности, так называемые реакторы с большим потоком, в которых в некоторых случаях используется одиночный топливный элемент для достижения очень компактной геометрии активной зоны. Эти реакторы, вместе с реакторами типа MTR (с топливными пластинами в алюминиевой оболочке), из-за высокого уровня мощности и непрерывной работы, требуют загрузки топлива порядка 25 – 100 кг урана-235 в год, и запас топлива и количество радиоактивных материалов в их активных зонах велико. Технически все эти реакторы снабжены полностью герметичными резервуарами из-за необычно высокой плотности мощности и следующих из этого требований к охлаждению.

ПРИЧИНЫ РАДИОЛОГИЧЕСКИХ ВЫБРОСОВ ИЗ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ

Угроза диверсий на исследовательских реакторах может быть определена указанием (а) последовательности событий, которые могут привести к повреждению активной зоны и радиологическому выбросу, (б) наборами целей, соответствующими таким последовательностям, и (в) способами нападения, способными разрушить наборы целей, или нарушить их работу. В следующем разделе более подробно перечислены возможные способы диверсионных нападений. Они могут включать неприкрытые нападения вооруженных «коммандос» или скрытые атаки внешних групп – в обоих случаях возможно содействие изнутри. Очевидно, что шансы внешней атаки на успех значительно увеличатся при помощи сотрудника установки, который может предоставить информацию по конструкции и мерам безопасности, отключить системы предупреждения и (или) нарушить работу систем аварийной безопасности. Повреждения реактора и его противоаварийной оболочки могут быть также вызваны поставленными вручную минами, бомбой на транспортном средстве или небольшим самолетом. Кроме того, знающий сотрудник может использовать менее грубые, но столь же эффективные способы повреждения активной зоны.

Одним из способов диверсии, непригодных для энергетических реакторов, но вполне применимых для исследовательских реакторов, может стать непосредственное использование взрыва вблизи активной зоны для ее разброса. Это возможно потому, что, в отличие от активной зоны энергетических реакторов, масса активной зоны типичного исследовательского реактора сравнима с массой взрывчатых веществ, которые могут быть легко перевезены на площадку, а сама активная зона гораздо более доступна, чем у энергетического реактора. Кроме того, относительно низкая точка плавления топлива в алюминиевой матрице реактора MTR – порядка 700° С – увеличивает возможность плавления активной зоны даже в том случае, когда тепло от распада недостаточно для этой цели.

В недавнем обзоре отчетов по анализу безопасности при авариях для средних и крупных исследовательских реакторов в США приводятся несколько результатов анализа базовых проек-

ных аварий³⁰. В большинстве случаев серьезность таких аварий ограничивалась в результате предположения о штатном срабатывании систем технической безопасности. Возможность того, что диверсия на исследовательских реакторах представит значительную угрозу для здоровья населения, зависит от того, будут ли у диверсантов надежные способы вызова радиологического выброса за пределами базовой проектной аварии. Обзор некоторых предположений, лежащих в основе обеспечения безопасности этих реакторов, показывает, что они могут быть подвержены риску плавления активной зоны и выбросу в результате тщательно спланированной диверсии, несмотря на то, что опасность такого исхода в результате случайных инцидентов может быть мала. Некоторые полагают, что опасность расплавления активной зоны намного меньше риска выброса больших кусков радиоактивного материала поблизости от реактора. Тем не менее, если реактор работает, то он может содержать плутоний, и это может привести к вдыхаемому радиоактивному выбросу при испарении взрывом вблизи от активной зоны³¹. Плотность энергии при таком взрыве составляет примерно 1300 калорий на грамм взрывчатого вещества. Плотность энергии, необходимая для испарения топлива в алюминиевой оболочке в стержнях исследовательского реактора примерно равна 200 – 300 калориям на грамм. При соответствующей закладке взрывчатки вблизи топливных стержней должно быть достаточно энергии от взрыва для плавления и испарения значительной части топлива, что, возможно, приведет к разбросу на значительно большей площади по сравнению с взрывом, который ведет к образованию только больших кусков радиоактивного материала.

Повышения реактивности. Потенциальная возможность крупномасштабного плавления и взрывной дезинтеграции активной зоны исследовательских реакторов с топливом в алюминиевой оболочке и алюминиевой матрице при сильных повышениях реактивности была несколько раз продемонстрирована, как намеренно, так и непреднамеренно, на начальном этапе развития атомной энергетики.

