

**С. В. Гошовський**, д-р техн. наук, професор, директор (Український державний геологорозвідувальний інститут), ORCID-0000-0002-8312-6244,

**П. Т. Сиротенко**, канд. техн. наук, старший науковий співробітник відділу інноваційних технологій (Український державний геологорозвідувальний інститут), ORCID-0000-0001-6118-6038

## СУЧАСНЕ ОСНАЩЕННЯ МОРСЬКИХ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### Стаття 1

*Розглянуто сучасний стан і перспективи розвитку оснащення морських досліджень в енергетичному та екологічному аспекті. Визначено, що під час морських досліджень проводять вивчення таких об'єктів, які перебувають у твердій, рідкій, газовій чи комбінованій фазі, для яких створено потрібні засоби для проведення досліджень. Найбільшого поширення в морських дослідженнях набули геофізичні й геохімічні методи. У цій праці розглянуто технічні засоби, які використовують під час геофізичних досліджень, а саме: для акустичних і сейсмічних методів. Проведено аналіз засобів, що застосовуються для технічної реалізації методів, які затребувані в морських умовах для оснащення науково-дослідних суден. Проаналізовано досвід, набутий під час вивчення вуглеводневих ресурсів у передових морських державах, таких як США, Велика Британія, Норвегія, Данія, Німеччина, Канада, Франція та інших. Отримані при цьому дані в цих країнах показують перспективу впровадження акустичних і сейсмічних методів досліджень у морських умовах. Останнім часом спостерігається заміна аналогових приладів на цифрові, зокрема на найперспективніші, які ґрунтуються на мікромеханічних системах МЕМС з електронною обробкою. Вважаємо, що для морської геофізики перспективними є одноосьовий датчик (гіроскоп) кутової швидкості і триосьовий емнісний МЕМС-акселерометр. Оснащення сучасною диференціальною навігаційною системою проведення досліджень дає змогу отримати високу точність розміщення об'єкта та наведення променів гідролокатора на об'єкти, що є важливим при відображенні газових бульбашок у стовпі води. Однопроменеві ехолоти завдяки комп'ютеризації отримали розширення функціональних можливостей, а використання різного частотного діапазону збудників сейсмоакустичних хвиль під час досліджень надало можливість при піддонному профілюванні отримати глибші розрізи з кращою роздільною здатністю. Багатпроменеві ехолоти забезпечують площинну зйомку морського дна та якісну його акустичну класифікацію. Дослідження з багатпроменевим ехолотом, який формує до тисячі променів, забезпечують можливість відображення газових бульбашок у просочуваннях не тільки великих розмірів, а також малих, тобто забезпечують точнішу оцінку об'єму просоченого газу. Застосування нелінійної акустики відкриває нові можливості в дослідженнях об'єму вільного газу, що просочується з морського дна.*

**Ключові слова:** мікромеханічні системи гіроскопів та акселерометрів, однопроменеві й багатпроменеві ехолоти, піддонне профілювання, виділення газових сипів на морському дні.

## Вступ

На успішне та економічно ефективно вилучення вуглеводнів у морських умовах впливає низка чинників, зокрема технологічне й технічне оснащення процесів пошуку, розвідки та видобування вуглеводневих ресурсів. Сьогодні науково-технічні досягнення в електроніці, розробках програмних продуктів і створенні конструкційних матеріалів дають змогу прискорити розробляння і впровадження нових технологічних і технічних засобів з унікальними можливостями, здатними працювати в складних умовах морського середовища і мати високу експлуатаційну надійність запропонованих виробів.

Розроблені останнім часом технічні засоби ґрунтуються на нових принципах побудови, що підвищує їх надійність і покращує показники та характеристики. Нині спостерігається найбільше застосування в геології і геофізиці лазерних, плазмових та оптичних технологій, спостерігається тенденція до повсюдної заміни аналогових приладів на цифрові.

За останнє десятиліття велике поширення отримали датчики, які засновані на мікромеханічних системах МЕМС (англійська аббревіатура MEMS) [4, 5, 7]. Такі датчики затребувані насамперед у морській геофізиці. Перевага цих пристроїв зумовлена низкою причин, основними з яких є простота їх використання, невелика ціна й малі габарити. МЕМС-прилади оснащують електронною обробкою сигналу, через це в них немає рухомих частини. Цим і зумовлюється їх висока надійність і здатність забезпечувати стабільність вимірюваних даних у досить складних умовах навколишнього морського середовища, а саме: при ударах, вібраціях, вологості, перепадах температури, електромагнітних і високочастотних завадах. Для морської геофізики дуже перспективними є одноосьовий датчик (гіроскоп) кутової швидкості і триосьовий ємнісний МЕМС-акселерометр.

Є дві основні конфігурації гіроскопа, одна з них дає змогу приладу вимірювати кутову швидкість по осі, яка перпендику-

лярна до площини системної плати, а інша – надає можливість визначати кутову швидкість по осі, яка паралельна материнській платі. Комбінація в одному пристрої гіроскопів двох конфігурацій дозволяє отримати інерційну систему, яка вимірює кутову швидкість по кількох осях, щоб визначити будь-які комбінації тангажа, крену і рискання судна [17] (рис. 1). Також нині донні сейсмічні системи будують з використанням багатокomпонентних акселерометрів на основі МЕМС. Сучасна електроніка теж застосовується в розподілених датчиках температури й тиску. Останні дві геофізичні системи мають подвійне застосування як у морській, так і свердловинній геофізиці. Наведений вище матеріал демонструє широкі можливості сучасної електроніки для удосконалення обладнання морської геофізики.

### 1. Приклад оснащення дослідного судна Геологічною службою США комплексами для проведення морських досліджень

У праці [11] наведено приклад оснащення дослідного судна Геологічною службою США для картування морського дна Вудського польового свердловинного центру, Массачусетс. На рис. 2 показано схематичне зображення прикладу

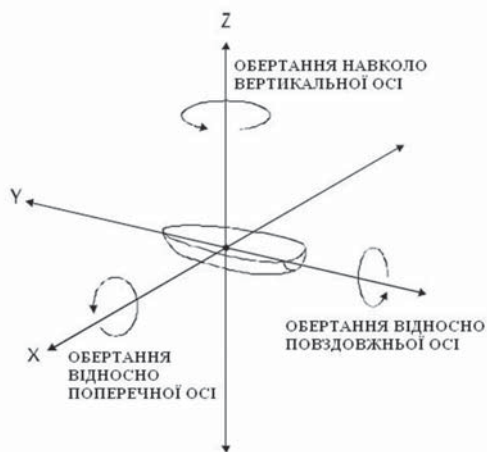
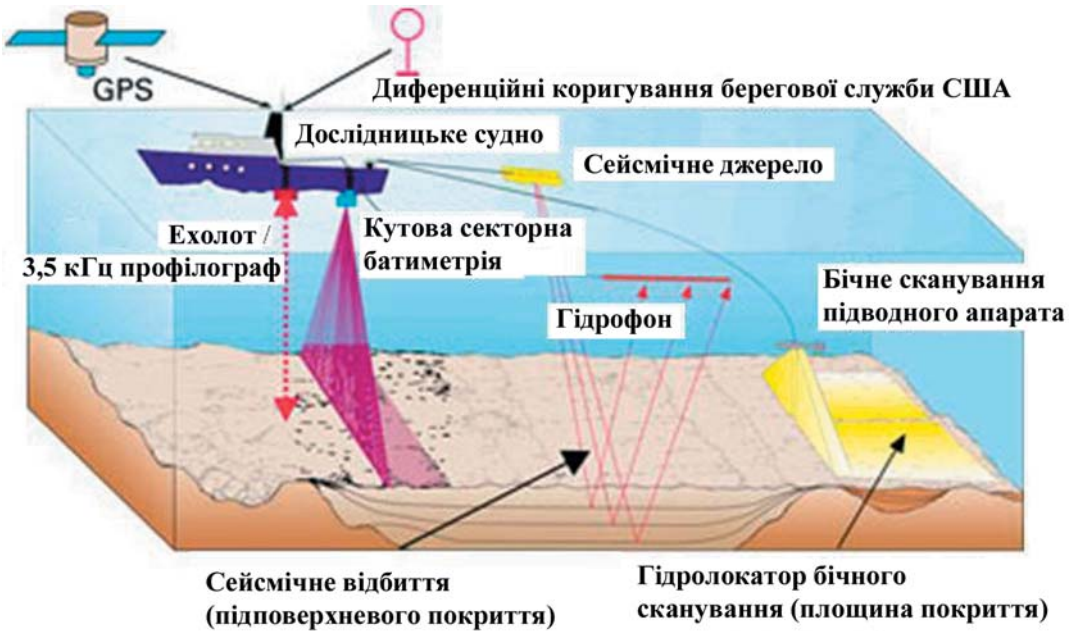


