

средств для размещения ПГЛС. Ведётся разработка алгоритмов и ПО первичной и вторичной обработки гидроакустических сигналов и разработка комплекта рабочей конструкторской и программной документации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проект федерального закона № 482298-5 «Об аквакультуре». Официальный интернет-портал Министерства сельского хозяйства РФ <http://mcs.ru/documents/document/show/16771.77.htm> (ссылка по состоянию на 05.04.2013 г.).
2. Спрос на продукцию аквакультуры продолжает расти. Сайт "Рыбные ресурсы" <http://www.fishres.ru/news/news.php?id=19765> (ссылка по состоянию на 05.04.2013 г.).
3. Федеральный закон «О рыболовстве и сохранении водных биологических ресурсов» от 20.12.2004 г. № 166-ФЗ (ред. от 06.12.2011 г. с изменениями, вступившими в силу 01.01.2013 г.). <http://www.referent.ru/1/206117> (ссылка по состоянию на 05.04.2013 г.).
4. Долгов А.Н., Раскита М.А. Разработка структуры ГАК и требований к алгоритмам вторичной и третичной обработки сигналов для обнаружения и подсчета одиночных рыб в приповерхностном слое // Труды X Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». – СПб.: Наука, 2010. – С. 134-136.
5. Долгов А.Н., Раскита М.А. Архитектура программного обеспечения прибора управления и индикации научного гидроакустического комплекса // Труды XI Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». – СПб.: Наука, 2012. – С. 159-162.
6. Долгов А.Н. Теория и практика проектирования тренажёров гидроакустической рыбопоисковой аппаратуры. – Ростов-на-Дону: ЗАО «Росиздат», 2009. – 400 с.
7. Долгов А.Н., Десятерик М.Н., Набойченко М.А., Раскита М.А. Программный имитатор сигналов многолучевого гидролокатора бокового обзора (программа для ЭВМ). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011616996.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., проф. Я.Е. Ромм.

Долгов Александр Николаевич – ООО «Конструкторское бюро морской электроники “Вектор”»; e-mail: dolgov@vector.ttn.ru, mail@vector.ttn.ru; 347913, г. Таганрог, ул. Менделеева, 6; тел./факс: 88634333900; директор-генеральный конструктор; к.т.н.

Раскита Максим Анатольевич – e-mail: raskita@vector.ttn.ru; старший научный сотрудник; к.т.н.

Dolgov Alexander Nikolaevich – Vector marine electronics, Ltd; e-mail: dolgov@vector.ttn.ru, mail@vector.ttn.ru; 6, Mendeleev street, Taganrog, 347913, Russia; phone/fax: +78634333900; director general; cand. of eng. sc.

Raskita Maxim Anatolievich – e-mail: raskita@vector.ttn.ru; senior researcher; cand. of eng. sc.

УДК 519.876.5

А.Н. Долгов, А.Н. Куценко, М.А. Раскита

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ ВТОРИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ МНОГОЛУЧЕВОГО ГИДРОЛОКАТОРА СЕКТОРНОГО ОБЗОРА ДЛЯ ПОДСЧЕТА ОДИНОЧНЫХ РЫБ И ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ КОСЯКОВ РЫБ

Приводится описание результатов моделирования некоторых алгоритмов вторичной обработки эхо-сигналов многолучевого гидролокатора секторного обзора. Вторичная обработка эхо-сигналов применяется для адаптивного выделения полезных сигналов на фоне помех, определения координат обнаруженных объектов с учётом движения и качки судна, селекции донного эхо-сигнала, автоматического подсчёта одиночных рыб, определения геометрических и акустических характеристик косяков рыб. Приводится обобщённая

структура программного обеспечения прибора управления и индикации гидролокатора. Многолучевой гидролокатор секторного обзора предназначен для подсчёта одиночных рыб и оценки параметров косяков рыб в широкой полосе обзора в приповерхностном слое и в мелководных внутренних водоёмах.

Многолучевой гидролокатор; широкая полоса обзора; вторичная обработка сигналов; автоматический подсчёт одиночных рыб; оценка параметров косяков рыб; адаптивная пороговая обработка; селекция донного сигнала.