- На реакторе BORAX-I мощностью 1,3 МВт в 1954 г. было произведено большое увеличение реактивности, которое привело к плавлению большей части активной зоны. Взаимодействие топлива и охладителя привело к взрыву резервуара и разбросу кусков топливных пластин на 200 – 300 футов (60 – 90 метров)³².
- На реакторе SL1 мощностью 3 МВт в 1961 г. произошла серьезная авария с повышением реактивности из-за быстрого ручного извлечения управляющего стержня оператором. Активная зона была разрушена и около 10% продуктов деления было выброшено из резервуара³³. Хотя возможной причиной этой аварии долгое время подозревалась диверсия³⁴, этого никогда не было доказано.
- Первый эксперимент по самоограничивающемуся возрастанию мощности (SPERT-I) в 1962 г. привел к большому возрастанию реактивности, которое привело к плавлению 35% активной зоны и бурной реакции с первичным охладителем, сопровождавшемуся паровым взрывом и большим импульсом давления, который полностью разрушил активную зону³⁵. Это испытание было использовано для установления проектных пределов на максимально допустимое повышение реактивности.

Хотя уроки из этих аварий были использованы в разработке и эксплуатации современных исследовательских реакторов, предотвращение таких повышений достигается зависящей от реактора комбинацией технических и административных мероприятий. Обзор базовых проектных событий с повышением реактивности показывает, что в большинстве случаев прекращение события осуществляется автоматическими средствами реактора, запускаемыми при повышенной мощности, повышенном потоке нейтронов, или уменьшенном периоде реактора. Поэтому при

³⁰ U.S. NRC, *Survey of Non-Power Reactors*, pp. 3-7.

³¹ См. C. M. Steele, T. L. Wald and D. I. Chanin, "Plutonium Explosive Dispersal Modeling Using the MACCS2 Computer Code," U. S. Dept. of Energy, Los Alamos Area Office Technical Report (April 1998), p. 2.

³² Argonne National Laboratory-West Reactor Homepage, www.anlw.anl.gov/anlwhistory/reactors.

³³ W. E. Nyer, G. O. Bright and R. J. McWhorter, "Reactor Excursion Behavior."

³⁴ D. Ford, *Cult of the Atom* (Simon and Schuster, New York: 1982), p. 204.

³⁵ U.S. NRC, *Survey of Non-Power Reactors*, p. B-2. *Research Reactor Vulnerability to Sabotage*.

намеренном отключении приборов и систем управления аварийными механизмами не останется средств для прекращения повышения реактивности, инициированном диверсантом, помимо отрицательного коэффициента реактивности, присущего конструкции активной зоны.

При быстром повышении реактивности отрицательная обратная связь по реактивности может прекратить повышение, даже если автоматические аварийные системы отключены. Тем не менее, диверсанты, знакомые с ядерной техникой, могут преодолеть это препятствие, соответственным образом выбрав скорость увеличения реактивности и начальные условия. Реакторы могут быть менее уязвимыми к повышению реактивности, поскольку они приспособлены к работе в импульсном режиме мощности.

Блокировка потока. Некоторые реакторы представляются довольно уязвимыми к блокировке ввода охладителя, вызванной введением посторонних предметов. Например, в 1961 г. непреднамеренная невозможность извлечения пластмассового смотрового стекла из резервуара технического испытательного реактора (ETR) в Национальной инженерной лаборатории в Айдахо привела к плавлению 18 пластин в шести элементах. Аварии такого типа случались по крайней мере на трех исследовательских реакторах типа MTR³⁶.

Операторы одного важного исследовательского реактора типа MTR с мощностью 5 МВт рассматривали блокировку потока охладителя в топливном элементе, содержащем самую горячую топливную пластину как «максимальную гипотетическую аварию» (МГА)³⁷. Предполагалось, что блокировка была результатом падения постороннего предмета в резервуар активной зоны. Последствия этого события были ограниченными, потому что в «Отчете по анализу безопасности» реактора предполагалось, что проблема была связана только с объектом, достаточно малым, чтобы пройти через одно из отверстий входного сопла топлива, и кипение происходило только в одном заблокированном канале и приводило к плавлению только четырех топливных пластин (или приблизительно 1% активной зоны). Существуют многочисленные системы для оповещения оператора о событии и позволяющие его вмешательство. Наконец, анализ операторов учитывает вентиляционные отверстия с клапанами, которые автоматически срабатывают при высоких уровнях радиации в закрытой атмосфере.