Рис. 1. Схематичне відображення обертань (коливань) судна в морі відносно поперечної, поздовжньої і вертикальної осей [17]

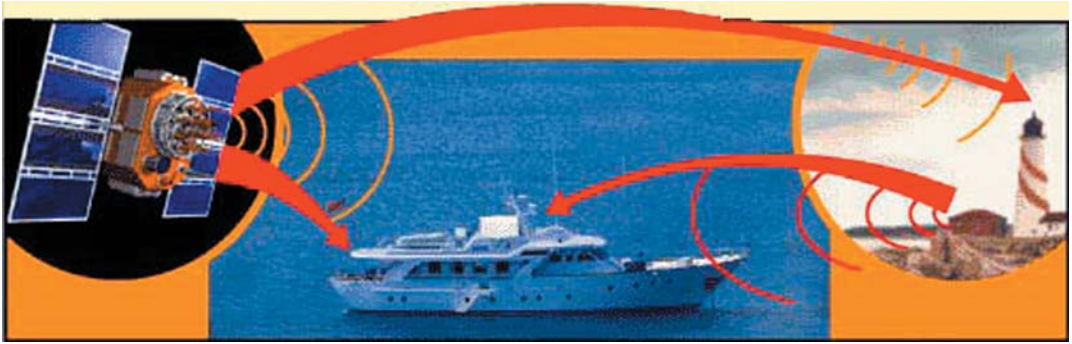


**Рис. 2.** Схематичне зображення збирання даних на дослідному судні США під час картування морського дна та вивчення його геологічного залягання [11]

збирання даних дослідним судном для картування морського дна та оцінки його геологічного залягання. Можливість відображення ґрунтується на використанні передових технологій для проведення на морі операцій та інтегруванні отриманих даних у полі. Опрацювання даних, архівування і початкову інтерпретацію планується завершувати в морі. Це дасть змогу заощадити час і витрати під час науково-дослідної роботи та уникнути дорогого й трудомісткого редагування після круїзу. У результаті придатні для використання картографічні продукти передаватимуть ученим не після декількох тижнів або місяців, а відразу після закінчення морських робіт.

Обладнання для донного картування має важливе значення. Це морське судно укомплектовано найсучаснішим на той час геофізичним і гідрофізичним обладнанням. Для можливості отримання відображення морського дна було передбачено застосування акустичних та оптичних систем дистанційного збирання інформа-

ції про топографію, структуру і склад морського дна. Для підвищення точності системи глобального позиціонування (GPS) у неї додатково була введена інноваційна на той час технологія диференційного коригування даних GPS [11], суть якої полягає в наступному. Відомо, що при проходженні радіосигналу від навігаційного супутника через іоносферу та тропосферу швидкість його змінюється зазвичай у бік зменшення, що призводить до помилок під час вирахування дальності. Проблема тут виникає через те, що значення такої похибки складно визначити, проте вона буде приблизно однакова у випадку двох не дуже віддалених далеко один від одного об'єктів на земній поверхні [3]. Диференціальне коригування ґрунтується на визначенні систематичної похибки, що дає можливість суттєво збільшити точність опрацювання даних GPS, якраз завдяки визначенню систематичної похибки та її компенсації під час оброблення. На рис. 3 продемонстровано поширення радіосигналів у навігаційній системі, яка може ви-



**Рис. 3. Відображення принципів диференціального коригування точності системи GPS [3]**

значити систематичну похибку навігації та можливість її усунення.

Таким чином, диференціальне коригування дає змогу зменшити похибку позиціонування при кодових вимірах до декількох метрів, а при фазових вимірах – до декількох сантиметрів або за потреби навіть до міліметрів при збільшенні затрат часу на вимірювання та якісного отримання сигналу від базової приймальної станції [3]. Тут є важливим, щоб базова станція з відомими координатами перебувала якомога ближче до рухомого об'єкта (морського судна). У такому випадку диференціальні поправки можуть бути введені в розрахунки координат після вимірювань, тобто в режимі після опрацювання або в реальному часі, коли застосовують диференціальну глобальну систему позиціонування (DGPS) у режимі для кодових вимірювань чи RTK (кінематики реального часу) для фазових вимірювань. Режим RTK забезпечується з допомогою RTK ровера (мобільного приймального апарата), який є сучасним у GNSS (Глобальній навігаційній супутниковій системі – ГНСС) приймачі, що працює в режимі RTK (Real Time Kinematic – кінематика в реальному часі) і дає змогу визначити просторове розміщення антени ровера із сантиметровою точністю. Англійська аббревіатура DGPS відповідає Differential Global Positioning System і перекладається як диференціальна глобальна система позиціонування. На рис. 3 бачимо застосу-

вання диференціального коригування, що забезпечує берегова служба США. Другим новітнім об'єктом в аналізованому морському дослідженні, особливо на той час, є кутова смугова батиметрія, що відображена фіолетовим кольором на рис. 2. Застосування такого обладнання, по-перше, збільшує прозвучування площі морського дна. Оскільки одиночне захоплення такої системи може становити від сотні метрів до кілометрів залежно від глибини моря. Крім того, для втілення кутової смугової батиметрії застосовують багатопробіжні ехолоти, які сьогодні прийнято розділяти на малоглибинні, середньоглибинні і надглибинні, причому останні застосовують для океанічних досліджень. До того ж багатопробіжні зондування істотно підвищують роздільну здатність батиметричних досліджень.

З наведеного рис. 2 пересвідчуємося, що Геологічна служба США вважає важливим застосування сейсмозвідки в морських дослідженнях на основі морських сейсмічних джерел (потужних пневмогармат) і чутливих гідрофонів. Це дає змогу зробити глибинне зондування геологічного середовища на повздовжніх хвилях. Перевагами такого комплексу є висока продуктивність сейсмічних досліджень, оскільки обладнання цього комплексу є буксирним і сейсмічні дослідження виконують у русі, крім того, на відміну від акустичних досліджень, із цим комплексом досягаються повноцінні глибинні

дослідження на декілька кілометрів, які потрібні для нафтогазової розвідки.

Не можна не відзначити в морських дослідженнях бічне сканування, яке проводиться акустичним гідролокатором і дає змогу зробити площинну зйомку, тобто прискорити дослідження. Також ефективно можна сканувати з підводного апарату, оскільки завдяки йому можна вивчати різні об'єкти в морі та проводити на них потрібні ремонтні роботи.

Звичайно морське дно і сьогодні не може обійтись без традиційних для моря ехолота і профілографа. При цьому ехолот буде забезпечувати безаварійне плавання судна, попереджаючи про різні перешкоди під час плавання завдяки вертикальному акустичному зондуванню насамперед морського дна і різних затонувлих об'єктів, що трапляються під судном. Профілографи працюють здебільшого на частоті 3,5 кГц, що дозволяє ефективно досліджувати ґрунти нижче морського дна від одного до десятків метрів. На сьогодні є засоби як збудження, так і реєстрації відбитих сейсмоакустичних сигналів від геологічного донного середовища. Такими акустичними джерелами можна назвати [8, 14], наприклад, вібраційне джерело CHIRP з генеруванням коливань у частотному діапазоні від 2 до 7 кГц, імпульсне електродинамічне джерело типу “бумер” з генеруванням частотного спектра коливань у діапазоні від 300 Гц до 3 кГц та імпульсне пневматичне джерело (15-дюймова пневмогармата) з генеруванням коливань у частотному діапазоні від 20 Гц до 1,5 кГц [11]. Останнє джерело має велику потужність, що забезпечує найбільшу глибину досліджень серед усіх названих вище джерел. Важливу роль у морських дослідженнях має відбирання зразків осадових порід з морського дна та проведення їх геохімічних досліджень у лабораторних умовах, це підвищить точність визначення геологічної побудови морського середовища.

