

# **Сейсмоакустичний розвідувальний комплекс дистанційного моніторингу рухомих об'єктів**

## **Сейсмоакустический разведывательный комплекс дистанционного мониторинга движущихся объектов**

### **Seismo acoustic intelligence complex of remote monitoring of mobile objects**

**1 Номер державної реєстрації теми – 0119U100831**

**2 Науковий керівник – д.т.н., професор Данилов В.Я., Данилов В.Я., Danilov V.I.**

### **3 Суть розробки, основні результати.**

(укр.) Суть полягає в розробці сейсмоакустичного розвідувального комплексу, який реалізує можливість дистанційного спостереження за джерелами шумовипромінювання, які не залежно від умов оточуючого середовища, у пасивному режимі роботи, забезпечують прийом просторового вектора сейсмоакустичного поля, що дозволяє вирішувати завдання ідентифікації і класифікації об'єктів шумовипромінювання.

В результаті виконання науково-дослідної роботи проведено обґрунтування доцільності та ефективності використання системи прийняття рішень на основі нейромереж у поєднанні з векторно-фазовими методами прийому і обробки сейсмоакустичних сигналів. На основі проведеного теоретичного аналізу роботи векторних приймачів, вибрана оптимальна структура комплексу, а також розроблені основні вимірювальні вузли сейсмоакустичної системи на основі трьох координатних давачів коливальної швидкості. Визначені характерні ознаки акустичного поля від різних джерел акустичного сигналу та їх зміна у часі та просторі при розповсюдженні у ближній зоні. Також розроблені методи аналізу характеристик акустичного поля, які забезпечать детектування та аналіз акустичних сигналів від різних джерел в умовах значної зашумленості, та дозволяють ефективно визначати основні характеристики акустичного сигналу та його джерела.

Розроблено експериментальний зразок вимірювальної системи, який призначений для забезпечення скритного дистанційного спостереження за джерелами сейсмоакустичних сигналів та вирішення завдання організації мобільної охорони різноманітних об'єктів від несанкціонованого доступу, а також дослідження сейсмоакустичних хвиль, що поширюються у твердому середовищі (грунті, інженерних спорудах).

Проведено натурні дослідження роботи дослідного зразка системи та доповнені основні інформативні характеристики акустичного поля, які враховують неоднорідності середовища поширення. Результати випробувань дослідного зразка системи довели можливість визначення параметрів джерела із однієї точки із заданою точністю. На основі результатів випробування дослідного зразка комплексу розроблені сценарії аналізу сейсмоакустичних сигналів із використанням отриманих у результаті дослідження даних про особливості поведінки векторних та скалярних складових акустичних полів.

Результати експериментальних досліджень показали, що система має кращі значення вірогідності хибних спрацювань, вірогідності визначення та класифікації об'єктів порушника, та, на відміну від відомих типових представників сейсмоакустичних засобів охорони, забезпечує визначення напрямку приходу сигналів. Експериментальний зразок системи також передбачає можливість проведення когерентної спільної обробки сигналів одного акустичного модуля й некогерентної спільної обробки для декількох акустичних модулів, рознесених у просторі.

Розроблена конструкторська документація на сейсмоакустичний розвідувальний комплекс є основою для створення серійного виробу із урахуванням технологічних особливостей виготовлення експериментальної моделі. А розроблений експериментальний зразок охоронної системи був конструктивно оптимізовано для легкого застосування нових

сценаріїв та алгоритмів аналізу так, щоб найбільш повно скористатися перевагами цих методик.

**(рос.)** Суть заключается в разработке сейсмоакустического разведывательного комплекса, который реализует возможность дистанционного наблюдения за источниками шумоизлучения, которые независимо от условий окружающей среды, в пассивном режиме работы, обеспечивают прием пространственного вектора сейсмоакустического поля, позволяет решать задачи идентификации и классификации объектов шумоизлучения.

В результате выполнения научно-исследовательской работы проведено обоснование целесообразности и эффективности использования системы принятия решений на основе нейронных сетей в сочетании с векторно-фазовыми методами приема и обработки сейсмоакустических сигналов. На основе проведенного теоретического анализа работы векторных приемников, выбрана оптимальная структура комплекса, а также разработаны основные измерительные узлы сейсмоакустической системы на основе трех координатных датчиков колебательной скорости. Определены характерные признаки акустического поля от различных источников акустического сигнала и их изменение во времени и пространстве при распространении в ближней зоне. Также разработаны методы анализа характеристик акустического поля, которые обеспечат детектирование и анализ акустических сигналов от различных источников в условиях значительной зашумленности, и позволяют эффективно определять основные характеристики акустического сигнала и его источники.