Очевидно, что это не самое серьезное событие, которое может быть вызвано диверсией. Диверсант может не ограничиться одним посторонним объектом, целый мешок предметов правильного размера, брошенный в резервуар, может вызвать гораздо более обширное плавление топлива. И при анализе сценария диверсии не следует надеяться на вмешательство оператора или аварийной системы и вентиляционных клапанов, которые могут быть легко отключены при открытом нападении, заранее скрыто выведены из строя, или нарушены помощником диверсантов в зале управления. Поэтому последствия такого события могут быть значительно больше, чем это представлено в отчете по анализу безопасности.

Оценки аналогичных аварий на похожих исследовательских реакторах позволяют предположить, что они могут привести к значительным последствиям. Например, анализ частичной блокировки потока на греческом исследовательском реакторе в Афинах (GRR) мощностью 5 МВт с открытым бассейном показал, что может быть повреждено около 10% топлива³⁸.

Аварии с потерей охладителя (АПО). Было обнаружено, что для некоторых исследовательских реакторов самой серьезной аварией может стать большая авария с потерей охладителя (АПО). Например, для реактора (GRR) было рассчитано, что разрыв самой большой трубы, соединенной с дном бассейна реактора, приведет к открытию активной зоны менее, чем за примерно 30 минут, и повреждению активной зоны через час, если реактор был выключен во время разрыва. Предсказывается, что в результате такого события будет расплавлено около 20% активной зоны³⁹. Если реактор не был остановлен, то скорость и объем плавления могут быть еще большими. Очевидно, что такая АПО может быть вызвана диверсионной атакой, использующей взрывчатку для повреждения трубопроводов или дна бассейна. Таким образом, было показано, что три класса причин аварии могут привести к повреждению активной зоны, и все они могут быть инициированы диверсантами.

Последствия серьезного повреждения активной зоны, приводящие к большим радиологиче-

³⁶ См. [26], p. 2.

³⁷ *Safety Analysis Report for the MIT Research Reactor (MITR-III)*, Rev. 1 (Nuclear Reactor Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, February 2000), Sec. 13.1.1.

³⁸ См. [26], p. 3.

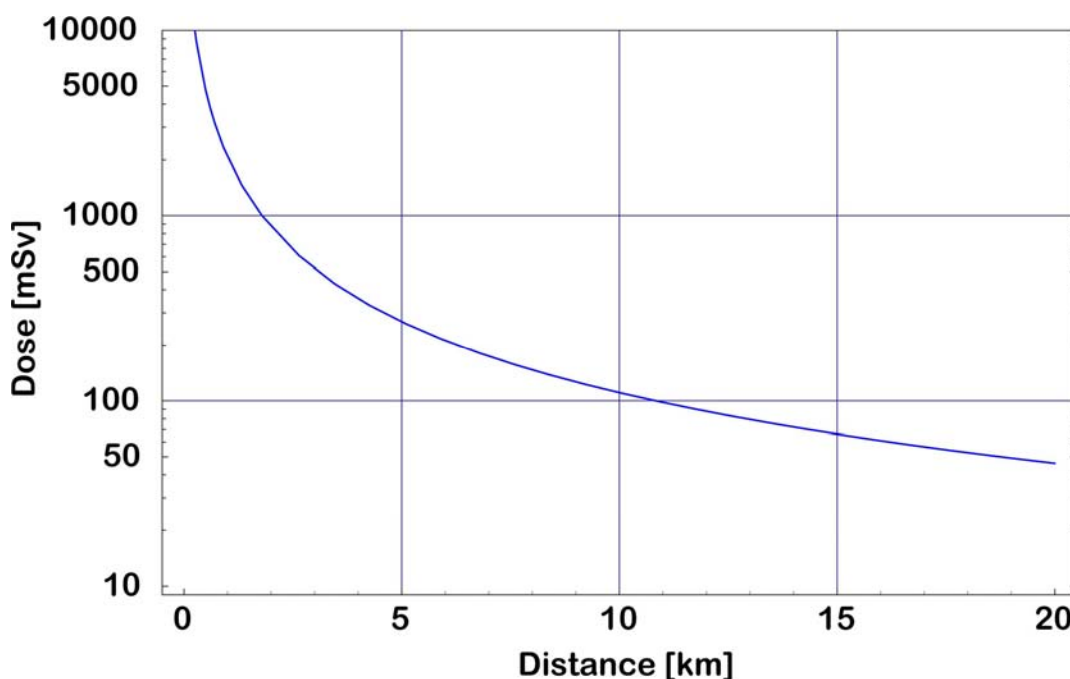
³⁹ См. [26], p. 4.

