

АВИАЦИОННЫЕ БАТИМЕТРИЧЕСКИЕ СКАНИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ. ВОЗМОЖНОСТИ И СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ

О.Е. Бублик («Штокман Девелопмент АГ»)

В 1989 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «космическая геодезия». В настоящее время — начальник отдела инженерных изысканий департамента морского добычного комплекса компании «Штокман Девелопмент АГ».

В.Г. Грязнов (НП АГП «Меридиан+»)

В 1983 г. окончил Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова по специальности «физика». В настоящее время — директор по развитию ООО «НП АГП «Меридиан+». Кандидат физико-математических наук.

И.М. Залялов (НК «Роснефть»)

В 1980 г. окончил Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова по специальности «прикладная геодезия». В настоящее время — главный маркшейдер ОАО «НК «Роснефть». Кандидат технических наук.

С.А. Кадничанский (НП АГП «Меридиан+»)

В 1973 г. окончил аэрофотогеодезический факультет МИИГАиК по специальности «аэрофотогеодезия». В настоящее время — главный технолог ООО «НП АГП «Меридиан+». Кандидат технических наук.

У.Д. Самратов (НП АГП «Меридиан+»)

В 1962 г. окончил Омский сельскохозяйственный институт по специальности «инженерная геодезия». В настоящее время — советник генерального директора ООО «НП АГП «Меридиан+». Кандидат технических наук. Лауреат премии им. Ф.Н. Красовского.

В.В. Хвостов (НП АГП «Меридиан+»)

В 1967 г. окончил Ленинградское военно-топографическое училище, а в 1977 г. — Военно-инженерную академию им. В.В. Куйбышева. В настоящее время — советник генерального директора ООО «НП АГП «Меридиан+». Кандидат технических наук. Лауреат Государственной премии РФ.

О.Ф. Чуркин («Питер Газ»)

В 1984 г. окончил Высшее военно-морское училище им. М.В. Фрунзе по специальности «гидрография». В настоящее время — начальник сектора навигации Управления инженерных изысканий ООО «Питер Газ». Кандидат технических наук.

А.М. Шарков (ГНИНГИ, Санкт-Петербург)

В 1989 г. окончил Высшее военно-морское училище им. М.В. Фрунзе, в 1999 г. — юридический факультет Московского гуманитарного института, а в 2003 г. — Военно-морскую академию им. Н.Г. Кузнецова. В настоящее время — начальник отдела гидрографических исследований ОАО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт» (ГНИНГИ). Кандидат технических наук.

Освоение морских пространств — одно из главных направлений развития мировой цивилизации в третьем тысячелетии. В соответствии с «Морской доктриной Российской Федерации на период до 2020 года» [1] сущность национальной политики большинства государств в обозримом будущем составит освоение Мирового океана, а также неизбежное соперничество на этом пути.

Россия традиционно относится к числу ведущих морских держав, занимающих активную позицию в изучении, освоении и эксплуатации Мирового океана. Для экономики РФ Мировой океан и, в первую очередь, моря, омывающие побережье страны, играют первостепенную роль. Это обусловлено протяженностью российской морской границы, которая составляет 38,8 тыс. км, и площадью шельфа в 4,2 млн км², из которых

3,9 млн км² перспективны на углеводородные ресурсы. По оценке специалистов более 80% запасов нефти и газа России сосредоточено на шельфе ее северных морей.

Вместе с этим состояние работ по геодезическому и картографическому обеспечению континентального шельфа Российской Федерации, Арктического и Антарктического бассейнов, а также по навигационно-гидрографическому обеспечению (НГО) морских путей в настоящее время не отвечает требованиям социально-экономического развития страны. Работы по созданию топографических карт континентального шельфа прекратились в 1991 г., а по НГО — сократились в 10 и более раз.

Для преодоления наметившегося отставания, в первую очередь, требуется модернизировать нормативно-правовую базу в области геодезического, гидрографического и картографического обеспечения морской деятельности. Разработанные более 20 лет назад документы по топографической съемке шельфа и внутренних водоемов явно устарели, требуют обновления и гармонизации со стандартами Международной гидрографической организации (МГО) [2] и другими международными стандартами.

