

Электродинамика и антенные системы

УДК 621.369

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ

Здоровцов Анатолий Геннадьевич

начальник учебной лаборатории (устройства инженерно-технических средств охраны),
сотрудник кафедры инженерно-технических средств охраны ФГКВООУ ВО «Пермский военный
институт» войск национальной гвардии Российской Федерации».

E-mail: ZdorovtsovAG@list.ru.

Адрес: 614112, Россия, Пермь, ул. Гремячий лог, 1.

Аннотация: Целью работы является реализация подходов к решению проблемы идентификации нарушителей биологических объектов, которая особенно остро встаёт при решении задач информационного обеспечения системы охраны объектов, обусловленной нестационарным характером воздействий окружающей среды. С этой целью предлагается использовать метод идентификации, в основе которого лежит эффект зависимости собственных электромагнитных излучений нарушителей от напряжённости внешнего низкоинтенсивного электромагнитного поля радиоволнового диапазона с заданными модуляционно-временными параметрами. Здесь под идентификацией, в широком смысле слова, понимается установление степени соответствия модели реальному объекту или явлению. В узком смысле проблема идентификации сводится к восстановлению структуры и параметров модели по результатам практических наблюдений и измерений. Такая постановка проблемы идентификации не является новой. Её решение предполагает наличие технических средств охраны (далее ТСО) и алгоритмов, предусматривающих последовательную реализацию процедур распознавания и селекции требуемого класса объектов по присутствию только ему или наиболее информативным признакам.

Ключевые слова: технические средства охраны, безопасность, электромагнитное излучение, принцип действия, идентификация, регистрация объекта, эффект.

Процесс идентификации нарушителей в системе охраны объектов сводится к регистрации ТСО параметров всевозможных явлений и эффектов, протекающих в окружающей среде под влиянием разнообразных с их стороны воздействий [1]. Характер среды и эффект, вызываемый воздействием нарушителя, полностью определяют структуру и параметры ТСО, предназначенных для их регистрации. Однако существующие в настоящее время ТСО, к сожалению, осуществляют только распознавание полезного сигнала на фоне различного рода помех. И даже на этом этапе уникальность реализаций случайных возмущений и помех, искажающих полезную информацию в процессе измерений параметров среды, ограниченный интервал наблюдения, несовершенство моделей, принципиально не позволяют в полной мере использовать потенциал известных методов для решения задач распознавания.

По принятым в настоящее время к руководству типовым методикам, вероятность обнаружения нарушителя $P_{обн}$ ТСО определяется как

$$P_{обн} = 1 - P_{пр} = \frac{N}{N + N_{пр}} = 1 - \frac{N_{пр}}{N_{обн} + N_{лт} + N_{пр}}, \quad (1)$$

где $P_{пр}$ – вероятность пропуска цели; N , $N_{обн}$, $N_{лт}$, $N_{пр}$ – общее число срабатываний ТСО, обнаружения, ложных тревог и пропуска нарушителя, соответственно.

В этом случае вся совокупность факторов окружающей среды разделена на классы – помеха и – нарушитель, а для характеристики объектов используется признак x при известных описаниях классов – плотностях распределения вероятностей: $f_1(x)$ – помеха и $f_2(x)$ –

полезный сигнал (рис. 1).

Поскольку обозначенные классы имеют различную природу, то полную группу событий составляют только вероятности правильного обнаружения и пропуска цели, а решение о наличии ложной тревоги, в конечном итоге, принимает человек (рис. 2).

При этом в статистической трактовке задача распознавания формулируется следующим образом: при известных распределениях значений признаков объектов различных классов и априорных вероятностях появления этих объектов необходимо по измеренным значениям признаков наблюдаемого объекта принять решение о том, к какому классу он относится [2]. Таким образом, относительно задачи селекции, принято считать, что её можно решать последовательно, применяя алгоритмы распознавания к объектам наблюдаемого множества. Это действительно так, если признаки наблюдаемых объектов измеряются без ошибок, а соответствующие различным классам области значений признаков не пересекаются. Однако, в статистической постановке, решения такого рода оказываются не оптимальными по критерию минимума среднего риска. Более того, при любом правиле проведения разделяющих границ между областями значений признаков всегда возможны такие ситуации, когда в область пространства, соответствующую объектам селектируемого класса, либо не попадает ни одна реализация, либо попадает более одной [3]. Это означает, что решающие правила, обычно применяемые при распознавании, в задачах селекции решающими в собственном смысле этого слова не являются.

