

УДК 629.5.058  
DOI: 10.34046/aumsuomt92/6

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВОГО ЭХОЛОТА В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ НА СПГ ГАЗОВОЗАХ ТИПА ARC7

*В.В. Тульчинский, аспирант*

В статье рассмотрены особенности использования эхолотов при эксплуатации в Арктических морях. Рассмотрены особенности конструкции ледового СПГ танкера-газовоза типа Arc7 относительно установки антенн эхолотов, а также конструктивные причины зашумления сигнала. Представлен анализ по настройке параметров фильтрации эхосигнала для стабильной работы прибора на различных глубинах и типах дна.

**Ключевые слова:** эхолот, настройка эхолота, осциллограмма эхосигнала, арктическая навигация, СПГ газовоз, Arc7 газовоз.

The article describes the features of the Doppler echo sounders while operating in the Arctic seas. The design features of the ice-breaking Arc7 LNG gas tanker regarding to the installation of echo sounder antennas, as well as the constructive reasons for signal noise, are considered. An analysis is presented on how to adjust the filtering parameters of the echo signal for stable operation of the device at various depths and types of the bottom.

**Keywords:** echo sounder, echo sounder setup, echo oscillogram, arctic navigation, LNG gas carrier, Arc7 gas carrier.

Использование новых транспортных морских путей способствует развитию не только логистических связей и путей сбыта углеводородов, но также имеет определенные последствия в плане усложнения условий эксплуатации морского транспорта. Требуется особое внимание судоводителя к различным судовым приборам и системам, а также особенностям их использования в определенных районах мирового океана. Запуск такого проекта, как Ямал СПГ, потребовал множества инновационных решений. Одним из таких решений являлось создание первого в мире ледового СПГ газовоза типа Arc7. Условия эксплуатации судна имеют свои уникальные особенности. Основной район плавания – акватории северных морей. Место регулярного захода на погрузку – Обская губа, которая имеет свои физико-географическими особенности. К ним можно отнести метеорологические особенности, особенности поведения припайных льдов во время ледовой навигации, сложности прохождения «морского канала», течения, приливо-отливные колебания уровня, а также характер дна. Как известно, запас воды под килем – важнейший параметр, который необходимо учитывать судоводителю как при планировании, так и при выполнении проводки судна. Поэтому из-за физико-географических условий, а также особенностей конструкции корпуса на новых газовозах типа Arc7 эхолот является важнейшим прибором, которому необходимо уделять соответствующее внимание.

В статье речь пойдет об особенностях использования эхолотов в различных географиче-

ских районах и различных глубинах. Будут рассмотрены особенности конструкции танкера-газовоза типа Arc7 относительно установки антенн эхолотов, а также представлен анализ по выработке правильных параметров использования эхолота на танкерах-газовозах типа Arc7 при работе в Арктических морях.

Первопричиной некорректной работы эхолота могут служить 2 основных фактора. Это соотношение состояние воды и дна к соответствующим настройкам фильтрации отраженного сигнала, а также разная скорость распространения звуковых волн.

Существует эмпирическая *Формула 1*, предложенная Маурером, для расчета скорости звука в воде по известным температуре и солёности. В отечественной литературе иногда эта формула называется формулой Березкина. Ее недостаток состоит в том, что она не учитывает давления и пригодна для расчетов скорости звука только в приповерхностных слоях воды при атмосферном давлении[1].

$$c = 1445 + 4.46t - 0.016t^2 + (1.2 - 0.015t) * (S - 35) \quad (1)$$

где  $t$  – температура воды,

°C;  $S$  – солёность воды, ‰.[1]

Из формулы видно, что то, в какой воде эксплуатируется эхолот, сильно влияет на его работу. В более пресной и чистой воде эхосигнал распространяется лучше. В соленой воде звук поглощается сильнее, к тому же он рассеивается на многочисленных взвешенных в морской воде частицах. В районе Обской губы вода более пресная. Однако там из-за характера дна вода не является «чистой»

и в ней присутствует множество взвешенных частиц. К тому же на рассеивание сигнала в период зимней навигации могут влиять небольшие частицы льда, взвешенные в водной тоще.

