УДК 355.457
к.т.н. Бабій Ю. О. (НАДПСУ)

МЕТОД РОЗПІЗНАВАННЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ РУХОМОГО ОБ'ЄКТУ В НАПРЯМКУ НА СЕЙСМІЧНИЙ ЗАСІБ ОХОРОНИ ПОЗИЦІЇ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

В роботі запропоновано метод розпізнавання переміщення рухомого об'єкту в напрямку на сейсмічний засіб охорони позиції спостереження при дії завад від джерела, розміщеного поруч з трьохкоординатним сейсмічним приймачем засобу охорони. Сутність наукової новизни полягає у встановленні особливостей взаємодії складових сейсмічного сигналу і встановлення ознаки пересування рухомого об'єкту в ближній зоні дії сейсмічного приймача при зміні відстані між ними.

Бабий Ю.А. Метод распознавания перемещения подвижного объекта в направлении на сейсмическое средство охраны позиции наблюдения. *В работе предложен метод распознавания перемещения подвижного объекта в направлении на сейсмическое средство охраны позиции наблюдения при воздействии помех от источника, расположенного рядом с трехкоординатным сейсмическим приемником средства охраны. Сущность научной новизны заключается в установлении особенностей взаимодействия составляющих сейсмического сигнала и установления признака передвижения подвижного объекта в ближней зоне действия сейсмического приемника при изменении расстояния между ними.*

Yu. Babiy A method for recognizing the movement of a mobile object in a direction to a seismic means of guarding an observation position. *The rescavch proposes the method of recognition of the movement of a moving object in the direction of seismic means of guarding the position of observation under the interferences from the source placed next to the three-coordinate seismic receiver of the security device is proposed. The essence of scientific novelty is to establish the features of the interaction of the components of the seismic signal and the establishment of a sign of movement of the moving object in the near zone of the seismic receiver when changing the distance between them.*

Ключові слова: *сейсмічний засіб охорони, сейсмічний приймач, чутливий елемент, рухомий об'єкт, радіолокаційна станція.*

Постановка проблеми у загальному вигляді. Спостереження за ділянкою місцевості є однією з основних форм оперативно-службової і оперативно-бойової діяльності підрозділів охорони кордону. Основним принципом ведення спостереження є забезпечення його неперервності у часі і просторі.

З цією метою вздовж протяжних ділянок сухопутного кордону розміщено зразки стаціонарних комплексів радіоелектронного спостереження, наприклад, система оптико-електронного спостереження (СОЕС) на основі радіолокаційної станції (РЛС) типу ELTA EL/M-2129, комплексна система захисту та контролю державного кордону на основі волоконно-оптичної системи виявлення типу RaySense [1].

Для охорони окремих локальних ділянок кодону, зон невидимості стаціонарних засобів або ділянок, які ними ще не обладнані застосовують мобільні комплекси спостереження, переносні сигналізаційні засоби і засоби спостереження різного типу.

Саме мобільні і переносні засоби на сьогодні є основними технічними засобами охорони кордону (ТЗОК), що застосовують на сухопутній ділянці кордону [2].

Для реалізації принципу неперервності охорони у часі основу мобільних і переносних сигналізаційних засобів охорони становлять РЛС, сигналізаційні датчики з функцією автоматичного розпізнавання рухомих об'єктів (РО).

Такі види ТЗОК слід вважати засобами первинного, достатньо ефективного виявлення і розпізнавання правопорушника (ПП), як РО, а також охорони самих комплексів, постів спостереження, позицій, місць розташування мобільних комплексів.

Керівними документами передбачається обладнання периметру позиції спостереження дротяним чутливим елементом (ЧЕ) сигналізаційного приладу, що реагує на обрив ЧЕ [3].

Суттєвим недоліком застосування таких ТЗОК є:

відносно тривалий час розгортання ЧЕ таких засобів, що становить до однієї години;

потреба у відновленні ЧЕ після пошкодження його цілісності;

недостатній рівень маскованості;

низька ймовірність виявлення сигналізаційними приладами з обривним ЧЕ, що не перевищує 0,5.

Потенційним засобом охорони тимчасової позиції можна вважати сейсмічний засіб охорони (СЗО), основу якого становить один або декілька сейсмоприймачів (СП) або сейсмодатчиків, що є складовою СЗО позиції.

Як засоби охорони, СЗО застосовують для охорони локальних ділянок кордону. Такі засоби є набагато складнішими за сигналізаційні прилади, що звісно дозволяє усунути розглянуті недоліки, окрім потреби у встановленні по периметру позиції [4 – 7].

Проте, для охорони тимчасової позиції доцільно застосувати один СП, радіус виявлення РО-людини яким у сучасних засобах становить 30 – 50 м, а транспортного засобу на порядок більше та немає потреби у розміщенні по периметру ЧЕ.

Виявлення ПП на зазначеній дальності дасть можливість зреагувати наряду або спостерігачу на небезпеку і вжити заходів щодо захисту позиції.

Аналіз останніх досліджень.

З опису розповсюдження сейсмічних хвиль у розглянутих публікаціях [4 – 15] можна відзначити наступне:

неоднозначність в якісній оцінці співвідношення енергій між складовими сейсмічних хвиль;

відсутність моделей кількісної оцінки співвідношення енергій вертикальної і горизонтальної складових сигналу.