Единственным выходом из создавшегося положения является достижение максимально возможных различий в значениях признаков x , характеризующих совокупность помех и истинного нарушителя, что реально только при реализации техническим средством соответствующей модели нарушителя. При этом наиболее целесообразным представляется распозна-

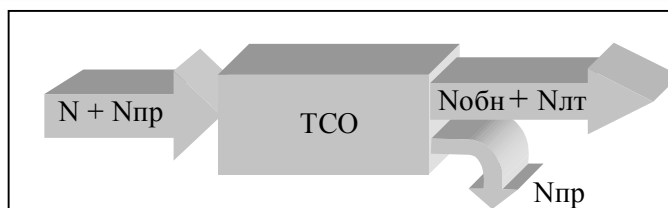


Рис. 1. Принцип действия ТСО

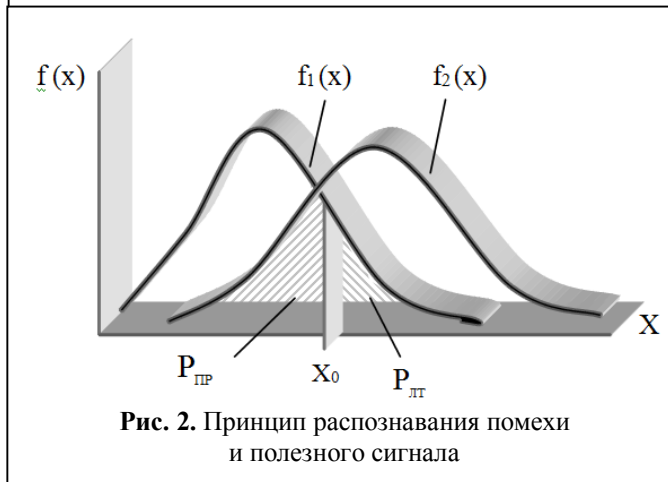


Рис. 2. Принцип распознавания помехи и полезного сигнала

вание из всего многообразия объектов вообще и последующая селекция человека, в частности. Здесь задачу селекции можно представить следующим образом: при известных отличиях между распределениями значений признаков объектов различных классов и составе конкретной выборки, по измеренным значениям признаков всех наблюдаемых объектов принять решение о том, какой именно из них относится к интересующему классу [4]. В постановке задачи селекции имеются следующие особенности: известны не сами распределения значений признаков, а соотношение между этими распределениями. Решение задачи селекции оказывается возможным и тогда, когда известно только распределение значений признаков для интересующего нас класса и даже тогда, когда ни одно из этих распределений априори неизвестно, однако постулируется сам факт существования таких отличий; известны не статистические свойства генеральной совокупности объектов, характеризующиеся априорными вероятностями появления объектов различных классов, а состав конкретной выборки наблюдаемых объектов; решения принимаются не по каждому объекту в отдельности, а по вы-

борке в целом на основе всей совокупности информации [5]. Таким образом, при селекции правильное и все виды ошибочных решений образуют полную группу несовместных событий, причём, какой именно объект принять в качестве истинного объекта, существенного значения не имеет. Отсюда следует, что полный апостериорный риск при любом отношении между стоимостями правильного и ошибочных решений будет минимальным, если решения в пользу той или иной гипотезы приняты по критерию максимума апостериорной вероятности [6].

Тогда вероятность идентификации нарушителя $P_{ид}$ при идеальном распознавании определится как:

$$P_{ид} = 1 - \frac{N_{пр}}{N_{обн} + N_{лт} + N_{пр}} - \frac{N_{лт}}{N_{обн} + N_{лт} + N_{пр}} = 1 - P_{пр} - P_{лт} \quad (2)$$

Структурно техническое средство, осуществляющее распознавание (1) и селекцию (2), называемое техническим средством идентификации (ТСИ), представлено на рис. 3.

Для решения задачи идентификации предлагается использовать принцип регистрации и анализа собственных электромагнитных излучений биологических объектов, возникающих под действием внешнего низкоинтенсивного электромагнитного поля радиоволнового диапазона с заданными напряжённостью и модуляционно-временными параметрами. В качестве критерия идентификации при этом выступает интенсивность электромагнитных излучений, сопровождающих жизнедеятельность живых организмов [7]. По многим оценкам они

являются сугубо индивидуальными, несут информацию о структуре и параметрах источника и отличны по параметрам от соответствующих параметров среды. При этом критерий идентификации должен соответствовать размерности оцениваемого вектора параметров селектируемого класса, который может быть получен по априорным статистическим характеристикам. Однако интенсивности собственных электромагнитных излучений биологических объектов столь малы, что их дистанционная регистрация весьма проблематична. Поэтому задача состоит в повышении интенсивности собственных электромагнитных излучений нарушителей до величины, когда их регистрация не встречает затруднений.

