

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЛЬСОВЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СИСТЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЯДЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

А.А. Краснобородько, доцент

Н.Г. Травенко, аспирант

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(Россия, г. Москва)

DOI:10.24412/2500-1000-2023-3-2-12-18

***Аннотация.** В статье рассматриваются перспективные возможности применения роботизированных технических средств для использования в системах физической защиты объектов использования атомной энергии или аналогичных предприятий. Обозначены функции систем физической защиты, которые могут полностью или частично выполняться подобными устройствами, например обнаружение нарушителей и подозрительной активности, предоставление дополнительной информации для оценки тревожной ситуации. Более подробно рассмотрены рельсовые конструкции таких устройств, показаны возможные преимущества использования подобных роботизированных охранных устройств в части снижения уязвимости объекта, ускорения мероприятий по реагированию на несанкционированный доступ и повышения общей эффективности систем физической защиты ядерных объектов.*

***Ключевые слова:** система физической защиты, ядерный объект, роботизированные устройства, эффективность физической защиты, физическая ядерная безопасность.*

Система физической защиты (СФЗ) ядерного объекта представляет собой его совокупность ресурсов, средств и методов для предотвращения, обнаружения и последующей ликвидации угрозы объекту защиты. Общемировой технологический процесс постоянно приводит к появлению новых и модернизации старых типов так называемых проектных угроз. В области физической ядерной безопасности проектные угрозы включают сценарии возможных действий нарушителей и противодействия им со стороны СФЗ [1]. Требование адекватности СФЗ проектным угрозам заставляет постоянно оценивать степень их опасности и внедрения наиболее передовых решений и методов эффективной защиты объектов от этих угроз. При оценке эффективности в формализованном виде описываются действия нарушителей при реализации угрозы хищения или диверсии и функционирование элементов СФЗ, противодействующих нарушителям [2]. На практике, число базовых сценариев должно быть небольшим, и они должны описывать лишь типовые тактики действий нарушителей. Другие сценарии и способы

действия нарушителей могут быть отнесены к маловероятным, «запроектным» угрозам. Но повышение технических возможностей злоумышленников переводит такие гипотетические угрозы в реальную плоскость.

Роботизированные охранные устройства

В настоящее время, к таким передовым технологиям как воздействия на СФЗ, так и противодействия им можно отнести роботизированные технические устройства (РТУ), использование которых может повысить эффективность выполнения функций СФЗ объекта. С учётом того, что современные СФЗ являются автоматизированными, интеграция РТУ в уже используемые комплексы не будет представлять технических трудностей. Специализированные РТУ, как надёжная и экономичная альтернатива человеческому труду, способствует контролю территории объекта или прилегающую к нему с высокой степенью надёжности. В отличие от человека запрограммированный робот способен выполнять монотонную и опасную работу практически полностью исключая челове-

ческий фактор, что является большим плюсом. РТУ предоставляют возможность реализовывать контроль внутренних пространств больших помещений, в ситуациях эвакуации сотрудников при возможной угрозе аварии или террористических действий.

В настоящее время встречаются несколько типов роботизированных охраняемых систем:

1. Стационарные роботизированные консоли, например, противопожарные [3], видео или радиолокационные. Они, как правило, являются составной частью подсистемы оптико-электронного наблюдения с расширенным функционалом.

2. Мобильные – подвижные устройства, оснащаемые датчиками, детекторами исполнительными устройствами камерами слежения, с возможностью передачи управления оператору [4]. Базироваться данные устройства могут на мобильных платформах: колесных, гусеничных и рельсовых. Чаще всего предлагаются 4-х и 6-ти колесные платформы, обеспечивающие высокую проходимость для работы на открытой местности. Роботизированное патрулирование позволяет и обеспечить максимальную обзорность больших площадей, в том числе и труднопросматриваемых мест. Такие РТУ могут быть оснащены системой автономного управления движением, что позволяет обеспечить патрулирование по заданному в процессе обучения маршруту. Сочетание систем позиционирования и визуальную навигацию, можно обеспечить высокую точность движения.

Все мобильные РТУ, предлагаемые как на отечественном, так и на зарубежном рынке оснащены набором схожих функций:

- комплект оптических и инфракрасных камер;
- датчик LIDAR (лазерный радар), предназначенный для определения глубины пространства и расчета точного расстояния до объектов;
- датчики оценки обстановки (контроль пожарной и биологической безопасности);
- дисплей;
- средства связи и позиционирования.

