



ПОДВОДНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИРМА
ВОЗРОЖДЕНИЕ

**Опыт использования современного гидрографического
оборудования при обследовании подводных переходов
трубопроводов.**

Миколенко С.А., директор

Гринь Г.А., заместитель директора

**II научно-техническая конференция
«СВАРОЧНЫЕ И РОДСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
ДЛЯ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ И МОРСКИХ
НЕФТЕГАЗОВЫХ СООРУЖЕНИЙ» .**

19-20 ноября,

курорт-парк МИД РФ «Союз», Московская область.

Приборно-водолазное обследование подводных переходов трубопроводов через водные преграды, выполняется в нашей стране достаточно давно, но конкретные методические указания по производству данного вида работ отсутствуют.

Не существует, также, классификации подводных переходов по степени их сложности (протяжённости, глубины и характера подводного рельефа).

Подводными переходами трубопроводов являются как переходы через мелкие и средние реки, в том числе и крупные реки Сибири, так и морские многокилометровые трубопроводы. В настоящий момент остро стоит вопрос о разработке современных методик геодезического обеспечения производству такого сложного и ответственного вида работ, как обследование технического состояния подводных переходов. В эти методики должны входить указания по применению определённого оборудования и технологий.

Концентрация внимания правительства Российской Федерации и ведущих нефтегазовых компаний на вопросы разработки прибрежных морских месторождений и Арктического шельфа, усилившаяся в последние годы, делает данную задачу ещё более актуальной. Нельзя не упомянуть, также, участвовавшие аварии на различных сооружениях гидротехнического комплекса, что заставляет задуматься о совершенствовании технологий и методов контроля за объектами подводной инфраструктуры.

Силами нашего предприятия разработаны методики, выполнения геодезического контроля технического состояния подводных переходов трубопроводов, которая основана на внедрении интегрированных приборных комплексов на основе GNSS технологий и новейшего гидроакустического оборудования, позволяющих производить контроль на основе 3-D моделей акваторий и подводных инженерных сооружений.

Практическое значение заключается в решении проблемы повышения точности и оперативности геодезического контроля подводных переходов путем использования приборного комплекса на основе многолучевого эхолота. В нашей стране данная методика на внутренних подводных переходах трубопроводов применена впервые. Очевидно, что работы, выполняемые традиционными методами, применяемыми ранее, недостаточно эффективно решают поставленные задачи. Разработанные методические положения использованы при диагностике многих подводных переходов на территории Западной Сибири и Дальнего Востока.

В системе обеспечения надёжности и безопасности трубопроводного транспорта наибольшую сложность представляют пересечения газопроводами и нефтепроводами рек, каналов, озёр и водохранилищ – подводные переходы или дюкеры. Отметим, что эта система не может эффективно функционировать без геодезического мониторинга, вообще, и без геодезического обеспечения подводных переходов в частности.

К подводным переходам относятся участки трубопроводов, пересекающих естественные или искусственные водоёмы (реки, озёра, водохранилища), шириной более 10 м по зеркалу воды в межень и глубиной более 1,5 м.

С точки зрения взаимодействия с окружающей средой, подводные переходы через водные преграды являются наиболее уязвимыми и подверженными отрицательному воздействию со стороны природных факторов, участками трубопроводов. На каждом из этих участков при их строительстве всегда нарушается естественный природный процесс, а трубопроводы, в свою очередь, подвержены определённым специфическим воздействиям, зачастую труднопрогнозируемым.

Участки переходов по указанным причинам являются постоянными зонами риска. Причинами такого опасного для эксплуатации состояния могут быть размыв и всплытие трубопровода в реке, потеря устойчивости в результате разрушения системы закрепления трубопровода и колебаний в потоке, провалы и разрывы на склонах, обнажение и подмыв трубопровода при разрушении берегоукрепительных конструкций и т.д.

Из всей линейной части трубопроводов, подводные переходы находятся в самом неблагоприятном положении. Диагностика переходов производится не повсеместно, и в основном, по устаревшим методикам, внутритрубная диагностика в силу конструктивных решений на старых переходах не производится, в наличии неисправности в виде оголения и провисов трубопроводов в русловой части, нарушения действующих норм при строительстве и эксплуатации, выполнение больших объёмов работ при ремонтах и реконструкции переходов.

Состояние многих подводных переходов должно быть отнесено к зоне риска.

Таким образом, подводные переходы, выполняемые традиционным способом с непосредственным входом в водоёмы, связаны с большими техническими сложностями и тяжёлым техногенным воздействием на природные комплексы. По объективным причинам, весьма трудно обеспечить

надёжность этих самых сложных участков трубопроводов, их экологическую безопасность.