Перечисленным выше требованиям удовлетворяет модель нарушителя, изначально предполагающая реакцию только на биологические объекты. Остальные возмущающие факторы окружающей среды во внимание не принимаются и рассматриваются в качестве «фона». Биологические объекты – саморегулирующиеся открытые неравновесные системы, состоящие из особого сочетания потоков материального, энергетического и информационного содержания [8]. Основой этого сочетания являются потоки электромагнитных излучений. Из всего многообразия проявлений жизнедеятельности биологических объектов при формировании модели принимается во внимание только один из аспектов – собственные электромагнитные излучения [9]. Такое предпочтение определяется тем, что их величина и характер являются производными от множества факторов, характеризующих структуру и параметры объектов (т.е. зависимость величины собствен-

ных электромагнитных излучений нарушителей от их массы и геометрических размеров при заданных параметрах внешнего электромагнитного поля), и могут рассматриваться в

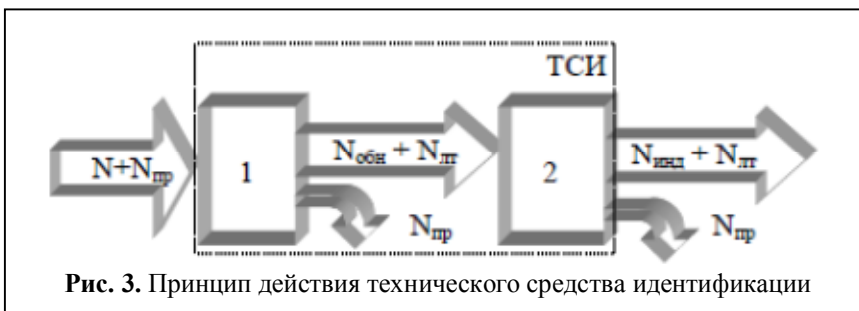


Рис. 3. Принцип действия технического средства идентификации

качестве обобщенного критерия для идентификации. Движение заряженных частиц в объёме биологических объектов является основной причиной возникновения собственных электромагнитных полей [10]. Их динамика в пространстве и времени несёт информацию, которая может быть использована в целях идентификации биологических объектов. Задача анализа собственных электромагнитных излучений биологических объектов, возникающих под действием внешнего поля, неоднозначна. Решить её в явном виде не представляется возможным, поэтому модель предполагает ряд упрощающих допущений и ограничений и основывается на методе моментов. Считается, что объём, занимаемый биологическим объектом, имеет форму сферы, так как для этой геометрической фигуры возможно приближённое решение уравнений Максвелла [11]. Материальная среда принята однородной и изотропной, а так как линейные размеры биологического объекта в радиоволновом

диапазоне соизмеримы с длиной волны, то полагаем, что внешнее поле вблизи границы раздела объект–воздух однородно и влиянием поверхности Земли пренебрегаем.

Представим биологический объект проводящей сферой радиуса a , окружённой диэлектрической оболочкой b с проницаемостью ϵ и потенциалом ϕ . Тогда динамику изменения составляющих напряжённости поля собственных электромагнитных излучений биологических объектов в ближней зоне (рис. 4) можно описать выражениями:

$$\begin{aligned} E_r &= -\frac{\partial \phi}{\partial r} = \frac{E_{вн}}{4\pi\epsilon_0} \frac{2p_{\sigma} \cos \Theta}{r^3}, \\ E_{\Theta} &= -\frac{\partial \phi}{r\partial \Theta} = \frac{E_{вн}}{4\pi\epsilon_0} \frac{p_{\sigma} \sin \Theta}{r^3}. \end{aligned} \quad (4)$$