В некоторых случаях, такие РТУ могут даже быть оснащены огнестрельным оружием (как, например, роботизированная система охраны периметра «Прометей», [5]).

Преимущества мобильных РТУ перед управляемыми платформами заключены в возможностях автономного режима работы, создания сценариев реагирования на нештатные ситуации (наезд на какое-либо препятствие, допущения ошибки оператором либо при условии потери связи), или возможность осмотра мест недоступных человеку.

Функции и структура систем физической защиты

При подробном рассмотрении, основные функции СФЗ – сдерживание, обнаружение, задержка, реагирование [6] можно изложить в расширенном виде как [2]:

1. Обеспечение контролируемого доступа лиц, транспорта, на территорию объекта, в его охраняемые зоны, здания и помещения (и в обратном направлении).

2. Обнаружение попыток несанкционированного проникновения через рубежи физической защиты на охраняемых периметрах зон, зданий и помещений.

3. Оценка ситуаций на контролируемых участках рубежей физической защиты, территории объекта и в помещениях охраняемых зданий.

4. Задержка нарушителей при их несанкционированном проникновении через инженерные барьеры на рубежах охраняемых зон.

5. Перехват нарушителей после их обнаружения и оценки ситуации.

6. Нейтрализация нарушителей путем их задержания, обезвреживания или уничтожения.

Для выполнения этих функций при создании и эксплуатации СФЗ традиционно предусматриваются:

- организационные мероприятия и использование различных инженерно-технических средств (датчиков, видеокамер, идентифицирующих и преграждающих устройств);
- зонирование территории и создание защищенных зон;

- построение СФЗ таким образом, чтобы отказ какого-либо элемента не приводил к отказу системы в целом;

- применение средств обнаружения, основанных на разных физических принципах действия;

- использование принципов структурной, функциональной и временной избыточности;

- и другие мероприятия [7].

Функция 1 реализуется, как правило, на стационарных точках доступа под контролем персонала или охраны объекта. На современных объектах автоматизация контроля доступа организована на высоком уровне, и требует вмешательства персонала только в особых случаях.

Функции 4,5,6 выполняются силами реагирования охраны, и реализовать с помощью роботизированных устройств, в настоящее время, затруднительно, по причинам отсутствия нормативной базы, например, для использования на гражданских ядерных объектах автоматизированных средств летального поражения, таких как вышеупомянутый комплекс «Прометей».

Таким образом, наиболее предпочтительными функциями для использования РТУ в СФЗ представляются функции 2 и 3 – обнаружение и оценка ситуации.

Согласно нормативным документам [8] РФ охраняемые узлы, предметы и уста-

новки должны размещаться в соответствующих зонах. Соответственно, территория объекта разбивается на вложенные друг в друга зоны, и, при выделении охраняемых зон особо важная зона должна размещаться во внутренней зоне, внутренняя зона – в защищенной зоне и.д. В этом случае, при использовании автономных мобильных РТУ возникнет проблема осуществления их перемещения из одной зоны в другую. На практике, это приведет к «закреплению» и использованию таких РТУ только в определенных зонах нивелированию их преимуществ перед РТУ, перемещающимися по жестко заданным маршрутам. Однако, использование принципов «многорубежности» и зонирования территории объектов делает перспективным использование рельсовых комплексов охраны [9].

Рельсовые мобильные РТУ

Такие РТУ представляют собой алюминиевый или стальной профиль, который либо крепится к потолочным конструкциям для помещений, либо устанавливается на поверхности вне зданий. По профилю перемещается транспортная каретка с установленным на ней оборудованием. При использовании наиболее распространенных типовых вариантов оснащения рубежей охраны ядерных объектов рельсовая трасса может быть размещена рядом или между ограждениями (рис. 1).

