

Распределенная волоконно-оптическая система охраны периметров различных объектов

¹*МЕХТИЕВ Али Джаванширович, к.т.н., доцент, barton.kz@mail.ru,

²КОВТУН Александр Анатольевич, магистр, доцент, kovtun.a73@mail.ru,

³НЕШИНА Елена Геннадьевна, к.т.н., и.о. зав. кафедрой, 1_neg@mail.ru,

³АЛЬКИНА Алиа Даулетхановна, старший преподаватель, alika_1308@mail.ru,

³ЮГАЙ Вячеслав Викторович, PhD, и.о. зав. кафедрой, slawa_v@mail.ru,

¹НАО «Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина», Казахстан, Астана, пр. Женис, 62,

²Военно-инженерный институт радиоэлектроники и связи, Казахстан, Алматы, ул. Жандосова, 53,

³НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Казахстан, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Рассматриваются вопросы разработки волоконно-оптической системы охраны распределённого типа для объектов ограниченного доступа и других объектов государственного значения от несанкционированного доступа. Приводится анализ существующих систем, разработанных зарубежными учеными. Предлагается к рассмотрению схема пассивной системы охраны периметра, в качестве основного элемента в котором используется оптическое волокно. В основе принципа работы волоконно-оптической системы охраны распределённого типа лежит метод контроля величины дополнительных потерь при механическом воздействии на оптическое волокно. Для проведения натурных экспериментов и отработки конструкции охранной системы был сконструирован лабораторный стенд. Полученные результаты исследования позволяют в дальнейшем создать волоконно-оптические системы охраны распределённого типа с более низкой стоимостью, по сравнению с зарубежными аналогами, за счет принципиально нового метода обработки данных и использования многомодовых оптических волокон. Это также позволит увеличить протяженности волоконно-оптической системы охраны и повысить показатели её надежности. Предлагаемая распределенная волоконно-оптическая система охраны использует совершенно иной принцип, связанный с пиксельным анализом изменения светового пятна.

Ключевые слова: система охраны, датчик, оптическое волокно, дифракция света, световое пятно, аппаратно-программный комплекс, пиксель, мода света.

Введение

Важным моментом в обеспечении охраны объектов ограниченного доступа, объектов государственного значения или просто частных территорий от несанкционированного доступа является тревожная сигнализация, способная на протяжении всего времени суток непрерывно обеспечивать надежный контроль над охраняемым периметром. Сегодня разработано множество систем охраны разного технического уровня и ценовой политики, основанных на разных методах: сейсмические, магнитометрические, емкостные и другие [1, 2]. При механическом воздействии на оптическое волокно изменяются показатели рассеяния энергии моды световой электромагнитной волны, проходящей по оптическому волокну. По данным направления проведена значительная работа, выполнен ряд экспериментов и получены оригинальные результаты [1, 2]. На оптическое

волокно не действуют электромагнитные помехи. Поэтому использование оптических волокон для построения пассивных систем охраны периметров и рубежей различных объектов – это очень перспективное направление [1, 2].

Обзор существующих систем

Волоконно-оптические системы охраны разрабатываются уже более 40 лет, и есть мировые лидеры в их разработке и производстве, к примеру, Senstar-Stellar (Канада), Magal (Израиль), Future Fibre Technologies (FFT) и др. Подробную информацию можно найти в разных источниках [3-6]. Доступны к применению разнообразные приемы и методы регистрации вибрационного воздействия на волоконно-оптический кабель. Среди российских производителей можно выделить НПО «Прикладная радиофизика» с системой «Ворон», также есть довольно успешные системы

под маркой «Дунай» и «Гюрза» [3-5]. Например, стоимость одного метра ВОСО «ВОРОН™» примерно от 4000 до 9000 тенге за метр для периметра в 1-2 км и 5-30 км соответственно. В работах [4-6] уже отмечены достоинства и недостатки существующих волоконно-оптических систем охраны (ВОСО), их перспективы развития. Поиск новых методов и средств, позволяющих снизить стоимость ВОСО, увеличение их протяженности и повышение показателей надежности их работы является весьма актуальной задачей. Но главной задачей является создание собственной конструкции ВОСО и аппаратно-программного комплекса по обработке сигналов, полученных от сенсоров.

