

на правах рукописи

АМЕЛЬЧЕНКО  
Сергей Георгиевич

ОЦЕНКА СВОЙСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В  
ГИДРОГРАФИИ ДЛЯ СЪЕМКИ ПОДВОДНОГО РЕЛЬЕФА И  
ПОИСКА ЗАТОНУВШИХ ОБЪЕКТОВ, ОСНОВАННАЯ НА  
МЕТОДАХ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Специальность 05.22.17 – Водные пути сообщения и гидрография

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2009

Работа выполнена в Государственной морской академии имени адмирала С.О.Макарова на кафедре «Гидрография моря»

Научный руководитель: доктор технических наук  
профессор А.Л. Тезиков

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор  
Г.В. Макаров

кандидат технических наук  
В.О. Мятелков

Ведущая организация: ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана»

Защита состоится “18” мая 2009 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 223.002.03 при Государственной морской академии имени адмирала С.О. Макарова по адресу: Санкт-Петербург, Косая линия, д. 15-а, ауд. 216.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке академии.

Автореферат разослан “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2009 г.

Отзывы на автореферат, заверенные печатью, в двух экземплярах просим направлять в адрес ученого секретаря диссертационного совета по адресу: 199106 Санкт\_Петербург, Косая линия, д. 15-а.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 223.002.03  
к.т.н., профессор

В.А. Прокофьев

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность диссертационного исследования**

С течением времени на дне акваторий происходит накопление затопленных объектов: суда, корабли, военная и гражданская техника, металлические и железобетонные конструкции, подводные трубопроводы, кабели и так далее. Этот процесс, как правило, усиливается с ростом интенсивности судоходства, морского инженерного строительства и других видов деятельности, связанных с использованием и освоением акваторий.

По официальным данным Министерства транспорта Российской Федерации в 2006 году в список только известных судов и кораблей, затонувших в прибрежных водах российских морей, включено более 1300 объектов.

Часть затопленных объектов представляет опасность для судоходства. К таким объектам в первую очередь относятся те, которые могут находиться вблизи судоходных трасс на глубинах до 30 – 40 метров.

Особую опасность для мореплавания представляют гидротехнические сооружения и их остатки, расположенные в замерзающих морях, зонах повышенной сейсмической и литодинамической активности.

Под действием льда и других внешних факторов происходит разрушение подводных трубопроводов, их опор и других конструкций, а также происходит растаскивание фрагментов таких сооружений по дну. Полных сведений о других затопленных объектах, представляющих опасность для мореплавания, не существует.

Во многих случаях морские поисковые работы выполняются в условиях недостаточной исходной информации, касающейся факта

существования объекта поиска в районе обследования, его координат, формы и размеров, окружающих глубин и других обстоятельств.

Площадь акватории, на которой объект предположительно может находиться, может быть значительной, а процесс поиска – длительным.

Арсенал средств и методов обследования дна за последние десятилетия существенно расширился в связи с появлением и началом широкого использования гидролокаторов бокового обзора и многолучевых эхолотов. Наряду с методами обследования дна, основанными на измерениях глубин в точках и по линиям, все более широкое распространение получают площадные методы обследования дна, основанные на измерениях по полосам.

Технические средства и методы площадного обследования, так же как и традиционные, идеальными не являются. Эффективность их применения определяется многими факторами, в том числе, условиями выполнения и характером поисковых работ, тактическими свойствами и особенностями эксплуатации измерительной техники, скоростью обследования акватории, способностью обнаруживать подводные объекты и другими.

Несмотря на разнообразие тактических приемов, и методов выполнения обследования дна, а также большого разнообразия специальных технических средств, результативность морских поисковых работ во многих случаях оказывается низкой: многие поисковые работы затягиваются на годы, а объекты поиска остаются не найденными. В этой связи задача выбора тактики поиска, основанная на количественных сравнительных оценках поисковых сетей, остается актуальной.

**Объектом диссертационного исследования** служат стационарные подводные объекты естественного и искусственного происхождения, расположенные на поверхности дна, в том числе локальные поднятия дна (банки, мели и другие), а также затонувшие

суда, фрагменты подводных трубопроводов, железобетонных конструкций, кабелей и тому подобное.