Звуковые волны с большей частотой подвержены эффекту рассеяния сильнее. Такие волны не могут проникать в водную толщу так же глубоко как низкочастотные волны. При работе в соленой воде проблема частично связана еще и с тем, что моря и океаны – это динамичная среда. Водная масса находится в постоянном движении из-за ветра и течений. Огромное количество мелких пузырьков, рассеивающих сигналы эхолота,

образуется из-за волн на поверхности. Подобный эффект дают и содержащиеся в воде микроорганизмы (мелкие водоросли, планктон). На большинстве судов при движении судна в водной среде форштевень в местах наибольшего напряжения также создает подобные пузырьки, которые в зависимости от геометрии корпуса рассеиваются в водной среде (см. Рисунок 1). Поэтому антенну эхолота с 200 КГц излучателем обычно устанавливают чуть дальше в нос судна для наиболее устойчивой и корректной работы.

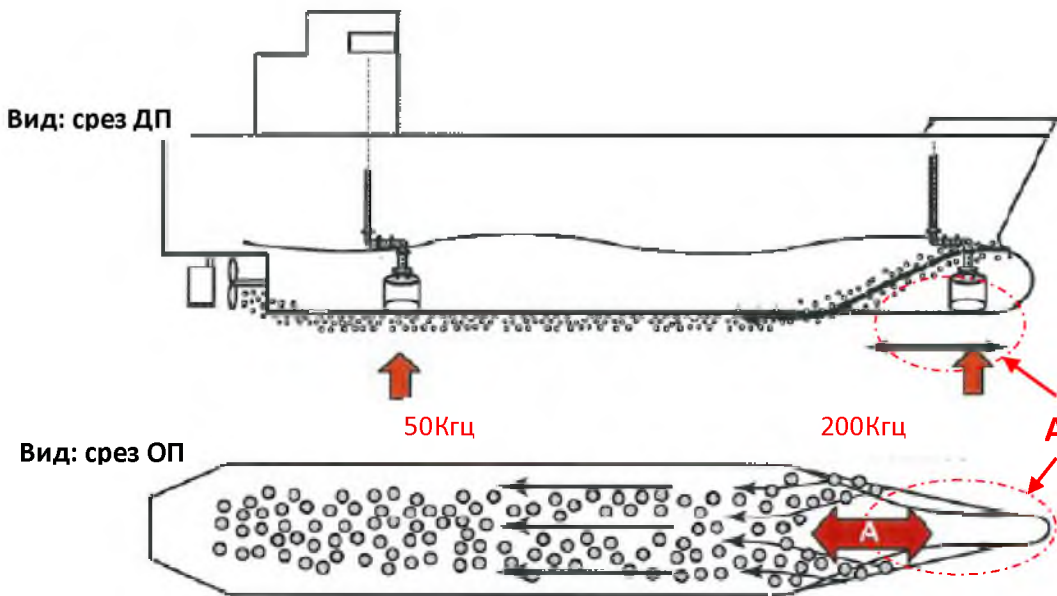


Рисунок 1 – Влияние напряжения жидкости и образующихся пузырьков на работу эхолота

Танкер-газовоз типа Arc7 оснащен 3 азиподами по 15 МВт каждый. Совместная работа этих азиподов создает очень сильные возмущения водной среды, из-за которых образуются пузырьки воздуха, сильно искажающие отраженный сигнал. На Рисунке 2 представлен срез кормовой части вышеуказанного газовоза. Учитывая, что данный тип арктических газовозов рассчитан на движение как носом, так и кормой вперед, набегающий поток жидкости иногда направлен на место расположение кормового сонара эхолота, что может искажать его работу. Очевидно, что при движении кормой вперед (нижняя часть на Рисунке 2) антенна 50 КГц излучателя будет подвергаться нежелательному воздействию подобных возмущений.

Общий вид расположения всех измеряющих датчиков представлен на Рисунке 3. Видно, что по сравнению со стандартной формой форштевня, представленной на Рисунке 1 ледовый класс газовоза Arc7 требует расположения 200 КГц антенны далее в корпусе судна. В этом месте в потоке также могут встречаться как пузырьки

воздуха, так и мелкие взвешенные в воде частицы льда в ледовую навигацию при плавании на мелководье.

Песок, грязь и водная растительность на дне заметно поглощают сигналы эхолота, ослабляя этим отраженный сигнал, который формирует на экране линию дна. Твердые объекты, такие как камни, сланцы, кораллы и т.д. хорошо отражают сигналы. Данное различие можно заметить на экране эхолота. Каменистое дно даст на экране широкую линию, в то время как мягкое дно, например, илистое, даст тонкую линию.

В Арктических морях температура воды редко бывает одинаковой как на поверхности, так и на глубине. Обычно существует слой теплой и холодной воды. Граница слоев называется «термоклинном». Глубина и толщина его залегания зависят от времени года. Чем больше разница в температурах холодного и теплого слоя, тем лучше она видна на экране.