ским выбросам, заставляют точно оценивать необходимость мероприятий для повышения безопасности и аварийного планирования на исследовательских реакторах. Был проведен расчет возможных выбросов из типичного реактора типа MTR мощностью 5 МВт по программе оценки последствий "MACCS2". В этих расчетах предполагалось равновесное распределение радионуклидов и обширное расплавление активной зоны. Наличие противоаварийной оболочки не учитывалось, потому что атакующие силы могут легко повредить ее или открыть клапаны. Многие исследовательские реакторы имеют надежные и герметичные оболочки, которые могут противостоять большому заряду взрывчатки. Противоаварийные оболочки нередко снабжены клапанами или отверстиями для вентиляции, которые могут быть открыты. Для того, чтобы заметная доля запаса радионуклидов вышла из оболочки, не требуется большого отверстия.

Запас в активной зоне, был определен из отчета по анализу безопасности, использовался как пример в приведенном выше обсуждении блокировки потока, и выброс радионуклидов был взят из предположений отчетов по анализу безопасности германского реактора бассейнового типа BER-II⁴⁰. Эти предположения таковы: 100% для благородных газов и галогенов, 61% для цезия, 7% для теллура и 1% для нелетучих составляющих.

В расчетах вычислялась оценка максимальной эквивалентной дозы в направлении по ветру в щитовидной железе и во всем теле для взрослых, накопленной в течение одной недели после события (рис. 1 и 2). Максимальные дозы на расстоянии 0,035 км равны 1,88 сивертам для всего тела и 9 сивертам для щитовидной железы. Общая доза по всему телу превышала 0,01 сиверта (предельное значение для начала эвакуации в Агентстве по охране окружающей среды) на расстоянии до 14 км от площадки выброса. Максимальная доза в щитовидной железе превышала 0,1 сиверта (предельное значение для назначения йодистого калия взрослым с возрастом менее 40 лет в Администрации пищевых продуктов и лекарств) на расстоянии до 8 км от площадки выброса.

Эти результаты вызывают опасения из-за близости некоторых исследовательских реакторов большой мощности к населенным районам. Например, для зоны отчуждения университетского реактора, используемого в качестве примера в предыдущем обсуждении «блокировки потока», расстояние от ближайшей точки пешеходных дорожек или автомобильного движения равно только восьми метрам, а до ближайших помещений, где находятся люди, всего 21 метру. Учитывая, что последствия террористической диверсии на средние или большие исследовательские реакторы могут быть существенными на расстояниях до нескольких километров по ветру, следует уделить серьезное внимание улучшению аварийного планирования вблизи таких площадок исследовательских реакторов, включая планирование эвакуации и распределение йодистого калия, в особенности, для детей.



⁴⁰ R. Boehert et al., "Differences in the Radiological Effects of a Major Accident Using HEU or LEU Fuel Elements at the BERII," JAERI-M 94-042, RERTTR conference (1994).

Рис. 1. Зависимость дозы в щитовидной железе (в микросивертах) от расстояния (в км).