**Предметом диссертационного исследования** являются морские поисковые измерительные сети, предназначенные для обнаружения стационарных подводных объектов.

**Цель диссертационного исследования** – разработка критерия сравнительной оценки морских измерительных сетей, предназначенных для поиска стационарных подводных объектов.

**Задачи диссертационного исследования:**

- анализ существующих методов и способов обследования морского дна, обобщение и систематизация методов оценки свойств морских измерительных сетей;
- классификация подводных объектов, подлежащих поиску;
- выбор критерия и разработка метода сравнения измерительных поисковых сетей;
- исследование свойств поисковых сетей в зависимости от размеров и геометрической формы объектов поиска;
- взаимное сравнение морских измерительных поисковых сетей на основе количественных показателей;
- экспериментальная проверка метода количественного сравнения поисковых сетей.

**Гипотезы диссертационного исследования**

В работе использованы следующие допущения и предположения:

- задача решается на плоскости;
- считается, что объект обнаружен, когда хотя бы одна из точек измерительной сети попала на его горизонтальный контур или во внутреннюю область, ограниченную этим контуром;
- объект поиска расположен на плоской горизонтальной поверхности дна.

### **Научный аппарат диссертационного исследования**

Интегральная (стохастическая) геометрия, теория вероятностей.

### **Результаты диссертационного исследования:**

- выполнен анализ основных способов и схем обследования морского дна, применяемых в гидрографии для выполнения съемки подводного рельефа и поиска подводных препятствий, и методов оценки подробности съемки;

- разработана классификация подводных объектов, подлежащих поиску;

- выбраны критерии сравнения измерительных поисковых сетей;

- получены формулы определения вероятности обнаружения подводных объектов для основных видов поисковых сетей и видов геометрической формы объектов поиска;

- исследованы свойства поисковых сетей в зависимости от размеров и геометрической формы объектов поиска;

- проведено сравнение морских измерительных поисковых сетей на основе количественных показателей;

- выполнена проверка метода количественного сравнения поисковых сетей по данным поисковых работ.

### **Научная новизна результатов диссертационного исследования**

Дано обобщенное представление способов и схем обследования подводного рельефа и поиска подводных объектов в форме морских измерительных поисковых сетей.

Выполнена классификация поисковых сетей и объектов поиска.

Проведена систематизация решений задач, посвященных оценкам вероятности обнаружения подводных объектов.

Задача обобщена на случай хаотичных поисковых сетей, полосовых сетей, а также объектов и групп объектов поиска, имеющих

сложную форму. Получены соответствующие решения, отличающиеся новизной.

**Достоверность результатов диссертационного исследования** достигнута посредством корректного использования достоверной исходной информации. Основные положения и выводы согласуются с результатами поисковых работ и данными, полученными при гидрографическом обследовании морского дна.

**Практическая ценность результатов диссертационного исследования**

Результаты работы могут быть использованы:

- для оценки результатов обследования подводного рельефа и поиска затонувших объектов;
- при планировании и выполнении морских поисковых работ;
- при разработке технических средств поиска и идентификации подводных объектов;
- при составлении пособий и руководств по поиску подводных объектов;
- для совершенствования содержания учебных программ подготовки специалистов в области обеспечения различных видов морской деятельности.

**Апробация результатов диссертационного исследования**

Основные положения диссертации и результаты докладывались автором на научно-технических конференциях ГМА имени адмирала С.О.Макарова (2008, 2009 г.г.) и на 10 Международной конференции «Российское судостроение, судоходство, деятельность портов, освоение океана и шельфа» («Нева-2007», Санкт - Петербург, 2007 г.).

**Основные результаты диссертационного исследования опубликованы** в шести работах, в том числе: 4 – статьи, 2 – тезисы докладов в сборниках конференций. Три статьи опубликованы в периодических изданиях, рекомендованных ВАК.