A.N. Dolgov, A.N. Kutsenko, M.A. Raskita

FISH COUNTING SECTOR VIEW MULTIBEAM SONAR ECHOSIGNALS SECONDARY PROCESSING MODELING RESULTS

Description of modeling results of some secondary processing algorithms for sector view multibeam sonar echosignals processing is given in this paper. Echo signals secondary processing is applying for adaptive thresholding, detected objects coordinates determining taking into consideration spatial movement of the vessel, bottom echosignal detection, single fishes automatic counting, fish schools geometric and acoustic characteristics determining. General software structure of sonar control and display unit is shown. Sector view multibeam sonar is intended for single fishes counting and fish schools geometric and acoustic characteristics determining in wide swath in subsurface layer and in shallow inland waters.

Multibeam sonar; wide swath; secondary processing; single fishes automatic counting; fish schools characteristics estimation; adaptive thresholding; bottom echosignal detection.

Для решения научно-исследовательских задач по количественной оценке запасов промысловых видов рыб, обитающих в приповерхностном слое на глубинах 0-60 м и во внутренних мелководных водоёмах глубиной до 10 м, конструкторским бюро морской электроники «Вектор» (ООО «КБМЭ “Вектор”», г. Таганрог) разрабатывается научная гидроакустическая (ГА) аппаратура, имеющая широкую полосу обзора в приповерхностном слое и на мелководье [1, 2]. Работы проводятся в рамках Федеральной целевой программы «Развитие гражданской морской техники» на 2009–2016 гг. (опытно-конструкторские работы (ОКР) «Эхопоиск-Веер-ПУИ», «Акватория-Веер-ПО ПУИ», «Сектор»).

Одной из основных задач ОКР является разработка математических моделей, программных алгоритмов и программного обеспечения (ПО) вторичной и третичной обработки гидроакустических сигналов, функционирующего в приборе управления и индикации (ПУИ). Задачами вторичной и третичной обработки являются:

- ◆ адаптивное выделение полезных сигналов на фоне помех;
- ◆ селекция выделенных эхо-сигналов и принятие решения об обнаружении одиночной рыбы или рыбной стаи (косяка рыб);
- ◆ определение координат обнаруженных объектов с учётом движения и качки судна;
- ◆ селекция донного эхо-сигнала;
- ◆ автоматический подсчёт одиночных рыб;
- ◆ определение геометрических и акустических характеристик косяков рыб.

Более подробно структура разрабатываемого программного обеспечения обработки гидроакустической информации приведена на рис. 1.

Модуль компенсации уровня сигнала осуществляет компенсацию уменьшения амплитуды эхо-сигналов, обусловленного, как известно, поглощением звука в воде и геометрическим расхождением фронтом звуковой волны.

Поглощение компенсируется путём домножения значений амплитуды эхо-сигналов на коэффициент $10^{(0,0001 \cdot \beta \cdot R)}$, где R – дистанция до текущей выборки амплитуды, β – коэффициент поглощения звука, рассчитываемый в зависимости от температуры и солёности воды водоёма, где используется гидролокатор.