Основными факторами, определяющими техническое состояние перехода, являются:

- соответствие положения трубопровода проектному;
- величина заглубления подводного газопровода в русле реки;
- достаточность и сохранность балластировки газопровода;
- целостность антикоррозионной изоляции трубопровода;
- фактическая толщина стенки в сопоставлении с проектной;
- отсутствие или наличие мест утечки газа;
- деформация (размыв) дна и береговых склонов водной преграды, в том числе состояние укрепления берегов на участке перехода.

В зависимости от изменения указанных факторов, техническое состояние подводного перехода классифицируется следующим образом:

- **исправное состояние** – состояние в соответствии с проектным;
- **неисправное состояние** – имеются отклонения от проектного состояния;
- **предельное состояние** – необходимо срочное принятие мер по устранению неисправностей.

На основании обследования должны быть получены следующие данные:

- фактическое плановое и высотное положение трубопровода относительно линии дна и склонов берега, существующие на дату обследования водоема в створе перехода в координатах и отметках проекта;
- наличие обнаженных и провисающих участков газопровода и их характер (протяженность, величина провиса);
- состояние балластировки трубопровода на обнаженных и провисающих участках;
- значение толщины стенки трубопровода на обнаженных и провисающих участках и на береговых участках в зоне переменного уровня воды;
- состояние защитного и изоляционного покрытия на обнаженных и провисающих участках трубопровода;
- значение высотных отметок дна реки и береговых склонов в координатах и отметках проекта;
- наличие и характер посторонних объектов (предметов) на дне водной преграды;

- состояние сооружений защиты берегов;
- состояние береговых информационных знаков;
- сохранность реперов топографической основы.

Очевидно, что наиболее важным и ответственным этапом проведения диагностики подводных трубопроводов является съёмка акватории переходов и выявление оголённых и провисающих участков трубопроводов.

В настоящее время отечественные инженерно-гидрографические работы регламентируются следующими нормативными документами:

- 1.«Правила Гидрографической службы №4», ГУ Н и О МО, 1984 г.
- 2.«Технология промерных работ при производстве дноуглубительных работ и при контроле глубин для безопасности плавания судов в морских портах и на подходах к ним» (РД 31.74.04-2002).
3. «Инженерно-геодезические работы при инженерных изысканиях для строительства»: СП-11-104-97, Часть III, «Инженерно-гидрографические работы при инженерных изысканиях для строительства», 2004 г.

Перечисленные документы, недостаточно полно учитывают возможности современного GPS-ГЛОНАСС оборудования, гидролокаторов и многолучевых систем.

Следует отметить, что национальные гидрографические организации многих зарубежных стран уже разработали собственные стандарты выполнения гидрографических работ и инженерной батиметрии, и их геодезическое обеспечение на различных этапах.

Для съёмок, выполняемых для составления навигационных карт в целях обеспечения безопасности мореплавания (гидрографические задачи), детальное отображение микрорельефа не является необходимым условием. На первое место здесь выходит выявление тех особенностей рельефа, которые являются потенциально опасными для мореплавания, а также объектов естественного и искусственного происхождения, которые могут быть опасны для надводного мореплавания. Задачи, которые необходимо решать при выполнении обследований подводных переходов, это задачи инженерной батиметрии – максимальная детализация интересующих подводных объектов, не зависимо от глубины их нахождения.

Основой для них послужила четвёртая редакция стандартов Международной Гидрографической Организации (МГО) на гидрографической съёмки (ИНО Standards for Hydrographic Survey) – SP-44, 1998 г. В данной редакции Стандарта учитываются особенности современных геодезических и гидрографических технологий, возможность

полного акустического освещения дна, приводящая к качественно иному уровню получения батиметрических данных и пришедшая на смену классическим промерным профилям и отчётным планшетам.

4-я редакция Стандарта делит все виды съёмки на следующие категории: особая, первая, вторая и третья. Категории разделены по ответственности объекта, степени точности определения глубин и координат и методу съёмки. В нем также регламентируется применение того или иного типа оборудования. Данное издание носит рекомендательный характер, но может служить основой для издания национальных или ведомственных стандартов.

Этапы работ по диагностике состояния подводного перехода может быть представлены в виде следующей блок-схемы (рисунок 1):



Рисунок 1 – Общая схема этапов работ по диагностике

Особое внимание уделим производству батиметрической съёмки дна акваторий подводных переходов с целью обнаружения и фиксирования оголённых и провисающих участков трубопроводов.