Лабораторный образец волоконно-оптических систем охраны с аппаратно-программным комплексом

Для создания ВОСО использован ранее разработанный аппаратно-программный комплекс (АПК), который был использован для измерения смещения горных пород. АПК был разработан в рамках диссертационной работы «Волоконно-оптическая система контроля идентификации геотехнического состояния» [7]. При проведении экспериментов обнаружено, что АПК способен не только контролировать смещения горных пород, но и фиксировать непосредственное воздействие на волоконно-оптический датчик (ВОД). В процессе проведения предварительных исследований была сформирована гипотеза по адаптации имеющегося АПК для охраны периметров, но уже с иным по конструкции волоконно-оптическом датчиком. На рисунке 1 представлена действующая полезная модель четырехканальной ВОСО с аппаратно-программным комплексом на 4 канала. Отличием от датчика, разработанного ранее,

является использование в качестве чувствительного сенсора многомодового волокна. Это позволяет достичь более высокую помехозащищенность при изменениях температуры в отличие от одномодового волокна. Переход на многомодовый режим позволил снизить количество случайных помех и ложных срабатываний ВОСО при воздействиях: изменении температуры воздуха, прорывах ветра и других природных явлениях. АПК с использованием распределенной системы волоконно-оптических сенсоров разработан с использованием языка программирования «G» в среде разработки LabVIEW [7]. Для его адаптации к работе в качестве ВОСО с многомодовым волокном были внесены изменения в «Блок-схему» АПК, принцип которого основан на компьютерной обработке видеосигналов с расчетом значений информативных параметров при воздействии на волоконно-оптический сенсор. Подробно ознакомиться с «Блок-схемой» АПК и принципами его работы можно в источнике [7]. В этой работе одномодовое волокно подвергается механическому изгибу и возникает известный фотоупругий эффект, а в настоящей работе на многомодовое волокно, находящееся на сетчатом заборе, оказывается вибрационное воздействие. Когда нарушитель пытается перелезть через ограждение, он оказывает многократное воздействие на волоконно-оптический сенсор, а АПК фиксирует эти воздействия. Каждый канал работает отдельно, имеет свое собственное отображение в окне. Протяженность каждого канала составляет от 250 до 500 метров. Волоконно-оптические сенсоры могут размещаться на сетчатом ограждении и/или под землей в неглубокой траншее, примерно 5-10 см от поверхности земли. В процессе проведения экспериментов подтверждена работоспособность ВОСО на прак-