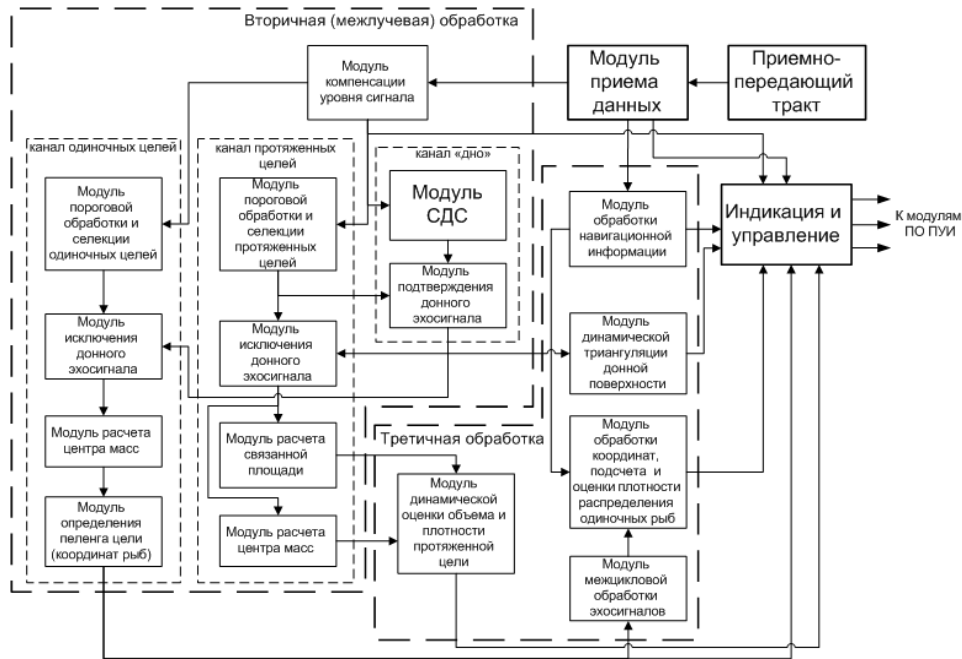


Рис. 1. Структура ПО ПУИ

Закон временной автоматической регулировки усиления (ВАРУ) аппаратной части гидролокатора реализует функцию компенсации геометрической расходимости только для одного типа целей (протяженных или одиночных целей). Это приводит к тому, что в одном из каналов обработки данных (канале одиночных или протяженных целей) эхо-сигналы будут «согласованы по амплитуде», а в другом – нет. Другими словами, для корректной вторичной обработки сигналов необходимо вводить закон ВАРУ для каждого канала ($20 \lg(R/R_{min})$ – для канала протяженных целей и $40 \lg(R/R_{min})$ – для канала одиночных целей). Это осуществляется программно введением учета дополнительного закона ВАРУ ($+20 \lg(R/R_{min})$) для канала одиночных целей, при выбранном в аппаратной части законе ВАРУ $20 \lg(R/R_{min})$.

R_{min} – начальная дистанция работы ВАРУ (м), рассчитываемая в зависимости от максимальной дистанции и динамического диапазона приемно-передающего тракта гидролокатора:

$$R_{min} = R_{max} / D, \quad (1)$$

где R_{max} – максимальный диапазон дальности (м); D – динамический диапазон приемного тракта.

Модули пороговой обработки и селекции одиночных/протяженных целей предназначены для автоматического обнаружения полезных эхо-сигналов на фоне помех и их селекции на эхо-сигналы от одиночных и протяженных целей. Алгоритм пороговой обработки реализуется с помощью формирования адаптивного порога – «заднего плана» (BackGround) [3]. BackGround формируется путем фильтрации исходного («сырого») сигнала. Для вычисления ядер фильтров используется интегральная матрица [4], которая существенно уменьшает вычислительные затраты при нахождении среднего арифметического значения в окне для каждого элемента искомого массива данных BackGround. Размеры окна фильтра (количество отсчетов по дальности \times количество лучей) задаются в интерфейсе ПУИ.

Для устранения случайных высокочастотных выбросов «сырой» сигнал «сглаживается» – формируется функция «переднего плана» (ForeGround). Размеры окна фильтра ForeGround также задаются в интерфейсе ПУИ и они значительно меньше размера окна фильтра BackGround. В качестве структурного элемента фильтра используется та же интегральная матрица, что и для фильтра BackGround.

Затем значение «сглаженного» сигнала ForeGround сравнивается с адаптивным порогом BackGround, и при превышении сглаженным сигналом ForeGround адаптивного порога BackGround на задаваемую оператором пороговую величину PorST ($\text{ForeGround} - \text{BackGround} > \text{PorST}$) принимается решение о наличии полезного эхосигнала в исследуемом массиве данных. Регулировка размеров окон позволяет проводить селекцию одиночных или протяженных целей для разных значений длительности зондирующего импульса. На рис. 2 представлены графики описываемых функций как результат моделирования адаптивной пороговой обработки.