Подводные переходы трубопроводов имеют ряд специфических особенностей – от малых глубин и неширокого русла небольших рек и проток, до многокилометровых переходов со сложным техногенным рельефом.

Исходя из этих условий была выполнена разработка двух приборных комплексов, решающих задачи диагностики как на небольших реках, так и на сложных и протяжённых объектах.

Первый комплекс основан на традиционной методике - применения однолучевого эхолота и гидролокатора бокового обзора (рисунок 2).

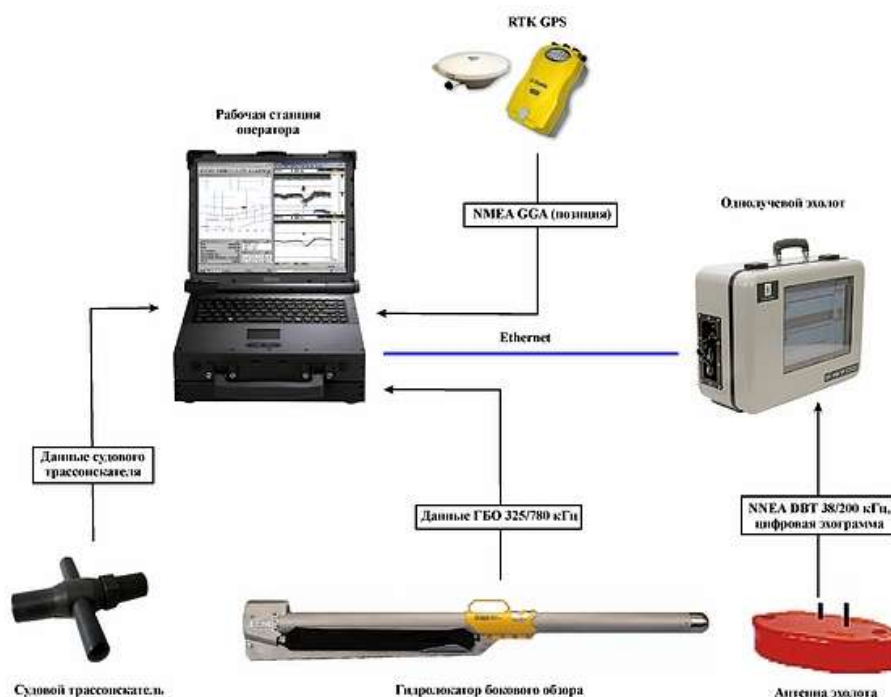


Рисунок 2 – Схема приборного комплекса на базе однолучевого эхолота и ГБО

Промерное судно, двигаясь по сетке запроектированных галсов, производит съёмку рельефа дна. Шаг сетки галсов рассчитывается исходя из задач подробности съёмки. Планирование галсов осуществляется с помощью специальных пакетов программ для гидрографических съёмок, выполняющих производство работ, редактирование и интерпретацию результатов. Положение проектных галсов может задаваться различными способами, в том числе, генерироваться автоматически. При выполнении работ по диагностике подводных трубопроводов, на электронной карте с запланированными галсами должно быть нанесено положение обследуемого трубопровода, для выявления мест возможного размыва и оголения, или провиса.

Как средство дополнительного контроля для обнаружения оголённых участков трубопроводов и наличия посторонних предметов в зоне подводного перехода, используются гидролокаторы бокового обзора (ГБО), формирующие акустическую картину дна водоёма и предметов, находящихся

на нём. Но ГБО даёт лишь изображение поверхности дна и не может напрямую участвовать в формировании ЦМР объекта.

Модель подводного рельефа строится на основе данных однолучевого эхолота, прореженных путём специальных алгоритмов для корректного формирования поверхности и вычерчивания изолиний.

Для формирования модели могут быть использованы несколько методов, основными из которых являются: построение поверхности по нерегулярной сети треугольников на основе триангуляции Делоне, и построение по регулярной сети (grid). Ни один из этих методов не предполагает построение поверхностей по «сырым» - первичным данным съёмки однолучевым эхолотом, так как набор полученных данных не способствует корректному построению поверхности, в связи с нерегулярным распределением данных в плановом положении - большая частота данных по линии галса и отсутствие данных между соседними галсами съёмки. Для корректного построения модели рельефа, собранные данные нуждаются в прореживании, которое выполняется по определённым алгоритмам – принципу приоритета наиболее больших глубин, наиболее малых глубин и т.д. Этот процесс, несмотря на сложные математические расчёты, всё же огрубляет и без того недостаточно полные данные съёмки.