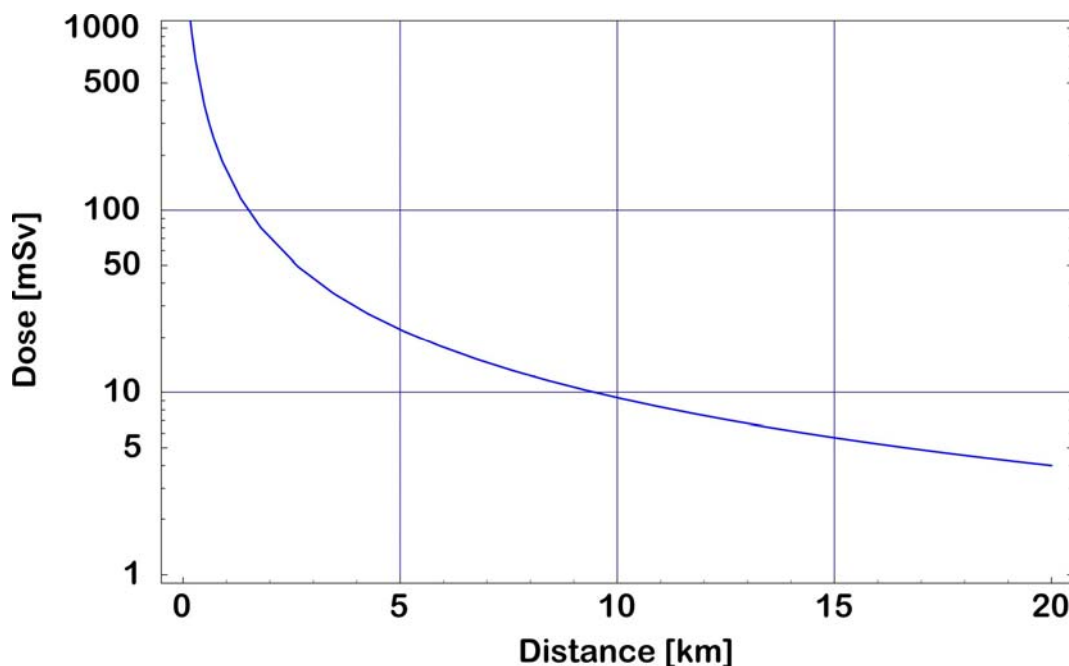


Рис. 2. Зависимость дозы во всем теле (в микросивертах) от расстояния (в км).

СПОСОБЫ ДИВЕРСИОННОЙ АТАКИ

В предыдущем разделе описываются потенциальные угрозы для исследовательских реакторов, основанные в первую очередь на имеющемся опыте аварий и испытаний, но не крупных диверсионных атак на исследовательские реакторы – потому что, насколько мы знаем, до сих пор их еще не было, за исключением бомбардировки в 1981 г. израильской военной авиацией иракского исследовательского реактора. Учитывая катастрофический ущерб, который очевидно планировался в нападениях 11 сентября, мы перечислим ниже возможные будущие способы атаки, которые могут иметь серьезные последствия, аналогичные описанным в предыдущем разделе. Против типичных исследовательских реакторов, перечисленных в табл. 1, могут быть использованы следующие способы атак. Они представляют собой примеры, основанные на прошлых террористических атаках на другие установки, с оружием, которое находится у террористов, или которое может быть доступно террористам.

Весьма вероятные способы атаки

Рейд. Группа террористов тайно размещает взрывчатку рядом с активной зоной исследовательского реактора и с площадкой хранения свежего и отработанного топлива; позднее группа подрывает взрывчатку при помощи дистанционного пульта. Это может потребовать подробного исследования условий на площадке и (или) помощи изнутри, военной подготовки, автоматического оружия, взрывчатых веществ, и устройств дистанционного подрыва. Возможность такой атаки в США, возможно, высока (см. первые три параграфа предыдущего раздела).

Бомба на грузовике. Такая атака может быть проведена двумя способами:

- Бомба на грузовике взрывается вблизи забора по периметру и нацеливается на жизненно важные системы обеспечения исследовательского реактора.
- Диверсанты-самоубийцы на нескольких четырехколесных транспортных средствах прорываются через барьер, продвигаются к жизненно важным системам обеспечения, и подрывают взрывчатку.

В первом случае важна поддержка изнутри для предоставления информации об уязвимых к

действию взрывной волны областей исследовательского реактора; кроме того, потребуется четырехколесное транспортное средство, способное перевезти примерно 1 тонну взрывчатки близко к забору по периметру. Во втором случае потребуется подходящий грузовик, нагруженный взрывчаткой, способный прорваться через барьеры (заборы) и (или) через бетонные барьеры, и другие грузовики, проходящие через пролом, созданный взрывом первого грузовика.

Возможность любого способа проведения атаки с бомбой на грузовике существенна. В прошлом бомбы на грузовиках успешно использовались террористами против американских сооружений (без реакторов) (например, посольства США в Бейруте в апреле 1983 г., казарм морской пехоты США и французского военного штаба в Ливане в 1983 г., Всемирного торгового центра в Нью-Йорке в 1993 г., федерального здания в Оклахома-Сити в 1995 г., американских военных жилых зданий в Саудовской Аравии в 1996 г., и двух американских посольств в Восточной Африке в 1998 г.).