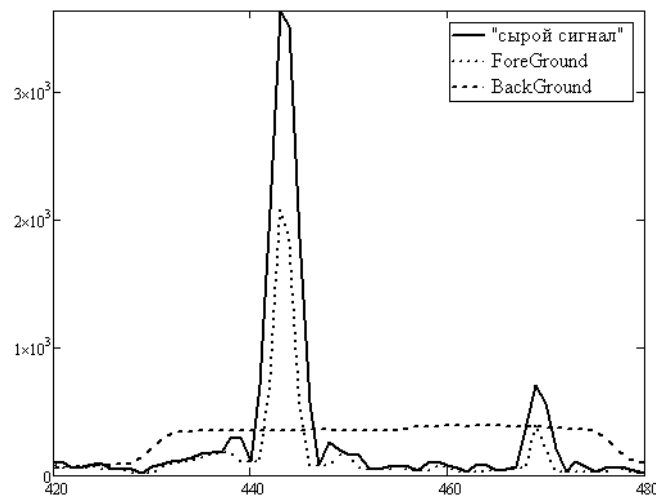


Рис. 2. Графики «сырого» сигнала, функций ForeGround и BackGround

Расчёт координат (пеленг, дальность) одиночных рыб и косяков рыб производится по единому алгоритму, соответствующему нахождению центра масс отметки цели, обнаруженной и сегментированной в модуле пороговой обработки. Координаты измеряются относительно начала локальной системы координат каждой отметки и определяются как центры масс отметки по соответствующей координате.

В модулях расчёта центра масс связанной области проводится «взвешивание» координат всех элементов массива и находится их среднее. «Вес» связанной области определяется как сумма амплитуд A («весов») всех элементов связанной области:

$$r = \frac{\sum_i i \cdot A_{i,j}}{\sum_i \sum_j A_{i,j}} \cdot \Delta r, \quad (2)$$

$$\alpha = \frac{\sum_j j \cdot A_{i,j}}{\sum_i \sum_j A_{i,j}} \cdot \Delta \alpha, \quad (3)$$

где i и j – соответственно отсчеты по дальности и углу; r – координата дальности, α – угловая координата; $\Delta \alpha$ – шаг угловой дискретизации; Δr – дискретизация по дальности.

Такой способ определения координат является универсальным по отношению к пространственным характеристикам лоцируемых объектов и обладает точностью, близкой к потенциальной точности максимального метода пеленгования

[5]. Для одиночных рыб предусмотрен более точный метод определения угловых координат (метод равносигнальной зоны), реализуемый в **модуле определения пеленга цели**.

При оценке численности одиночных рыб по получаемым в результате зондирования эхо-сигналам необходимо следить за тем, чтобы в область подсчета рыб не попадали эхо-сигналы от донной поверхности, поскольку они в значительной мере искажают результаты подсчета. Канал обработки данных, обозначенный как «Дно», позволяет выделить эх-осигнал от донной поверхности в приёмных лучах сектора обзора, «следить» за этим эхо-сигналом, исключать донный эхо-сигнал из массивов сигналов одиночных и протяжённых целей. Канал «Дно» позволяет устранить мешающее срабатывание алгоритмов селекции целей по донному эхосигналу. Описание работы модулей канала «Дно» заслуживает отдельной статьи, как и некоторые другие программные модули, и поэтому не приводится в данной работе.

Результат работы алгоритма селекции донного сигнала (СДС) показан на рис. 3. Здесь изображён фрагмент окна отображения эхосигналов многолучевой приёмной антенны в декартовой системе координат (сектор обзора 180°). Приём эхо-сигналов осуществляется от плоского дна в полярной системе координат, поэтому плоская донная поверхность отображается искажённой. Область серого цвета – «сырой» эхосигнал от донной поверхности, крупные тёмные квадраты – результат работы алгоритма СДС, малые квадраты выше и ниже крупных – окна слежения за донным эхосигналом.

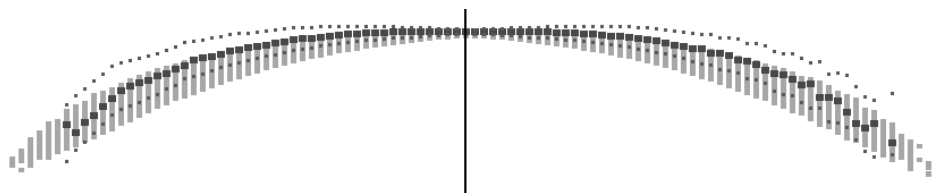


Рис. 3. Результат работы алгоритма СДС

Модули межциклового обработки сигналов такие, как модуль динамической оценки объема и плотности косяков рыб, модуль обработки координат, подсчёта и оценки плотности распределения одиночных рыб, условно выделены в группу третичной обработки сигналов, поскольку здесь математические операции осуществляются не с самими эхо-сигналами, а с координатами обнаруженных объектов.