Для более полной информации о рельефе дна и объектов на нём, приближённая модель, построенная на основе данных однолучевого эхолота, может быть совмещена с гидролокационной «мозаикой» (рисунок 3).

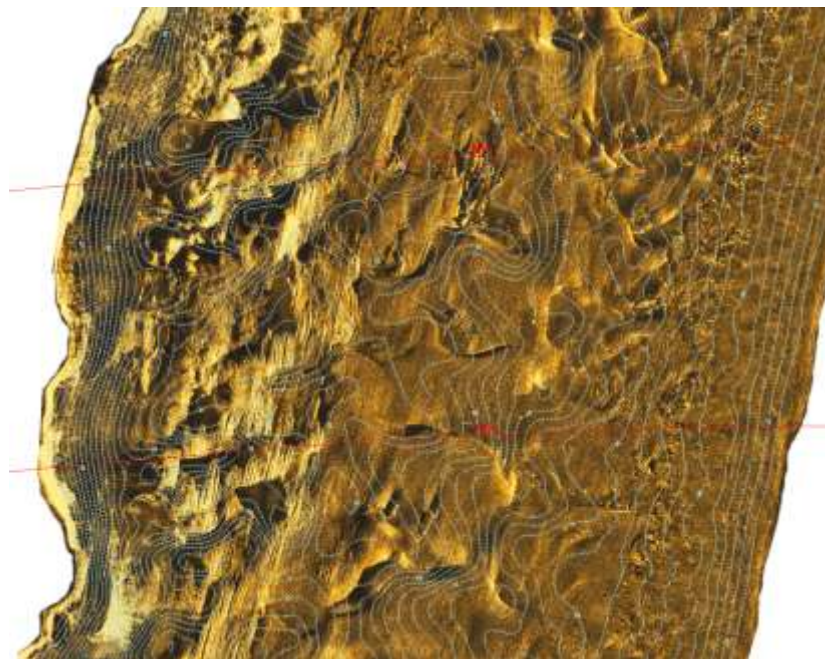


Рисунок 3 – Гидролокационная «мозаика» подводного перехода, совмещённая с цифровой моделью объекта, представленной в виде изолиний

Гидролокационная «мозаика» ГБО состоит из отдельных снимков, полученных в результате одного или нескольких съёмочных галсов, обработанных и трансформированных определённым образом. Снимки объединяются в общий растровый файл, имеющий геопространственную привязку, который в виде подложки накладывается на батиметрическую модель подводного перехода. Модель, в данном случае, дополняется данными, не зафиксированными эхолотной съёмкой, и подтверждёнными другим источником информации - гидролокатором. Оголённые и провисающие участки трубопроводов, посторонние предметы на дне подводного перехода, характер и формы донного грунта и другая необходимая информация отражается в привязке к существующему проекту.

Для трубопроводов, имеющих протяжённые участки размыва с оголениями и провисами, и при условии пологого рельефа, данная методика, в целом, эффективна.

В случаях, когда трубопровод на дне оголён незначительно, оголение имеется на небольшом участке или в наличии сложный техногенный рельеф, получить полную картину, необходимую для формирования ЦМР по данным однолучевого эхолота крайне затруднительно (рисунок 4).

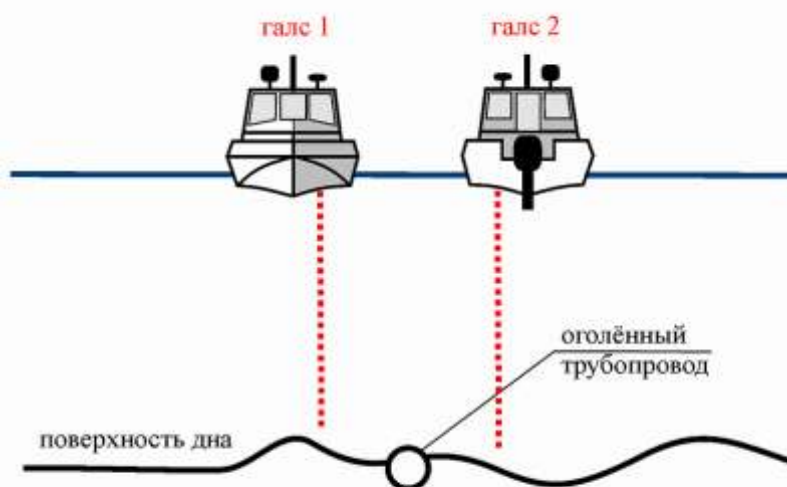


Рисунок 4 – Проблемы использования однолучевого эхолота

Работы с гидролокатором бокового обзора на объектах с расчленённым рельефом, также малоэффективны, в силу того, что теория ГБО базируется на предположении о плоском характере дна (рисунок 5).