Тому **метою даної статті** є розробка методу розпізнавання переміщення рухомого об'єкту в напрямку на сейсмічний засіб охорони позиції спостереження, яка полягає у встановленні особливостей взаємодії між складовими сейсмічного сигналу і встановлення ознаки пересування рухомого об'єкту в ближній зоні дії сейсмічного приймача при зміні відстані між ними.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Зазначене потребувало проведення експерименту, при цьому був застосований лабораторний зразок трьохкоординатного СП типу ДСП-3ВК виробництва ОКБ Шторм (м. Київ), рис. 1.

Рис. 1 Загальний вигляд СП ДСП-3ВК та проведення експерименту

Основні характеристики СП подано у табл.1.

В ході випробувань здійснено записи 90 сигналів, що умовно можна поділити на дві групи:

сигнали від РО при віддаленні або наближенні його до СП;

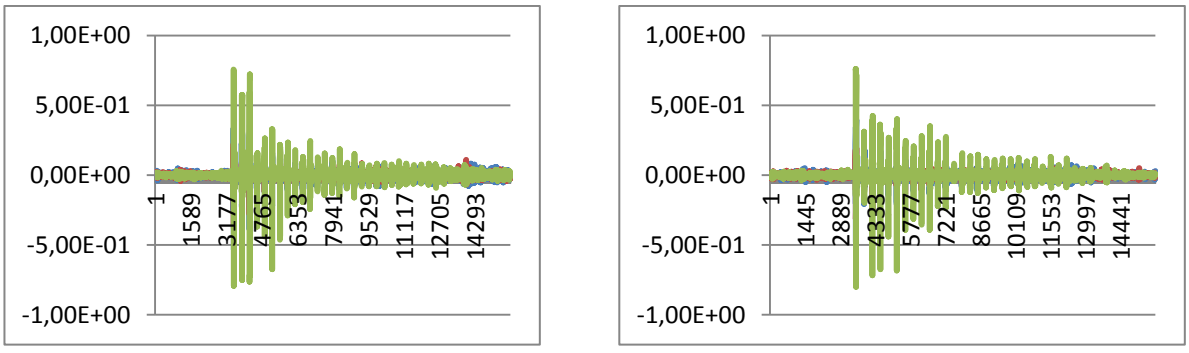
сигнали при незмінній дальності до РО.

Таблиця 1

Тактико-технічні характеристики трьохкоординатного сейсмічного приймача ДСП-3ВК

Характеристика	Значення
Глибина установки датчика в грунт, м	0,5 – 1
Максимальний радіус виявлення (при відношенні сигнал/шум не менше 60 дБ), м:	
людини або великої тварини	250
автомобільного транспорту	1500
вертольота	20000
військової бронетехніки на гусеничному ходу	15000
Точність визначення напряму на об’єкт (+/- кутових градусів):	
людини або великої тварини	45
автомобільного транспорту при швидкості руху 60 км/год.	20
завислого гелікоптера	5
важкої бронетехніки	10
Ймовірність правильного виявлення і класифікації об'єктів, не менше	0,95
Ймовірність хибної тривоги, не більше	10^{-4}
Споживана потужність, Вт	15

Для виявлення особливостей зміни енергії сейсмічного сигналу розглянемо дані групи сигналів на характерних їх прикладах. Записи сигналів здійснено за даними СП і збережено у вигляді таблиць Microsoft Excel. Розглянемо записи для першої групи сигналів, рис. 2.



а) б)

Рис. 2 Записи сигналів при переміщені РО від СП за різними напрямками:
а) віддалення РО вздовж осі OY; б) віддалення РО під кутом 45^0 до осі OX

Кожен імпульс сигналів, рис. 2, відповідає кроку людини і задається 50 – 150 дискретними відліками, які генеруються з інтервалом 1 мс. Для оцінки характеру зміни рівнів сигналів у вертикальній і горизонтальній площинах проведено статистичну обробку сигналів по трьом координатам за показником середнього арифметичного модулів значень амплітуди сигналів.

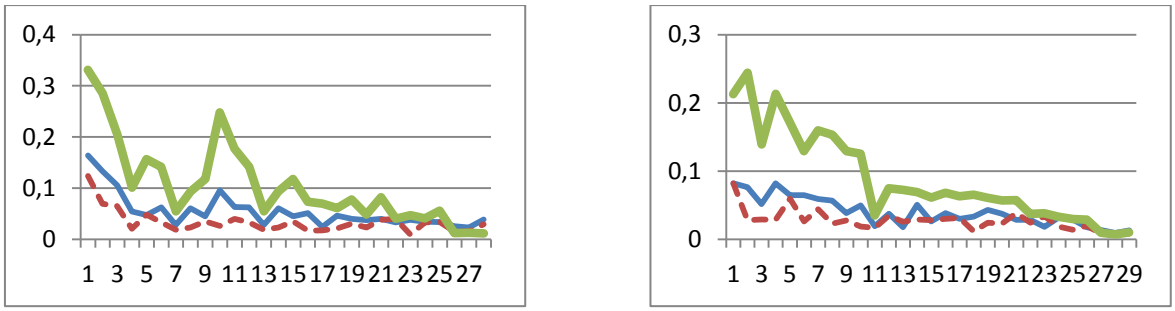
У роботі [16] описано алгоритм для формування певної ознаки виявлення рухомого об’єкту, однак недоліком таких алгоритмів є потреба у тривалому статистичному накопичені і обробці сигналів, особливо при застосуванні програм самонавчання нейронних мереж.

