УДК: 621.396.969.3

КЛЮЧЕВЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБНАРУЖЕНИЯ ПРОНИКНОВЕНИЯ НА ОХРАНЯЕМЫЕ ОБЪЕКТЫ

KEY FUNCTIONAL INDICATORS RADIO ENGINEERING DETECTIONS OF PENETRATIONS ON PROTECTED OBJECTS

Д-р техн. наук В.А. Минаев, д-р техн. наук Б.Н. Коробец,
д-р техн. наук М.П. Сычев, Д.В. Севрюков, В.А. Дудоладов,

DPhil V.A. Minaev, DPhil B.N. Korobets, DPhil M.P. Sychev, D.V. Sevryukov, V.A. Dudoladov

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Показано, что важнейшим свойством системы обеспечения безопасности протяженного рубежа или периметра охраняемого объекта является надежность обнаружения физического вторжения нарушителя на его территорию. Рассматриваются различные направления применения радиотехнических средств при решении задач обнаружения несанкционированных проникновений на охраняемые объекты. Раскрываются физические принципы и особенности функционирования радиоволновых одно- и двухпозиционных средств обнаружения, понятия вероятности обнаружения и ложных срабатываний.
Ключевые слова: диапазон длин волн, зона обнаружения, извещатель, ограждение, определительные испытания, передатчик, периметр, приемник, проверочные испытания, рубеж охраны, срабатывание, средство обнаружения.

It is shown that the most important property of safety extended boundary or protected object perimeter is the reliability of physical intrusion detection into its territory. Various applications of radio equipment in solving problems of unauthorized access detection to protected objects are considered. Physical principles and features of functioning of one- and two-position radio-wave means of detection, determination of probability of detection and false cases are revealed.
Keywords: wavelength range, detection area, the detector, fencing, determinative tests, transmitter, perimeter, receiver, validation testing, security line, triggering of the detection tool.

Как известно, самым важным свойством системы обеспечения безопасности протяженного рубежа или периметра охраняемого объекта является надежность обнаружения факта физического вторжения нарушителя на его территорию.

Среди всего многообразия периметровых средств обнаружения (СО) радиотехнические (радиоволновые однопозиционные и радиоволновые двухпозиционные) средства представляют собой класс средств с уникальными тактико-техническими характеристиками [1]. Радиоволновые проводные СО, описанные в [2, 3], также можно отнести к этому классу.

Радиоволновые (радиотехнические) и комбинированные извещатели (средства обнаружения) по ГОСТ 26342-84 могут применяться для блокирования закрытых помещений, отдельных предметов и строительных конструкций, открытых площадок, периметров.

Известны семейства радиоволновых извещателей «Агат», «Аргус», «Призма», «Радий».

В настоящей работе применены термины по ГОСТ Р 50775, ГОСТ Р 52002, ГОСТ Р 52435, ГОСТ Р 52551, ГОСТ Р 52651, ГОСТ 26342.

Используемые сокращения:

ЗО — зона обнаружения;

ПРД — передатчик;

ПРМ — приемник;

РТСО — радиотехнические средства обнаружения;

РДСО — радиоволновые двухпозиционные средства обнаружения;

СВЧ — сверхвысокочастотный;

ТТХ — тактико-технические характеристики

ТСО — технические средства охраны.

Радиоволновые однопозиционные извещатели

Функционирование радиоволновых СО основано на регистрации возмущений электромагнитных волн СВЧ-диапазона (от 0,43 ГГц), излучаемых передатчиком и регистрируемых приемником извещателя при движении человека в зоне обнаружения [4, 5]. Приемник принимает отраженный от нарушителя, движущегося со скоростью 0,5–3 м/с, сигнал частотой $F_{доп.}$ со смесителя и анализирует параметры доплеровского сигнала — его амплитуду и частоту.

Принцип работы радиоволновых однопозиционных извещателей для закрытых помещений проиллюстрирован на рис. 1. Зона их обнаружения имеет форму эллипсоида вращения или каплевидную, протяженностью до 16 м. Контролируемый объем — до 200 м^3.