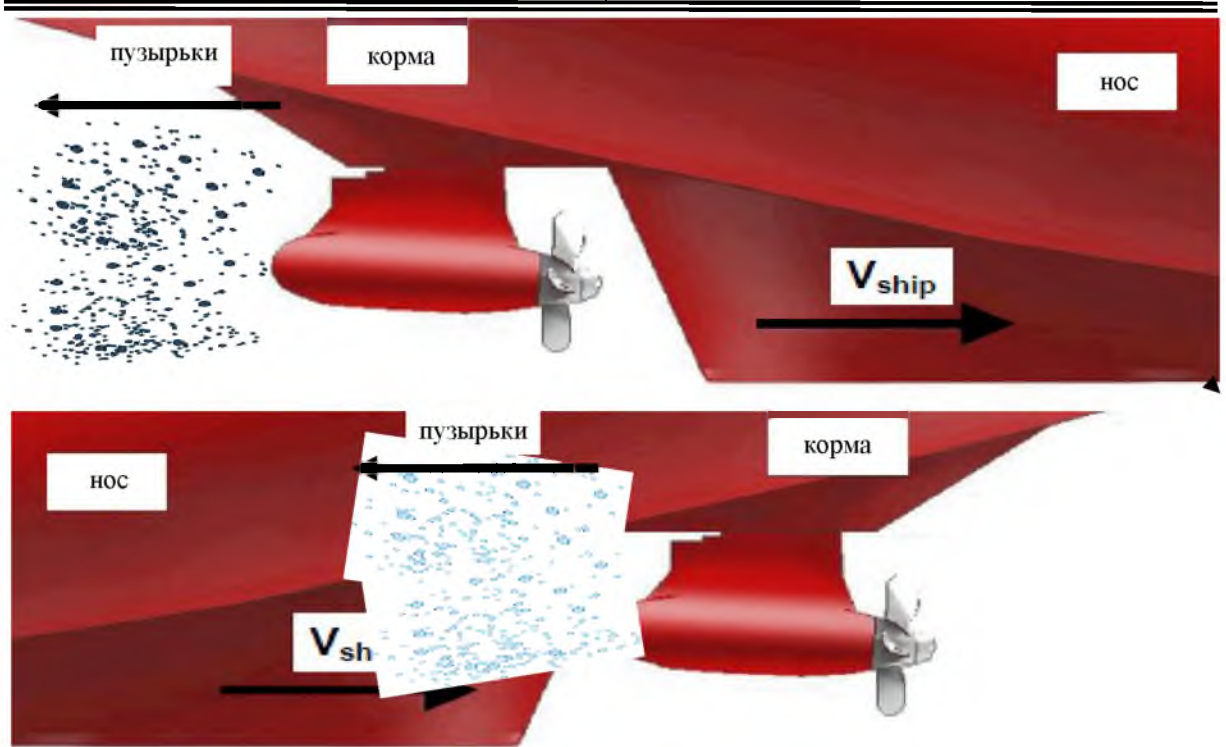


Рисунок 2 – Влияние работы азиподов на эхолот на газовозах типа Arc7

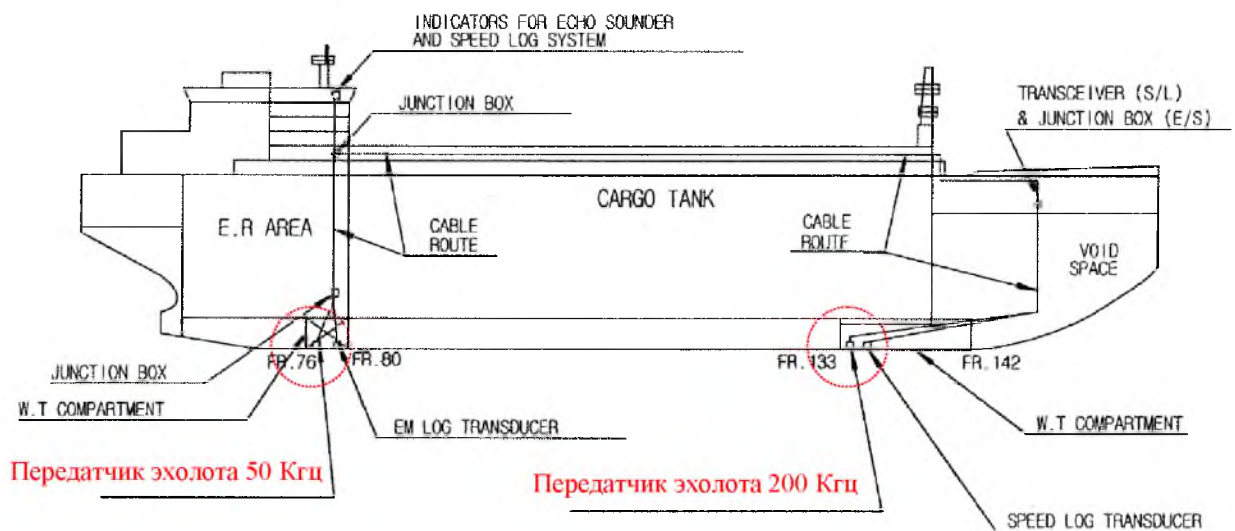


Рисунок 3 – Расположение приемо-передающих антенн на газовозе типа Arc7

На *Рисунке 4* приведен пример фиксации температурного слоя эхолотом (выделен красным) в акватории Обской губы. Также на *Рисунке 4* белым выделена повторная фиксация отраженного сигнала от корпуса судна, что возможно лишь на небольших глубинах.

Все вышеуказанные факторы могут оказывать пагубное влияние на конечный результат измерений эхолотом глубины под корпусом. Принятый эхосигнал может быть либо слишком зашумлен, либо наоборот, слишком слаб. В то же время судоводителю необходимо получать непрерывные и достоверные сведения с эхолота. При работе в Арктических морях на газовозе типа Arc7

из-за регулярной смены влияющих факторов приходится постоянно контролировать и настраивать данный прибор. Автор в данной статье рассматривает комплекс мер быстрой и правильной настройки эхолота данного типа.