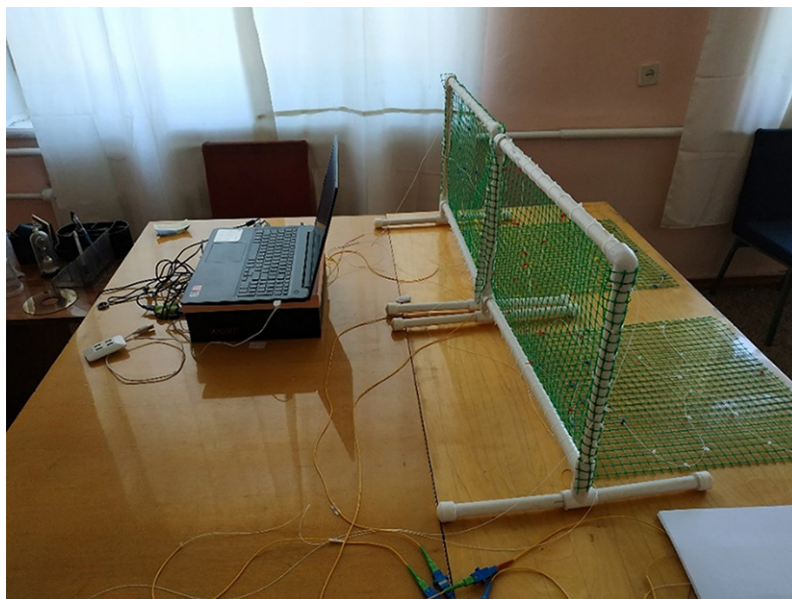


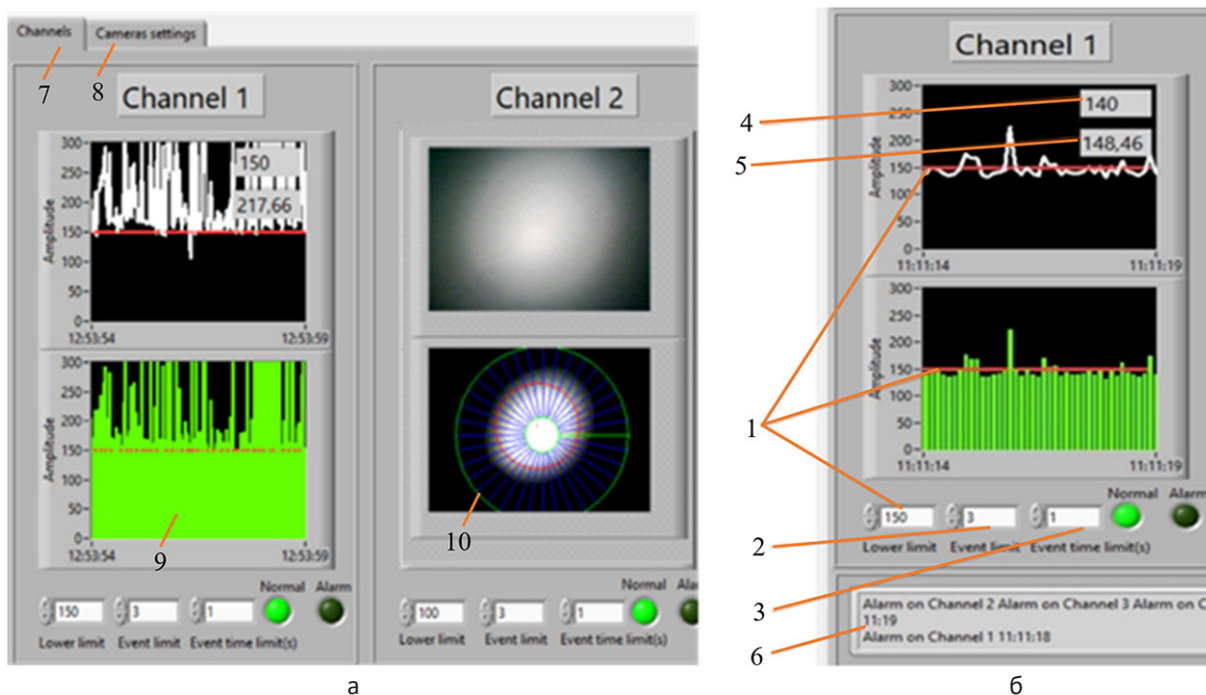
Рисунок 1 – Действующая полезная модель четырехканальной ВОСО охраны с аппаратно-программным комплексом

тике. Для обработки данных, приходящих от сенсоров, разработан АПК, позволяющий распознавать характер изменения дифракционного пятна света с разделением его на отдельные секторы и идентифицировать механическое воздействие на волоконно-оптический сенсор. АПК сравнивает изменения картинки пятен с уже имеющимися в базе данными и выдает, в случае изменения картинки пятна, сигнал тревоги в одной из зон или сразу в нескольких, если воздействие было сразу на несколько сенсоров. Отличием от уже известных ВОСО [3-6] является использование фотоматрицы высокого разрешения вместо фотодиода, что позволяет более полно оценивать изменения светового пятна, падающего на ее поверхность, и повысить помехоустойчивость ВОСО.

Окно аппаратно-программного комплекса и вид светового пятна в интерфейсе АПК представлены на рисунке 2.