Опрацювання даних проводять з використанням відповідних програмних продуктів (систем) [6, 13] як на морі, так і на

березі. При цьому забезпечують як попередню обробку (в основному на судні), так і повну обробку (на березі). До попередньої обробки належать такі операції: редагування, відображення, архівування та оцінка кондиції отриманого матеріалу. Необроблені дані кожного рейсу архівують у морі на компакт-дисках DVD-ROM. Оброблені та проінтерпретовані дані звичай зберігають у географічній інформаційній системі (ГІС) або іншій стандартизованій системі.

## **2. Однопроменеві ехолоти для морських досліджень**

Сьогодні в морських дослідженнях велике поширення мають як однопроменеві, так і багатопроменеві ехолоти [19]. Перші виробники набули найбільшого застосування в судноплаванні, де неможливо обійтись без однопроменевих гідролокаторів, профілографів та акустичних приладів бічного огляду. Водночас багатопроменеві ехолоти мають важливе значення для морських площинних донних досліджень, завдяки тому, що вони збільшують продуктивність морських досліджень, особливо у відкритому морі. Площинні відображення морського дна забезпечують детальніші зображення, підвищують точність визначення характеристик і параметрів як самого морського дна, так і об'єктів на ньому. Це дає змогу зменшити ймовірність пропущення різних наявних геологічних об'єктів на морському дні, надати можливість отримання тривимірних зображень досліджуваних об'єктів. Проте, в судноплаванні в багатьох випадках досить однопроменевого вивчення морського дна під судном, наприклад, у річкових, портових і водоканальних умовах.

Немає сумнівів, що акустична локація в морських умовах є найефективнішим методом для вимірювання глибини води. Цьому сприяє важлива властивість морської води добре пропускати акустичні сигнали на різних частотах при їх малому поглинанні. Отримані дані від однопроменевих ехолотів накладають на прийняту сітку, а відсутні дані між точками в сітці заповнюють за допомогою інтерполя-

ції під час побудови карт морського дна. У прибережних районах однопроменеві гідролокатори дуже затребувані через малі габарити й малу вагу обладнання для проведення досліджень. На сьогодні простежується процес переходу не тільки на цифрові акустичні комплекси, а також обов'язково на комп'ютеризовані. Це розширює функціональні можливості ехолотів, зокрема під час дослідження геологічного середовища.

Принцип роботи однопроменевих ехолотів полягає в генеруванні акустичних хвиль у водному середовищі. При цьому збуджуються акустичні Р-хвилі, які поширюються у воді. У разі стикання таких хвиль із середовищем, що має інші фізичні властивості (швидкості поширення), виникає відбиття, розсіювання і передача хвиль. Унаслідок цього процесу деяка частина енергії повернеться назад до середовища генерування і це дає змогу визначити час поширення хвилі.

Ми зібрали характеристики й параметри моделей найсучасніших однопроменевих ехолотів, наведених у табл. 1. Проведений аналіз однопроменевих ехолотів показує, що завдяки застосуванню сучасної електронної бази та персональних комп'ютерів, придатних працювати в складних умовах, було досягнуто підвищення надійності конструкції систем з їх застосуванням, зменшені масо-габаритні показники виробу і розширені функціональні можливості апаратури. Серед великої кількості розроблених останнім часом однопроменевих ехолотів, на нашу думку, найкращі характеристики й параметри мають ехолоти таких фірм як SyQwest Inc. (США), Teledyne Odom Hydrographic (Бельгія-Нідерланди) та L-3 ELAC Communication SeaBeam Instruments (Німеччина).

До найважливіших показників однопроменевих ехолотів потрібно зарахувати генеровані вихідну потужність і нижні акустичні частоти. За цими показниками має беззаперечну перевагу ехолот ВАНУ2010РС [9]. Це дає змогу йому забезпечити найбільшу глибинність до-

сліджування морського дна. За другим важливим показником з розглянутих є роздільна здатність, цей показник однаковий у всіх представлених моделях у табл. 1 і треба відзначити, що роздільна здатність в 1 см є безсумнівно високоякісною. Для наших досліджень у морі важливо удосконалити точність вимірювань, незважаючи на те, що цей показник досить добрий, проте його можна ще покращити завдяки накопиченню результатів вимірювань.

На рис. 4 подано структуру ехолота ВАНУ 2010РС[9], одного з кращих одноканальних ехолотів (табл. 1). Система ВАНУ 2010РС виконана як універсальний акустичний комплекс, який поєднує в собі засоби генерації й приймання акустичних сигналів (рис. 4). Цей комплекс можна успішно застосовувати як для малоглибинних, так і глибинних гідрографічних досліджень, а також піддонного профілювання. Одними з важливих складових комплексу є навігаційні засоби. Застосування в ехолоті ВАНУ 2010РС високонадійного малогабаритного персонального комп'ютера типу "лаптоп" дало змогу підвищити надійність, експлуатаційні і функціональні показники системи.

### **3. Багатопроневі ехолоти для морських досліджень**

Багатопроневі ехолоти використовують для площинних досліджень морського дна, тоді як однопроменеві ехолоти набули поширення переважно для визначення глибини води під судном. Найважливішою функцією багатопроневового ехолота є класифікація морського дна. Локальна швидкість може змінюватися залежно від стану води, а саме її солоності (провідності), тиску (глибини) і температури. Як відомо, звукові хвилі в типовому морському середовищі поширюються зі швидкістю наближено біля 1500 м/с. Принцип роботи ехолота відбувається таким чином. Перетворювач, який встановлений на корпусі судна, перетворює електричну енергію в акустичну, яка передається в морську воду і отримується відбиття від досліджуваного об'єкта, наприклад, морського дна. Сучасні ехолоти зазвичай мають декілька час-

**Таблиця 1. Порівняння параметрів і характеристик однопроменевих ехолотів**

Модель/Фірма	Hydrotrac II (Teledyne odom hydrographic)	EchoTrac CV100 (Teledyne odom hydrographic)	EchoTrac CV200/300 (Teledyne odom hydrographic)	EchoTrac МКIII (Teledyne odom hydrographic)	BATHY-2010PC (SyQwest Inc.)	HydroStar 4900 (L3-EIac)	HydroStar 4300 (L3-EIac)
Параметри							
Тип судна	Відкрите, закрите	Відкрите, закрите	Закрите	Закрите	Закрите		
Частота, кГц	24–30	3,5–750	3,5–1000	3,5–1000	3,5–200	10–1000	30–200
Вихідна потужність, Вт	600	300	2000	2000	4000	2000	800
Вхідна напруга, В	11–28	9–32	220/50	220/24	220/75	220	230/40
Роздільна здатність, м	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Точність, м	0,1	0,1	0,18	0,18	0,25	0,3	0,1
Діапазон глибин, м	600 або 1800	0,3–600	0,2–4000	0,2–4000	10–5000	0–10000	0–1000
Принтер	+		+	+	+		
Дисплей	+		+	+	+		
Синхронізація			+				
Робочі температури, °С	0–45	0–50	0–50	0–45	0–50		
Розміри, мм	368×419×203	280×230×115	89×432×325	450×450×300	375×483×133	400×505×422	470×350×210
Вага, кг	10,2	5	16	16	8,16 +ПК	25	17
Кількість каналів	1	1	2	2	1	1	2
Тип живлення (АС/DC)	DC	DC	AC, DC	AC, DC	AC, DC	AC	AC
Опції	+	+		+			
Інтерфейс	RS232, RS422, Ethernet		RS232, RS422	RS232, RS422	RS232, Centronics		