Исследования проводились на двухканальном эхолоте «SKIPPER GDS 102», устанавливаемом на СПГ газовозы Arc7. Основным инструментом настройки принятого эхосигнала является «Gain» - усиление и «Time Variable Gain (далее TVG)» - усиление, измененное во времени. Также доступно изменение выходной мощности посылаемого сигнала «Power».



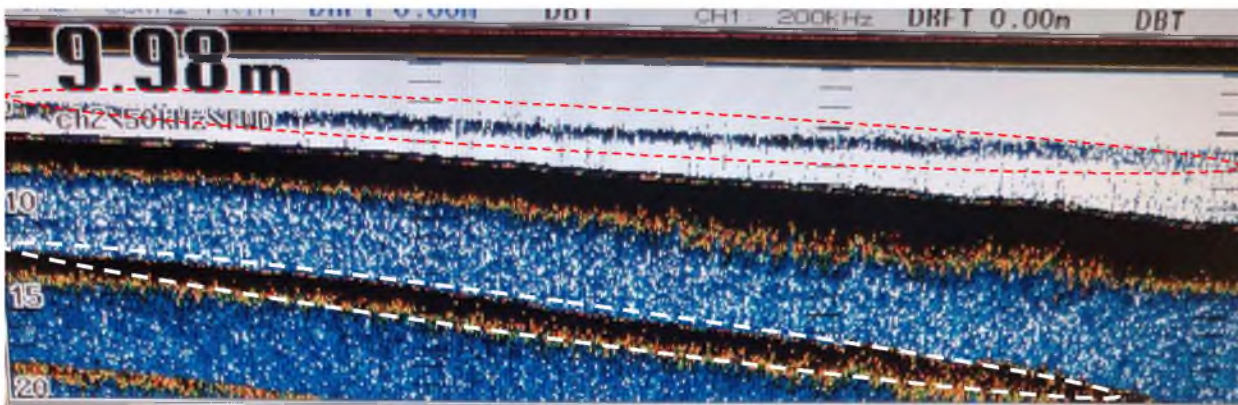


Рисунок 4 – Температурные слои и повторная фиксация сигнала

Настройки «Gain» и «TVG» позволяют сформировать результирующую кривую усиления, используемую усилителями приемника. Сигнал затухания в воде пропорционален логарифму расстояния до дна. Используется *Формула 2* для расчета усиления для каждого момента времени, где «G» - настройка «Gain», T – «TVG», «R» - расстояние звука и «A» является постоянной величиной, компенсирующей разное затухание сигналов с разными частотами.

Как видно, коэффициент усиления в принципе представляет собой смещение, используемое для компенсации допусков преобразователя о результирующей чувствительности (чувствительность передачи и чувствительность приема). Настройку «TVG» можно использовать для обеспечения различного подавления эхо-сигналов, возвращаемых к преобразователю, что может быть полезным в случае сильного отражения от температурных слоев, пузырьков воздуха и других препятствий. Повышение значения «TVG» приводит к снижению подавления.