Необходимо разработать нормативную базу геодезического обеспечения гидрографических работ на основе постоянно действующих спутниковых референчных (базовых) станций ГЛОНАСС/GPS берегового и островного базирования, считая их составной частью федеральной спутниковой дифференциальной сети и сервисов по предоставлению дифференциальной информации, предусмотренных «Концепцией развития отрасли геодезии и картографии до 2020 года» [3].

Необходимо осуществить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в

целях создания новых, более производительных средств дистанционного зондирования земной поверхности и морского дна с носителей морского, авиационного и космического базирования. В частности, следует ликвидировать отставание в области разработки авиационных батиметрических сканирующих систем, позволяющих быстро и с достаточно высокой точностью определять подводные объекты и рельеф морского дна.

В порядке изучения передового зарубежного опыта авторами были рассмотрены устройства, принцип действия и опыт применения двух авиационных батиметрических сканирующих систем: HawkEye II (АНАВ, Швеция, www.airbornehydrography.com) и Shoals-3000 (Optech Ltd., Канада, www.optech.ca). На рис. 1 и 2 показан внешний вид этих систем.

Принцип действия авиационной батиметрической системы основан на измерении интервала времени между моментом отражения лазерного импульса от поверхности воды и от дна водоема. Сигналы, порождаемые отраженными импульсами, интерпретируются и обрабатываются лазерной сканирующей системой, в результате чего определяется значение глубины водоема для данного зондирующего импульса (рис. 3).

В рассматриваемых системах используются два типа лазера:

— в ближнем ИК диапазоне (1064 нм), для определения пространственного положения точек отражения от водной поверхности;

— в зеленом диапазоне (532 нм), для определения пространственного положения точек отражения от дна водоема.

Красный импульс почти полностью отражается от поверхности воды, тогда как зеленый проникает в воду, рассеивается в ней и отражается от морского дна. Глубина проникновения зеленого импульса в 2,5–3 раза



Рис. 1

Авиационная батиметрическая сканирующая система HawkEye II



Рис. 2

Авиационная батиметрическая сканирующая система Shoals-3000

больше показателя прозрачности воды, определяемого по глубине исчезновения из вида плоского диска белого или черно-белого цвета диаметром, обычно, 20–30 см, так называемого диска Секки. Диск опускают на такую глубину, чтобы он полностью исчез из виду. Эта глубина и считается показателем прозрачности (рис. 4).

Прозрачность зависит от избирательной способности воды поглощать и рассеивать световые лучи. При большой прозрачности вода приобретает интенсивный синий цвет, который характерен для открытого океана. При наличии значительного количества взвешенных частиц, сильно рассеивающих свет, вода имеет сине-зеленый или зеленый цвет, характерный для прибрежных районов и некоторых замкнутых морей. В местах впадения крупных рек, несущих большое количество взвешенных частиц, цвет воды принимает желтые и коричневые оттенки. Максимальная величина прозрачности в море Уэдделла (у берегов Антарктиды) — 79 м, в Саргассовом море — 66 м, в Индийском океане — 40–50 м, в Тихом океане — 59 м. Теоретически в дистиллированной воде