Современные радиоволновые извещатели для охраны помещений сохраняют работоспособность в широком диапазоне температур, не реагируют на световые засветки, тепловые потоки и сквозняки, имеют стабильную объемную зону обнаружения, допускают маскировку радиопрозрачными материалами.

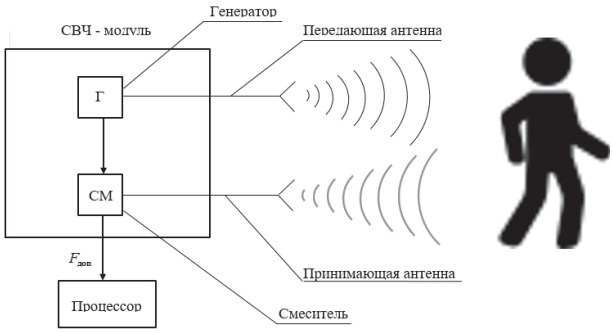

Рис. 1. Принцип работы радиоволнового однопозиционного извещателя

Некоторые однопозиционные радиоволновые извещатели семейства «Агат» разработки ЗАО «ЮМИРС» могут применяться для блокировки прямолинейных участков протяженностью до 50 м при высоте растительности и неровностей в зоне обнаружения 10–20 см.

Комбинированные извещатели (ИК+СВЧ) представляют собой сочетание двух извещателей, построенных на разных физических принципах обнаружения, объединенных конструктивно и схемно в одном корпусе. Наиболее широко распространена комбинация инфракрасного пассивного и радиоволнового извещателей (например, типа «Сокол», «Аргус»).

Радиоволновые двухпозиционные СО (РДСО) состоят из приемника и передатчика, связанных между собой кабелем синхронизации.

РДСО работают в дециметровом, сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн (9,5–24 ГГц) и в большинстве случаев обеспечивают блокирование периметров объектов, мест расположения войсковых подразделений, грузов и т.п. Полезный сигнал формируется при пересечении ЗО объектом обнаружения (нарушителем) за счет изменения сигнала связи на входе приемника [4, 5]. На рис. 2 изображен вариант блокирования участка периметра при помощи радиоволнового проводного СО и РДСО «Призма-2» [2].

Объемная зона обнаружения РДСО — «вытянутый» эллипсоид вращения, диаметр которого в середине зоны составляет, как правило, от 70 до 600 см (в зависимости от параметров антенн и частоты излучения). При перекрытии нарушителем луча от передатчика (ПРД) к приемнику (ПРМ) мощность полезного сигнала снижается по мере уменьшения площади сечения луча. Модель перекрываемой площади сечения луча РДСО может быть представлена в виде сегмента круга, образуемого окружностью и хордой. Соответствующие характерные размеры и обозначения приведены на рис. 3.

Указанная площадь в зависимости от угла ψ описывается формулой

$$S(\psi) = \frac{R^2}{2}\left[\pi\frac{\psi}{180} - \sin(\psi)\right]. \qquad (1)$$

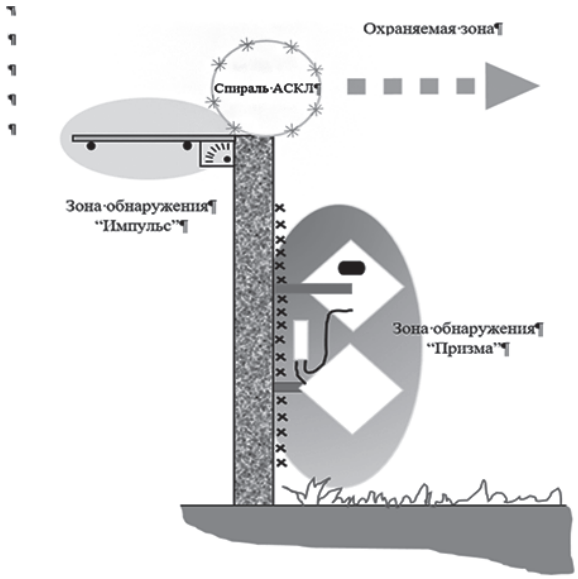

Рис. 2. Вариант блокирования участка периметра при помощи радиоволнового проводного СО и РДСО