Как «Gain», так и «TVG» должны быть настроены индивидуально для каждого канала, чтобы достичь стабильного приема дна и обнаружения на всех глубинах в рабочем диапазоне.

Выходная мощность «Power» может регулироваться от 1 до 100%. Снижение мощности может быть полезно в случае более мелкой воды. Слишком высокая мощность в таких случаях может привести к насыщению приемника или обнаружению нежелательных вторичных и посторонних эхо-сигналов.

Программно эхолот GDS102 также имеет алгоритм обнаружения дна, который будет пытаться распознать сигнал дна среди всех видов шумов и вторичных эхо-сигналов. Если программное обеспечение не может обнаружить дно в течение нескольких импульсов, выдается ошибка приема.

Так же частью алгоритма обнаружения дна является фильтрация «шаг за шагом». Каждый

следующий шаг поиска дна основан на параметрах времени и силы, используемых в предыдущем шаге поиска. Эта процедура снижает вероятность отслеживания косяков рыбы или вторичных эхо-сигналов как донных.

Наиболее удобным способом точной настройки эхолота, применительно к данным окружающим условиям, можно считать использование окна осциллограммы (*Рисунок 5*). Осциллограмма – это графическое представление в реальном времени полученного эхосигнала в зависимости от времени.

Горизонтальный (временной) масштабный коэффициент указывается в верхней средней части окна осциллограммы. Вертикальная шкала представляет оцифрованное значение сигнала, которое соответствует силе сигнала. Сигнал представлен зеленой кривой. Красная вертикальная линия маркера указывает на обнаруженное дно. Синие вертикальные линии маркера указывают на другие эхосигналы, которые также принимаются во внимание алгоритмом обнаружения. Горизонтальная линия маркера (пурпурный) является нижней точкой запуска сигнала. Кривая логарифмической формы (серая) отображает настройки усиления приемника в зависимости от времени. Упомянутая выше *Формула 2* используется для расчета усиления для каждого момента времени:

$$G + T * \log R + A \quad (2)$$

где G - настройка «Gain», T – «TVG», R - расстояние прохождения звука, A является постоянной величиной, компенсирующей разное затухание сигналов при разных частоты.

В окне осциллограммы отображается только один канал за раз. Осциллограмма на *Рисунке 5* показывает обнаруженный нижний сигнал (рядом с красным маркером), за которым следуют второй и третий отраженный нижний сигнал. Более низкие сигналы в конце временной шкалы представляют собой шум, вызываемый вибрацией, морскими условиями и т.д.