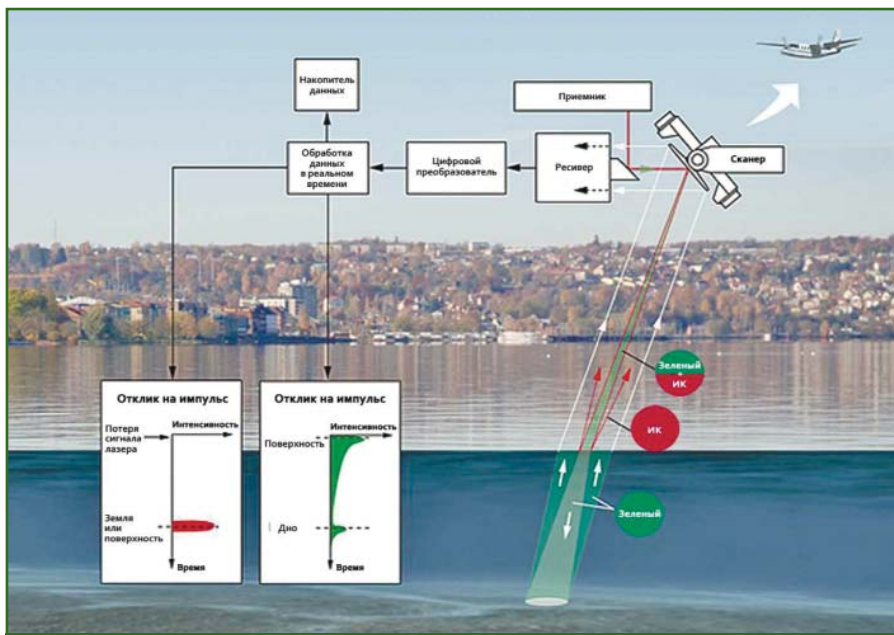


Рис. 3
Принцип действия авиационной батиметрической системы на примере HawkEye II

диск Секки должен исчезать на глубине 80 м.

Максимальная измеряемая глубина с помощью системы HawkEye II соответствует трехкратной глубине прозрачности и составляет для Северного моря — до 40 м, Средиземного моря — 30 м, Карибского моря — 50 м.

Основные технические характеристики, приведенные в табл. 1, показывают, что обе

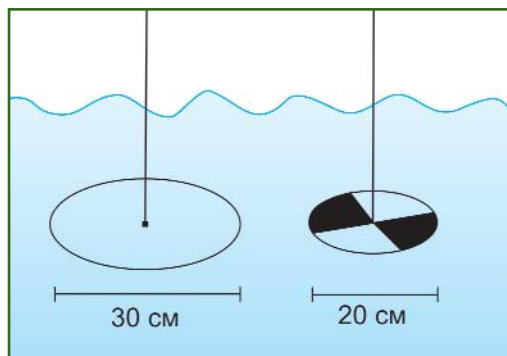


Рис. 4
Принцип измерения прозрачности воды

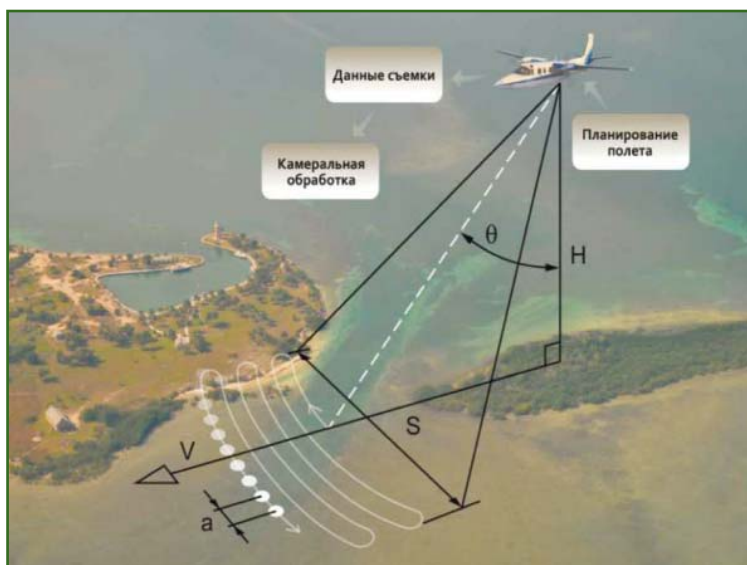


Рис. 5
Схема съемки земной поверхности и морского дна с помощью HawkEye II

системы основаны на идентичном принципе определения планово-высотного положения точек отражения и обеспечивают практически одинаковую точность съемки рельефа дна. Однако по ряду характеристик HawkEye II имеет некоторые преимущества перед Shoals-3000. Одним из них является возможность системы в стандартной комплектации одновременно выполнять топографическую и гидрографическую съемки с более высокой плотностью и точностью, при этом данные объединяются без швов (рис. 5). Для решения этой задачи с помощью Shoals-3000 требуется подключение допол-