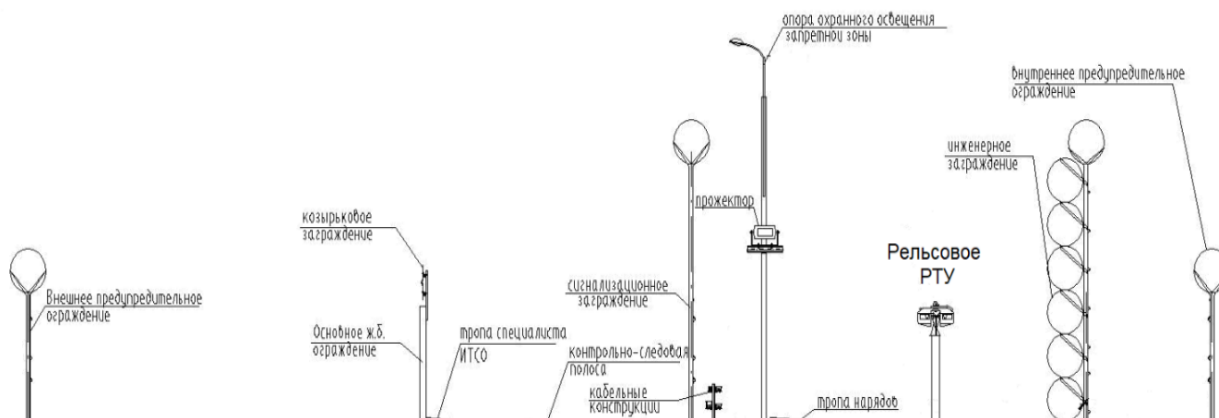


Рис. 1. Вариант размещения трассы РТУ на открытых рубежах

Скорость такого комплекса может обеспечивать минимизацию времени при-

бытия в необходимую зону, определяемую датчиками систем обнаружения. При

штатном патрулировании рубежа защиты рельсовое РТУ может обеспечивать уточнение оперативной обстановки, транспортировку грузов и воздействие на проникновение нарушителя с целью задержки или устранения опасности проникновения на объект. Возможность движения с высокой скоростью в сочетании с круговым видео-

наблюдением позволит контролировать протяженные рубежи, практически полностью устраняя проблему наличия «слепых» областей. Естественным ограничением трассы РТУ будут служить точки доступа в охраняемую зону – контрольно-пропускные пункты (рис. 2).

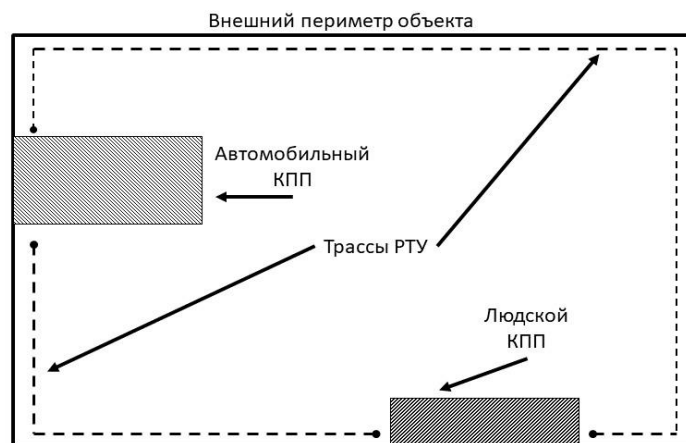


Рис. 2. Пример размещения трасс РТУ по периметру охраняемой зоны

В первую очередь рельсовые РТУ могут способствовать решению следующих задач:

1. Повышения быстродействия реагирования СФЗ на тревожные ситуации;
2. Повышения эффективности процесса оценки ситуации и вероятности нейтрализации нарушителя до его проникновения на территорию объекта с учетом времени преодоления физических барьеров;
4. Дополнения существующих на периметре технических средств (с возможностью интеграции в них);
5. Минимизация уязвимостей и увеличение запаса времени силам реагирования.

Эффективность СФЗ при применении РТУ

В качестве примера рельсового роботизированного устройства рассмотрим подвижный модуль, который будет выполнять функции мониторинга текущей ситуации на объекте и оценки ситуации при тревожном событии (Рис.3). Скорость таких модулей должна обеспечивать минимальное время прибытия в необходимую зону, определяемую имеющимися датчиками, установленными на периметре объекта. Расположение определенного вида наземного РТУ должно определяться моделью нарушителя, с целью увеличения запаса времени для сил реагирования.



Рис. 3. Примерный вид трассы охранного наземного РТУ

При перемещении по маршруту рельсовое РТУ обеспечивает уточнение оперативной обстановки, и, возможно, воздействие на нарушителя с целью задержки или устранения опасности проникновения на объект.

Таким образом, система видеонаблюдения, наряду с функциями поворота, накло-

Оснащение дополнительными устройствами – инфракрасной подсветкой, тепловизорами или автоматическими очистителями расширяет возможности применения на объектах с повышенной загрязненностью.