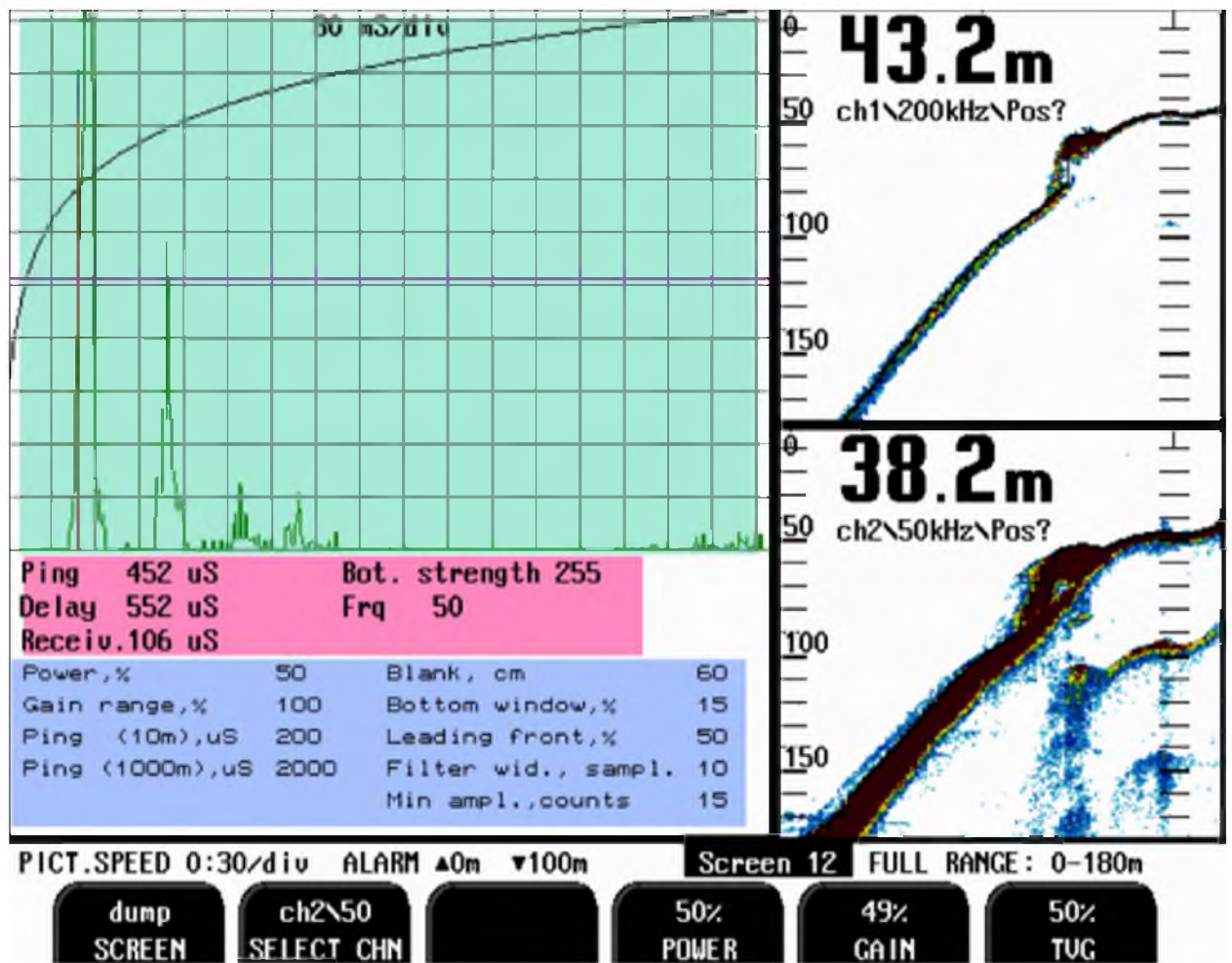


Рисунок 5 – Пример графического представления эхосигнала (окно осциллограммы)

В ходе проведенного исследования на газовозе типа Arc7 при плавании по маршруту из акватории Обской губы в Норвежское море через Карское море, мыс Желаний и Баренцево море, производилась постоянная подстройка параметров эхолота до значений, при которых появлялся чистый, устойчивый сигнал дна. Полученные значения записывались, сверялись для исключения ошибок с картографическими

данными. Измерения проводились как для носового излучателя 200 КГц, так и для кормового излучателя в 50 КГц. Результаты измерений сведены в таблицу на Рисушке 6.

Далее по измерениям были построены графики, представленные на Рисушке 7. К каждой кривой зависимости величин применена линейная регрессия для нахождения зависимостей.

200 кГц			Глубина	50 кГц		
Мощность (Power)	Усиление (Gain)	Временная Задержка (TVG)		Мощность (Power)	Усиление (Gain)	Временная Задержка (TVG)
35	29	90	4.75	10	59	43
-	-	-	4.9	15	65	55
40	24	88	9.9	25	45	70
40	29	100	10	15	95	63
45	24	88	12.5	25	65	83
25	69	50	16.5	25	53	73
35	45	33	47	36	27	35
70	71	18	91	35	47	33
45	24	60	95	25	39	43
55	27	53	189	40	45	48
35	57	25	290	36	57	38
55	49	25	294	40	45	48
35	-	-	401	36	27	35