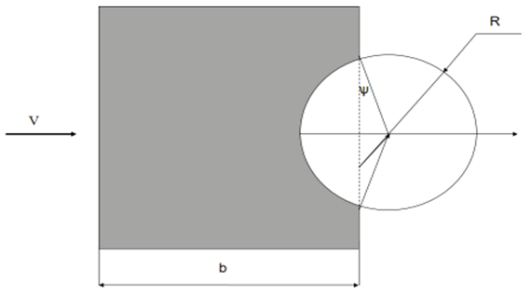

Рис. 3. Модель перекрываемой площади сечения луча РДСО: R — радиус сечения луча; V — скорость движения нарушителя; b — характерный размер нарушителя; ψ — угол дуги окружности (в градусах), стягиваемый хордой

Нетрудно видеть, что при изменении угла ψ в интервале от 0 до 2π, перекрываемая нарушителем площадь сечения луча увеличивается от 0 до πR^2, т.е. до полного перекрытия. При дальнейшем движении нарушителя площадь перекрытия сечения луча, напротив, уменьшается от πR^2 до 0.

Допустив, без ограничения общности, что скорость V постоянна, общий вид U — силы полезного сигнала РДСО можно представить в виде рис. 4.

Очевидно, что полная длительность полезного сигнала РДСО («провала») U может быть оценена из соотношения [6, 7]

$$\tau \cong \frac{b}{V}. \qquad (2)$$

В реальных условиях применения РДСО, вид полезного сигнала, когда скорость передвижения и размер нарушителя изменяются, может варьироваться. При этом всегда сохранется характерная засечка в виде «провала» на графике $U(t)$, образуемого при пересечении ЗО нарушителем.

Мощность, излучаемая передающей антенной, $P_{изл}$ связана с мощностью наводимой в приемной антенне $P_{пр}$ (при расположении антенн в свободном пространстве), выражением

$$P_{изл} = \frac{P_{пр}(4\pi L^2)}{G_\lambda^2 \lambda^2}, \qquad (3)$$

где λ — длина волны РДСО; G_λ — коэффициент усиления антенны, L — расстояние между ПРД и ПРМ.

РДСО применимы там, где обеспечена прямая видимость между передатчиком и приемником. Если на объекте нет заграждения (ограды), то приемники-передатчики могут монтироваться на стойках по линии периметра. РДСО позволяют обнаруживать нарушителя, перемещающегося в полный рост со скоростью от 0,1 до 7–8 (10) м/с, и наиболее часто применяются в составе стационарных сигнализационных комплексов для: блокирования подходов к зданиям либо к ограждениям рубежа основных инженерных сооружений на участках с прямой видимостью (протяженностью до 300 м) при высоте растительности и неровностей в зоне обнаружения не более 30–40 см, для:

– блокирования верхней части ограждений;

– срочной организации временного рубежа охраны на неподготовленной территории;

– для создания временных (страховочных) рубежей прикрытия на случай выхода из строя (разрушения ограждений и поломки аппаратуры) стационарных СО первого рубежа охраны.

Важными тактико-техническими характеристиками периметровых СО являются:

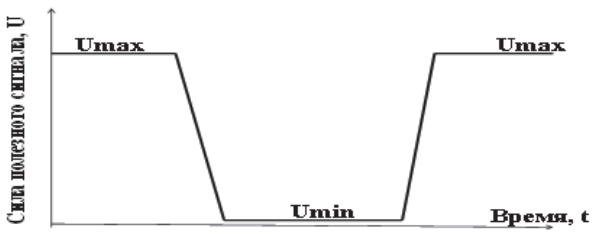

Рис. 4. Общий вид полезного сигнала РДСО

1. Вероятность обнаружения, т.е. вероятность $P_{обн}$ выдачи сигнала тревоги при пересечении человеком зоны обнаружения СО. Она определяет «тактическую надежность» рубежа охраны и должна составлять не менее 0,9–0,95 при перемещении нарушителя со скоростью от 0,8 до 1,2 м/с. Следует подчеркнуть вероятностный (статистически усредненный) смысл этой характеристики — она зависит от условий эксплуатации и может варьироваться в достаточно больших пределах.