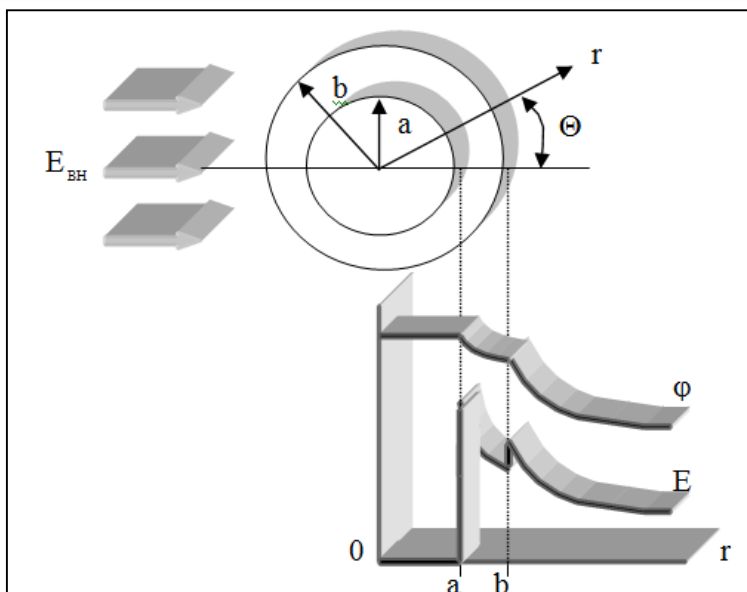


Рис. 4. Динамика изменения напряжённости поля собственных электромагнитных излучений биологических объектов в ближней зоне

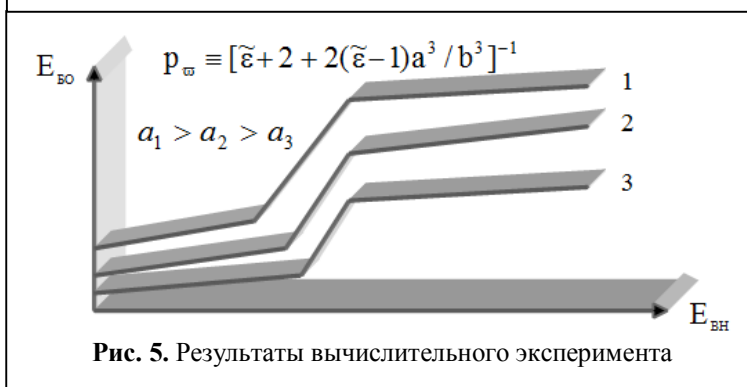


Рис. 5. Результаты вычислительного эксперимента

Отсюда модуль вектора E

$$E = \sqrt{E_r^2 + E_{\Theta}^2} = \frac{E_{вн}}{4\pi\epsilon_0} \frac{p_{\sigma}}{r^3} \sqrt{1 + 3\cos^2 \Theta}, \quad (5)$$

где Θ – угол, характеризующий направление рассеяния; p_{σ} – дипольный момент.

Для проверки адекватности полученной модели был проведён факторный вычислительный эксперимент. Результаты вычислительного эксперимента в графическом виде представлены на рис. 5.

Результаты численного эксперимента в полной мере подтверждают адекватность модели и наличие эффекта зависимости электромагнитных излучений биологических объектов E_{Bo} от напряжённости и модуляционно-временных параметров внешнего электромагнитного поля $E_{вн}$. Характерный вид экспери-

ментальной зависимости собственных электромагнитных излучений от напряжённости внешнего поля свидетельствует о существенной нелинейности его отклика на внешние воздействия. Наличие на графике своеобразного режима «насыщения» свидетельствует о возможности идентификации объекта при заданном значении напряжённости внешнего поля. Подтверждается теоретическое положение о зависимости собственных электромагнитных излучений объектов от их массогабаритных параметров при заданных значениях напряжённости внешнего поля. Так, при одной и той же напряжённости внешнего поля, собственные электромагнитные излучения биологических объектов с разными размерами отличаются между собой в разы.

Таким образом, проведённые теоретические исследования зависимости характера и величины излучений нарушителей от напряжённости внешнего структурированного низкоинтенсивного электромагнитного поля радиоволнового диапазона позволили сформулировать принципы достижения и условия существования метода электромагнитной идентификации биологических объектов.

Литература

1. *Пушкарев А.М.* Математическая постановка задачи исследования эффективности систем охраны // Сборник трудов XXI научно-технической конференции ПВИ РВ. Пермь: ПВИ РВ, 2003. С. 24–98.
2. *Горелик А.Л., Скрипник В.А.* Методы распознавания. М.: Высшая школа, 1989. С. 156–190.
3. *Казначеев В.П., Михайлова Л.П.* Биоинформационная функция естественных электромагнитных полей. Новосибирск: Наука, 1985. С. 198–241.
4. *Беркинблит М.Б., Глаголева Е.Г.* Электричество в живых организмах. М.: Наука, 1988. С. 156–201.
5. *Алексеев А.И.* Сборник задач по классической электродинамике: учеб. пособие СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2008. 320 с.
6. *Батыгин В.В., Топтыгин И.Н.* Сборник задач по электродинамике: учеб. пособие. Ижевск; М.: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2002. 640 с.
7. *Батыгин В.В., Топтыгин И.Н.* Современная электродинамика: учеб. пособие. Ч.1. М.; Ижевск: Ин-т компьютер. исслед., 2003. 736 с.
8. *Бредов М.М., Румянцев В.В., Топтыгин И.Н.* Классическая электродинамика: учеб. пособие; под ред. И.Н. Топтыгина. СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2003. 400 с.
9. *Топтыгин И.Н.* Современная электродинамика: учеб. пособие. Ч.2. М.; Ижевск: Ин-т компьютер. исслед., 2005. 848 с.
10. *Власов А.А.* Макроскопическая электродинамика: учеб. пособие. М.: Физмат-лит, 2005. 240 с.
11. *Денисов В.И.* Лекции по электродинамике: учеб. пособие. М.: УНЦ ДО, 2007. 271 с.