Рисунок 6 – Результаты измерений

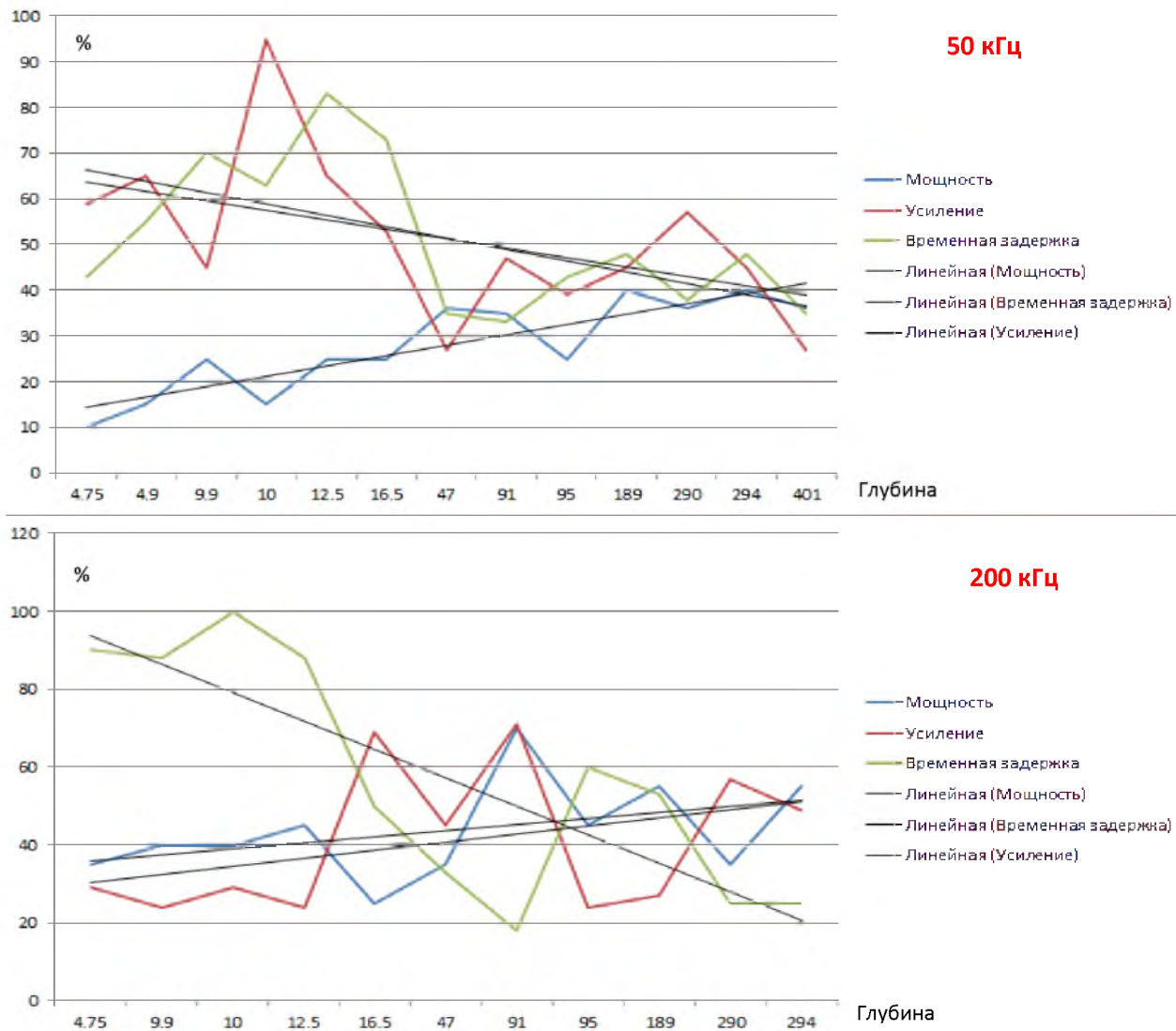


Рисунок 7. Функциональная зависимость

Таким образом, исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

- Для 200 КГц излучателя с увеличением глубины необходимо увеличивать выходную мощность Power, увеличивать Gain и снижать значение TVG.

- Для 50 КГц излучателя с увеличением глубины необходимо увеличивать выходную мощность Power, снижать значение Gain и TVG.

- Особенности конструкции корпуса СПГ газовой ледового класса Arc7, особенно азиподы, могут заметно влиять на качество эхосигналов, принимаемых антенной эхолота. Поэтому судоводителю необходимо уделять особое внимание данному прибору и постоянно контролировать правильность настройки параметров «Power», «Gain» и «TVG» для носового и кормового приемника.

- Особенности дна в акваториях Арктических морей, например районе Обской губы, также

оказывает влияние на показания прибора. Необходимо принимать это во внимание при контроле запаса воды под килем, особенно при прохождении стесненных и мелководных участков.

**Литература**

1. Завьялов, В.В. Судовые навигационные эхолоты. В 2 ч. Ч. I. Теория: учебное пособие / В.В. Завьялов, В.Ф. Полковников, А.И. Саранчин. – Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2012. – 93 с.
2. Skipper GDS 102 Dual Channel Graphic Depth Sounder (10-265 kHz). Operation And Installation Manual. Edition: 20051116 sw 1.10.1. – 311 с.
3. Кондратьев С.И. Теоретические основы управления крупнотоннажными судами по критериям безопасности и энергосбережения: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – Новороссийск, 2004.
4. Астреин В.В., Кондратьев С.И., Боран-Кешишьян А.Л. Задача самоорганизации групп судов для предупреждения столкновений // Эксплуатация морского транспорта. – 2016. – № 1 (78). – С. 32-38.