Менее вероятные способы нападения

Противотанковое оружие. Одна или две ракеты запускаются с грузовика по жизненно важным системам обеспечения⁴¹. Поддержка изнутри важна для предоставления информации об уязвимых к действию ракет областях исследовательского реактора; кроме того, важна и прямая видимость реактора с места запуска ракет. Такие ракеты можно купить на черном рынке по сравнительно невысокой цене. Такое оружие будет выбрано террористами при необходимости преодолеть бетонное и (или) стальное ограждение (например, бетонное здание или бронемашину).

Самолет или вертолет. Возможны два метода нападения:

- Диверсанты-самоубийцы разбивают несколько нанятых деловых реактивных самолетов (нагруженных взрывчаткой и полностью заправленных), или разбивают один захваченный гражданский самолет (полностью заправленный) об исследовательский реактор.
- Террористы на нескольких нанятых вертолетах или восстановленных и перевооруженных старых военных самолетах-штурмовиках атакуют исследовательский реактор военным оружием.

В первом случае нужны обученные диверсанты-самоубийцы, способные направить гражданский самолет на исследовательский реактор; во втором случае потребуется тренировка полетов на вертолете или военном самолете, а также приобретение военного оружия, например, ракет. Оба сценария требуют достаточного времени для отклонения от заявленной трассы полета (поскольку имеется много ограничений для полетов рядом с ядерными установками), для того, чтобы можно было поразить исследовательский реактор самолетом или оружием.

В обоих случаях осуществимость будет мала или невелика. Хотя арендовать деловые самолеты достаточно легко, для поражения исследовательского реактора с малым поперечным сечением с неконтролируемым выбросом потребуется значительное умение. С другой стороны, преступники успешно продемонстрировали применение нанятых или захваченных вертолетов для атаки защищенных сооружений (например, для вооруженных нападений на тюрьмы). Кроме того, высокая скорость военного самолета может увеличить элемент неожиданности при атаке, и его совершенное оружие с большей вероятностью приведет к нанесению значительного ущерба (например, бомбардировка и уничтожение израильской авиацией иракского исследовательского реактора в 1981 г.).

ПОДВЕРЖЕННЫЕ РИСКУ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РЕАКТОРЫ

В табл. 1 приведены примеры размеров и типов реакторов, которые наиболее подвержены риску. Многие малые реакторы, работающие на мощности менее 100 кВт, не рассматривались здесь из-за сравнительно малого количества имеющейся у них радиоактивности. Они составляют чуть более половины от общего количества исследовательских реакторов в мире⁴².

⁴¹ Некоторые из таких снарядов достаточно мощны для того, чтобы пробить стальную плиту толщиной в 1 м с расстояния в 2 км.

⁴² См. [26].

В классах, рассмотренных после табл. 1, исследовательские реакторы типа TRIGA наименее уязвимы к диверсии по сравнению с другими типами исследовательских реакторов из-за способности их к выключению, связанной с большим отрицательным температурным коэффициентом реактивности. Реакторы MTR бассейнового типа, мощность которых обычно меньше 2 МВт, возможно, более уязвимы к диверсии, чем реакторы TRIGA. Малые реакторы MTR, недостаточно крупных для помещения в резервуар, у которых отсутствует противоаварийная оболочка, могут представлять собой более простые цели для атаки, но количество радиоактивности в активной зоне и возможные радиоактивные выбросы будут меньше. Реакторы типа MTR с отдельными бассейнами хранения топлива более подвержены повреждениям (из-за потери воды в бассейне и раскрытия активной зоны), чем реакторы MTR с подсоединенным бассейном для хранения топлива. Реакторы с большим потоком (HFR) из-за их больших запасов и активных зон с высокой объемной плотностью делений, могут представлять более привлекательные цели для террористических групп, стремящихся совершить диверсию на ядерной установке. Однако, обычно эти реакторы расположены вдали от населенных центров и лучше охраняются, чем небольшие реакторы (по крайней мере, в США). Дополнительные факторы, которые могут помочь определить уязвимость исследовательского реактора к угрозе диверсии террористов, являются наличие сил охраны на площадке, и знания террористов по обращению с системой управления реактора, чтобы извлечь управляющие стержни из активной зоны.