Следует отметить, что при рассмотрении акции нарушителей в отношении предметов физической защиты, она моделируется как последовательность совершаемых на объекте несанкционированных действий нарушителей. Для формализованного математического описания этих действий, используется упрощение реальных процессов. Так как процессы для учета при анализе не могут быть сформулированы максимально полно, точно и в явном виде, используются различные допущения. Это связано с тем, что СФЗ функционирует и решает свои задачи в условиях неопределенностей. Во-первых, это обусловлено случайным характером физических процессов, протекающих в технических компонентах СФЗ (отказы, помехи, ложные срабатывания датчиков и пр.) изменчивостью воздействий природных факторов, влияющих как на работу техники. Во-вторых, существует поведенческая неопределенность, которая обусловлена неизвестностью вариантов конкретных действий, которые могут быть предприняты нарушителями на объекте и не совпадать с прогнозируемыми. Поэтому, показатель эффективности СФЗ, в общем случае является сложным функционалом, зависящим от большого числа разнородных исходных данных [10].

Качественно подтвердить положительное влияние использования РТУ на эффек-

на и панорамирования, получает дополнительную возможность перемещения в горизонтальном направлении. Так как платформа может двигаться с высокой скоростью, это позволяет контролировать «протяженные» объекты, минимизируя «слепые» зоны системы охранного видеонаблюдения.

$$E = P_{об} \cdot P_{п} \cdot P_{н}, \quad (1)$$

тивность СФЗ можно на следующем примере.

Рассмотрим одномерную модель, при которой рассчитывается показатель эффективности для отдельных маршрутов движения нарушителей к предметам физической защиты. В этой модели формируется схема последовательно расположенных рубежей на пути движения нарушителей. Тогда эффективность СФЗ можно определить как произведение трех вероятностных показателей [2]:

где: $P_{об}$ – вероятность обнаружения нарушителей при преодолении ими последовательно рубежей физической защиты;

$P_{п}$ – вероятность перехвата нарушителей охраной после обнаружения;

$P_{н}$ – вероятность нейтрализации нарушителей охраной.

Оценка эффективности СФЗ при внешней угрозе может проводиться для разных тактик действий сил охраны. В данном случае, в качестве примера выберем параллельную тактику, при которой действия сил реагирования осуществляются несколькими тактическими группами, действующими по сигналам системы обнаружения.

Периметровая группа (ПГ), действует по сигналам срабатывания средств обнаружения, установленных на внешнем периметре объекта. Задачи ПГ:

№1. Захват нарушителя на внешнем периметре объекта;

№2. При невозможности выполнения задачи №1 производится выяснение причин срабатывания средств обнаружения и поиск следов проникновения на территорию объекта.

Объектовая группа (ОГ) действует либо по подтвержденным оператором СФЗ сигналам тревоги с внешнего рубежа, либо по сигналам средств обнаружения на рубежах внутренних зон. Задачами этой группы будут:

1. Захват нарушителя на подходах к внутренним зонам;

2. Если задача №1 не выполнена, производится выяснение причин сигналов датчиков или обнаружение следов действий нарушителей.

Эффективность действий ПГ $P_{пг}$ можно описать выражением:

$$P_{пг} = P_{об.пер} \cdot P_{зах.пер} \quad (2)$$

где $P_{об.пер}$ – вероятность обнаружения нарушителя датчиками внешнего периметра;

$P_{зах.пер}$ – вероятность захвата нарушителя этой группой на внешнем периметре.

Последняя величина $P_{зах.пер}$, является функционалом нескольких значений времени с разной зависимостью от них:

$T_{преод}$ – время преодоления нарушителем всех барьеров внешнего периметра (прямая зависимость);

$T_{старта}$ – время необходимое ПГ для выхода на маршрут (обратная зависимость);

$T_{движ}$ – время движения ПГ от до участка сработавшего средства обнаружения (Обратная зависимость).

Согласно [7], вероятность захвата нарушителя и, соответственно, пресечения действий нарушителей периметровой группой будет больше 0 в случае, при условии:

$$T_{преод} > T_{старта} + T_{движ} \quad (3)$$

При расположении рельсовой системы на внешнем рубеже, действия РТУ, будут соответствовать задаче ПГ №2, (прибытие к месту проникновения нарушителя, оценка ситуации, за исключением действий по нейтрализации). При этом, время старта РТУ существенно меньше, чем у группы ПГ. И для ПГ и для РТУ $T_{движ}$ в целом зависит от конфигурации и общей длины рубежа, однако, даже при сопоставимом

времени прибытия пешего наряда и прибытия модуля РТУ, персонал СФЗ получает дополнительное преимущество для анализа ситуации и оценки обстановки. Это ускорит либо выяснение маршрута нарушителей до обнаружения их на целеуказующем рубеже (рубеж, однозначно определяющий цель нарушителей), либо определение маршрута движения для ОГ. Таким образом, при выполнении условий (4):

$$\begin{aligned} T_{старта} (РТУ) &< T_{старта} (ПГ), \\ T_{движ} (РТУ) &< T_{движ} (ПГ), \end{aligned} \quad (4)$$

можно утверждать о повышении эффективности действий периметровой группы сил реагирования.