5. Астреин В.В., С.И. Кондратьев, Хекерт Е.В. Алгоритм самоорганизации групп судов для предупреждения столкновений [Текст] //Эксплуатация морского транспорта.– 2016.– № 2 (79).– С. 45-50.

#### References

1. Zav'jalov, V. V. Sudovynavigacionnyeholoty. V 2 ch. Ch. I. Teorija: ucheb. posobie / V. V. Zav'jalov, V. F. Polkovnikov, A. I. Saranchin. – Vladivostok: Mor. gos. un-t, 2012. – 93 s.  
2. Skipper GDS 102 Dual Channel Graphic Depth Sounder (10-265 kHz). OperationAndInstallationManual. Edition: 20051116 sw 1.10.1. – 311 s.

3. Kondrat'ev S.I. Teoreticheskie osnovy upravleniya krupnotonnazhnyimi sudami po kriteriyam bezopasnosti i energosberezheniya. Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / Novorossiysk, 2004.

4. Astrein V.V., Kondrat'ev S.I., Boran-Keshish'yan A.L. Zadacha samoorganizacii grupp sudov dlya preduprezhdeniya stolknovenij. Ekspluataciya morskogo transporta. 2016. № 1 (78). S. 32-38.

5. Astrein V.V., S.I. Kondrat'ev, E.V. Hekert Algoritm samoorganizacii grupp sudov dlya preduprezhdeniya stolknovenij [Tekst] //Ekspluataciya morskogo transporta. 2016. № 2 (79). S. 45-50.

УДК 656.61.0524

DOI: 10.34046/aumsuomt92/7

## АВТОРУЛЕВОЙ БЕЗЭКИПАЖНОГО СУДНА

*Я.В. Бурьлин, кандидат технических наук*

*А.Н. Попов, кандидат технических наук*

Предлагается способ построения авторулевого, предназначенного для автоматической проводки безэкипажных судов по заданным траекториям. Представлен алгоритм выработки управляющих воздействий на судно на основе его текущих кинематических характеристик по иерархически организованному ПИД и ПИ законам. Предложен способ выбора точки начала маневра как расстояния до пересечения линий пути в зависимости от угла поворота. Представлены результаты практических испытаний автоматически пилотируемого судна.

**Ключевые слова:** безэкипажное судно, автоматическое управление, программная траектория.

Proposed a method for constructing an autopilot designed for crewless vessels along program trajectories. An algorithm for generating ship control signals based on its current kinematic parameters due to hierarchically organized PID and PI regulators is presented. The method of selection of point of maneuvering commence due to distance to course lines cross depending on turning angle value is presented. The results of maneuvering tests of an automatically manned vessel are presented.

Keywords: unmanned vessel, automatic control, programmed trajectory.

Отрасль судоходства переживает в настоящее время научно-техническую революцию в результате внедрения концепции e-Навигации, результатом которой становится постепенное усиление интеллектуальной поддержки действий человека-оператора в процессе маневрирования судна. В связи с этим возникает потребность в исследовании последствий внедрения технологии безэкипажных судов [4]. Такие исследования предлагается производить на малогабаритных дистанционно управляемых и автономных морских подвижных объектах (ММПО) [2].

В июле 2019 года на базе образовательного центра «Сириус» в рамках научно-технологической образовательной программы «Большие вызовы» под непосредственным руководством авторов были произведены натурные исследования управления безэкипажным флотом. Проект «Безэкипажное судно с системой поддержки принятия решений на основе дополненной реальности», представленный авторами, первенствовал в номинации «Морской интеллект» [5].

В процессе управления судном по траектории, традиционно заданной точками на координатной секте земного эллипсоида, возникает проблема перехода с одного плеча траектории на другое [1, 3], когда не ясно в какой момент времени начинать маневр и по какой траектории будет двигаться судно в период маневрирования. Проблема может быть решена заданием траектории помощью траекторной функции [3] либо учетом табличных маневренных характеристик судна. Оба метода имеют свои недостатки: в первом случае сложно определять отклонение от траектории, во втором нельзя учесть одерживание судна при выходе на следующее плечо траектории.

Необходимо найти либо табличную, либо функциональную зависимость расстояния от положения ММПО до точки поворота на котором необходимо начинать маневр от угла поворота и текущих кинематических характеристик судна.

$$S \leq f(X, \Delta K), \quad (1)$$

где  $X, \Delta K$  – вектор состояния судна, угол поворота.