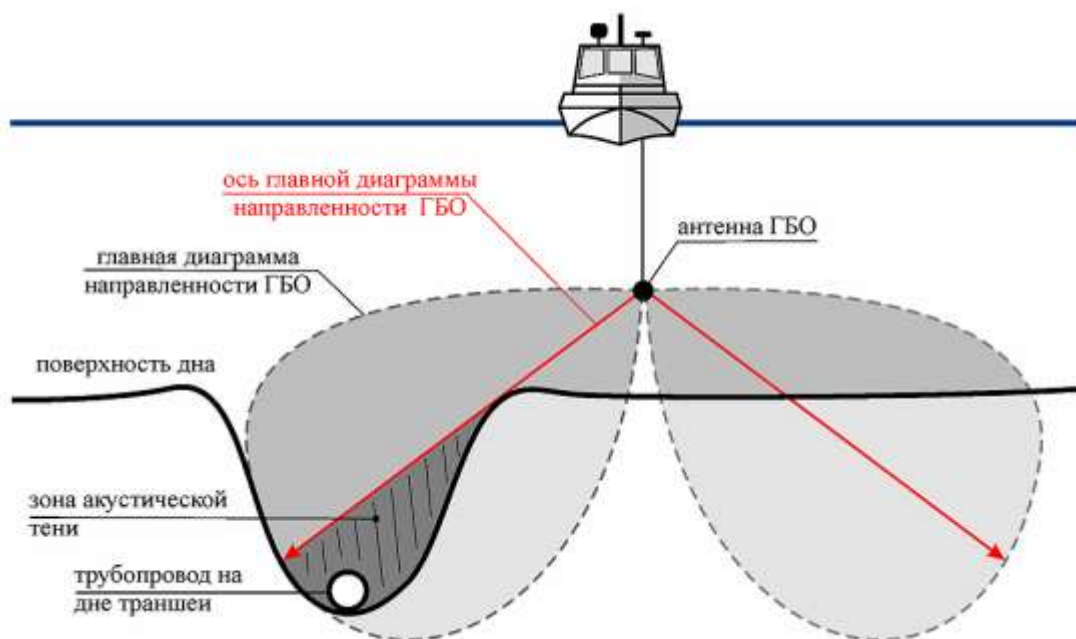


Рисунок 5 – Проблемы использования ГБО на объектах с расчленённым рельефом

На основе этого, данный комплекс предлагается использовать для выполнения диагностики небольших подводных переходов - на объектах небольшой протяжённости, с небольшими глубинами и относительно плоским подводным рельефом.

В 5-ой редакции Стандарта Международной Гидрографической организации S-44, опубликованной в 2008 году и пришедшей на замену 4-ой редакции, введён термин «полное обследование дна» (Full sea floor search), который подразумевает «сплошное исследование дна с целью обнаружения объектов на дне, а также использование соответствующих систем, процедур и персонала». Наиболее эффективно данную задачу решают многолучевые эхолоты, и интерферометрические гидролокаторы которые, в отличие от однолучевых эхолотов, дают полную картину подводного рельефа и ситуации.

Второй комплекс основан на методике использования многолучевого эхолота. Конструктивная особенность этих приборов позволяют получать несколько десятков значений глубины и их планового положения на дне за одну посылку и с разрешением, большим, чем у однолучевого эхолота.

Многолучевой эхолот является высокопроизводительным инструментом, который с большой частотой веерообразно испускает несколько десятков сигналов в направлении, перпендикулярном движению судна. Это позволят получать большой объём данных, имеющих три

координаты и необходимую плотность для решения задач по инспекции подводных трубопроводов и других подводных сооружений нефтегазового комплекса.

Изначально многолучевые системы предназначались для инсталляций на большие гидрографические суда, в связи с тем, что комплекс многолучевого эхолота представляет собой взаимосвязанную совокупность необходимых приборов и устройств (датчик пространственной ориентации, гироскоп, измеритель скорости звука), имели большие габариты и вес, и предполагали стационарный монтаж.

В отличие от первых громоздких образцов, современные многолучевые эхолоты (МЛЭ) достаточно компактны, трансдюсеры имеют небольшой вес и геометрические параметры. Параметры гидроакустической антенны МЛЭ Kongsberg Simrad EM3002: диаметр - 332 мм, высота – 119 мм, вес в воздухе – 25 кг, рабочие глубины – от 1 до 150 м, ширина луча 1,5°, максимальное количество лучей на приеме – 256. Это позволяет при скорости 5 узлов на глубинах до 15 м получать равномерную сеть акустических контактов с дискретностью не более 0,05 м.