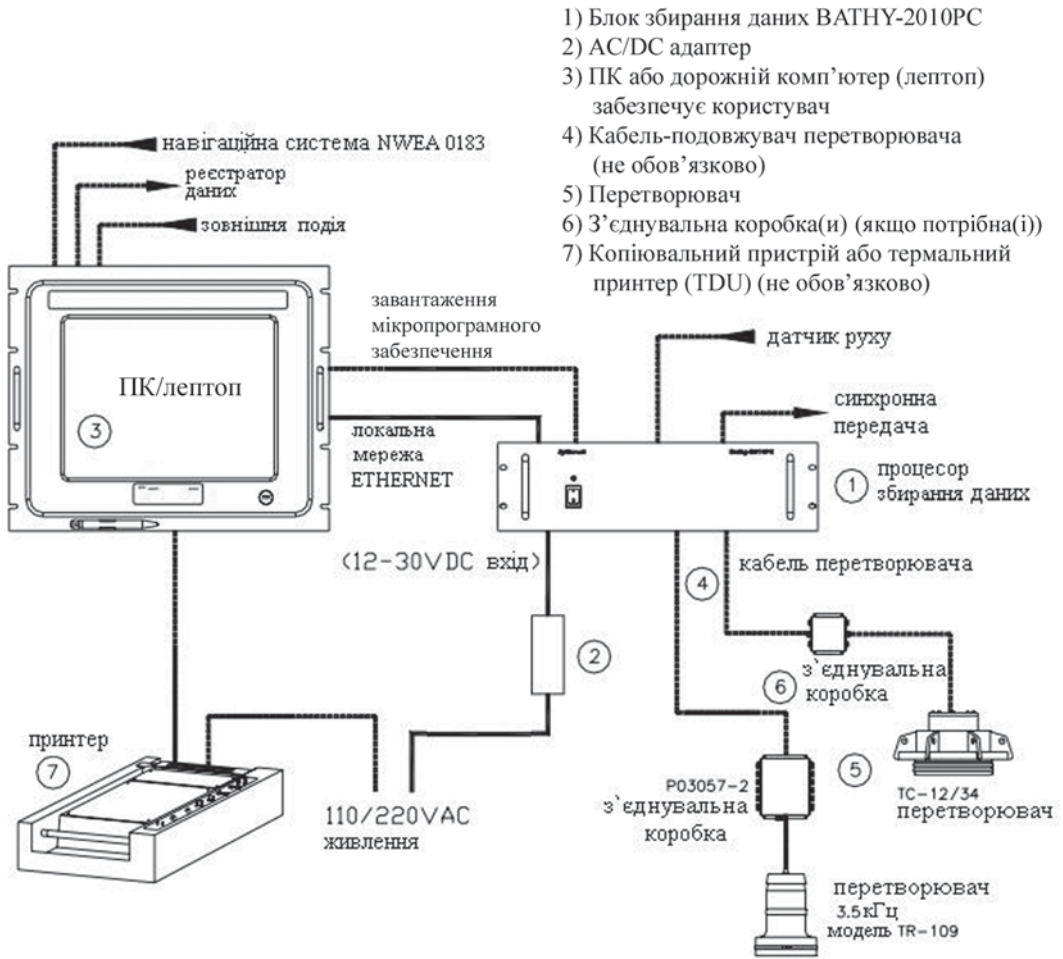


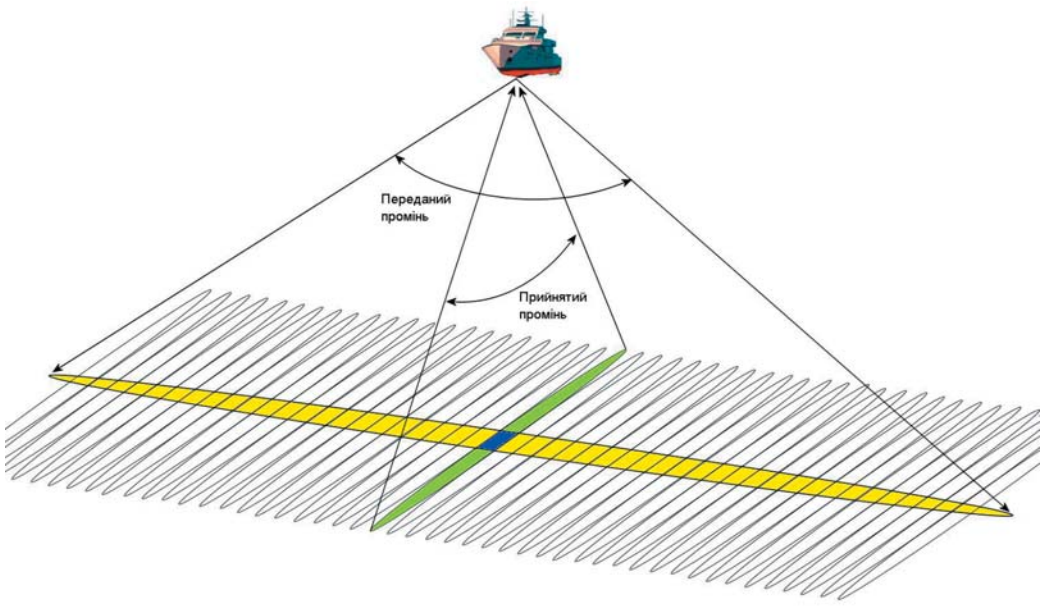
Рис. 4. Структура однопроменевого ехолота BATHY 2010PC (США) [9]

тот зондування, а саме дві або три. Така потреба з'являється тому, що досліджувані об'єкти розміщуються на різних відстанях. При цьому низька частота застосовується на великих морських глибинах, а її перетворювач має великі масо-габаритні показники [15, 16, 18], тоді як висока генерована частота дає змогу зменшити зазначені показники перетворювача, але діапазон прозвучування в такому випадку також зменшується унаслідок збільшення згасання хвиль.

Багатопроменеві ехолоти забезпечують розширення однопроменевого ехолота. Матриці гідроакустичних проекторів виробляють не тільки промірювання по

трасі, але й на великій відстані від траси корабля. При цьому нові багатопроменеві системи формують смугу зондувань, яка в сучасних глибоководних системах забезпечує смугу покриття на дні моря, що може бути до семи разів більшою, ніж глибина моря (рис. 5) [17]. Причому в Чорному морі в найглибших місцях вона становитиме аж до 14 км. Окрім того, щоб забезпечити повну картографію морського дна судно сканує суміжні смуги зондування зазвичай зі швидкістю від 6 до 12 миль на годину. З отриманим матеріалом про зондування виконують складання "мозаїки" топографії морського дна. Таким чином, системи багатопроменевих ехолотів використовують

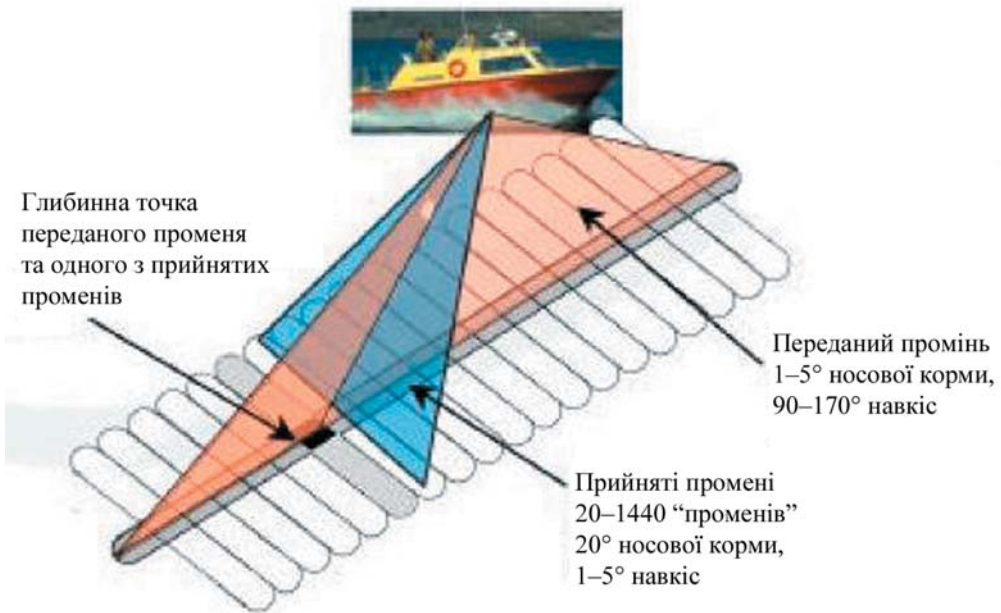




**Рис. 5. Зіставлення розгорток генерування та приймання сигналів гідролокатора [17]**

для збільшення покриття вкритих водою ділянок. Цей прилад під час морських спостережень є найпродуктивнішим, оскільки він збирає інформацію з досліджуваної

площі, а не профілю. Багатопроменеві ехолоти ґрунтуються на принципі одночасної передачі акустичних хвиль та їх прийманні у морській воді (див. рис. 6) [20].