Из шести работ две подготовлены и опубликованы автором единолично (в том числе - одна в сборнике ВАК), четыре - в соавторстве (творческий вклад автора не менее 40%).

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, содержит 127 страниц, включая 9 таблиц, 13 рисунков и список использованных источников (88 наименования).

## **СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **ВВЕДЕНИЕ**

Во введении обоснована актуальность темы, определены цель исследования, перечислены рассмотренные вопросы и основные научные результаты.

### **1. МЕТОДЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ МОРСКОГО ДНА И ПОИСКА ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ГИДРОГРАФИИ**

В п. 1.1 перечисляются основные задачи, которые решаются при обследовании морского дна.

Отмечается, что при гидрографических исследованиях дна производится поиск и обследование поднятий дна, которые могут представлять опасность для мореплавания, а также поиск и обследование любых затонувших объектов, представляющих собой не только навигационную опасность, но и материальную или историческую ценность, либо какое-либо особое значение.

В общем случае, комплекс мероприятий по поиску, определению точного местоположения, обследованию и идентификации подводных объектов, как правило, очень сложен и длителен

В п. 1.2 приводится классификация измерительных и поисковых сетей, которые применяются для обследования дна и поиска подводных объектов.

В п.1.3 рассматриваются основные свойства подводных объектов и их классы.

В п. 1.4 дан краткий аналитический обзор основных принципов построения измерительных поисковых сетей и методов определения подробности съемки, основанных на результатах работ, полученных А.П.Белобровым, И.А.Блиновым, А.И.Сорокиным, Н.Н.Нероновым, М.В.Цветковым, А.А.Дадашевым, С. В. Решетняком, Н.И.Матюшенко, А.Б.Афониным и другими.

Показано, что для сравнения поисковых сетей целесообразно использовать критерий, определяющий способность сети обнаруживать объект. В качестве критерия выбрана вероятность обнаружения подводного объекта.

## **2. ВЕРОЯТНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ ОДИНОЧНЫХ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ДНА ГИДРОГРАФИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

В п.2.1 рассмотрена задача определения вероятности обнаружения подводного объекта при использовании регулярных точечных поисковых сетей.

Такие сети используются при выполнении промера со льда, а также во всех случаях, когда для измерения глубин используются наметки и ручные лоты.

Измерительная сеть делит весь район на прямоугольники со сторонами  $L$  и  $\Delta L$ , где  $\Delta L \leq L$ . Поиск (идентификация) объекта выполняется в точках, положение которых совпадает с вершинами прямоугольников. Считается, что объект будет обнаружен, если хотя бы одна из точек сети попадет на объект.

В гидрографии эта задача впервые была поставлена в 1948 году А.П.Белобровым при рассмотрении вопроса об оптимальной подробности ледового промера. Для объектов, горизонтальный контур которых может быть представлен в виде круга радиуса  $r$ , Решетняк С.В.(1995 г.) получил решение в виде системы уравнений:

$$\text{-при } 2r \leq \Delta L \quad p_o = \pi r^2 / L \Delta L \quad (1)$$

$$\text{-при } \Delta L < 2r \leq L \quad p_o = \{4r^2 \arcsin(\Delta L/2r) + \Delta L(4r^2 - \Delta L^2)^{1/2}\} / 2 L \Delta L \quad (2)$$

$$\text{-при } L \leq 2r \leq (L^2 + \Delta L^2)^{1/2}$$

$$p_o = 2r^2 \{ \arcsin(\Delta L/2r) - \arcsin[1 - (L/2r)^2]^{1/2} + \\ + (\Delta L/2r)^2 [(2r/\Delta L)^2 - 1]^{1/2} + (L/2r)^2 [(2r/L)^2 - 1]^{1/2} \} / L \Delta L \quad (3)$$

$$\text{- при } 2r \geq (L^2 + \Delta L^2)^{1/2} \quad p_o = 1 \quad (4)$$

Из выражений (1)-(4) следует, что при фиксированном значении  $r$  вероятность обнаружения объекта возрастает по мере уменьшения дискретности измерительной сети. Для надежного обнаружения круга необходимо, чтобы дискретность сети  $L$  была меньше радиуса объекта поиска более чем в 1,42 раза.