У випадку засобу охорони час на прийняття рішення складає не більше декількох секунд, а кількість оцінюваних імпульсів для прийняття рішення не перевищує десятка.

При цьому, як відзначається у [5], оптимальна тривалість окремого сейсмічного імпульсу має становити 3 – 4 періоди коливань сейсмічного сигналу, що оптимізує відношення сигналу до шуму в каналі прийому.

Тому, є очевидна потреба у пошуку нової ознаки для розпізнавання РО, яка б відповідала розглянутим вимогам.

Із застосуванням виразу визначення середнього арифметичного значення прийнятого сейсмічного сигналу [16], отримано графіки амплітуд вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу при зміні дальності до РО, рис. 3.



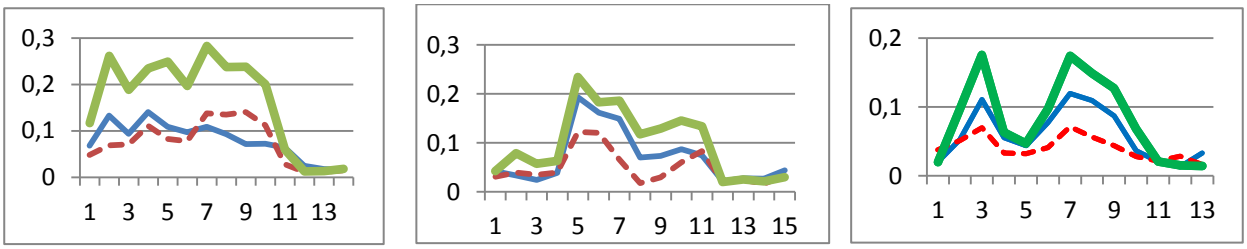
а) б)

Рис. 3 Графіки амплітуд вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу при зміні дальності до РО (широка лінія – Z складова, вузька лінія X – складова, пунктирна лінія – Y складова): а) віддалення РО вздовж осі OY; б) віддалення РО під кутом 45^0 до осі OX

Результати аналізу отриманих реалізацій сейсмічного сигналу трьохкоординатного СП ДСП-3ВК, рис. 3, дозволяють виділити характерну особливість зміни амплітуди сигналу, а саме: перевищення амплітуди сигналу Z-каналу вертикального геофону СП над сигналами X, Y каналів горизонтальних геофонів СП.

При чому, дане перевищення характерне для основної частини тривалості сигналу від кроків людини, що відповідає ближній зоні дії СП.

Для дослідження виявленої особливості розглянемо також характер зміни сигналів другого типу, які отримано за умови постійної дальності до РО, рис. 4.



а) б) в)

Рис. 4 Графіки амплітуд вертикальної та горизонтальної складових сейсмічного сигналу при постійній дальності до РО (широка лінія – Z складова, вузька лінія X – складова, пунктирна лінія – Y складова): а) дальність до РО 2 м (рівномірний рух); б) дальність до РО 2 м (нерівномірний рух); в) дальність до РО 20 м (нерівномірний рух)

За результатами аналізу графіків, рис. 3, 4, визначимо такі особливості: характерне перетинання між собою графіків сигналів, рис. 3, 4, горизонтальних складових X, Y-каналів як у ближній, так і дальній зоні дії, що є результатом зміни азимуту РО, а також суперпозиції сигналів і наявності відносно слабких сигналів; в дальній зоні дії СП, для відносно слабкого рівня сигналів, перетинання між собою графіків сигналів вертикальної складової Z-каналу з горизонтальними складовими сигналу X, Y-каналами очевидно не можуть бути пояснені явищем суперпозиції та незначних змін азимуту РО, оскільки, у такому разі перетинання

мали б бути вздовж всієї дальності дії СП, що логічно, зважаючи на однаковість коефіцієнта затухання сейсмічної хвилі для її різних складових.

Допущення про однаковість коефіцієнта затухання зроблено на основі даних роботи [20], де для моделювання різних типів хвиль, різної поляризації затухання сигналу приймалось пропорційно a^{-6t}.

Тому, такі перетинання середніх арифметичних значень напруги прийнятого сейсмічного сигналу $\overline{U}z$ з $\overline{U}$ і $\overline{U}y$ не повинні були б залежати від дальності до РО і мали б спостерігатись також для всієї дальності дії. Але графіки, рис. 6, перетинаються в дальній зоні приблизно після 20 кроків РО.

Також перетинання графіків вертикальної і горизонтальних складових сигналу характерно для відносно слабкого сигналу на дальності 20 кроків до РО, рис. 4. Отже, перетинання вертикальної і горизонтальних складових притаманне слабким сейсмічним сигналам.

Зробимо *припущення* про доповнення до сукупності явищ і факторів, що впливають на розповсюдження поверхневих сейсмічних хвиль.

Отже, загальноприйнятими явищами і факторами є: експоненційне затухання всіх складових сейсмічного сигналу; швидкість розповсюдження різних типів хвиль дещо відрізняється, проте, вплив цієї різниці на рівень сигналу суттєвий на значних відстанях між СП і джерелом сигналу; суперпозиція сейсмічних хвиль призводить до тимчасових суттєвих змін амплітуди сигналів без перерозподілу енергії між ними; зміна азимуту РО приводить до пропорційної зміни амплітуди горизонтальних складових сигналу; інтерференція сейсмічних хвиль.