**Рис. 6. Концепція багатопроменевого зондування [20]**

Можна відзначити, що вузький однопроменевий ехолот використовують відразу в декількох різних місцях на дні завдяки швидкісному скануванню й випромінюванню променів у морському середовищі [19]. У цьому відстежуванні напрямку судна (перпендикулярно траєкторії судна) вона називається шириною смуги і її вимірюють або як фіксований кут або як фізичний розмір, які можуть змінюватися зі зміною глибини морського дна.

Сьогодні поширені два типи багатопроневих ехолотів, а саме смугові системи та системи ковзання, які створюють багато променів при одній системі розгортки на кожному боці судна перпендикулярно поверхні судна. Для забезпечення функціонування багатопроневих ехолота до його складу вводять матриці передачі й приймання даних, електроніку для передачі і приймання даних, інтерфейс з опціями системного управління та опрацювання результатів у режимі реального часу та допоміжні системи, такі як система позиціонування, блок датчиків положення, зокрема крену, тангажа, вертикального коливання і значення вертикального переміщення та вимірвача швидкості звуку у воді (SVP). Основними характеристиками багатопроневих ехолотів є акустична частота, максимальна кутова апертура (розкриття), кількість променів, відстань між променями (пучками), тривалість і модуляція випромінювання (табл. 2). Відомо, що роздільна здатність систем збільшується зі зростанням частоти, але разом з цим зростає згасання хвиль у воді, тому більш високочастотні системи будуть малоглибинними, ніж більш низькочастотні системи [15, 16, 18], таким чином, акустична частота визначає глибинність системи. Наявні системи можна поділити на кілька типів: глибоководні системи (50–11 000 м), які працюють на частотах 12 кГц і нижче, вони призначені для глибоких океанів; системи середньої глибини з робочими частотами 30–50 кГц і вище, які використовують для картування континентального шель-

фу на глибинах до 3 000 м, і мілководні системи (5–1 000 м), які працюють на частотах 100–200 кГц, що призначені для картування континентального шельфу, а також мілководні системи (5–600 м), що працюють на частотах 300–500 кГц і використовуються для локальних досліджень (наприклад, порти, бухти та інші об'єкти). Чим більша тривалість імпульсу зондування, тим менше буде роздільна здатність під час досліджень. Тому на малих глибинах застосовують імпульси зондування зазвичай від 1 мс і більше, тоді як при глибинних дослідженнях потрібно застосовувати імпульси зондування до 15 мс.

Функції блоків керування передавачів і приймачів є такими. Блок управління передавачем подає привідні сигнали на всю матрицю проектора. Кожен вихід контролюється окремо на рівень потужності та визначають фазу і частоту вихідного сигналу. Це полегшує програмування затінення і рульового керування, а також передає стабілізацію променя з використанням хитного пучка. Блок управління приймачем управляє загальним циклом пінга. Він містить підсилювачі для гідрофонів, а також сигнальний процесор для формування променя, виявлення нижнього рівня та опрацювання даних. Блок управління сполучений з оператором станції через мережу Ethernet [15] (див. рис. 7 і 8). Підсилювач потужності передавача забезпечує підсилення силових сигналів, необхідне для досягнення потрібної потужності на виході. Після чого перетворювач перетворює ці електричні сигнали у звукові імпульси. Для цього блок управління передавача й приймача використовує головний перемикач багатопроневих системи, забезпечуючи їх перемикання. Кнопковими перемикачами забезпечується отримання сигналів блока управління. Ці імпульси реєструються за допомогою програмного забезпечення збирання даних фірми HydroStar .

Дуже важливим у системі є застосування **технології Mills Cross** (рис. 7 і 8) [2, 3, 10, 12, 19], в якій матриці проектора і гід-

**Таблиця 2. Порівняння параметрів і характеристик багатопроменевих ехолотів**

Об'єкт Параметри	Мала глибина води					Середня глибина води							Надглибока вода		
	SB 1185	SB 1180	EM 2040	7125	SB 1055/ 1050	SB 1050D	SB 3050	SB 3030	EM 710	7160	SB 3020	SB 3012	EM 122		
Модель	180	180			50/50	50/180	50	30			20	12	20		
Швидкість зондування (Імп./с)	126	126	800	512	126/126	126/126	918	918	800	512	301	301			
Кількість променів	153°	153°	140°	140°	153°/153°	153°/153°	140°	140°	140°	>127°	140°	140°			
Максимальна розгортка покриття сектору	300	600	500	450	1500/ 3000	1500/ 1500	3000/ 3000	7000	2000	3000	9000	11000	11000		
Максимальна глибина, м	180	180	200–400	200–400	50	50	50	30	70–100	44	20	12	12		
Робоча частота, кГц	1,5°	1,5°	1°	1 або 2°	1,5°	1,5°	1°/1,5° або 3°	1°/ 1,5° або 3°	0,5°/ 1 або 2°	1,5°	1 або 2°	1 або 2°	0,5°/ 1 або 2°		
Уздовж судна ширина променя	1,5°	1,5°	1°	0,5 або 1°	1,5°	1,5°	1 або 2°	1 або 2°	1 або 2°	2°	1 або 2°	1 або 2°	1°/2° або 4°		
Поперек судна ширина променя	0,15–3	0,15–3	20–600		0,15–10/ 0,15–10	0,3; 1; 3; 10/0,15; 0,3; 1; 3	0,15–10	0,40– 10	0,2–120		3–20	3–20			
Тривалість імпульсу, мс			26	6						120					
Роздільна здатність, мм	183	183	101	75	365/365	110/110	602	1433	226	76	846	6578	2960		
Максимальна вага, кг	48×37× 27	48×37× 27	203×84× 53	586×149× 142	162×266× 214	Немає даних	180× 568× 421	1822× 1057× 732	331× 165×154	175× 152×57	556× 779× 815	538× 1156× 1042	2612× 468×175		

роакустичного приймача мають бути розміщені строго перпендикулярно один до одного. Смуга морського дна, яка опромінена проектором, буде перетинатися зі смугою морського дна, що спостерігається гідрофонами. Це відбувається тільки на невеликій за розмірами ділянці, причому вона наближено відповідає ширині променя матриці проектора і гідрофонів. Водночас як відбиті сигнали виникають на всій опроміненій площі, звук може бути отриманий не від усієї спостережуваної зони, а тільки частини дна та опроміненої матриці проектора, де перетинаються дві смуги (рис. 5 і 6). Амплітуда трасування з матриці гідрофону буде містити тільки ті відбиті сигнали від переданого пінга, які відбуваються в цій зоні. Перпендикулярне розміщення проектора і гідрофонів лінійних матриць називається Мілс Хрестом.

Багатопробеневі системи ехолотів оснащують диференційними системами позиціонування (DGPS), що дає змогу користувачам отримувати максимальну точність від системи GPS. При цьому DGPS потребує використання двох GPS-приймачів (рис. 3 і 7). Один приймач, відомий як базова станція, яка розміщується в обстежуваному місці, а її координати точно відомі. Мета диференціальної системи GPS – використання опорної станції для вимірювання помилок у GPS сигналах і для обчислення коригування, щоб видалити помилки. Ці поправки потім передаються в режимі реального часу до штурмана, де вони в поєднанні із супутниковими сигналами, прийнятими навігаторами, забезпечують покращання навігації або позиціонування.