В п. 2.2. рассмотрены поисковые сети, состоящих из одиночных линий (п.п.2.2.1), из систем хаотично расположенных линий (п.п.2.2.2) и параллельных галсов (п.п.2.2.3).

Показано, что применение методов интегральной геометрии позволяет для каждого вида сетей получить аналитические выражения для вычисления вероятности обнаружения определенного класса объектов.

Размеры объекта  $K$  и границы обследуемой акватории  $S$  задаются длиной их внешних контуров  $L_K$  и  $L_S$ , соответственно.

На случайно проложенном прямолинейном поисковом галсе объект будет обнаружен с вероятностью:

$$p_o = L_K / L_S, \quad (5)$$

где  $L_K \leq L_S$  и  $p_o \leq 1$ ; при  $L_K \geq L_S$   $p_o = 1$ .

Из выражения (5) следует, что одиночные галсы (маршрутный промер) позволяют обеспечить надежное обнаружение только таких объектов, размеры которых соизмеримы с размерами района поиска. Для объектов, имеющих малые размеры по сравнению с размерами района ( $L_K \ll L_S$ ), вероятность их обнаружения оказывается очень низкой. Увеличить значение вероятности  $p_o$  можно в случае, если будут сокращены размеры района поиска, либо будет увеличено количество галсов.

Для  $n$  хаотично расположенных галсов вероятность обнаружения объекта определяется по формуле:

$$P_n = 1 - (1 - p_o)^n \quad (6)$$

Из выражения (6) следует, что при  $p_o = 1$  вероятность пересечения объекта хотя бы одним галсом также будет равна единице ( $P_n = 1$ ). При  $p_o < 1$  величина  $P_n$  будет расти, стремясь к единице, по мере увеличения количества галсов  $n$ . Чем большее значение имеет вероятность  $p_o$ , тем

меньшее количество галсов  $n$  необходимо иметь для надежного обнаружения объекта.

Решим уравнение (6) относительно числа  $n$ . После перестановки слагаемых и логарифмирования получим:

$$n = \ln(1 - P_n) / \ln(1 - p_0)$$

Вычисления показывают:

- для  $p_0=0,9$  вероятность обнаружения  $P_n=0,99$  достигается при  $n=2$ ;
- для  $p_0=0,5$  вероятность обнаружения  $P_n=0,99$  достигается при  $n=7$ ;
- для  $p_0=0,1$  такой же результат можно достичь только при  $n=43$ .

При хаотичном расположении галсов дискретность сети оказывается переменной: в отдельных зонах наблюдается сгущение сети, в других – разрежение.

Поисковые сети, имеющие вид равноотстоящих друг от друга параллельных прямых линий, в гидрографии наиболее распространены. Дискретность таких сетей определяется одним параметром - междугалсовым расстоянием  $L$ .

Параллельные линии делят площадь обследования на полосы, каждая из которых имеет ширину  $L$  и длину  $l_G$ .

Вероятность обнаружения объекта может быть рассчитана для каждой полосы по формуле:

$$p_0 = L_K / \pi L \quad (7)$$

Выражение (7) представляет собой обобщенное решение известной в теории вероятности задачи о пересечении иглы с одной из параллельных прямых линий (задача Бюффона).

Формула (7) может быть использована для вычисления вероятности обнаружения широкого класса объектов, горизонтальные

контуры которых могут быть представлены отрезками прямых линий, эллипсами, выпуклыми многоугольниками и тому подобное.

Решим уравнение (7) относительно  $L$ . В результате получим:

$$L=L_K/\pi p_o \quad (8)$$

Формулу (8) удобно использовать для расчета междугалсового расстояния, гарантирующего обнаружение объекта с заданной вероятностью.

Из выражений (7) и (8) следует, что надежное обнаружение объектов, происходит тогда, когда их периметр  $L_K$  превышает междугалсовое расстояние  $L$  более чем в три раза.