Дана сукупність явищ і факторів може бути доповнена явищем перерозподілу енергії між складовими сейсмічного сигналу з тенденцією до вирівнювання енергій всіх складових з часом. Саме взаємообміном між складовими сейсмосигналу автор дисертації [18] пояснює суттєві збільшення амплітуди окремих складових сигналів на фоні їх експоненційного затухання.

Також, у літературі зустрічається опис припущення про явище биття сейсмічних сигналів, що можливо має місце.

Проте, зазвичай необхідною умовою биття сигналів є близькість їх частот, що виконується для спектру сигналу від однотипних РО. Наприклад, спектр сигналу від руху людини лежить в межах 20 – 50 Гц, а основні частоти 35 – 42 Гц [5].

Достатньою умовою має бути наявність нелінійного перетворювача сигналів [19]. Грунт, поверхня Землі в геодезії, сейсморозвідці розглядається як лінійна система. Проте, це питання ще не достатньо вивчене [18].

Підтвердженням зробленого припущення можуть бути результати аналізу відносних змін амплітуди сейсмічного сигналу при проведенні експерименту.

Сумарна амплітуда вектора сейсмічного сигналу визначається за виразом [17]:

$$U_{\tilde{n}}=\sqrt{\overline{U}_X^2+\overline{U}_Y^2+\overline{U}_Z^2}\,, \qquad (1)$$

де $U_{\tilde{n}}$ – сумарна амплітуда вектора сейсмічного сигналу; $\overline{U}_X$, $\overline{U}\acute{o}$, $\overline{U}_Z$ – середнє арифметичне значення напруги прийнятого сейсмічного сигналу каналів X, Y, Z, відповідно.

Вираз (1) можна подати в іншому вигляді:

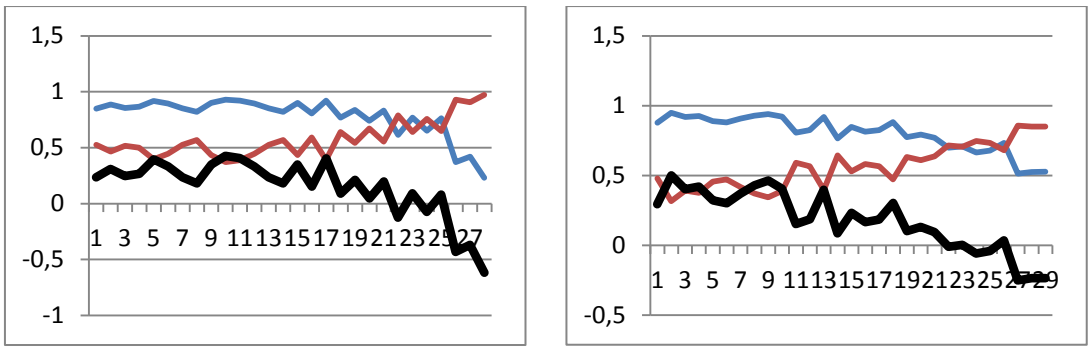
$$U_{\tilde{n}}=\sqrt{\overline{U}_Z^2+\left(\sqrt{\overline{U}_X^2+\overline{U}_Y^2}\right)^2}\,, \qquad (2)$$

тоді, відносну зміну амплітуди вертикальної і горизонтальної складових сигналу запишемо так:

$$U_{\hat{a}}=\frac{\overline{U}_Z}{\sqrt{\overline{U}_X^2+\overline{U}_y^2+\overline{U}_Z^2}}\,, \qquad U_{\tilde{a}}=\frac{\sqrt{\overline{U}_X^2+\overline{U}_y^2}}{\sqrt{\overline{U}_X^2+\overline{U}_y^2+\overline{U}_Z^2}}\,, \qquad (3)$$

де $U_{\hat{a}}$, $U_{\tilde{a}}$ – амплітуда відносного рівня вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу.

Застосування відносних рівнів (3) дозволяє виключити вплив фактору зміни азимуту РО, оскільки значення чисельника другого виразу (3) буде постійним при зміні азимуту пересування РО. Графіки амплітуд відносного рівня вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу подано на рис. 5.



а) б)

Рис. 5 Графіки амплітуд відносного рівня вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу при віддаленні РО: тонкі лінії – графіки амплітуд відносного рівня вертикальної (верхня лінія) і горизонтальної складових сейсмічного сигналу, відповідно; широка лінія – графік коефіцієнта варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу; а) віддалення РО вздовж осі OY; б) віддалення РО під кутом 45^0 до осі OX

На всіх графіках, рис. 4, 5, останні три значення відповідають не крокам людини, а шуму сейсмічного сигналу. Результати аналізу графіків, рис. 5, дозволяють виділити таку *особливість* розповсюдження сейсмічного сигналу.

При наближенні РО амплітуда відносного рівня горизонтальної складової сейсмічного сигналу з часом зі збільшенням кількості кроків РО спадає, хоча абсолютне значення амплітуди збільшується.

Поясненням виявленої особливості може бути явище перерозподілу енергії між складовими сейсмічного сигналу з тенденцією до вирівнювання енергій вертикальної і горизонтальної складових по мірі розповсюдження сейсмічного сигналу. Це, очевидно, обумовлює адекватність висунутого припущення про сукупність явищ і факторів, які впливають на розповсюдження сейсмічних хвиль.

Рівність, або коливання відносних амплітуд вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу триває декілька кроків РО. Після чого криві, рис. 5, вузькі лінії, знову розходяться, але у протилежні напрямки.