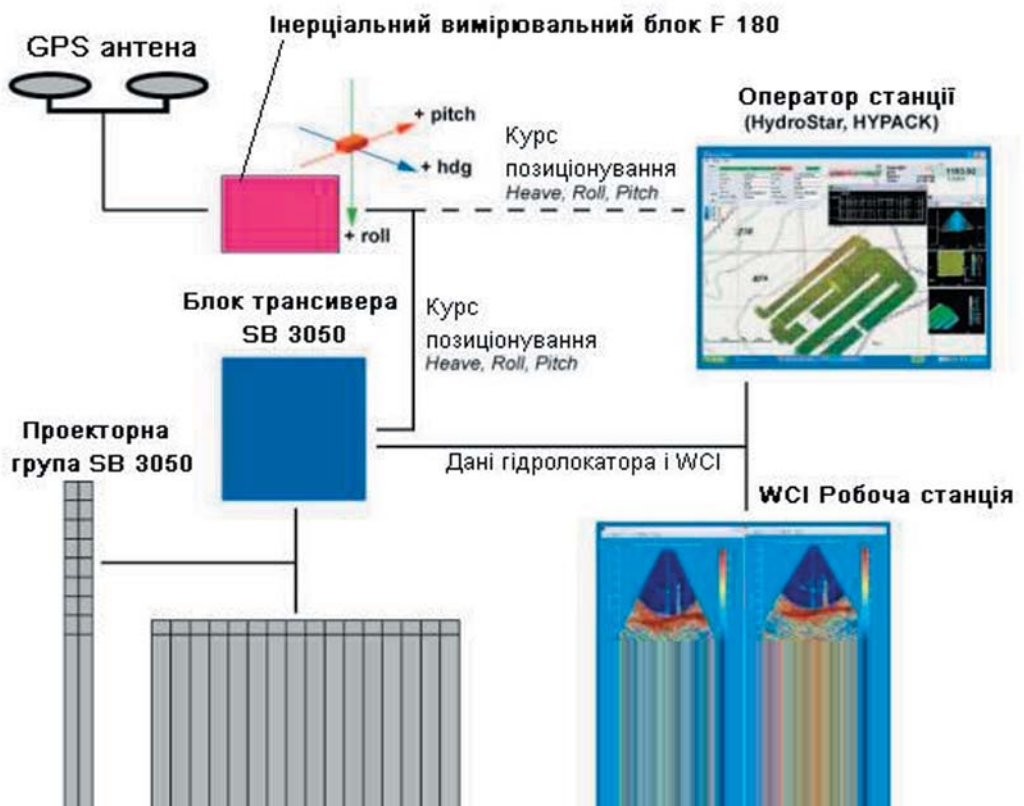


Рис. 7. Потік даних системи від гідролокатора, датчика руху та операційного керування ПК [2, 3, 10, 12, 19]

### 3.1. Багатопроменеві ехолоти з робочою станцією відображення стовпа води

У моделях багатопромених ехолотів Sea Beam 3012 та 3050 передбачено додаткові опційні робочі станції PC для дослідження зображень водяного стовпа (WCI). Ці станції (рис. 7) реєструють дані

зображень зворотного розсіяння від WCI і відображають їх у режимі реального часу. Указані робочі станції [10] підключаються до систем багатопроменевої Sea Beam 3012 чи 3050 через Ethernet при кожному пінгу від багатопроменевого ехолота. Оскільки при цьому істотно зростає обсяг

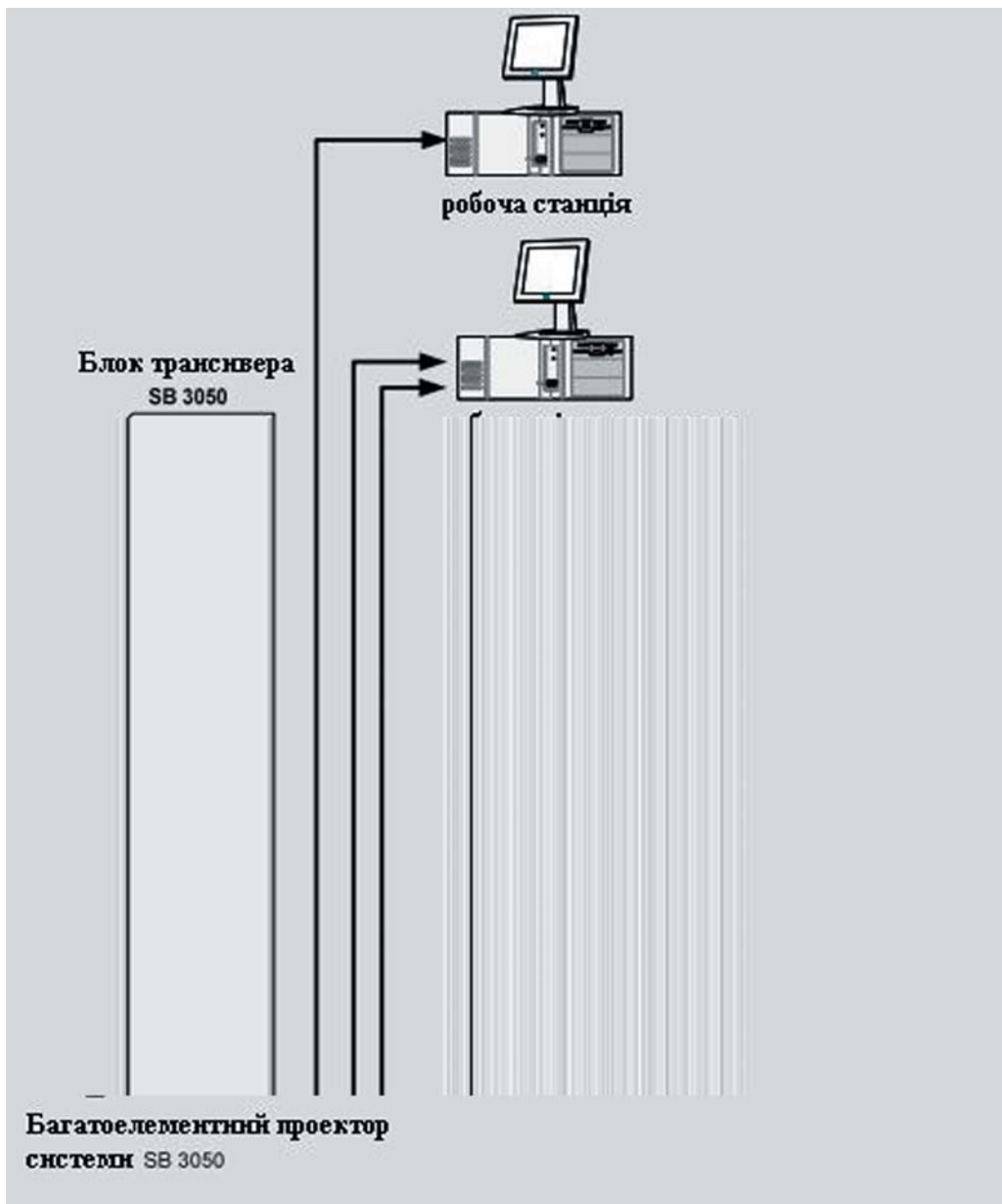


Рис. 8. Структура багатопроменевого ехолота SB 3050 фірми L-3 ELAC Nautik (Німеччина) [15]

інформації, то для її збереження використовують два вінчестери, це забезпечує неруйнівне збереження інформації і до того ж у дуже великому обсязі.

Також у багатопроменовому ехолоті потрібно застосовувати навігаційну робочу станцію. Таким чином, у багатопроменовому ехолоті є потреба у двох робочих станціях, одна з яких використовується для навігації, а інша – для дальшого опрацювання даних. Навігаційна робоча станція діє як процесор для навігаційних даних. Так само вона може зберігати всю навігаційну інформацію.

### **3.2. Робоча станція постобробки**

Робоча станція пост-обробки забезпечує процесор для опрацювання даних. Оператор станції має ПК новітніх технологій, який забезпечує графічний інтерфейс користувача на монітори TFT з високою роздільною здатністю для управління системою за допомогою програмного забезпечення фірми L-3 ELAC Nautik, розробленого фірмою HydroStar під назвою HydroStar ONLINE. Воно зв'язується електронікою гідролокатора через Ethernet як для контролю, так і для виконання звукової корекції швидкості, компенсації вертикального качання, навігаційного об'єднання й запису даних. Різноманітність відображення даних у режимі реального часу є доступною для контролю їх якості.

### **3.3. MBES звіт про дослідження WCI**

У розпорядженні для батиметрії на основі MBES маємо три стадії: а) збирання даних; б) оброблення даних; в) інтерпретація результатів.