В п. 2.3. рассмотрены поисковые сети, состоящих из одиночных полос (п.п.2.3.1), из систем хаотично расположенных полос (п.п.2.3.2) и параллельных равноотстоящих полос, не имеющих взаимного перекрытия (п.п.2.3.3).

Поиск объекта выполняется вдоль прямолинейного галса по полосе, имеющей ширину  $b$ . Объект считается обнаруженным, если полоса полностью или частично пересекает или касается его горизонтальной проекции.

Обследование дна проводится вдоль линии галса  $G$  по полосе шириной  $b$ : с правой и с левой стороны от галса по  $b/2$ . Обнаружение объекта происходит в том случае, когда галс  $G$  удален от контура объекта на расстояние, не превышающее  $b/2$ .

Доказано, что вероятность обнаружения объекта при обследовании дна одиночной полосой может быть получена по формуле:

$$p_b = (L_K + \pi b) / (L_S - \pi b), \quad (9)$$

где  $L_K + \pi b \leq L_S - \pi b$ ,  $p_b \leq 1$ ; при  $L_K + \pi b \geq L_S - \pi b$ ,  $p_b = 1$ .

При  $b=0$  полоса вырождается в линию, и выражение (9) преобразуется к виду (7).

Для  $m$  хаотично расположенных поисковых полос вероятность обнаружения подводного объекта может быть рассчитана по формуле:

$$P_{bm} = 1 - (1 - p_b)^m \quad (10)$$

В общем случае при хаотичном расположении полос в районе образуется сеть с неравномерным сгущением полос.

Полосы могут пересекаться друг с другом под различными углами, частично или полностью перекрываться или не пересекаться вовсе. В зависимости от этого в районе могут формироваться области, часть которых будет иметь чрезмерную подробность, а другая - недостаточную.

При обследовании дна системами параллельных полос параметры поисковой сети определяются междугалсовым расстоянием  $L$  и шириной полос  $b$ .

При  $L \leq b$  площадь района обследуется без разрывов. В этом случае вероятность обнаружения объекта равна единице ( $P_{kb} = 1$ ).

При  $L < b$  в междугалсовом пространстве образуется область с разрывами. Наличие таких областей ведет к уменьшению вероятности обнаружения подводных объектов. Вероятность обнаружения объекта может быть вычислена по формуле:

$$P_{kb} = (L_k + \pi b) / \pi L \quad (11)$$

В соответствии с выражением (11) можно получить формулы для определения вероятности обнаружения объектов, имеющих различную форму:  $P_{kb} = (2r+b) / L$  (для круга радиуса  $r$ );

$$P_{kb} = (2l + \pi b) / \pi L \quad (\text{для линейного объекта длиной } l);$$

$$P_{kb} = (4a + \pi b) / \pi L \quad (\text{для квадрата со стороной } a) \text{ и так далее.}$$

В п. 2.4 приведены формулы, позволяющие рассчитать количественную сравнительную характеристику различных поисковых сетей, и примеры таких оценок:

- для одиночных точек, линий и полос (2.4.1);
- для параллельных линий и полос (2.4.2);
- для параллельных и хаотично расположенных линий (2.4.2).

### **3. ВЕРОЯТНОСТЬ ОБНАРУЖЕНИЯ ГРУПП ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ДНА ГИДРОГРАФИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

В п. 3.1 рассматривается задача обнаружения двух объектов  $K_1$  и  $K_2$  на одиночном галсе  $G$  по линии или полосе.

Очертим вокруг  $K_1$  и  $K_2$  замкнутую линию, образующую для  $K_1$  и  $K_2$  общий внешний контур. Периметр полученного контура обозначим как  $L_{K_1K_2}$ . Полученная область может рассматриваться как один объект. Поэтому вероятность пересечения этой области прямой линией или полосой может быть рассчитана по формулам (5) и (9), соответственно.