Горизонтальна складова сигналу збільшується, а вертикальна навпаки зменшується по мірі віддалення РО від СП. Це пояснюється подальшим перерозподілом енергії до вирівнювання абсолютних амплітуд всіх складових сейсмічного сигналу і наближення їх рівнів до рівня шуму.

На рис. 5 також подано графіки коефіцієнта варіації. Загалом такий коефіцієнт характеризує ступінь відхилення значення параметра від середнього рівня і визначається через відношення середньоквадратичного відхилення до середньоарифметичного значення [20]. Для випадку двох сигналів такий коефіцієнт визначатиметься спрощено:

$$V=\frac{\bar{U}_z-\sqrt{\bar{U}_x^2+\bar{U}_y^2}}{\bar{U}_z+\sqrt{\bar{U}_x^2+\bar{U}_y^2}}, \qquad (4)$$

де V – коефіцієнт варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу.

На відміну від загальноприйнятого запису коефіцієнта варіації, запропонований може приймати від'ємні значення, що у випадку розгляду сейсмічного сигналу вказує на

наближення рівня сигналу до рівня шуму. Тоді, з врахуванням запису показника (4), критерієм шуму можна вважати рівень коефіцієнта варіації близький до значення:

$$V_{\text{ш}} \approx -\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}, \tag{5}$$

де $V_{\text{ш}}$ – критерій рівня шуму сейсмічного сигналу.

Відповідно до (4), при $\overline{U}x=\overline{U}y=\overline{U}z$, значення коефіцієнта становитиме $V=V_{\text{ø}} \approx -0{,}82$.

Коливання графіка коефіцієнту варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу навколо нульового значення зі зміною знака відповідає умові, коли:

$$U_z \approx \sqrt{U_x^2 + U_y^2} \tag{6}$$

тому, за *ознаку* пересування РО в ближній зоні дії СП при зміні відстані між ними приймемо періодичну зміну знака коефіцієнта варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу. У якості показника періодичної зміни знака коефіцієнта варіації запропоновано застосувати згортку його значень, поданих у логічній формі:

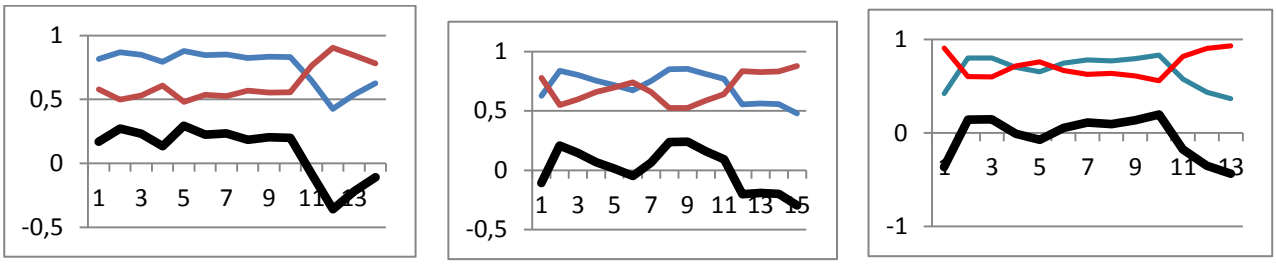
$$f(V_{\text{ц}}) = \sum_{i=1}^{5} V_i \oplus V_{i+1}, \tag{7}$$

де $f(V_{\text{ц}})$ – показник періодичної зміни знака коефіцієнта варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу; $V_{\text{ц}}$ – коефіцієнт варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу записаного у логічній формі ($V_{\text{ц}}$ = 1 при $V > 0$); V_i – i-й відлік коефіцієнта варіації $V_{\text{ц}}$; $\oplus$ – знак логічної згортки за модулем два.

Значення показника буде $f(V_{\text{ц}}) > 0$ за умови наявності хоча б одного півперіоду коливань коефіцієнта варіації навколо нульового рівня. За даним показником здійснюється підсумовування змін знаку коефіцієнтом варіації.

У проведених дослідах кількість періодів становила 2 – 3, що відповідає 5 – 7 крокам людини. Для 5-и кроків здійснюється підсумовування змін знаку у показнику (6).

Для уточнення значення критерію показника періодичної зміни знака коефіцієнта варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу розглянемо сигнали, отримані при пересуванні РО без зміни дальності до СП, рис. 6.



а) б) в)

Рис. 6 Графіки амплітуд відносного рівня вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу при постійній дальності до РО: тонкі лінії – графіки амплітуд відносного рівня вертикальної (верхня лінія) і горизонтальної складових сейсмічного сигналу, відповідно; широка лінія – графік коефіцієнта варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу; а) дальність до РО 2 м (рівномірний рух); б) дальність до РО 2 м (нерівномірний рух); в) дальність до РО 20 м (нерівномірний рух)

На всіх графіках, рис. 6, останні три значення відповідають не крокам людини, а шуму сейсмічного сигналу. За результатами аналізу графіків, рис. 6, відзначимо, що переміщення РО звичайним кроком поруч з СП характеризується досить потужним і відносно рівномірним

сигналом, що приводить до відсутності перетинання графіком коефіцієнта варіації вісі ОХ та відсутності зміни знака коефіцієнтом варіації, а, отже, показник періодичної зміни знака коефіцієнта варіації матиме нульове значення.