Фотоматрицы высокого разрешения устанавливаются на выходе из волоконно-оптического сенсора, а на входе устанавливается источник лазерного излучения. Сенсоры установлены на ограждении и на сетке, размещенной на поверхности стола. Если оказать воздействие на волоконно-оптический сенсор, то это сразу почувствует фотоматрица. Между помехами и реальным воздействием будет существенная разница в изменении параметров светового пятна. При нажатии на кнопку 8 можно увидеть изменение пиксельной

картины светового пятна в каждом секторе, для этого имеется окно 10. Это позволяет настроить камеру и сформировать нужный размер светового пятна, падающего на поверхность фотоматрицы высокого разрешения. ВОСО контролирует параметры световой волны в режиме реального времени и выдает численные значения параметров, которые показаны в окнах 4 «Мгновенное значение пикселей» и 5 «Среднее значение пикселей». Среднее значение устанавливается отдельно в пределах нескольких секунд. В данном случае получается более простая система оценки помех. Это позволяет снизить влияние помех и исключить ложное срабатывание ВОСО. В окне показана осциллограмма процесса изменения параметров светового пятна. Как видно, иногда возникают помехи, которые выражаются в одиночных всплесках. Эти помехи имеют различный характер возникновения, например, при изменении внешней температуры и деформации волоконно-оптического сенсора. ВОСО не должна ложно срабатывать при случайных воздействиях ветра, дождя, снега и других явлений, для чего имеется ряд настроек. Помехи также возникают при нестабильности работы источника излучения, поэтому он должен быть когерентным и иметь минимальную пульсацию. Важную роль играет когерентность лазера, если отклонение длины волны в течении времени превышает 5 нм, то могут возникнуть условия ложного срабатывания. Для исключения



1 – пороговое значение, 2 – количество срабатываний, 3 – период времени срабатываний, 4 – среднее значение амплитуды, 5 – мгновенное значение амплитуды, 6 – окно фиксации времени срабатывания, 7 – кнопка перевода АПК в режим работы и настройки параметров, 8 – кнопка для запуска окна настройки камеры, 9 – работа АПК в режиме работы, 10 – режим настройки камеры; а) – Вариант реагирования аппаратно-программного комплекса на вторжение б) – Интерфейс аппаратно-программного комплекса

Рисунок 2 – Окно аппаратно-программного комплекса и вид светового пятна в интерфейсе АПК

такой ситуации ВОСО временно заглубляется и ее чувствительность снижается. После исчезновения колебаний источника излучения защита переходит к первоначальным настройкам.

Настоящая научная работа является результатом реализации проекта ИРН № AP14869145 «Разработка интеллектуальной волоконно-оптической системы мониторинга геотехнического состояния горных выработок карьеров и разрезов» в рамках грантового финансирования Комитетом науки и высшего образования Республики Казахстан.

Выводы

Установлены физические основы ВОСО, связанные с изменением коэффициента преломления при механическом воздействии на оптическое волокно, которое выражено в изменении картины пикселей светового пятна, падающего на поверхность фотоматрицы высокого разрешения. Предложенный новый способ идентификации вторжения в охраняемый периметр реализуется путем контроля изменения интенсивности светового пятна. Имеется отличие светового пятна в состоянии покоя волоконно-оптического сенсора и после воздействия на него. Все изменения светового пятна фиксируются АПК с выдачей решения о