Расстояние между объектами  $K_1$  и  $K_2$  может быть достаточно большим. Поэтому для галса  $G$ , который пересекает выделенную область, возможны следующие варианты:

- галс  $G$  может пересечь один из объектов ( $G \cap K_1 \neq 0$ , но  $G \cap K_2 = 0$ ) или ( $G \cap K_1 = 0$ , но  $G \cap K_2 \neq 0$ );
- галс  $G$  может одновременно пересечь оба объекта ( $G \cap K_1 \cap K_2 \neq 0$ );
- галс  $G$  может пройти между объектами  $K_1$  и  $K_2$ , и не пересечь ни один из них ( $G \cap K_1 \cap K_2 = 0$ ).

Вероятность каждого из перечисленных событий может быть вычислена по одной из следующих формул.

А. Для линии:

$$P(G \cap K_1 \neq 0, G \cap K_2 = 0) = 1 - (L_{K_1 \times K_2} - L_{K_1}) / L_{K_1 K_2} \quad (12)$$

$$P(G \cap K_1 = 0, G \cap K_2 \neq 0) = 1 - (L_{K_1 \times K_2} - L_{K_2}) / L_{K_1 K_2} \quad (13)$$

$$P(G \cap K_1 \cap K_2 \neq 0) = (L_{K_1 \times K_2} - L_{K_1 K_2}) / L_{K_1 K_2} \quad (14)$$

$$P(G \cap K_1 \cap K_2 = 0) = \{L_{K_1 \times K_2} - (L_{K_1} + L_{K_2})\} / L_{K_1 K_2} \quad (15)$$

Б. Для полосы:

$$P^b(G \cap K_1 \neq 0, G \cap K_2 = 0) = 1 - (L'_{K_1 \times K_2} - L_{K_1} - \pi b) / (L_{K_1 K_2} + \pi b) \quad (16)$$

$$P^b(G \cap K_1 = 0, G \cap K_2 \neq 0) = 1 - (L'_{K_1 \times K_2} - L_{K_2} - \pi b) / (L_{K_1 K_2} + \pi b) \quad (17)$$

$$P^b(G \cap K_1 \cap K_2 \neq 0) = (L'_{K_1 \times K_2} - L_{K_1 K_2} - \pi b) / (L_{K_1 K_2} + \pi b) \quad (18)$$

$$P^b(G \cap K_1 \cap K_2 = 0) = \{L'_{K_1 \times K_2} - (L_{K_1} + L_{K_2} + 2\pi b)\} / (L_{K_1 K_2} + \pi b) \quad (19)$$

В формулах (12)-(19) аргументы  $L_{K_1 \times K_2}$  и  $L'_{K_1 \times K_2}$  соответствуют длинам контуров, охватывающих объекты  $K_1$  и  $K_2$ , и имеющих точку скручивания между ними.

События, вероятности которых вычисляются по формулам (12)-(15) для линии и по формулам (16)-(19) для полосы, составляют полную группу. Это означает, что сумма соответствующих вероятностей равна единице, то есть:

$$P(G \cap K_1 \neq 0, G \cap K_2 = 0) + P(G \cap K_1 = 0, G \cap K_2 \neq 0) + \\ + P(G \cap K_1 \cap K_2 \neq 0) + P(G \cap K_1 \cap K_2 = 0) = 1$$

и

$$P^b(G \cap K_1 \neq 0, G \cap K_2 = 0) + P^b(G \cap K_1 = 0, G \cap K_2 \neq 0) + \\ + P^b(G \cap K_1 \cap K_2 \neq 0) + P^b(G \cap K_1 \cap K_2 = 0) = 1.$$

Первые три события, формулы (12)-(14) и (16)-(18), носят положительный характер, так как соответствуют пересечению галса  $G$

либо с одним из объектов ( $K_1$  или  $K_2$ ), либо пересечению сразу с обоими объектами ( $K_1$  или  $K_2$ ).

Последнее событие  $G \cap K_1 \cap K_2 = 0$ , формулы (15) и (19), носит отрицательный характер и соответствует условию, при котором галс  $G$  хотя и пересекает область, в которой располагаются объекты  $K_1$  и  $K_2$ , но, ни один из них не пересекает, так как проходит между ними.

Галсы, на которых осуществляется обнаружение объектов, должны не только пересекать область, ограниченную периметром  $L_{K_1 K_2}$ , но также пересекать один из объектов, либо пересекать оба объекта сразу. Вероятность таких событий определяется следующими соотношениями.