Разработан экспериментальный образец измерительной системы, который предназначен для обеспечения скрытного дистанционного наблюдения за источниками сейсмоакустических сигналов и решение задачи организации мобильной охраны различных объектов от несанкционированного доступа, а также исследования сейсмоакустических волн, распространяющихся в твердой среде (почве, инженерных сооружениях).

Проведены натурные исследования работы опытного образца системы и дополнены основные информативные характеристики акустического поля, учитывающие неоднородности среды распространения. Результаты испытаний опытного образца системы доказали возможность определения параметров источника с одной точки с заданной точностью. На основе результатов испытания опытного образца комплекса разработаны сценарии анализа сейсмоакустических сигналов с использованием полученных в результате исследования данных об особенностях поведения векторных и скалярных составляющих акустических полей.

Результаты экспериментальных исследований показали, что система имеет лучшие значение вероятности ложных срабатываний, достоверности определения и классификации объектов нарушителя, и, в отличие от известных типичных представителей сейсмоакустических средств охраны, обеспечивает определения направления прихода сигналов. Экспериментальный образец системы также предусматривает возможность проведения когерентной совместной обработки сигналов одного акустического модуля и некогерентной совместной обработки нескольких акустических модулей, разнесенных в пространстве.

Разработана конструкторская документация на сейсмоакустический разведывательный комплекс является основой для создания серийного изделия с учетом технологических особенностей изготовления экспериментальной модели. А разработан экспериментальный образец охранной системы был конструктивно оптимизирован для легкого применения новых сценариев и алгоритмов анализа так, чтобы наиболее полно воспользоваться преимуществами этих методик.

**(англ.)** The essence is to develop a seismic reconnaissance complex that implements the ability to remotely monitor noise sources, which, regardless of environmental conditions, in passive mode, provide reception of the spatial vector of the seismic field, which allows to identify and classify objects of noise.

As a result of research work the substantiation of expediency and efficiency of use of decision-making system on the basis of neural networks in combination with vector-phase methods of reception and processing of seismoacoustic signals is carried out. Based on the theoretical analysis of the operation of vector receivers, the optimal structure of the complex is selected, and the main measuring units of the seismic acoustic system based on three coordinate sensors of oscillating velocity are developed. The characteristic features of the acoustic field from different sources of the acoustic signal and their change in time and space during propagation in the near zone are determined. Methods of analysis of acoustic field characteristics have also been developed, which will provide detection and analysis of acoustic signals from various sources in conditions of significant noise, and allow to effectively determine the main characteristics of the acoustic signal and its source.

An experimental model of the measuring system was developed to provide covert remote monitoring of seismic acoustic signal sources and to solve the problem of organizing mobile protection of various objects from unauthorized access, as well as to study seismic acoustic waves propagating in solid medium (soil, engineering structures).

Field studies of the experimental sample of the system were carried out and the main informative characteristics of the acoustic field were added, which take into account the inhomogeneities of the propagation medium. The test results of the prototype of the system proved the possibility of determining the parameters of the source from one point with a given accuracy. Based on the test results of the experimental sample of the complex, scenarios for the analysis of seismic acoustic signals were developed using the data obtained as a result of the study on the peculiarities of the behavior of vector and scalar components of acoustic fields.

The results of experimental studies have shown that the system has the best values of the probability of false alarms, the probability of identification and classification of intruder objects, and, unlike the known typical representatives of seismic protection, provides direction of signals. The experimental sample of the system also provides for the possibility of coherent co-processing of signals of one acoustic module and incoherent co-processing for several acoustic modules spaced in space.

The developed design documentation for the seismic-acoustic reconnaissance complex is the basis for the creation of a serial product taking into account the technological features of the experimental model. And the developed experimental model of the security system was structurally optimized for easy application of new scenarios and algorithms of analysis so as to make the most of the advantages of these techniques.

#### **4 Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної вартості.**

Патент на корисну модуль «Сейсмоакустична охоронна система» Заявка № U202005928.