срабатывании или несрабатывания в зависимости от параметров воздействия. Анализ изображения светового пятна показал, что возможно изменение параметров световой волны, проходящей по сердцевине оптического волокна при механическом воздействии на сенсор, подтвердилось экспериментальным путем. Предлагаемая распределенная волоконно-оптическая система охраны (ВОСО) показала, что способна срабатывать при воздействии на многомодовый волоконно-оптический сенсор, который является более чувствительным к воздействию и менее чувствительным к помехам, в отличие от одномодового сенсора. Отличием от аналогов ВОСО является использование многомодового оптического волокна и АПК с пиксельным анализом изменения светового пятна по секторам. Срабатывание ВОСО основано на изменении картины пикселей светового пятна и его формы в каждом секторе при воздействии на волоконно-оптический сенсор. Также важным является фактор сокращения стоимости одного километра зоны охраны по сравнению со своими конкурентами, так как не использует известные методы оптической интерферометрии, рефлектометрии, решёток Брэгга и длиннопериодных волоконных решеток [3-6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ковтун А.А., Мехтиев А.Д., Нешина Е.Г., Алькина А.Д. Системы охраны периметров на основе волоконно-оптических сенсоров // Научные труды военно-инженерного института радиоэлектроники и связи. № 2 (40). (июнь) 2020. С. 25-29.
2. Мехтиев А.Д., Нешина Е.Г., Алькина А.Д., Югай В.В. Разработка схем системы охраны периметров распределённого типа на основе волоконно-оптических технологий // Вестник Государственного университета имени Шакарима города Семей. № 4 (92). 2020. С. 18-24.
3. Русанов Ю.А. Мониторинг протяженных объектов транспортной инфраструктуры. Неэлектрические решения // Системы безопасности. 3 (2010), С. 92-96. <http://lib.secuteck.ru/articles2/byauthor/rusanovyua>
4. Русанов Ю.А. Периметровые системы ВОРОН™: 10 лет с искусственным интеллектом // Журнал «Системы безопасности». 5 (2010), С. 126-127. <http://lib.secuteck.ru/articles2/byauthor/rusanovyua>
5. Русанов Ю.А. Технологии «Ворон™» для охраны периметров аэропортов // Транспортная безопасность и технологии. № 2 (33). 2013. (<http://transportsecurity.ru/>)
6. Куликов А.В. Волоконно-оптическая система охраны периметра на брэгговских решетках как перспективный метод мониторинга безопасности объекта. Диссертация / Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики. 2012.
7. Нешина Е.Г. Волоконно-оптическая система контроля идентификации геотехнического состояния: Дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13: защищена 12.10.21: утв. 14.12.21. – Томск, 2021. – 149 с.

Түрлі объектілердің периметрлерін қорғаудың бөлінген талшықты-оптикалық жүйесі

¹*МЕХТИЕВ Али Джаванширович, т.ғ.к., доцент, barton.kz@mail.ru,

²КОВТУН Александр Анатольевич, магистр, доцент, kovtun.a73@mail.ru,

³НЕШИНА Елена Геннадьевна, т.ғ.к., кафедра меңгерушісі м.а., 1_neg@mail.ru,

³АЛЬКИНА Алия Даулетхановна, аға оқытушы, alika_1308@mail.ru,

³ЮГАЙ Вячеслав Викторович, PhD, кафедра меңгерушісі м.а., slawa_v@mail.ru,

¹«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Астана, Жеңіс даңғылы, 62,

²Радиоэлектроника және байланыс әскери-инженерлік институты, Қазақстан, Алматы, Жандосова көшесі, 53,

³«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Қазақстан, Қарағанды,

Н. Назарбаев даңғылы, 56,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Қол жетімділігі шектеулі объектілер мен басқа да мемлекеттік маңызы бар объектілер үшін рұқсат етілмеген қол жеткізуден бөлінген типті қорғаудың талшықты-оптикалық жүйесін әзірлеу мәселелері қарастырылады. Шетелдік ғалымдар әзірлеген қолданыстағы жүйелерге талдау жасалады. Оптикалық талшықты қолданатын негізгі элемент ретінде периметрді қорғаудың пассивті жүйесінің схемасын қарау ұсынылады. Таратылған типтегі талшықты-оптикалық қорғаныс жүйесінің жұмыс принципі оптикалық талшыққа механикалық әсер ету кезінде қосымша шығындардың мөлшерін бақылау әдісіне негізделген. Заттай эксперименттер жүргізу және күзет жүйесінің конструкциясын пысықтау үшін зертханалық стенд құрастырылды. Зерттеудің алынған нәтижелері болашақта деректерді өңдеудің түбегейлі жаңа әдісінің және мультимодальды оптикалық талшықтарды қолданудың арқасында шетелдік аналогтармен салыстырғанда төмен құны бар талшықты-оптикалық таратылған қауіпсіздік жүйелерін құруға мүмкіндік береді. Бұл сондай-ақ талшықты-оптикалық қорғау жүйесінің ұзындығын ұлғайтуға және оның сенімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Ұсынылған таратылған талшықты-оптикалық күзет жүйесі жарық нүктесінің өзгеруін пиксельдік талдаумен байланысты мүлдем басқа принципті қолданады.