Для линии:

$$P_S (G \cap K_1 \neq 0, G \cap K_2 = 0) = (L_{K_1 K_2} - L_{K_1 \times K_2} + L_{K_1}) / L_S \quad (20)$$

$$P_S (G \cap K_1 = 0, G \cap K_2 \neq 0) = (L_{K_1 K_2} - L_{K_1 \times K_2} + L_{K_2}) / L_S \quad (21)$$

$$P_S (G \cap K_1 \cap K_2 \neq 0) = (L_{K_1 \times K_2} - L_{K_1 K_2}) / L_S \quad (22)$$

Для полосы:

$$P_S^b (G \cap K_1 \neq 0, G \cap K_2 = 0) = \\ = (L_{K_1 K_2} - L'_{K_1 \times K_2} + L_{K_1} + 2\pi b) / (L_S - \pi b) \quad (23)$$

$$P_S^b (G \cap K_1 = 0, G \cap K_2 \neq 0) = \\ = (L_{K_1 K_2} - L'_{K_1 \times K_2} + L_{K_2} + 2\pi b) / (L_S - \pi b) \quad (24)$$

$$P_S^b (G \cap K_1 \cap K_2 \neq 0) = \\ = (L'_{K_1 \times K_2} - L_{K_1 K_2} - \pi b) / (L_S - \pi b) \quad (25)$$

Из выражений (20)-(22) и (23)-(25) следует, что вероятность обнаружения объектов  $K_1$  и  $K_2$  растет:

- при уменьшении размеров района поиска (уменьшении периметра  $L_S$ );
- при увеличении размеров объектов (периметров  $L_{K_1}$  и  $L_{K_2}$ );
- при уменьшении расстояния между объектами;

-при увеличении ширины полосы обследования  $b$ .

В п.п. 3.2 и 3.3 рассмотрена задача поиска подводных объектов, распределенных по поверхности дна равномерно.

Приведены результаты анализа решения этой задачи, полученного Решетняком С.В., Тезиковым А.Л. и Бахмутовым В.Ю. (2006 г.).

#### **4. ПРИМЕРЫ ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Глава 4 посвящена практическому применению критерия сравнения поисковых сетей. Рассмотрено несколько тактических схем, которые применялись в ходе проведения реальных поисковых задач:

- поиск парохода «Титаник», проводившийся с 1980 по 1985 годы системами хаотично расположенных галсов и параллельных полос (п.4.1- по материалам литературных источников);

- поиск фрагментов трубопроводов, состоящих из двух 60-метровых секций (п.4.2 – результаты численного эксперимента), по одиночным линиям и полосам;

- сравнение регулярных точечных и линейных поисковых сетей по результатам обследования районов аварий судов, имевших место в морях Арктики (п. 4.3 – по данным архива ФГУП «Гидрографическое предприятие»);

- особенности использования методов площадной съемки при поиске малых объектов на примере поисковых работ 1997-2007 годов, проводившихся в Охотском море с целью обнаружения затопленного радиоизотопного генератора (п.4.4 – по материалам литературных источников).

Показано, что предложенный критерий сравнения поисковых сетей позволяет производить взаимное сравнение практически любых поисковых схем. Сравнение сетей выполняется на основе

количественных показателей для широкого круга подводных объектов. Для вычисления вероятности обнаружения объектов, имеющих определенную форму, могут быть использованы достаточно простые формулы с относительно малым количеством входящих в них параметров.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

А. Общие выводы и положения диссертационного исследования сводятся к следующему:

1. Обследование морского дна и поиск подводных объектов, как правило, проводится в условиях дефицита информации, относящейся к форме и размерам объекта поиска, его местоположению и даже самому факту его существования.

При таких условиях эффективность поисковых работ в заданном районе может определяться не только положительным результатом обнаружения подводного объекта, но и убеждением об его отсутствии.