2. Частота ложных срабатываний (наработка на ложное срабатывание $T_{л.с.}$) — показатель, во многом определяющий общую эффективность всего комплекса безопасности. Приемлемая наработка на ложное срабатывание для современных систем — не более 1 за 10 суток работы на участок длиной 250 м. Эта характеристика также имеет вероятностную природу.

Знание конкретных характеристик ($P_{обн}$ или $T_{л.с.}$) совершенно необходимо при оценках уязвимости объекта, выборе используемых ТСО.

Вероятность обнаружения РДСО может быть оценена на основании результатов N испытаний по формуле [4]

$$P_{обн} = \frac{P^* + 0{,}5\frac{t_y^2}{N_{исп}} - t_y \cdot \sqrt{\frac{P^*(1-P^*)}{N_{исп}} + \frac{1}{4}\cdot\left(\frac{t_y}{N_{исп}}\right)^2}}{1+\frac{t_y^2}{N_{исп}}}, \quad (4)$$

где P^* — среднее частотное значение вероятности обнаружения, определяемое выражением

$$P^* = 1 - \frac{M}{N_{исп}}, \quad (5)$$

где $N_{исп}$ — число испытаний (пересечений зоны обнаружения) СО;

M — число пропусков нарушителя (экспериментов, в которых не сработало СО);

t_y — коэффициент Стьюдента для данного числа испытаний и выбранной доверительной вероятности [8, 9].

Проводимые испытания могут быть определительными, когда значение оцениваемого показателя ($P_{обн}$ или $T_{л.с.}$) заранее неизвестно, и проверочными — в случае подтверждения определенного значения показателя (заявленных ТТХ). Принципом оценки неизвестной заранее величины оцениваемого показателя служит определение граничного значения интервала, в котором заключена эта величина с заданной доверительной вероятностью, являющейся гарантом того, что истинная величина оцениваемого показателя будет не хуже, чем граничное значение интервала оценки [10, 11].

Следует отметить, что наряду с упомянутыми к важным функциональным показателям РТСО (рабочая частота, размеры зоны обнаружения, вероятность обнаружения, частота ложных срабатываний) относят также, в соответствии с ГОСТами и ведомственными документами:

– время готовности СО после включения электропитания — не более 30 с;

– время восстановления дежурного режима — не более 20 с.

Выводы

Важнейшим свойством системы обеспечения безопасности протяженного рубежа или периметра охраняемого объекта является надежность обнаружения физического вторжения нарушителя на его территорию. В контексте определения надежности сравниваются различные способы применения радиотехнических средств при решении задач обнаружения несанкционированных проникновений на охраняемые объекты.

Для этого необходимо рассмотреть физические принципы и особенности функционирования радиоволновых одно- и двухпозиционных средств обнаружения, значения вероятности обнаружения и ложных срабатываний [12].

Объективное сравнение основных характеристик радиотехнических средств, методик оценки вероятностных параметров эффективности позволяет рационально комбинировать извещатели, в частности — сочетание инфракрасных и радиоволновых извещателей.

Литература

1. ГОСТ 26342-84 Средства охранной, пожарной и охранно-пожарной сигнализации. Типы, основные параметры и размеры.

2. Минаев В.А, Севрюков Д.В., Дудоладов В.А. Проводноволновые средства обнаружения вторжений // Вопросы оборонной техники. Серия 16. — М.: НТЦ «Информтехника». — СПб: Любавич. 2016. Вып. 11–12 (101–102). С.84–89.

3. Севрюков Д.В., Филиппов Д.Л., Дудоладов В.А. О современных проводноволновых средствах обнаружения // Мир безопасности. 2016. № 7. С. 38–45.

4. Рекомендации по использованию технических средств обнаружения, основанных на различных физических принципах, для охраны огражденных территорий и открытых площадок (Р 78.36.026-2012). — М.: НИЦ «Охрана». 2012. 182 с.

5. ГОСТ Р 52651–2006 Извещатели охранные линейные радиоволновые для периметров. Общие технические требования и методы испытаний.