а) Збирання даних. Гідролокатор-перетворювач випромінює акустичні імпульси, що поширюються всередині широко в поперечному напрямку і вузько по треку кутового сектора. Матриця приймача, спрямована перпендикулярно до блоку передачі, утворює велику кількість приймальних променів, які є вузькими по всій трасі, направляючи одночасно в різних напрямках по трасі за допомогою процесу формування променя. Таким чином, система виконує просторову фільтрацію аку-

стичних сигналів зворотного розсіювання від різних ділянок морського дна вздовж розгортки. Рис. 5 і 6 відображають типову геометрію передачі і приймання променів MBES. Відбиті імпульси реєструє приймач, після цього можна спостерігати ці відображення за допомогою програмного забезпечення HYDROSTAR.

б) Оброблення даних. Під час опрацювання даних досягається підвищення їх якості, вводяться потрібні поправки та усувається шум на записах.

в) Інтерпретація результатів. Дані смужкової батиметрії та акустичне зворотне розсіювання визначають морфологію і структуру морського дна та його природу на основі акустичних характеристик. Якщо потрібно, то структуру і морфологію морського дна можна додатково визначити за даними керна [19].

Застосування батиметрії охоплює широку сферу інтересів. Для того, щоб визначити морфологію і структуру дна, треба дослідити географію дна. Ці графіки використовують для безпечної навігації та під час укладання заокеанських кабелів. Вони є найвагомим кроком уперед у відображенні великих площ швидко й точно і мають важливе значення для вивчення геоморфології та морського дна. У поєднанні з докладною інформацією позиціонування (придбана за допомогою сучасних GPS навігаційних систем [1–3, 12, 19]) і передовою комп'ютерною графікою багатопроменові системи дають нам абсолютно новий погляд на морське дно.

### **Висновки**

1. Визначено, що сьогодні спостерігається тенденція до повсюдної заміни аналогових приладів на цифрові в морських дослідженнях. При цьому за останнє десятиліття велике поширення отримали датчики, які засновані на мікромеханічних системах МЕМС. Такі датчики насамперед затребувані в морській геофізиці. Перевага цих пристроїв зумовлена низкою причин, основними з яких є простота їх використання, невелика ціна, малі габарити, відсутність рухомих частин, висока

надійність, а також прийнятний промисловий температурний діапазон, який підходить для морських умов.

2. Проведений аналіз оснащення морських досліджень у зарубіжних країнах показав, що найбільше підходить принцип для проведення оснащення науково-дослідного судна, яке зроблене Геологічною службою США для Вудського польового центру (Массачусетс).

3. Сьогодні в морських дослідженнях мають найбільше поширення однопроменеві мікропроцесорні ехолоти через їх простоту і надійність. Проте наша рекомендація зводиться до моделі Bathy2010PC, яка оснащена сучасними різними типами збудників, котрі охоплюють великий частотний діапазон зондування, а сам пристрій має комп'ютерну побудову, що дає змогу не тільки покращити параметри і характеристики приладу, а також розширити функціональні можливості і його сервіс.

4. Багатопробленеві ехолоти забезпечують не тільки площинні дослідження, а також дають змогу здійснити акустичну класифікацію морського дна, причому для нас важливо, що деякі з них мають можливість відображати не тільки косяки риб, а також зображувати стовп води, в якому просочується газ з морського дна з високою якістю завдяки використанню великої кількості променів під час дослідження, зокрема майже до тисячі променів, як наприклад, у моделі SB3050. Тому, на нашу думку, для досліджень на Чорному морі газових просочувань (сипів) найбільше підходить багатопробленевий ехолот SB3050 фірми ELAC (Німеччина) як за технічними характеристиками й параметрами, так і за функціональними можливостями завдяки його оснащенню робочою станцією і програмному забезпеченню для аналізу та оцінки зображення водного стовпа.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Глубоководная система USBL позиционирования POSIDONIA II.  
<http://www.demetra5.kiev.ua/ru/catalog/USBL/POSIDONIA II>.

2. Датчики динамічних переміщень серії IMU-00. <http://www.demetra5.kiev.ua/ua/catalog/datchiki-peremeschniya/imu00/2?search=>.

3. Диференціальна корекція. <http://www.demetra5.kiev.ua/ua/info/articles/diffcorections>.

4. Меджахед Джафер. МЭМС-датчики движения от STMicroelectronics: акселерометры и гироскопы/Джафер Меджахед// Электронные компоненты. – 2009. – № 12. – С. 52–57.

5. Новиков А. В. Принцип работы волоконно-оптического гироскопа/А. В. Новиков//Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2006. – Т. 4. – 4 с.

6. Програмне забезпечення HYSWEEP для багатопробленевої зйомки.  
<http://www.demetra5.kiev.ua/catalog/HYPACK/HYSWEEP>.

7. Сущенко О. А. Обзор современного состояния волоконно-оптических датчиков угловой скорости и тенденции их развития/О. А. Сущенко, В. В. Пальчик//Електроніка та системи управління. – 2011. – № 3 (29). – С. 74–84.

8. Шерифф Р. Е. Англо-русский энциклопедический словарь терминов разведочной геофизики/Р. Е. Шерифф. Пер. с англ. А. А. Богданова. Ред. пер. И. И. Гурвич. – М.: Недра, 1984. – 351 с.

9. Bathy 2010PC™ CH SHIRP Sub Bottom Profiler and Bathymetric Echo Sounder (Installation, Operations, Maintenance)/2010 SyQwest Incorporated//END OF MANUAL. – 2011. – 80 p.

10. Bialas Joerg. Fluid emissions from mud volcanoes and cold seeps and fluid circulation at the Don-Kuban deep sea fan (Kerch peninsula, Crimea? Black Sea). Cruise Report P-427 RV Poseidon. February 23, 2012 – March 19, 2012/Joerg Bialas//GEOMAR: Helmholtz-Center for Ocean Research. – 28 p.

11. Deusser Rebecca E. The Sea-Floor mapping Facility at the U.S. Geological Survey Woods Hole Field Center, Woods Hole, Massachusetts/Rebecca E. Deusser, William C. Schwab, Jane F. Denny//U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. – USGS Fact Sheet FS -039 – 02 June 2002. – 2 p.

12. F 180 Precision Attitude and Positioning Sestems/CodaOctopus Ltd. – 2 p.

13. HYPACK INC (USA).  
<http://www.demetra5.kiev.ua/catalog/HYPACK>.

14. Meridata Finland Ltd. Multi-mode Sonar System for Seismic Data Acquisition, Sub-bottom Profiling and Side Scan Sonar Surveys (VD DSS). – Режим доступу: <http://meridata.fi>.

15. Multibeam SB 3050. Mapping the Continental Slope/L3 Elac Nautik GmbH, Germany. – 4 p.

16. Multibeam SB 3030/Mapping the Continental Rise/L-3 Elac Nautik GmbH (Germany). – 4 p.

17. Multibeam Sonar. Theory of Operation/L-3 commutation SeaBeam Instruments, 2000. – 107 p. <https://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/MBSsystem/sonarfunction/SeaBeamMultibeamTheoryOperation.pdf>.

18. SeaBeam SB 3012. Full Ocean Depth Multibeam System/L-3 Elac Nautik GmbH (Germany). – 4 p.

19. Single and Multibeam Echo Sonder: Submitted by Taichengmong Rajkumar Indian School of Mines Dhanbad Submitted to Ratan Strivastava. – Режим доступу: <https://www.slideshare.net/TaichengmongRajkumar/mbes-taicheng-report>.

20. Wells Dave. Technical Developments in Depth Measurement Techniques and Position Determination from 1960 to 1980/Dave Wells, Steve Grant//Charting the Secret World of the Ocean Floor: The GEBCO Project 1903–2003.

#### REFERENCES

1. Deepwater USBL positioning system POSIDONIA II. [http://www.demetra5.kiev.ua/ru/catalog/USBL/POSIDONIA II](http://www.demetra5.kiev.ua/ru/catalog/USBL/POSIDONIA%20II). (In Russian).

2. The dynamic displacement transducer series IMU-00. <http://www.demetra5.kiev.ua/ua/catalog/datchiki-peremeschniya/imu00/2?search=>. (In Ukrainian).

3. Differential Correction. <http://www.demetra5.kiev.ua/ua/info/articles/diffcorections>. (In Ukrainian).

4. Dzhafer Medzhahed. MEMS motion sensors from STMicroelectronics: accelerometers and gyroscopes//Elektronnye komponenty. – 2009. – № 12. – P. 52–57. (In Russian).