При выполнении работ на объектах ОАО «Газпром» на территории Западной Сибири, возникла необходимость в мобильном приборном комплексе, производящем выполнение работ с высокой точностью и оперативностью. Для решения данной задачи было построено специальное промерное судно, имеющее небольшие габариты: длина корпуса – 6,20 м, ширина корпуса – 2,28 м, высота борта – 1,08 м, осадка – 0,4 м, масса – 700 кг. Катер легко транспортируется на лодочном прицепе, и может эксплуатироваться на большинстве средних и крупных подводных переходов Западной Сибири.

На катере стационарно смонтирован приборный комплекс на базе многолучевого эхолота Kongsberg Simrad EM3002.

На рисунке 6 представлена схема приборного комплекса на основе многолучевого эхолота.

В качестве устройства для точного определения курса, используется GPS-компас Seapath 20, это позволило отказаться от гироскопа, без потери точности данных о курсовом положении катера.

В качестве устройства, компенсирующего крен, дифферент и вертикальные перемещения судна, используется датчик пространственной ориентации (ДПО) MRU5, позволяющий фиксировать мгновенные изменения положения судна.

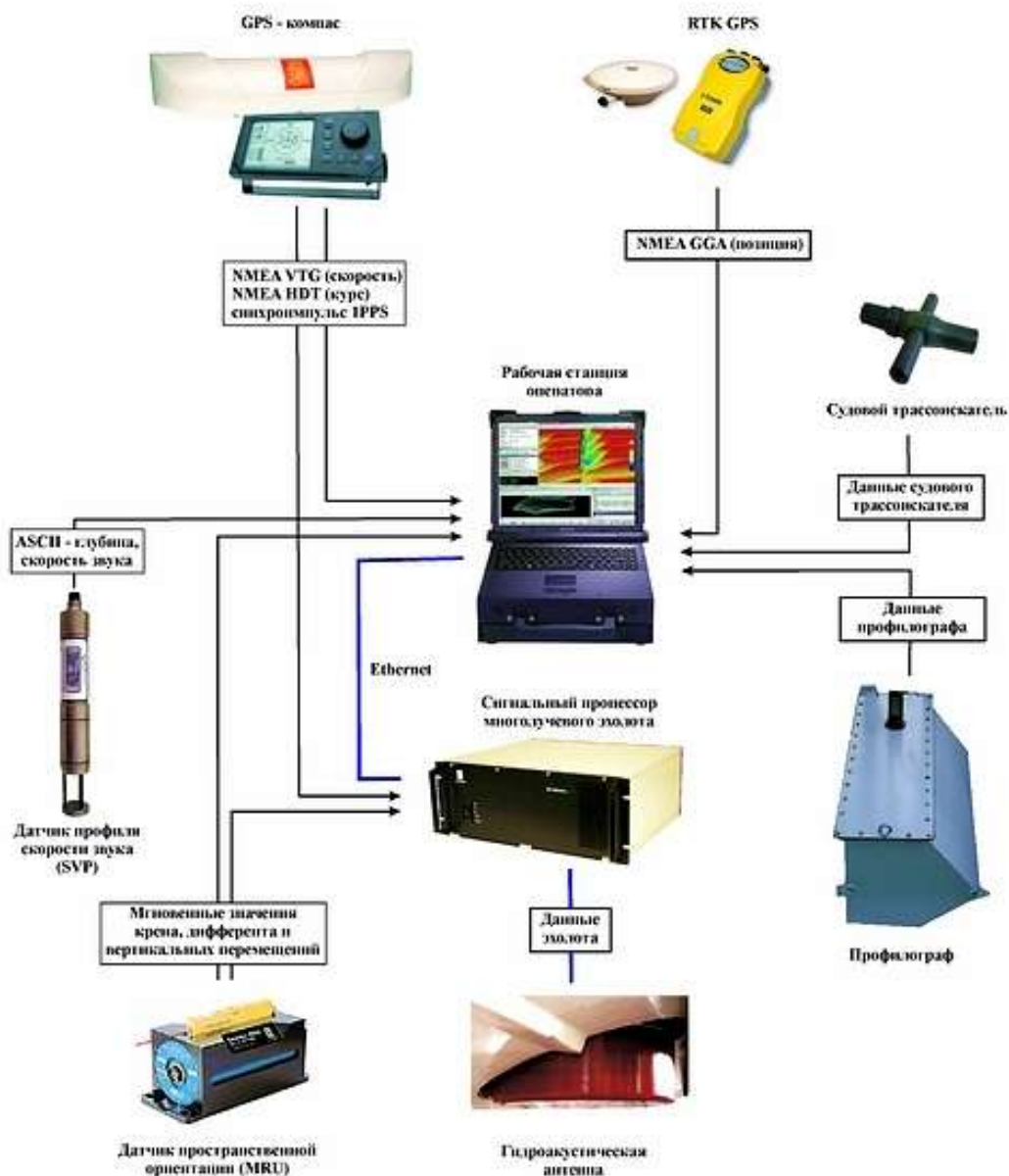


Рисунок 6 – Схема приборного комплекса на основе многолучевого эхолота.

Для навигации и точного позиционирования судна используется GNSS система Trimble, связанная радиоканалом с береговой базовой станцией. Транслируемая по радиоканалу RTK-поправка, позволяет получать сантиметровой уровень точности привязки.

Для получения точного значения профиля скорости звука на акватории объекта, используется датчик определения профиля Valeport mini SVS. Устройство позволяет получать значения скоростей звука на всех горизонтах

глубин, объекта, затем эти данные используются системой управления многолучевым эхолотом, для правильного расчета измеренных глубин.

Все компоненты комплекса установлены максимально близко к осям диаметральной плоскости (ДП) и плоскости мидель – шпангоута катера, в районе центра тяжести судна (CG), что позволяет уверенно производить работы на акваториях до высоты волны 1 м.

Для эффективного функционирования комплекса на данном катере были учтены следующие условия:

1. Установка трансдюсера и датчика пространственной ориентации максимально близко друг к другу и к центру масс судна.

2. Использование RTK режима для системы позиционирования, как наиболее точного, обеспечивающего сантиметровой уровень привязки катера и, соответственно, точек промера.