На вход **модуля обработки координат, подсчёта и оценки плотности распределения одиночных рыб** поступают данные о координатах одиночных объектов, обнаруженных в каждом цикле излучения-приёма и данные о качке судна. Алгоритм модуля учитывает пространственное перемещение судна и «следит» за корректным подсчётом одиночных рыб, несколько раз попадающих в области уверенного приёма антенн гидролокатора.

В настоящее время геометрические размеры рыбных скоплений оцениваются на этапе постпроцессинговой обработки данных, аппроксимируя рыбные косяки эллипсоидами [6]. Указанная методика оценки объема рыбных скоплений является существенным упрощением, генерирующим погрешность оценки. Поэтому в **модуле динамической оценки объема и плотности косяков рыб** объем исследуемой протяженной цели аппроксимируется суммой объемов прямых призм с площадью основания, равной среднему арифметическому значению двух **площадей связанных областей** (рассчитываются в соответствующем модуле), объединённых в одну цель в текущем и предыдущих циклах излучения-приема. На рис. 4,а) приведена зависимость относительного объема цилиндра, вписанного в сферу для

разных соотношений высоты и радиуса цилиндра. Видно, что зависимость объема цилиндра от его высоты имеет явный экстремум – максимум, соответствующий минимальной погрешности оценки объема сферы.

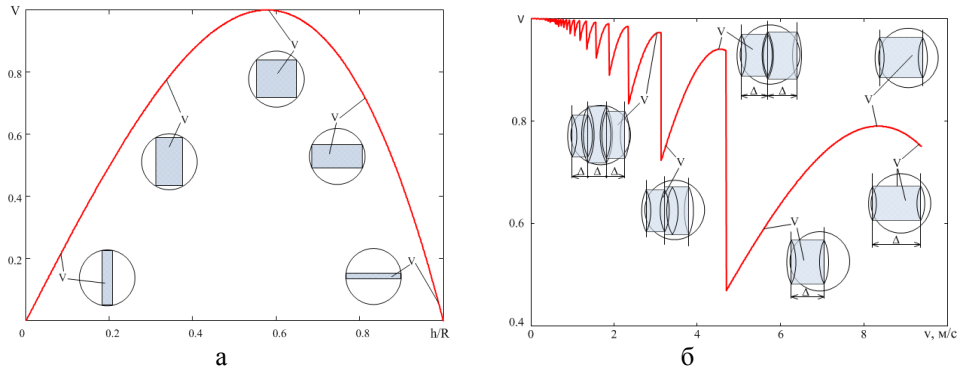


Рис. 4. Расчёт аппроксимированного объёма сферы

Установленный оператором диапазон дальности и скорость судна определяют шаг «пространственной дискретизации» $\Delta = 2 \cdot v \cdot R_{max} / c$ исследуемого косяка рыб (c – скорость звука в воде). Чем меньше шаг Δ , тем точнее определяется объем (V). На рис. 4,б) приведена кривая зависимости измеряемого по приведенному выше алгоритму объема V (отнесенного к истинному объему сферы) от скорости судна v , для диапазона дальности 400 м и радиуса сферы 5 м. Видно, что чем меньше скорость судна-носителя, тем меньше погрешность измерения объема V . Флуктуации рассчитываемого объема от скорости судна-носителя обуславливаются количеством тел аппроксимации (призм) и изменением их объема в зависимости от шага «пространственной дискретизации». Кроме того, наличие периодических экстремумов в зависимости объема от скорости судна свидетельствует о возможности разработки алгоритмов выработки рекомендаций по выбору скорости судна и диапазона дальности, для уменьшения погрешности измерения объема.