5. Novikov A. V. Principle of operation of a fiber optic gyroscope//Interjekspo Geo-Sibir. – 2006. – Vol. 4. – 4 p. (In Russian).

6. Software HYSWEEP for multibeam surveys. <http://www.demetra5.kiev.ua/catalog/HYPACK/HYSWEEP>. (In Ukrainian).

7. Sushhenko O. A., V. V. Palchik. Overview of the current state of fiber-optic sensors for

angular velocity and their development trends//Elektronika ta systemy upravlinnia. – 2011. – № 3 (29). – P. 74–84. (In Russian).

8. Sheriff R. E. English-Russian encyclopedic dictionary of terms of exploration geophysics/Per. s angl. A. A. Bogdanova. Red. per. I. I. Gurvich. – Moskva: Nedra, 1984. – 351 p. (In Russian).

9. Bathy 2010PC™ CH SHIRP Sub Bottom Profiler and Bathymetric Echo Sounder (Installation, Operations, Maintenance)/2010 SyQwest Incorporated//END OF MANUAL. – 2011. – 80 p.

10. Bialas Joerg. Fluid emissions from mud volcanoes and cold seeps and fluid circulation at the Don-Ruban deep sea fan (Kerch peninsula, Crimea? Black Sea). Cruise Report P-427 RV Poseidon. February 23, 2012 – March 19, 2012//GEOMAR: Helmholtz-Center for Ocean Research. – 28 p.

11. Deusser Rebecca E., Schwab William C., Denny Jane F. The Sea-Floor mapping Facility at the U.S. Geological Survey Woods Hole Field Center, Woods Hole, Massachusetts//U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. – USGS Fact Sheet FS-039 – 02 June 2002. – 2 p.

12. F 180 Precision Attitude and Positioning Systems/CodaOctopus Ltd. – 2 p.

13. HYPACK INC (USA). Available at: <http://www.demetra5.kiev.ua/catalog/HYPACK>.

14. Meridata Finland Ltd. Multi-mode Sonar System for Seismic Data Acquisition, Sub-bottom Profiling and Side Scan Sonar Surveys (VD DSS). Available at: <http://meridata.fi>.

15. Multibeam SB 3050. Mapping the Continental Slope/L3 Elac Nautik GmbH, Germany. – 4 p.

16. Multibeam SB 3030/ Mapping the Continental Rise/L-3 Elac Nautik GmbH (Germany). – 4 p.

17. Multibeam Sonar. Theory of Operation/L-3 commutation SeaBeam Instruments, 2000. – 107 p. Available at: <https://www.ldeo.columbia.edu/res/pi/MBSsystem/sonarfunction/SeaBeamMultibeamTheoryOperation.pdf>.

18. SeaBeam SB 3012. Full Ocean Depth Multibeam System/ L-3 Elac Nautik GmbH (Germany). – 4 p.

19. Single and Multibeam Echo Sonder: Submitted by Taichengmong Rajkumar Indian School of Mines Dhanbad Submitted to Ratan Strivastava. Available at: <https://www>.



slideshare.net/TaichengmongRajkumar/mbes-taicheng-report.

20. Wells Dave, Grant Steve. Technical Developments in Depth Measurement Tech-

niques and Position Determination from 1960 to 1980//Charting the Secret World of the Ocean Floor: The GEBCO Project 1903–2003.

Рукопис отримано 18.05.2017.

**С. В. Гошовский**, Украинский государственный геологоразведочный институт, ORCID-0000-0002-8312-6244,

**П. Т. Сиротенко**, Украинский государственный геологоразведочный институт, ORCID-0000-0001-6118-6038

### **СОВРЕМЕННОЕ ОСНАЩЕНИЕ МОРСКИХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ. Статья 1**

*Рассмотрено современное состояние и перспективы развития оснащения морских исследований в энергетическом и экологическом аспекте. Установлено, что при морских исследованиях проводят изучение таких объектов, которые находятся в твердой, жидкой, газовой или комбинированной фазе, для которых созданы необходимые средства для проведения исследований. Наибольшее распространение в морских исследованиях имеют геофизические и геохимические методы. В данной работе рассмотрены технические средства, используемые при геофизических исследованиях, а именно: для акустических и сейсмических методов. Проведен анализ средств, применяемых для технической реализации методов, которые востребованы в морских условиях при оснащении научно-исследовательских судов. Проанализирован опыт, приобретенный в передовых морских странах при изучении углеводородных ресурсов, таких как США, Великобритания, Норвегия, Дания, Германия, Канада, Франция и др. Полученные при этом данные в этих странах показывают перспективу внедрения акустических и сейсмических методов исследований в морских условиях. В последнее время наблюдается замена аналоговых приборов на цифровые, в частности на наиболее перспективные, основанные на микромеханических системах МЭМС с электронной обработкой. Считаем, что для морской геофизики перспективными являются одноосный угловой скорости датчик (гироскоп) и трехосный емкостной МЭМС-акселерометр. Оснащение современной дифференциальной навигационной системой проведения исследований позволяет получить высокую точность положения объекта и наведения лучей гидролокатора на объекты, что является важным при отображении газовых пузырьков в столбе воды. Однолучевые эхолоты благодаря компьютеризации получили расширение функциональных возможностей, а использование различного частотного диапазона возбuditелей сейсмоакустических волн при исследованиях позволило при поддонном профилировании получить более глубокие разрезы с лучшим разрешением. Многолучевые эхолоты обеспечивают площадную съемку морского дна и качественную его акустическую классификацию. Исследования с многолучевым эхолотом, который формирует до тысячи лучей, обеспечивают возможность отображения газовых пузырьков при просачивании не только больших размеров, а также малых, то есть обеспечивают более точную оценку объема просачивания газа. Применение нелинейной акустики открывает новые возможности в исследованиях объема свободного газа, который просачивается с морского дна.*

**Ключевые слова:** микромеханические системы гироскопов и акселерометров, однолучевые и многолучевые эхолоты, поддонное профилирование, распознавание просачиваний газа на морском дне.

**S. V. Goshovsky**, *Ukrainian State Geological Research Institute*, ORCID-0000-0002-8312-6244,  
**P. T. Syrotenko**, *Ukrainian State Geological Research Institute*, ORCID-0000-0001-6118-6038  
**MODERN EQUIPMENT OF MARINE GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL RESEARCH. Article 1**

*The current state and possibilities for marine research equipment development in the energy and environmental aspects have been considered. The necessary means for conducting research works on marine objects which are in a solid, liquid, gas, or combined phases have been created. Geophysical and geochemical methods are the mostly widespread ones in marine explorations. In this paper, we consider the technical means for acoustic and seismic methods widely used in marine geophysical researches. The analysis of the means used for the technical implementation of the early mentioned methods while equipping scientific research vessels have been analyzed also. The experience gained by advanced marine countries in studying hydrocarbon resources such ones as the USA, Great Britain, Norway, Denmark, Germany, Canada, France, etc. have been analyzed. The data obtained in these countries show the prospect of introducing acoustic and seismic methods of researches in marine conditions. Recently, there has been observed a substitution of analog devices for digital ones, in particular for the most promising ones based on MEMS micromechanical systems with electronic processing. Our understanding is that one-axial angular velocity sensor (gyroscope) and three-axial capacitive MEMS accelerometer are promising for marine geophysics. Conducting research works under equipping with modern differential navigational system allows obtain object position with high accuracy. High-precision sonar beam of echo-ranging sonar system pointing on water column under research across which air bubbles are passing is of a great importance. Single-beam echo sounders have expanded functional capabilities thanks to computerization. Difference of frequency ranges of signal sources while the seabed shooting allowed to gain deeper sections with higher accuracy. Multi-beam echo sounders allow to get areal survey of sea bottom and its qualitative acoustic classification. Investigations with a multi-beam echo sounder that form up to thousands of rays provide the ability to display gas bubbles during percolation not only of large dimensions, but also of a small ones, that is, it provides a more accurate estimate of the volume of gas leakage. The use of nonlinear acoustics opens up new possibilities in studying volume of free gas that seeps from the seabed.*

**Keywords:** *micromechanical systems of gyroscopes and accelerometers, single-beam and multi-beam echo sounders, bottom profiling, water column image, gas bubble volume estimation, seepage detection.*