Кілт сөздер: қауіпсіздік жүйесі, сенсор, оптикалық талшық, жарық дифракциясы, жарық нүктесі, аппараттық-бағдарламалық кешен, пиксель, жарық режимі.

Distributed Fiber-optic Perimeter Security System of Various Objects

^{1*}**MEKHTIYEV Ali**, Cand. of Tech. Sci., Associate Professor, barton.kz@mail.ru,

²**KOVTUN Alexander**, Master, Associate Professor, kovtun.a73@mail.ru,

³**NESHINA Yelena**, Cand. of Tech. Sci., Acting Head of Department, 1_neg@mail.ru,

³**ALKINA Aliya**, Senior Lecturer, alika_1308@mail.ru,

³**YUGAY Vyacheslav**, PhD, Acting Head of Department, slawa_v@mail.ru,

¹NCJSC «S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University», Kazakhstan, Astana, Zhenis Avenue, 62,

²Military Engineering Institute of Radio Electronics and Communications, Kazakhstan, Almaty, Zhandosova Street, 53,

³NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», Kazakhstan, Karaganda, N. Nazarbayev Avenue, 56,

*corresponding author.

Abstract. The issues of development of a distributed fiber-optic security system for restricted access objects and other objects of state significance from unauthorized access are considered. The analysis of existing systems developed by foreign scientists is given. A scheme of a passive perimeter security system is proposed for consideration, in which an optical fiber is used as the main element. The principle of operation of a distributed type fiber-optic security system is based on a method for controlling the amount of additional losses during mechanical action on an optical fiber. A laboratory stand was constructed for conducting field experiments and testing the design of the security system. The obtained research results make it possible to further create fiber-optic security systems of a distributed type with a lower cost compared to foreign analogues due to a fundamentally new method of data processing and the use of multimode optical fibers. This will also increase the length of the fiber-optic security system and increase their reliability. The proposed distributed fiber-optic security system uses a completely different principle associated with pixel analysis of the change in the light spot.

Keywords: security system, sensor, optical fiber, light diffraction, light spot, hardware and software complex, pixel, light mode.

REFERENCES

1. Kovtun A.A., Mehtiev A.D., Neshina E.G., Al'kina A.D. Sistemy ohrany perimetrov na osnove volokonno-opticheskikh sensorov // Nauchnye trudy voenno-inzhenernogo instituta radioelektroniki i svyazi. No. 2 (40). (ijun') 2020. Pp. 25-29.
2. Mehtiev A.D., Neshina E.G., Al'kina A.D., Jugaj V.V. Razrabotka shem sistemy ohrany perimetrov raspredeljonno tipa na osnove volokonno-opticheskikh tehnologij // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta imeni Shakarima goroda Semej. No. 4 (92), 2020. Pp. 18-24.
3. Rusanov Ju.A. Monitoring protjazhennykh ob#ektov transportnoj infrastruktury. Nejelektricheskie reshenija // Sistemy bezopasnosti. 3 (2010), pp. 92-96. <http://lib.secuteck.ru/articles2/byauthor/rusanovyua>
4. Rusanov Ju.A. Perimetroye sistemy VORON™: 10 let s iskusstvennym intellektom // Zhurnal «Sistemy bezopasnosti». 5 (2010), pp. 126-127. <http://lib.secuteck.ru/articles2/byauthor/rusanovyua>
5. Rusanov Ju.A. Tehnologii «Vorontm» dlja ohrany perimetrov ajeroportov // Transportnaja bezopasnost' i tehnologii. No. 2 (33). 2013. (<http://transportsecurity.ru/>)
6. Kulikov A.V. Volokonno-opticheskaja sistema ohrany perimetra na brjegovskih reshetkah kak perspektivnyj metod monitoringa bezopasnosti ob#ekta. Dissertacija / Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet informacionnyh tehnologij, mehaniki i optiki. 2012.
7. Neshina Y.G. Volokonno-opticheskaja sistema kontrolja identifikacii geotekhnicheskogo sostojaniya: Dis. ... kand. tehn. nauk: 05.11.13: zashhishhena 12.10.21: utv. 14.12.21. – Tomsk, 2021. – 149 p.