2. Требования, предъявляемые к поиску подводных объектов, как правило, жесткими не являются, за исключением особого вида поисковых задач, когда обнаружение конкретного объекта должно быть осуществлено обязательно.

В последнем случае применяется площадное обследование дна системами параллельных полос с взаимным перекрытием, что гарантирует высокое качество поисковых работ, но приводит к снижению скорости и сокращению общей площади обследования.

3. При проведении обследования дна и поиске затонувших объектов применяется несколько видов поисковых сетей и их комбинаций. Каждая из сетей характеризуется набором определенных параметров, которые определяют ее способность обнаруживать подводные объекты и покрывать разные по площади акватории. Выбор

поисковой сети основывается на взаимном сравнении их свойств. Для сравнения сетей необходимо установить соответствующий количественный критерий.

В качестве критерия сравнения поисковых сетей выбрана вероятность обнаружения подводного объекта. На практике этот критерий может применяться только для тех видов сетей и объектов, для которых такая вероятность может быть рассчитана аналитически.

До настоящего времени были известны несколько частных решений этой задачи, касающихся отдельных видов поисковых сетей (точечные регулярные сети и системы параллельных равноотстоящих линий) и некоторых видов подводных объектов (отрезки прямых линий, круги и эллипсы).

С использованием методов интегральной геометрии задача может быть решена практически для всех видов поисковых сетей и широкого класса подводных объектов.

Б. К новым научно-техническим результатам, полученным в диссертационной работе, может быть отнесено следующее:

- результаты анализа основных способов и схем обследования морского дна, применяемых для поиска подводных препятствий;
- классификация подводных объектов, подлежащих поиску;
- классификация измерительных поисковых сетей;
- критерий сравнения и оценки свойств измерительных поисковых сетей;
- формулы, позволяющие рассчитывать вероятность обнаружения подводных объектов для большинства видов поисковых сетей и широкого класса геометрических форм объектов поиска;

- результаты сравнения различных тактических схем, которые применялись в ходе проведения реальных и модельных поисковых работ, основанные на разработанном методе сравнения поисковых сетей.

Полученные в работе результаты представляется целесообразным использовать:

- при планировании и проведении работ по поиску затонувших объектов на водных акваториях;

- при проектировании и создании технических средств, предназначенных для поиска и идентификации подводных объектов.

- при оценке результатов поисковых работ;

- для совершенствования образовательных программ подготовки специалистов морского профиля.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах.

Периодические издания, рекомендованные ВАК:

1. Амельченко, С.Г. Сравнительная оценка способов расположения галсов при поиске подводных объектов (на примере поиска лайнера «Титаник»)/ С.Г. Амельченко// Эксплуатация морского транспорта.– 2008.– № 2(52).– С. 38 – 40.

2. Амельченко, С.Г. Применение вероятностных методов в оценке свойств подводного рельефа/ С.Г. Амельченко, А.Л. Тезиков// Эксплуатация морского транспорта.– 2007.– № 4 (50).– С. 30 – 31.

3. Амельченко, С.Г. Применение теории нечетких множеств к оценке степени гидрографической изученности подводного рельефа/ С.В. Решетняк, С.Г. Амельченко// Эксплуатация морского транспорта.- 2007.– № 4(50).– С. 31–34.

4. Амельченко, С.Г. Формализованное представление условий, приводящих к авариям судов / С.В. Решетняк, С.Г. Амельченко// Геодезия и картография.– 2007.– № 12.– С. 38 – 42.

Прочие издания:

5. Амельченко, С.Г. Сравнение поисковых сетей, применяемых для обнаружения подводных объектов/ С.Г. Амельченко// Сборник тезисов докладов научно-технической конференции ППС ГМА имени адмирала С.О. Макарова. – СПб., 2008. – С. 242 – 243.

6. Амельченко, С.Г. Вероятностные методы оценки обнаружения и пропуска подводных объектов/ С.Г.Амельченко, С.В. Решетняк, А.Л. Тезиков// Сборник докладов на 10 Международной конференции «Российское судостроение, судоходство, деятельность портов, освоение океана и шельфа». – СПб.: «Нева-2007».- 2007.- С. 32.