#### **5 Порівняння зі світовими аналогами.**

Сейсмоакустичні технічних засобів охорони у якості засобів виявлення використовують одиночні давачі, які реєструють лише одну компоненту акустичного поля, або масиви таких давачів для створення прообразу антенної решітки, що значно зменшує інформативність сигналу. Використання векторно-фазового аналізу трьох складових акустичного поля дозволяє отримати додаткову інформацію про джерело сигналу, а і підвищити чутливість системи в середньому на 10 – 20 дБ. Типовими представниками сейсмоакустичних технічних засобів охорони є: QA-100 фірми «Quantum Technology Sciences»; Buried Sensor Kit фірми «RBtec Perimeter Security Systems»; SensoGuard; Barricade 500 фірми Magal-S3; Rembass-II фірми L-3 – які забезпечують в середньому контрольованість зони до 25 – 75 метрів, у той час як очікувана дальність виявлення порушника розроблюваною системою становить 250 – 300 метрів, а для рухомої техніки до 1500 метрів. Крім виграшу по заявлених параметрах дальності, система має кращі значення вірогідності хибних спрацювань, вірогідності визначення та класифікації об'єктів порушника, та разом з тим забезпечує визначення напрямку приходу сигналів. Тобто розроблена система не лише кількісно, але і якісно перевищує характеристики відкритих аналогів.

## **6 Економічна привабливість для просування на ринок.**

Реалізація проекту може бути впроваджена у вигляді: договір на розробку дослідних зразків вимірювального сейсмоакустичного комплексу (вартістю реалізації – 400 тис. грн., термін реалізації 12 місяців); договір на розробку та виготовлення охоронної сейсмоакустичної системи згідно з вимогами замовника (вартістю реалізації – 400 тис. грн., термін реалізації 12 місяців); договір на розробку конструкторської документації на вимірювальну або охоронну сейсмоакустичну систему (вартістю реалізації – 100 тис. грн., термін реалізації 2 місяців); договір на проведення досліджень та випробувань в натуральних умовах (вартістю реалізації – 500 тис. грн., термін реалізації 10 місяців). В разі впровадження проекту в договорах окупність складе – 250 тис. грн..

## **7 Потенційні користувачі.**

Потенційними користувачами апаратного комплексу будуть Збройні сили України. Відповідно зацікавленими службами є Міністерство оборони України, Державна прикордонна служба України, а також ДП «Укрспецекспорт». Крім головних користувачів, якими є прикордонні служби України, в розробці пропонованого комплексу та відповідного програмного забезпечення обробки та інтерпретації отриманих результатів є такі закордонні країни як Китай, Південна Корея та Польща. Найбільш перспективними користувачами є:

– «Yeonhab», Південна Корея. Погоджений склад, технічні характеристики та вартість сейсмоакустичного комплексу. Вирішується питання укладання контракту.

– Серед Українських підприємств розробкою сейсмоакустичної системи ТЗО зацікавлена ПАО «Чизара», з яким триває погодження складу, технічних характеристик та вартості сейсмоакустичного комплексу для охорони особливого периметру в зоні «Відчуження».

## **8 Стан готовності розробки.**

Розроблений та виготовлений експериментальний зразок сейсмоакустичного розвідувального комплексу, комплект конструкторської документації та технічної документації і розроблено тестове програмне забезпечення для проведення аналізу зареєстрованого комбінованим давачем акустичного поля із використанням розроблених алгоритмів і методик.

## **9 Існуючі результати впровадження.**

Результати аналізу акустичного поля були використані в рамках виконання договору № USE-16-2-98-Д/К-18 від 18.06.2018 р. «Конструкторская документация на воздушные акустические экраны», 2018 – 2020 рр., для якого були передані інформаційно-аналітичні матеріали «Результаты проведения аналитического обзора и предварительного анализа квантовых моделей сигналов и помех в морской многослойной среде».

### **Форма участі інвестора.**

Створення підприємства для налагодження серійного випуску комбінованого давача сейсмоакустичної охоронної системи: частка в проекті 50%, частка прибутку 25%.

### **Обсяг інвестицій.**

Обсяг інвестицій – 400 тис. грн. (15 тис. дол. США), термін реалізації 12 місяців.

### **Мета інвестицій.**

Створення нового підприємства.

## **10 Назва організації, телефон, E-mail.**

КПІ ім. Ігоря Сікорського, ОКБ «Шторм», 204-17-94, [storm@kpi.ua](mailto:storm@kpi.ua).