Поступила 21 февраля 2019 г.

English

ELECTROMAGNETIC IDENTIFICATION OF OBJECTS

Anatoly Gennadyevich Zdorovtsov – Head of Training Laboratory (devices of technical security equipment), Department of Technical Security Equipment, Perm Military Institute of the National Guard of the Russian Federation.

E-mail: ZdorovtsovAG@list.ru.

Address: 614112, Perm, Gremyachy log str., 1.

Abstract: When arranging security system of sites that come under mandatory protection by State Law Enforcement Agencies then detection technology plays a major part in their equipping. Data reliability from the security appliances is defined by their following characteristics: probability of detecting the assumed model of intruder, false alarm rate, blind-spots missing, feasibility of setting-up flexible and continuous security area, the usage place (outdoors or indoors), the ability to put an obstacle to the intruder's advancement, immunity to external influences, including weather ones, where the appliance retains its characteristics. Efforts to improve the security appliance efficiency necessitate the detection probability growth, which is achieved through sensitivity enhancement of security appliances in regard to environment parameter variation marking the occurrence of intruders. However, the operation of security appliances in heavy interference environment brings about generation of false alarms by them. Practically it causes the coarsening of the sensitivity thresholds of security appliances or even their disconnection. Currently, this contradiction is resolved

through integration of different types of security appliances, minimally correlated both in regard of the implemented intruder's model, and physical principle of functioning. This approach invariably entails significant and not always justified expenses due to equipment duplication of the complex of security appliance package with rather limited functional set of its capabilities. It is obvious that using traditional (classical) structural principles of security appliances on the basis of capacitive and inductive effects, principles of radar detection and seismic, various electrical, optical, acoustic and ultrasonic methods, and others cannot radically enhance detection subsystem quality.

Keywords: security appliances, safety, electromagnetic radiation, operating principle, identification, object registration, effect.

References

1. *Pushkarev A.M.* Mathematical problem definition for research of security system efficiency. Proceedings of XXI Scientific and Technical Conference in PMI MA. Perm: PMI MA, 2003. Pp. 24–98.
2. *Gorelik A.L., Skripnik V.A.* Recognition methods. Moscow: Vysshaya shkola, 1989. Pp. 156–190.
3. *Kaznacheev V.P., Mikhailova L.P.* Bioinformatic function of natural electromagnetic fields. Novosibirsk: Nauka, 1985. Pp. 198–241.
4. *Berkinblit M.B., Glagoleva E.G.* Electricity in life forms. Moscow: Nauka, 1988. Pp. 156–201.
5. *Alekseev A.I.* Task exercise collection in classical electrodynamics: Study guide. Saint-Petersburg; Moscow; Krasnodar: Lan, 2008. 320 p.
6. *Batygin V.V., Toptygin I.N.* Task exercise collection in electrodynamics: Study guide. Izhevsk; Moscow: RDE "Regular and chaotic dynamics", 2002. 640 p.
7. *Batygin V.V., Toptygin I.N.* Modern electrodynamics: Study guide. Part 1. Moscow.; Izhevsk: Institute of computer research, 2003. 736 p.
8. *Bredov M.M., Rumyantsev V.V., Toptygin I.N.* Classical electrodynamics: Study guide; Ed. by I.N. Toptygin. Saint-Petersburg; Moscow; Krasnodar: Lan, 2003. 400 p.
9. *Toptygin I.N.* Modern electrodynamics: Study guide. Part 2. Moscow; Izhevsk: Institute of computer research, 2005. 848 p.
10. *Vlasov A.A.* Macroscopic electrodynamics: Study guide. Moscow: Fizmat-lit, 2005. 240 p.
11. *Denisov V.I.* Lectures on electrodynamics: Study guide. Moscow: STC PUE, 2007. 271 p.