Отже, відповідно запропонованій ознаці РО розрізнятиметься як такий, що переміщується без зміни дальності.

Хаотичні пересування РО поруч з СП містять окремі слабкі сигнали, що приводить до появи одиночних періодів коливання коефіцієнта варіації навколо нульового значення. Отже, мінімальне значення показника періодичної зміни знака коефіцієнта варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу доцільно прийняти $f(V_{ц})_{min} = 3$.

Для дальньої зони характерна постійна зміна знака показника періодичної зміни знака коефіцієнта варіації і значення даного показника буде набагато більше. Максимальне значення прийнято $f(V_{ц})_{max} = 4$.

Отже, критерієм показника періодичної зміни знака коефіцієнта варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу є такі значення показника (7):

$$f(V_{ц})\ k = 3\ldots4, \tag{8}$$

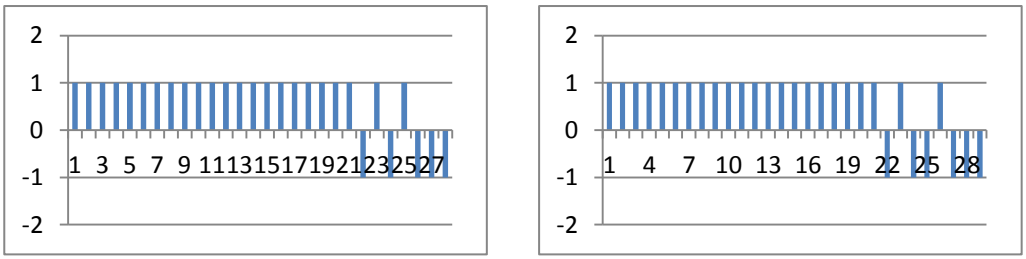
де $f(V_{ц})_{к}$ – критерій показника періодичної зміни знака коефіцієнта варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу.

Даний критерій характеризує наявність переміщення РО зі зміною відстані між СП і РО. Для наочності представимо гістограми знакової функції коефіцієнта варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу:

$$V_{з} = sign\ (V), \tag{9}$$

де $V_{з}$ – знакова функція коефіцієнта варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу.

Гістограми подано на рис. 7, 8.

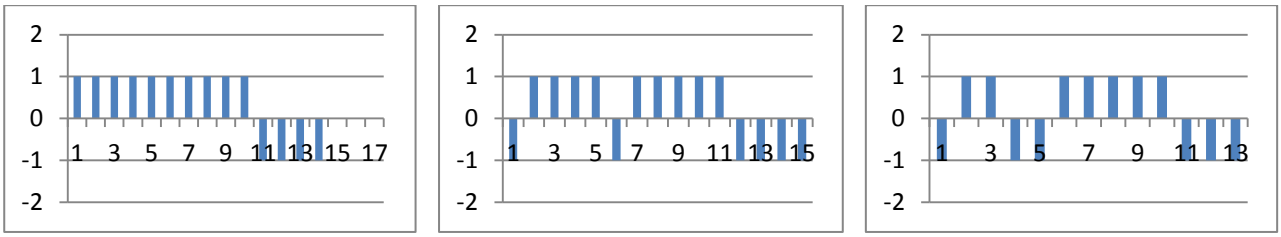


а) б)

Рис. 7 Гістограми знакової функції коефіцієнта варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу при віддаленні РО:
а) віддалення РО вздовж осі OY; б) віддалення РО під кутом 45^0 до осі ОХ

В дальній зоні дії, при наближенні РО до СП показник періодичної зміни знака коефіцієнта варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу (6) прийматиме виключно нульові значеня, що на графіках, рис. 7, відповідає трьом останнім від'ємним значенням знакової функції, тобто на вхід СП надходить шум.

З подальшим наближенням РО відбувається зміна знака коефіцієнта варіації, серія знакоперемінних значень гістограми, при чому на рис. 7, а) – це 4-и зміни знаки ($f(V_{ц}) = 4$), на рис. 7, б) – це 3-и ($f(V_{ц}) = 3$) при 5-и кроках РО.



а) б) в)

Рис. 8 Гістограми знакової функції коефіцієнта варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу при постійній дальності до РО: а) дальність до РО 2 м (рівномірний рух); б) дальність до РО 2 м (нерівномірний рух); в) дальність до РО 20 м (нерівномірний рух)

При постійній дальності до РО, рис. 8, а) – це нуль змін знака ($f(V_{\text{ц}}) = 0$), рис. 8, б) – це одна зміна знака ($f(V_{\text{ц}}) = 1$) , на рис. 8, в) – це дві зміни знака ($f(V_{\text{ц}}) = 2$), для 5-и кроків РО, якщо розглядати формування кроків РО від більшого номера до першого.

Всі зміни знака функції на рис. 8 є хибними сигналами, кількість не перевищує 2. Опираючись на попередні викладки, розробимо алгоритм методу розпізнавання переміщення РО в напрямку на сейсмічний засіб охорони позиції спостереження, рис. 9.