нительных опций. Кроме того, HawkEye II имеет более широкую полосу захвата при более высокой плотности сканирования, что позволяет повысить производительность съемки не менее, чем на 10% по сравнению с Shoals-3000. Точность измерения глубины для обеих систем соответствует стандарту МГО Order 1, а точность съемки при этом — требованиям, предъявляемым к топографическим картам (планам) шельфа и внутренних водоемов масштаба 1:2000 и мельче (с учетом требований к точности съемки побережья) и высоте сечения рельефа мор-

ского дна и побережья от 0,5 м и более.

Авиационная батиметрическая сканирующая система HawkEye II монтируется в кабине самолета и позволяет выполнять гидрографическую съемку с производительностью до 30 км² в час при плотности точек рельефа дна акватории 1,6х1,6 м. Пользовательский интерфейс в режиме реального времени отображает глубину и высоту покрываемых съемкой участков. Набор программных средств для обработки материалов съемки, поставляемый вместе с системой, дает возможность

объединять «облака точек», строить DSM и DTM, выполнять классификацию объектов, создавать топографические карты суши и морские карты с корректировкой под стандарт МГО, ортофотопланы, векторные карты береговой линии и др.

Были выполнены исследования, которые позволили установить соотношение между различными масштабами карт (планов), плотностью точек отражений лазерного импульса и шириной полосы захвата (табл. 2).

Применительно к условиям сплошной (площадной) съемки морской акватории была выпол-

Основные технические характеристики авиационных батиметрических сканирующих систем

Таблица 1

Наименование технических характеристик	Авиационные батиметрические сканирующие системы	
	HawkEye II	Shoals-3000
Частота импульсов:		
— при гидрографической съемке, Гц	4000	3000
— при топографической съемке, Гц	64 000	20 000
Высота полета (H), м	250–500	300–400
Ширина полосы захвата (S), м	100–330	0,75 H; 300 м при плотности точек 4х4 м ² (типичная)
Скорость воздушного судна (V), км/час	288 (при H = 400 м и плотности 1,5 точки на 1 м ²)	231–330
Система определения положения и ориентации	Applanix 410	Applanix POS AV
Глубина измерения морского дна:		
— максимальная, м	70	50
— минимальная, м	0,3	0,2
Плотность точек при гидрографической съемке (расстояние между точками отражения), м	От 1,5х1,5 до 4,5х4,5	2х2, 3х3, 4х4, 5х5
Точность гидрографической съемки (СКО):		
— в плане, м	2,5	2,5
— по высоте, м	0,25	0,25
Плотность точек при топографической съемке, точек на 1 м ²	От 1 до 4	—
Точность топографической съемки (СКО):		
— в плане, м	0,5	2,0 при DGPS или 2/1000H при KGPS
— по высоте, м	0,15	0,25
Минимальный размер объектов, определяемых на морском дне, м	От 1,5 до 4,5	От 2 до 5
Объем накопителя данных	На 10 часов работы	Сменные жесткие диски
Потребляемая электроэнергия, А/В	50/28	70/28
Рабочая температура, °С	40 (максимальная), по минимальному значению нет данных	5–35
Масса, кг	190	217

нена ориентировочная оценка экономической эффективности применения авиационной батиметрической системы HawkEye II. В табл. 3 приведены основные экономические показатели при проведении сплошной съемки морского дна.