## 11 Фото розробки.



Зовнішній вигляд експериментального зразка сейсмоакустичного розвідувального комплексу дистанційного моніторингу рухомих об'єктів



Зовнішній вигляд експериментального зразка сейсмоакустичного розвідувального комплексу дистанційного моніторингу рухомих об'єктів



Макет посту збору, живлення та обробки інформації від експериментального зразка сейсмоакустичного розвідувального комплексу.

## **12 Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки.**

1. Варава І.А., Обіщенко А.А. / Інструментальні засоби аналізу впливу параметрів експерименту на сигнатуру морського об'єкту // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів; Назва доповіді. – м. Київ; 23.04.2019;
2. Варава І.А., Степанюк С.О. / Конструктор гідроакустичних сигнатур морських об'єктів за характеристиками його компонентів // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів; Назва доповіді. – м. Київ; 23.04.2019;
3. Варава І.А., Дудко А.В. / Система порівняння гідроакустичних сигналів // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики: Матеріали XVII Міжнародної науково-практичної конференції аспірантів, магістрантів і студентів; Назва доповіді. – м. Київ; 23.04.2019;
4. Варава І.А., Віннічук М.В. / Оптимізація коефіцієнтів цифрового фільтру методом частотної вибірки за допомогою генетичного алгоритму // VI Всеукраїнська науково-практична конференція молодих науковців «ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ». – м. Київ; 16.05.2019;
5. Варава І.А., Рибка С.В., Корольов А.П., Мацаєнко А.М. / Методика автоматизованого вирішення задачі апроксимації цифрових фільтрів на основі частотної вибірки // Збірник наукових праць ВІПІ. – 2019. №2. – с. 69-77.
6. Данилов В.Я., Мартинков С.В. / Сучасний підхід до вирішення основних задач керування проектами // Міжнародний електронний науковий журнал - 2019. - №7;
7. Данилов В.Я., Грушко Я.В. / Порівняння ефективності класифікаторів машинного навчання у контексті голосової біометрії // Збірник наукових праць ВІПІ. – 2019. №4;
8. Данилов В.Я., Гуськова В.Г., Бідюк П.І., Жиров О.Л. / Система підтримання прийняття рішень для прогнозування процесів на основі принципів системного аналізу // Стаття у збірнику ІАСА №1, 2019 року.

9. Ivan Varava, Serhii Rybka, Andrii Korolov, / Research of the Sensitivity of the Quantized Coefficients of a Digital Bandpass Filters with Frequency Sampling // Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEI) №1, 2020/3/30;
10. Valeriy Danylov, Mariia Havrylovych, Aleksandr Gozhyj / Comparative Analysis of using Recurrent Autoencoders for User Biometric Verification with Wearable Accelerometer Information // Control Systems & Technologies (ICST 2020) 2020/09/25;
11. Danilov V., Gozhyj A., Kalinina I., Gozhyj V. / Approach for Modeling Search Web-Services Based on Color Petri Nets // Communications in Computer and Information Science vol. 1158. Springer, Cham. 2020. – с. 525-538.
12. Козерук, С. О., Коржик, О. В., Воловик, Д. І. and Пуха, Г. С. / Acoustic Module for Direction Finding of Small Aircraft / Visnyk NTUU KPI Seriya - Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia, (82), pp. 25-34.

**Інше:**

1. Бакалаврська робота: Папаш О.А., наук. керівник Данилов В.Я. / Система розпізнавання кроків на основі вимірів віддалених сенсорів // Київ, 2020. – 82 с.
2. Магістерська дисертація: Вінничук М.В. наук. керівник Данилов В.Я. / Оптимізація коефіцієнтів цифрового фільтру методом частотної вибірки за допомогою генетичного алгоритму // Київ, 2019. – 77 с.

**13 Ключові слова до розробки.**

ВЕКТОРНИЙ ПРИЙМАЧ, КОМБІНОВАНИЙ ПРИЙМАЧ, ГЕОФОН, ВЕКТОРНО-ФАЗОВА СИСТЕМА, ШУМОВИПРОМІНЮВАННЯ, ШВИДКЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ФУР'Є, ЕНЕРГЕТИЧНИЙ СПЕКТР, ФАЗОВИЙ СПЕКТР.