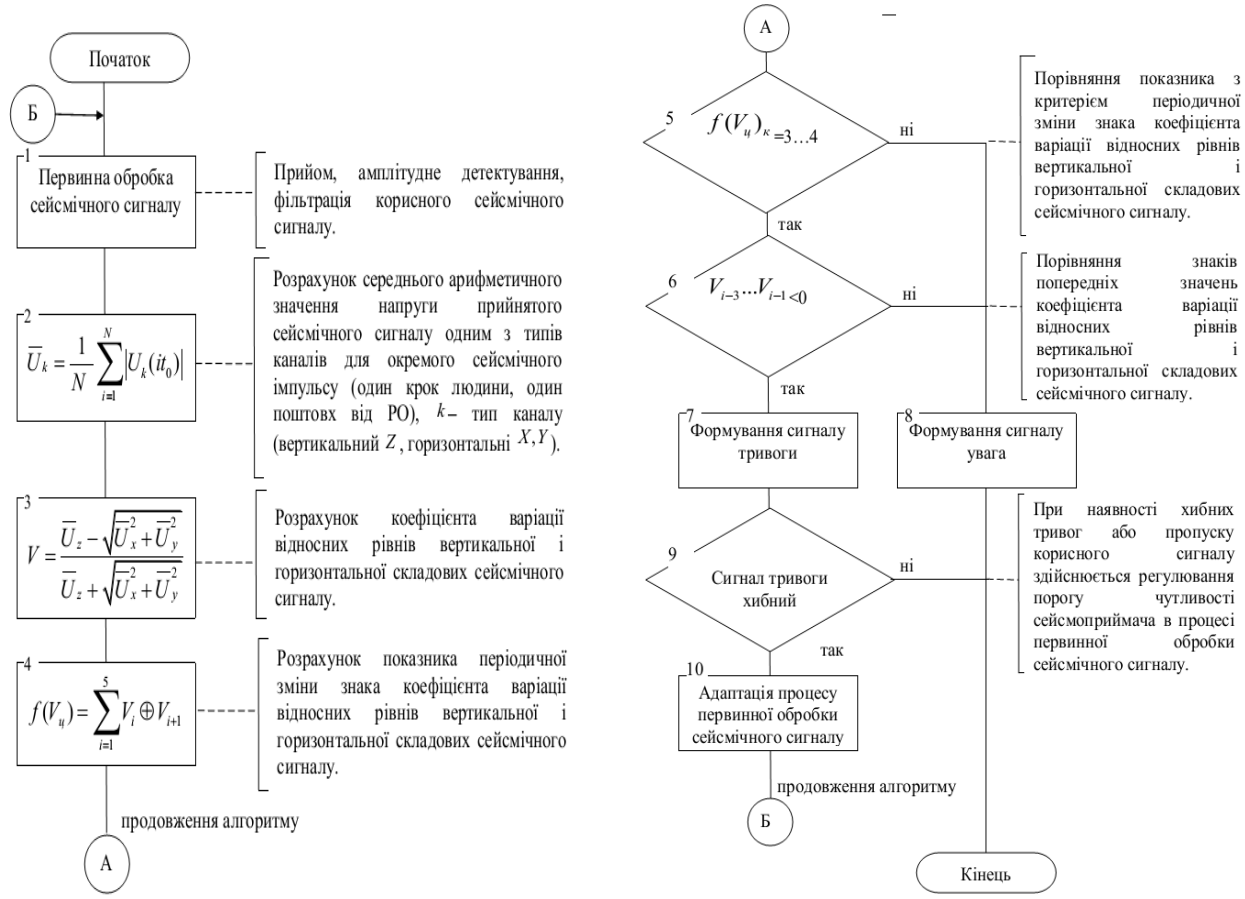


Рис. 9 Алгоритм методу розпізнавання переміщення рухомого об’єкту в напрямку на сейсмічний засіб охорони позиції спостереження

Результатом роботи алгоритму є розпізнавання переміщення рухомого об’єкту в напрямку на сейсмічний засіб охорони позиції спостереження.

При цьому, для адаптації процесу первинної обробки сейсмічного сигналу може знадобитися 1 – 2 контрольні проходи людини в зону дії СП.

Висновки. В даній роботі проведено експеримент, в ході якого із застосуванням трьохкоординатного СП типу ДСП-3ВК здійснено 90 записів сигналів РО, що дозволило встановити такі характерні особливості взаємодії складових сейсмічного сигналу:

перевищення амплітуди сигналу Z-каналу вертикального геофону СП над сигналами X, Y-каналів горизонтальних геофонів СП у ближній зоні дії СП;

при наближенні РО амплітуда відносного рівня горизонтальної складової сейсмічного сигналу з часом зі збільшенням кількості кроків РО спадає, хоча абсолютне значення амплітуди збільшується;

перетинання вертикальної і горизонтальних складових притаманне слабким сейсмічним сигналам.

На основі встановлених особливостей зроблено *припущення* про доповнення сукупності явищ і факторів, що впливають на розповсюдження поверхневих сейсмічних хвиль, яку доповнено явищем перерозподілу енергії між складовими сейсмічного сигналу з тенденцією до вирівнювання енергій всіх складових з часом.

У результаті дослідження встановлено нову *ознаку* пересування РО в ближній зоні дії СП при зміні відстані між ними, якою є періодична зміна знака коефіцієнта варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу. У якості показника періодичної зміни знака коефіцієнта варіації запропоновано застосувати згортку його значень, поданих у логічній формі.

Уперше розроблено метод розпізнавання переміщення рухомого об’єкту в напрямку на сейсмічний засіб охорони позиції спостереження.

Сутність наукової новизни полягає у встановленні особливостей взаємодії складових сейсмічного сигналу і встановлення ознаки пересування рухомого об’єкту в ближній зоні дії сейсмічного приймача при зміні відстані між ними.