6. Дудкин В.А. Селекция целей по габаритным размерам в оптических извещателях // Сборник научных трудов «Проблемы объектовой охраны». Вып. 1. Пенза: Изд-во ПГУ. 2000. С. 132–135.

7. Минаев В.А., Сычев М.П., Севрюков Д.В., Дудоладов В.А. Отечественные ИК-извещатели в системах охранно-пожарной сигнализации // Вопросы оборонной техники. Серия 16. — М.: НТЦ «Информтехника». — СПб: Любавич. 2017. Вып. 11–12 (113–114). С. 115–121.

8. Магауенов Р.Г., Семенов О.И., Афанасьева Л.Г., Егоров А.Н. Толковый словарь терминов по системам физической защиты. — М.: «Секьюрити Фокус». 2012. 288 с.

9. Пинчук Г.Н., Петровский Н.П. Оценка функциональных показателей технических средств обнаружения систем охраны // Системы безопасности. 2000. № 34. С. 52–54.

10. Иванов И.В. Охрана периметров – 2. — М., 2000. 197 с.

11.Состояние и развитие систем физзащиты. Ежегодный сборник научных трудов. Выпуск № 4. СНПО «Элерон». — М.: ПРО-практик. 2013. 244 с.

12. Чекалин А.А., Скрыль С.В., Минаев В.А. Комплексный технический контроль эффективности мер безопасности систем управления в органах внутренних дел: Учебное пособие для высших учебных заведений МВД России. Часть 2. Практические аспекты технической разведки и комплексного технического контроля. — М.: Научно-техническое издательство «Горячая линия-Телеком». 2006. 205 с.

References

1. State Standard 26342-84 Means of the Security, Fire and Security-Fire Alarm System. Types, Basic Parameters and Dimensions.

2. Minaev V.A., Sevryukov D.V., Dudoladov V.A. Wire and Wave Means of Intrusion Detection. Questions of the Defensive Equipment. Series 16. Issue 11–12 (101–102). — M.: STC «Informtekhnika». — SPb: Lyubavich. 2016. P. 84–89.

3. Sevryukov D.V., Philippov D.L., Dudoladov A.V. Modern Wire-Wave Means of Detection // World Security. 2016. № 7. P. 38–45.

4. Recommendations on the Use of Detection Equipment Based on Various Physical Principles for Protection of Fenced and Open Areas (P 78.36.026-2012). — M.: Research Center «Okhrana». 2012. 182 p.

5. State Standard 52651–2006 Radio-wave linear annunciators for perimeters. General technical requirements and test methods.

6. Dudkin V.A. Selection of Targets by Overall Dimensions in Optical detectors / Collection of Scientific Papers «Problems of Object Protection». Issue 1. — Penza: Publishing House of PSU. 2000. P. 132–135.

7. Minaev V.A, Sychev M.P., Sevryukov D.V., Dudoladov V.A. Domestic IR Detectors in Security and Fire Alarm Systems // Questions of the Defensive Equipment. Series 16. Issue 11–12 (113–114). — M.: STC «Informtekhnika». — SPb: Lyubavich, 2017. P. 115–121.

8. Magauenov R.G., Semenov O.I., Afanasyeva L.G., Egorov A. N. Dictionary of Terms for Physical Protection Systems. — M.: «Security Focus». 2012. 288 p.

9. Pinchuk G.N., Petrovsky N.P. Assessment of Technical Means Functional Detection Indicators of Security Systems // Security Systems. 2000. № 34. P. 52–54.

10. Ivanov I. V. Protection of Perimeters – 2. — M. 2000. 197 p.

11. State and Development of Physical Protection Systems. Annual collection of scientific papers. Issue № 4. SNPO «Eleron». — M.: PRO-practice. 2013. 244 p.

12. Chekalin A.A., Skryl S.V., Minaev V.A. Complex Technical Control of Security Measures Efficiency of Control Systems in Police. Textbook for Higher Educational Institutions of the Internal Affairs Ministry of Russia. Part 2. Practical aspects of technical intelligence and complex technical control. M.: Scientific and Technical Publishing House «Hot line-Telecom». 2006. 205 p.