3. Тщательная калибровка системы с целью определения угловых поправок по крену (roll), дифференту (pitch) и курсу (heading) между координатными системами гидроакустической антенны, и диаметральной плоскостью судна. Практически всегда существуют систематические ошибки в установке антенны МЛЭ в судовой системе координат, которые невозможно предрассчитать теоретически. Такие угловые систематические ошибки могут составлять доли градуса и даже градусы и определяются экспериментально посредством специальной калибровки системы МЛЭ и учитываются программно в виде угловых поправок крена, дифферента и курса. Таким образом, суммарные пространственные углы R , P , K , представляют собой сумму углов, измеренных ДПО и угловые поправки, представляющих собой расхождения во взаимной ориентации антенны МЛЭ и ДПО согласно следующим выражениям:

$$R = R_{изм.} + \beta \quad (1)$$

$$P = P_{изм.} + \alpha \quad (2)$$

$$K = K_{изм.} + \gamma \quad (3)$$

где $R_{изм.}$, $P_{изм.}$, $K_{изм.}$ - углы крен, дифферента и курса, измеренные ДПО (или гирокомпасом), относительно осей локальной системы координат, а α , β , γ – поправки за крен, дифферент и азимут антенны МЛЭ, определяемые путем калибровки с целью исключения систематических ошибок в углах, возникших между осями антенн МЛЭ и соответствующими осями ДП судна.

4. Методичное измерение профиля скорости звука в нескольких узловых точках акватории подводного перехода.

5. Обеспечение избыточного (до 100 %) перекрытия данных на соседних галсах.

6. Использование методик по обеспечению максимальной плотности данных на неисправных и подозрительных участках подводных трубопроводов – использования режима высокой плотности данных при равных расстояниях между лучами (High-density equidistance) и максимального увеличения количества посылок в секунду.

7. Для получения постоянной погрешности за проседание судна, стараться выполнять съёмку на постоянной скорости, погрешность должна быть определена и учтена при обработке данных.

Объём данных, получаемых при съёмке современным многолучевым эхолотом, включает в себя полную 3D информацию о подводном рельефе и объектах, расположенных на поверхности дна.

Методика работ по батиметрической съёмке подводных переходов многолучевым эхолотом включает в себя два этапа:

- **Выполнение общей съёмки** – площадная съёмка всей поверхности акватории, с целью построения общей модели подводной части перехода и предварительного выявления мест размывов трубопроводов, наличия посторонних предметов на дне акватории. Может выполняться с параметрами настроек, обеспечивающими среднюю детализацию данных. Режимы распределения лучей: при перекрытии до 50 % – режим равных расстояний между лучами (equidistance) , при перекрытии более 50 % – режим равных углов между лучами (equiangular) (рисунок 7).