Отладка работы алгоритмов обработки сигналов осуществлялась на стенде комплексной отладки ПО ПУИ [7]. Отладка позволила выявить ряд непростых вопросов, касающихся моделей алгоритмов обработки сигналов, которые уточняются авторами в ходе дальнейшего детального анализа гидроакустических сигналов и условий применения разработанных алгоритмов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгов А.Н., Раскина М.А. Разработка структуры ГАК и требований к алгоритмам вторичной и третичной обработки сигналов для обнаружения и подсчета одиночных рыб в приповерхностном слое // Труды X Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». – СПб.: Наука, 2010. – С. 134-136.
2. Долгов А.Н., Раскина М.А. Цели и задачи создания портативного многолучевого гидролокатора секторного обзора для подсчета рыб в огражденных районах прибрежных морских зон рыболовства и во внутренних водоёмах // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – 9 (146). – С. 43-48.
3. Balk and Lindem Proceeding I. Hydroacoustic fish counting in rivers and shallow waters, with focus on problems related to tracking in horizontal scanning sonar's // Proc. 21st Scandinavian Symp. Phys Acoust. – 1998. – Vol. 04. – P. 21-22.
4. Bradley D., Roth G. Adaptive Thresholding using the Integral Image // ACM Journal of Graphics, GPU, and Game Tools. – 2007. – Vol. 12, № 2. – P. 13-21.
5. Войтов А.А., Корнеев А.Ю., Корнеев Ю.А. Проблемы сопровождения объектов в гидролокаторах освещения ближней обстановки // Труды XI Всероссийской конференции «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». – СПб.: Наука, 2012. – С. 59-63.

6. Элиминевич А., Калиновский Я., Пекутоски Л. Опыт использования гидролокационной аппаратуры для количественной оценки скопления рыбы // Труды V научно-технической конференции по развитию флота рыбной промышленности и промышленного рыболовства социалистических стран. В 3 т. Т. 3. – Л.: Судостроение, 1978. – С. 40-51.
7. Долгов А.Н., Раскита М.А. Имитатор гидроакустических сигналов для отладки научного гидроакустического оборудования, предназначенного для мониторинга водных биоресурсов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 9 (122). – С. 52-56.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., проф. Я.Е. Ромм.

Долгов Александр Николаевич – ООО «Конструкторское бюро морской электроники “Вектор”»; e-mail: dolgov@vector.ttn.ru, mail@vector.ttn.ru; 347913, г. Таганрог, ул. Менделеева, 6; тел./факс: 88634333900; директор-генеральный конструктор; к.т.н.

Раскита Максим Анатольевич – e-mail: raskita@vector.ttn.ru; к.т.н.; с.н.с.

Куценко Александр Николаевич – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: kan1208@mail.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: +78634371795; кафедра электрогидроакустической и медицинской техники; к.т.н.; доцент.

Dolgov Alexander Nikolaevich – Vector marine electronics, Ltd; e-mail: dolgov@vector.ttn.ru, mail@vector.ttn.ru; 6, Mendeleev street, Taganrog, 347913, Russia; phone/fax: +78634333900; director general; cand. of eng. sc.

Raskita Maxim Anatolievich – e-mail: raskita@vector.ttn.ru; senior researcher; cand. of eng. sc.

Kutsenko Alexander Nikolaevich – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: kan1208@mail.ru44, Nekrasovsky street, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371795; the department of hydroacoustic and medical engineering; cand. of eng. sc.; associate professor.

УДК 551.46+574.58

В.П. Дегтярёв, М.В. Минина

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГАЗОГИДРАТОВ

Рассматриваются возможности и перспективы разработки шельфовых месторождений метан-гидратов в Восточной Сибири вдоль побережья Республики Саха (Якутия). Проведенная авторами предварительная оценка затрат на строительство и эксплуатацию подводного комплекса по сбору метана показала, что себестоимость добычи 1000 кубометров газа для условий морского шельфа моря Лаптевых составит не более 20 долларов США. С учетом минимального воздействия подводных коллекторов на окружающую среду, такая технология добычи газа будет самой низкоч затратной из всех существующих в настоящее время технологий добычи газа в море.

Газогидраты; восточно-сибирский шельф; территориальное планирование; добыча метангидратов; разработка.

V.P. Degtyarov, M.V. Minina

TECHNICAL DIRECTIONS OF THE PROJECTS USING GAS-HYDRATES REALIZATION

There are considering possibilities and perspectives of methane-hydrates in East Siberia along Republic Sakha (Yakutia) coast shelf deposits mining. Conducting by the authors preliminary estimation of expenses for building and exploitation of methane collection underwater com-