ОЦЕНКА ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ В СООТВЕТСТВИИ С РИСКОМ

Внутри каждого широкого класса исследовательских реакторов существует дополнительная оценка реакторов, основанная на общих факторах. Здесь мы рассмотрим некоторые факторы, которые могут повлиять на приоритет корректирующих действий. Эти ранжирующие факторы в равной степени применимы к реальной оценке специфического профиля рынка для каждого отдельного исследовательского реактора. Мы включаем следующие факторы в число наиболее важных.

Политическая обстановка

Это наиболее чувствительный и меньше всего обсуждающий на публике фактор, хотя он и весьма важен. Ядерные установки в воюющей стране, или в условиях внутренней политической нестабильности могут оказаться более вероятной целью нападения террористов, чем аналогичные установки, расположенные в стране с более стабильной политической ситуацией, или могут быть с меньшей вероятностью атакованы террористами по другим причинам. Более того, в стране с неустойчивой политической ситуацией может не оказаться финансовых и других ресурсов для обеспечения адекватной защиты ядерных установок на своей территории.

Расположение

Как правило, площадки исследовательских реакторов могут находиться в пригородных районах в университетских городках, городских районах в университетах или промышленных исследовательских центрах, и в удаленных районах в охраняемых национальных лабораториях или исследовательских центрах. Для террористов, намеревающихся произвести диверсию, при прочих равных условиях наилучшую цель будут представлять реакторы в городах, затем реакторы в пригородных районах, и затем реакторы в удаленных национальных лабораториях.

Культура безопасности на реакторах

Чем более строгой является практика обеспечения безопасности на установке исследовательского реактора, чем менее привлекательной целью будет эта установка для возможной террористической группы. Вообще говоря, наилучшие меры по физической защите осуществляются на удаленных площадках национальных лабораторий, которые охраняются подчиняющимися правительству силами охраны, чем на реакторах, расположенных в университетских городках, и охраняемых полицией университета. Реактор в городе может находиться посередине между этими крайними случаями, в зависимости от типа организации, эксплуатирующей реактор. Мы должны указать здесь, что мы имеем в виду все аспекты культуры физической защиты, а не

только наличие сил охраны. К другим факторам, которые принадлежат к этой культуре, относятся: адекватная (начальная и регулярная) проверка и подготовка персонала охраны; адекватные физические барьеры вокруг установки реактора для предотвращения атаки с бомбой на грузовике; адекватные замки, датчики проникновения и физические барьеры на входе, наличие защитной структуры и внедрение коммуникационных систем и процедур с местными и региональными силами безопасности.

Доступные финансовые ресурсы

Этот фактор, несомненно, важен, поскольку затраты на поддержку и организацию охраны, барьеров, датчиков, и т.п., могут оказаться большими. Финансовые ресурсы исследовательского центра могут уменьшаться с возрастом реактора, потому что он будет меньше использоваться.

ВЫВОДЫ

Мы полагаем, что террористы могут нанести значительный ущерб при диверсионном нападении на исследовательский реактор среднего или большого размера, и что эти реакторы не так хорошо защищены от нападения извне, как реакторы атомных электростанций. Последствия успешного диверсионного нападения могут привести к значительному выбросу радиоактивности и загрязнению местности вблизи площадки реактора. Поскольку многие исследовательские реакторы, в отличие от большинства энергетических реакторов, расположены в населенных районах, или близко к ним, они могут представлять большую угрозу обществу, чем диверсионная атака на большинство энергетических реакторов.

Исследовательские реакторы могут стать притягательными целями для диверсии, поскольку распыление террористами реакторного топлива может привести к облучению местного населения значительными дозами радиации. Применимое в настоящее время законодательство многих стран должно быть усовершенствовано для того, чтобы ответить на дополнительные угрозы новых террористов. Кроме того, мы рекомендуем, чтобы операторы исследовательских реакторов, по крайней мере тех, мощность которых больше 100 кВт, рассмотрели террористические угрозы своим реакторами, которые могут возникнуть после 11 сентября, и определили, адекватна ли физическая защита их реакторов этой опасности. Мы рекомендуем также, чтобы они рассмотрели улучшенное аварийное планирование с учетом возможных угроз, чтобы они организовали проверку всех тех лиц, которые постоянно присутствуют на их реакторах, включая не только их работников, но и студентов – пользователей и операторов, и чтобы они рассмотрели усиление своей охраны, как вооружением, так и дополнительной подготовкой для противодействия потенциальным угрозам террористов.