Из приведенных в табл. 3 данных видно, что авиационные батиметрические сканирующие системы наиболее полно отвечают задачам крупномасштабной съемки, а именно, в масштабах 1:2000 и 1:5000. Для масштаба 1:2000 необходима сплошная съемка (без разрывов между полосами съемки отдельных маршрутов). Для масштаба 1:1000 и более крупных масштабов в соответствии с требованиями нормативных документов по созданию планов шельфа и внутренних водоемов [4, 5] могут быть разрывы между полосами сканирования маршрутов. Следует иметь в виду, что при съемке в масштабах 1:10 000 и мельче с помощью авиационной батиметрической системы плотность точек получается даже избыточной.

Для коллегиального рассмотрения технических и экономических характеристик, а также определения возможных сфер применения авиационных батиметрических сканирующих систем были привлечены специалисты разных отраслей экономики (в основном, нефтегазовой отрасли) и создано постоянно действующее техническое сове-

Соотношения между масштабами карт (планов), плотностью точек отражений лазерного импульса и шириной полосы захвата

Таблица 2

Масштабы карт (планов)	Плотность точек отражений (расстояние между точками, м)		
	3,2x3,2	2,4x2,4	1,7x1,7
Расстояние между точками в масштабе карты (плана), мм			
1:2000	1,6	1,2	0,85
1:5000	0,6	0,5	0,3
1:10 000	0,32	0,24	0,17
1:25 000	0,128	0,096	0,068
1:50 000	0,064	0,048	0,034
Ширина полосы захвата в масштабе карты (плана), мм			
1:2000	165	115	50
1:5000	66	46	20
1:10 000	33	23	10
1:25 000	13,2	9,2	4
1:50 000	6,6	4,6	2

щение (ПДТС) по авиационной лазерной батиметрии. Первое заседание ПДТС состоялось 25 января 2011 г. на базе НП АГП «Меридиан+», второе — 8–10 апреля 2011 г. на базе фирмы АНАВ (Йончепинг, Швеция).

Проведенные мероприятия позволили сформулировать следующие выводы и предложения.

1. Авиационная батиметрическая система является новым инновационным техническим средством для проведения гидрографических изысканий, которое в определенных условиях может обеспечить более высокую производительность и экономическую эффективность по сравнению с технологией применения многолучевых эхолотов.

Из сравнения технических показателей двух рассмотренных систем более эффективной представляется HawkEye II.

Фактическая возможная глубина съемки зависит от погодных условий и прозрачности воды и не превышает 2,5–3,0 глубины прозрачности, измеренной диском Секки.

2. Производительность авиационной батиметрической сканирующей системы в условиях мелководья порядка в 3–5 раз превышает производительность гидролокационной съемки с судна [6].

3. Авиационная батиметрическая система обеспечивает точность плановой и высотной съемки, соответствующую требо-

Ориентировочная оценка экономической эффективности системы HawkEye II Таблица 3

Наименование оцениваемых показателей	Значения показателей		
	3,2x3,2	2,4x2,4	1,7x1,7
Плотность точек (расстояние между точками), м	3,2x3,2	2,4x2,4	1,7x1,7
Масштаб плана	1:5000	1:2000	1:2000
Число полетных аэросъемочных дней в году	87	87	87
Объем работ за год из расчета указанных полетных дней в году, км ²	17 010,2	11 855,6	5154,6
Себестоимость годового объема работ, тыс. руб.	121 415,5	120 674,5	119 711,2
Себестоимость съемки 1 км ² , включая камеральные работы:			
— системой HawkEye II, тыс. руб.	7,1	10,2	23,2
— промер глубин с судна многолучевыми эхолотами (II категория трудности), тыс. руб.	12,7	55,1	55,1

ваниям создания топографических планов (карт) континентального шельфа и внутренних водоемов масштаба 1:2000 и мельче.

4. Объем съемки масштаба 1:2000, обеспечиваемый системой HawkEye II, составляет от 5000 до 17 000 км² в год в зависимости от требуемой плотности точек отражения. Затраты на приобретение одного комплекта оборудования окупаются за 2,8 года.

5. Вместе с этим система HawkEye II по сравнению с многолучевым эхолотом имеет как преимущества, так и недостатки.