Заключение. В последнее время у злоумышленников появилось множество доступных, технически сложных средств, для выполнения своих задач. Это, прежде всего, беспилотные средства, которые самостоятельно передвигаются, могут объединяться в группы и использовать друг друга. При этом существенно повысилось качество решаемых такими средствами

задач по сбору чувствительной информации, оперативному наблюдению и воздействию на наиболее уязвимые элементы ядерного объекта. При этом сами операторы могут находиться на значительном расстоянии от внешнего периметра объекта. На практике, при проектировании СФЗ, не всегда есть возможность расширить рубежи охраны для раннего обнаружения нарушителей. Этому может препятствовать плотная городская застройка, особенности ландшафта или бюджетные ограни-

чения. В этих условиях, представляется перспективным использование рельсовых РТУ для повышения обнаружительной способности и общей эффективности СФЗ.

Библиографический список

1. International Atomic Energy Agency, Objective and Essential Elements of a State's Nuclear Security Regime, IAEA Nuclear Security Series No. 20, IAEA, Vienna (2013).
2. Оценки эффективности систем физической защиты объектов использования атомной энергии / Д. К. Зырянов, А. А. Краснобородько, Г. Н. Пинчук, Н. П. Петровский // Ядерная физика и инжиниринг. – 2019. – Т. 10, № 3. – С. 212-221. – DOI 10.1134/S2079562919020180. – EDN KLVGGR.
3. Немчинов С. Роботизированные установки пожаротушения для защиты общественных зданий и сооружений // Системы безопасности. – 2022. – №2 (164). – С. 112.
4. Охранные роботы «Трал-патруль». – URL: <https://www.tral.ru/production/ohrannij-robot> (дата обращения 01.03.2023)
5. «Прометей» на страже. – URL: <https://rostec.ru/news/prometey-na-strazhe> (дата обращения 01.03.2023)
6. International Atomic Energy Agency, Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities (INFCIRC/225/Revision 5), IAEA Nuclear Security Series No. 13, IAEA, Vienna (2011).
7. Гарсия М. Проектирование и оценка систем физической защиты. Пер.с англ. – М.: Мир: ООО «Издательство АСТ», 2002. – 386 с.
8. Постановление Правительства РФ от 19.07.2007, N 456 «Об утверждении Правил физической защиты ядерных материалов, ядерных установок и пунктов хранения ядерных материалов». – URL: <http://www.consultant.ru>.
9. Травенко Н.Г., Краснобородько А.А. Роботизированные устройства в системе физической защиты. Автоматизированные системы управления технологическими процессами АЭС и ТЭС: материалы II Международной. научно-технической конференции. (Республика Беларусь, г. Минск, 27-28 апреля 2021 года). – Минск: БГУИР, 2021. - С. 105-109.
10. Петровский Н.П., Пинчук Г.Н., Кузин В.В. Применение критериев эффективности в регулировании физической защиты объектов использования атомной энергии // Ядерная и радиационная безопасность. – 2013. – №2 (68). – С. 7-14.

PROSPECTS FOR THE USE OF RAIL ROBOTIZED TECHNICAL DEVICES FOR THE PHYSICAL PROTECTION SYSTEMS OF NUCLEAR FACILITIES

A.A. Krasnoborodko, Associate Professor
N.G. Travenko, Postgraduate Student
 National Research Nuclear University MEPHI
 (Russia, Moscow)

Abstract. The article discusses the promising possibilities of using robotic technical means for use in physical protection systems of nuclear energy facilities or similar enterprises. The functions of physical protection systems that can be fully or partially performed by such devices are indicated, for example, detection of violators and suspicious activity, provision of additional information to assess an alarming situation. The rail structures of such devices are considered in more detail, the possible advantages of using such robotic security devices are shown in terms of reducing the vulnerability of the facility, speeding up measures to respond to unauthorized access and increasing the overall effectiveness of physical protection systems for nuclear facilities.

Keywords: physical protection system, nuclear facility, robotic devices, effectiveness of physical protection, physical nuclear safety.