При обработке могут применяться различные автоматизированные фильтры. Прореживание данных для построения модели выполняется для облегчения объёма проекта, допускается прореживание до пределов сетки 1x1 или 2x2 м.

- **Выполнение детальной съёмки** – площадная съёмка полос над трубопроводами, детализация мест оголений и провисов трубопроводов, подозрительных участков и посторонних предметов на дне (затопленные суда, металлические предметы и т.д.). Выполняется с максимальной детализацией, применяется режим высокой плотности данных при равных расстояниях между лучами (High-density equidistance) (рисунок 7).

При обработке следует избегать автоматизированных фильтров на основе технологии CUBE, наиболее приемлемы фильтры на основе Surface

Spline (сплайна поверхности) или ручная фильтрация. Так как необходима полная картина интересующих участков, прореживание данных не производится.

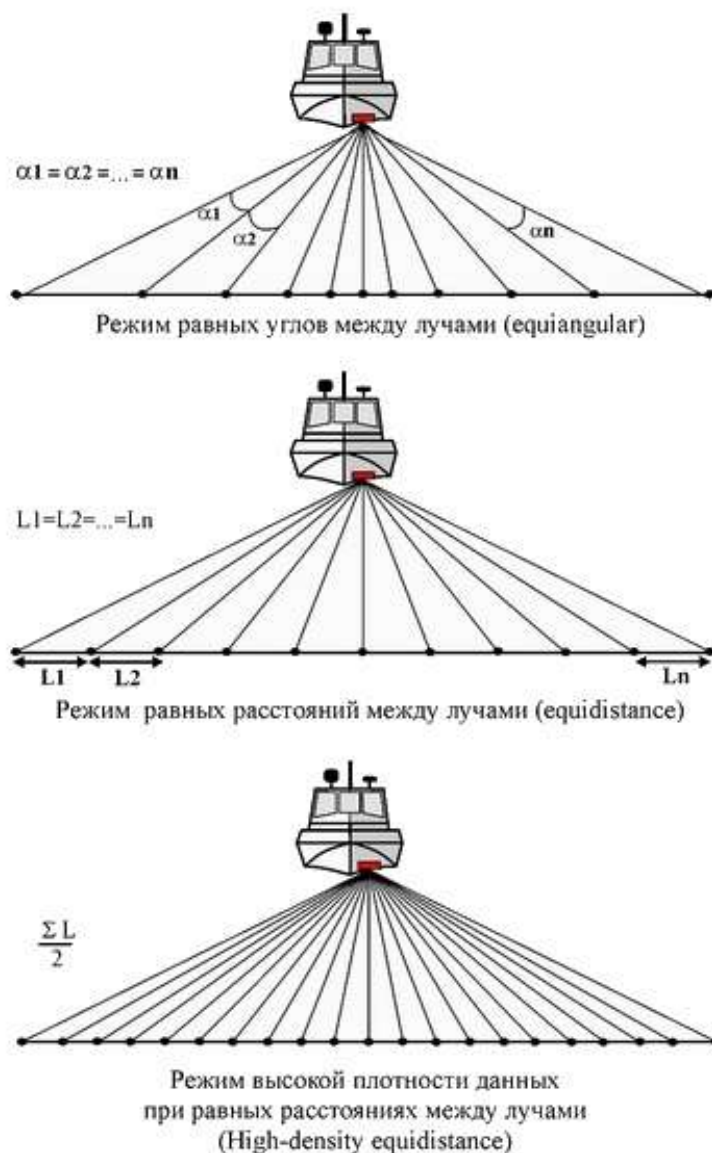


Рис. 7. Режимы распределения лучей многолучевого эхолота EM 3002.

Выводы:

1. Выбор данных приборных комплексов является наиболее оптимальным с точки зрения точности, полноты данных и скорости получения информации. Традиционная методика, основывающаяся на производстве работ однолучевым эхолотом, не может полностью решать задач детальной батиметрической съёмки подводных переходов и рекомендуется к применению для:

- объектов небольшой площади и глубины;
- объектов с пологим подводным рельефом;
- объектов, не требующих 100 % покрытия данными.

2.Методика, основывающаяся на производстве работ многолучевым эхолотом, может быть использована в остальных случаях, но при выполнении всех необходимых условий для корректного функционирования комплекса, включающих в себя: высокоточное позиционирование, тщательную калибровку, методичное измерение профилей скорости звука и т.д.

3.После внедрения разработанной методики, повысилась эффективность и безопасность производства водолазных работ - самого сложного, длительного и опасного вида работ при обследовании подводных переходов.