Отметим преимущества HawkEye II:

— производительность и экономический эффект в 2–5 раз выше по сравнению с многолучевым эхолотом в диапазоне глубин от уреза воды 30–50 м;

— в указанном диапазоне глубин обеспечивает точность и детальность определения рельефа дна в соответствии с требованиями классов 1a, 1b и 2 стандарта МГО [2], что отвечает точности топографических планов (карт) масштаба 1:2000 и мельче;

— позволяет одновременно получать как батиметрические, так и топографические данные на прибрежную территорию;

— возможно использование на протяженных участках трассы изысканий при наличии значительного количества водных объектов (переходов), таких как озера, реки, заполненные водой территории в период паводков и пр.;

— весьма эффективна для съемок, представляющих опасность и затруднения при их выполнении с морских судов: архипелаги, отмели, рифы, подводные скалы, а также при обнаружении мест, опасных для навигационного использования, и мониторинга состояния судоводных каналов;

К недостаткам HawkEye II относятся:

— высокая зависимость от погодных условий и прозрачности воды;

— невозможность использования на больших глубинах (для районов, где ведутся работы по проектированию газопроводов, нефтепроводов максимально возможная глубина съемки в среднем составляет около 30 м [7]);

— точность и детальность съемки рельефа дна не соответствует требованиям класса Special стандарта МГО [2] и точности топографических планов масштаба 1:1000;

— невозможность обеспечить требуемую точность инженерных изысканий на стадии «Рабочая документация» при проектировании газопроводов и нефтепроводов [8].

В заключение, следует отметить следующие возможные сферы применения авиационных батиметрических сканеров:

1. Создание и обновление топографических (гидрографических) карт (планов) мелководных акваторий континентального шельфа и внутренних водоемов масштабов 1:2000 и мельче.

2. Инженерно-гидрографические изыскания для разработки предпроектной документации, обоснования инвестиций в строительство, схем генерального плана, выбора вариантов трасс нефте-, газопроводов, других надводных и подводных сооружений на мелководных акваториях континентального шельфа и внутренних водоемов. Для разработки проектов строительства указанных объектов необходимо предусматривать гидрографические съемки с применением многолучевых эхолотов, удовлетворяющих требованиям класса Special МГО [2].

3. Природоохранные изыскания, связанные с мониторингом запасов (объемов) воды в замкнутых водоемах, контролем и охраной берегов, подверженных водной эрозии, мероприятиями по выращиванию марикультур и т. п.

4. Съемка в районах, опасных для проведения работ с морских

судов: архипелаги, отмели, рифы, подводные скалы.

5. Определение точных границ береговой линии.

6. Обнаружение мест, опасных для навигационного использования.

▼ Список литературы

1. Морская доктрина Российской Федерации на период до 2020 г. Утверждена Президентом Российской Федерации 27 июля 2001 г. № Пр.-1387.

2. IHO Standards for Hydrographic surveys. 5th Edition, February 2008. Special Publication № 44.

3. Концепция развития отрасли геодезии и картографии до 2020 года. Утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 декабря 2010 г. № 2378-р.

4. Инструкция по созданию топографических карт шельфа и внутренних водоемов. ГКИНП-11-152-85.

5. Руководство по топографической съемке шельфа и внутренних водоемов. ГКИНП-11-157-88.

6. Правила гидрографической службы № 4. Съемка рельефа дна. ПГС № 4. УНиО МО РФ, 2010 г. (проект).

7. СП 11-114-2004. Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений.

8. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Часть III. Инженерно-гидрографические работы при инженерных изысканиях для строительства.

RESUME

Results of comparative analysis of the technical characteristics of the aerial bathymetric scanner HawkEye by the AHAB company (Sweden) and the Shoals-3000 by the Optech company (Canada) are given. Based on the experience of the bathymetric scanners application during hydrographic survey, there are noted their high productivity and cost efficiency compared with the multibeam echo sounders, despite the strong dependence of the survey depth on water clarity. Spheres of possible applications of aviation bathymetric scanner are justified.