Метод відрізняється уведенням показника і критерію періодичної зміни знака коефіцієнта варіації відносних рівнів вертикальної і горизонтальної складових сейсмічного сигналу. Це дозволило розпізнати переміщення рухомого об’єкту в напрямку на сейсмічний засіб охорони позиції спостереження при дії завад від джерела, розміщеного поруч з сейсмічним приймачем.

Напрямом подальших досліджень є формалізація процесу моніторингу РО на сухопутному кордоні волоконно-оптичними засобами охорони та розробка класифікації структури волоконно-оптичних засобів охорони.

ЛІТЕРАТУРА

1. Охрана периметра объектов большой протяженности RaySense – Режим доступу: http://www.klaster-plus.ua/novosti-i-sobytiya/ohrana-perimetra-obektov-bolshoy-protyazhennosti-raysense/. – Назва з екрана.

2. Лисий М.І. Узагальнення класифікації технічних засобів для охорони і захисту кордону / М.І. Лисий, І.І. Балицький, Ю.О. Бабій, В.В. Поліщук // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2016. – № 54. – С. 40 – 49.

3. Стратегія розвитку системи охорони та інженерно-технічного облаштування державного кордону України до 2030 року: наказ АДПСУ від 09.09.2016 р. № 124.

4. George A. Mizusawa Performance of hyperbolic position location techniques for code division multiple access. – Blacksburg, Virginia: Electrical Enginttring, 1996. – 121 p.

5. Крюков И.Н. Технические средства обнаружения. Теория и практика построения. Монография / И.Н. Крюков. – М.: Радиотехника, 2014. – 216 с.

6. Магауенов Р.Г. Система охранной сигнализации: основы теории и принципы построения: учеб. пособие / Р.Г. Магауенов. – М: Горячая линия – Телеком, 2004. – 367 с.

7. Маршалов Т.А. Технические средства охраны границы: учебник / Т. А. Маршалов, А.В. Густов, И.М. Потапов. – Калининград: КПИ ФСБ РФ, 2009. – 568 с.

8. Агафонов В.М. Определение направления на движущийся объект с использованием сейсмического модуля, содержащего молекулярно-электронные датчики движения / В.М. Агафонов, К.А. Афанасьев, А.В. Яшкин // Теоретическая и прикладная механика: труды МФТИ. – 2013. – Том 5, № 2. – С. 142 – 149.

9. Гордієнко Ю. О. Визначення осередку сейсмічної події за результатом спостереження трикомпонентної сейсмічної станції / Ю.О. Гордієнко // Системи обробки інформації. Житомирський військовий інститут імені С.П. Корольова. – 2016. – № 2 (139). – С. 186 – 189.

10. Филатова С.Г. Оценивание временных параметров сигналов в сейсмических системах охраны: автореф. дис…. канд. техн. наук: 05.13.17. – Новосибирск, 2011. – 22 с.

11. Красовский А.А. Цифровая обработка в ZETlab при идентификации параметров сейсмического сигнала / А. А. Красовский. – Испытательное и измерительное оборудование ZETlab. – 2010. – № 3 (139). – С. 70 – 76.

12. Костенко К.В. Модели и алгоритмы локализации и классификации нарушителей в системах охраны периметра предприятия на основе данных сейсмических датчиков: автореф. дис…. канд. техн. наук: 05.13.01. – Дубна, 2013. – 19 с.

13. Алямкин С.А. Классификация объектов в сейсмической системе обнаружения с учетом параметров их движения: автореф. дис…. канд. техн. наук: 05.13.18. – Новосибирск, 2014. – 21 с.

14. Патент 2128850 Российская Федерация МПК G01V1/16 Трехкомпонентный приемник акустических колебаний / Ю.В.Сиротинский, Б.М. Графов, М.А.Новицкий, В.Е. Казаринов, С.Л. Арутюнов, Н.А. Гафаров, С.М. Карнаухов, И.А.Кальвин. заявитель Акционерное общество закрытого типа „АНЧАР”. – № 96109176/25; заявл. 14.05.1998; опублик. 10.04.1999.

15. Алексеев В. А. Пеленгование цели векторно-фазовым сейсмоприемником / В. А. Алексеев, В.П. Демкин. – Георазрез, 2012. – Вип. № 4. – С. 7.

16. Бабій Ю.О. Амплітудний метод розпізнавання рухомого об’єкту трьохкоординатним сейсмічним приймачем сигналізаційного засобу охорони / Ю.О. Бабій // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2017. – №. 2 – С. 53 – 56.

17. Разнатов В.Н. Селекция линейнополяризованных сейсмических волн / Разнатов В. Н. – М. – 2011. – 172 с.

18. Каляшин С. В. Физические процессы взаимодействия, сопровождающие распространение поверхностной сейсмической волны в грунтах: автореф. дис…. канд. техн. наук: 25.00.10. – Дубна, 2010. – 26 с.

19. Ревинская О.Г. Сложение колебаний. Биения: учебно-методическое пособие по изучению моделей физических процессов и явлений на компьютере с помощью лабораторной работы: для студентов всех специальностей / О. Г. Ревинская, Н. С. Кравченко. – Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2015. – 21 с.

20. Берестнева О.Г. Прикладная математическая статистика: учебное пособие: для студентов всех специальностей / О.Г. Берестнева, О.В. Марухина, Г.Е. Шевелёв. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. – 2012. – 200 с.