

- V.M., Vladimirov S.S.; SPbGUT. – SPb, 2018 – 100 s.
12. Sklyar B. Cifrovaya svyaz'. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye: 2-e izd. / Per. s angl.– M.: Izdatel'skiy dom «Vil'yams», 2003. – 1104 s.
 13. Gashkov S. B. Slozhenie odnobitnykh chisel. Treugol'nik Paskalya, salfetka Serpinskogo i teorema Kummera. – M.: MCNMO, 2014. – 40 s.
 14. I. Daubechies, Ortonormal bases of compactly supported wavelets, Comm. Pare Appl. Math., 41, 1988, p. 996.
 15. John Jorgensen. Autonomous Vessels: ABS' Classification Perspective. Discussion Issues in Technology, Safety and Security for the Marine Board, 2016.
 16. Mayo-Wells. The Origins of Space Telemetry, – Technology and Culture, 1963.
 17. Astaf'eva N.M. Vejvlet-analiz: osnovy teorii i primery primeneniya // Uspekhi fizicheskikh nauk. Obzory aktual'nykh problem. – 1996. – tom 166. – №11. – 1170 s.
 18. Frolov V.N. Tekhnologii bezekipazhnogo sudovozhdeniya / Frolov V.N., Sevbo V.YU., Anufriev I.E. // Transport Rossijskoj Federacii – 2018. № 4 (77) – 62 s.
 19. Dmitriev V. I. Metody obespecheniya bezopasnosti moreplavaniya pri vnedrenii bespilotnykh tekhnologij / V. I. Dmitriev, V. V. Karetnikov // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova. – 2017. – T. 9. – № 6. – S. 1149–1158.
 20. Levin, B.R. Teoreticheskie osnovy statisticheskoy radiotekhniki. – 3-e izd., pererab. i dop. – M.: Radio i Svyaz', 1989. – 656 s.

УДК 629.584

DOI: 10.34046/aumsuomt100/10

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ «СУДНО-ЗАБОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ» В ПРОДОЛЬНО-ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

И.М. Данцевич, кандидат технических наук

М.Н. Лютикова, кандидат технических наук

В статье рассмотрены комплексный аспект технологии получения высококачественных материалов геофизических исследований шельфа. Полученные в результате глубоководной буксировки подводного геофизического заборного комплекса (ГЗК) данные (съёмка сонаром, результаты работы гидролокатора бокового обзора, различная телеметрия и т.д.) зависят от динамики оборудования и присутствия шумов в получаемых данных. Сказывается скорость, рыскание и дифферент ГЗК в продольно-вертикальной плоскости, при съёмке желательно выдерживать определённый угол атаки для получения «перспективной» проекции дна. Оценка маневренных качеств ГЗК в вертикальной плоскости необходима для определения его динамических возможностей при обходе препятствий и отслеживании изменяющегося рельефа.

Ключевые слова: геофизический заборный комплекс (ГЗК), заглубляющая сила (ЗС), скорость буксировки, гараж-заглубитель (ГЗ), носительнулевой плавучести (ННП), вертикальное подруливающее устройство (ВПУ), кабель-связи (КС).

RESULTS OF VESSEL-OUTBOARD SYSTEM CONTROL SURVEY IN LONGITUDINAL-VERTICAL PLANE

I.M. Dantsevich, M.N. Lyutikova

The article considers a complex aspect of the technology of obtaining low-quality materials of geophysical research of the shelf. Semi-personnel as a result of deep-sea towing of the underwater geophysical outboard complex (GZK) data (sonar survey, side scan sonar results, various telemetry) depend on the equipment name and the presence of noise in the received data. It says the speed, yaw and trim of the GZK in the longitudinal-vertical plane-bone, when shooting it is advisable to withstand a certain angle of attack to obtain a «promising» projection of the bottom. Assessment of the manoeuvrability of the GZK in the vertical plane is necessary to determine its dynamic capabilities when bypassing obstacles and tracking changing terrain.

Keywords: geophysical outboard complex (GZK), plugging force (ZS), towing speed, garage-submersible (GZ), zero buoyancy carrier (NNP), vertical steering device (VPU), communication cable (SC).

1 Введение

Задачи, решаемые геофизическими судами широко, и при наиболее характерных технологических операциях, наиболее часто их привлекают к спасательным операциям,

подъёму затонувших объектов, поиску различных предметов и др. [1]. Весь перечень задач решаемых этими судами требует специальных технологий судовождения с применением

адаптированных интерфейсов управления. Часто это сопровождается специальными режимами движения судов, которые в большинстве своём соответствуют режимам малого хода.

Как свидетельствует опыт применения научно-исследовательских судов, сроки их эксплуатации обычно составляют 20-30 лет. За этот временной отрезок научное и специальное оборудование, применяемое для исследования геологии морей, может сменить несколько поколений [2].

Это в полной мере относится к забортному оборудованию типа телеуправляемых подводных аппаратов. С самого первого применения в 1953 году, до настоящего времени сменилось четыре поколения телеуправляемых необитаемых подводных аппаратов (ТНПК). Первые подводные аппараты этого типа использовались лишь как средства наблюдения за действиями водолазов, исследования затонувших объектов и т.д. Дальнейшее развитие позволило оснастить ТНПК манипуляторами различного назначения, средствами подводной навигации и обработки информации.

Новый класс судов проекта 22010, строительство которых осуществляет Балтийский судостроительный завод «Янтарь», по проекту ФГУП «ЦМКБ «Алмаз», является специализированными судами носителями УМБК.

Важнейшим практическим аспектом является оснащение специальных геологических

(геофизических) судов многоцелевыми буксируемыми комплексами, способными решать следующие поисково-исследовательские задачи:

- организация работ в полосе движения судна носителя для исследования шельфа;
- нивелирование донной поверхности;
- фототелевизионное фиксировании местных предметов;
- взятия проб грунта и воды;
- определение радиоактивности воды и грунта, требует системного подхода к исследованию техник и технологий применения геологоразведочного судна и забортного оборудования [4].

Целью текущего исследования является - повышение эффективности управления заглужения ННП относительно ГЗ от длины КС, заглужающей силы и скорости буксировки, а также анализ результатов расчётов.

2 Натурные исследования управления системой «судно-забортное оборудование» в продольно-вертикальной плоскости

В данной работе рассмотрим управление системой «Судно-Забортное оборудование» в продольно-вертикальной плоскости и проведем анализ маневрирования по глубине ННП относительно ГЗ при реверсе тяги ВПУ на различных скоростях буксировки.

На рисунке 1, представлена схема системы «Судно – Гараж-заглубитель – Подводный аппарат», которая оснащена комплексом батиметрической аппаратуры.

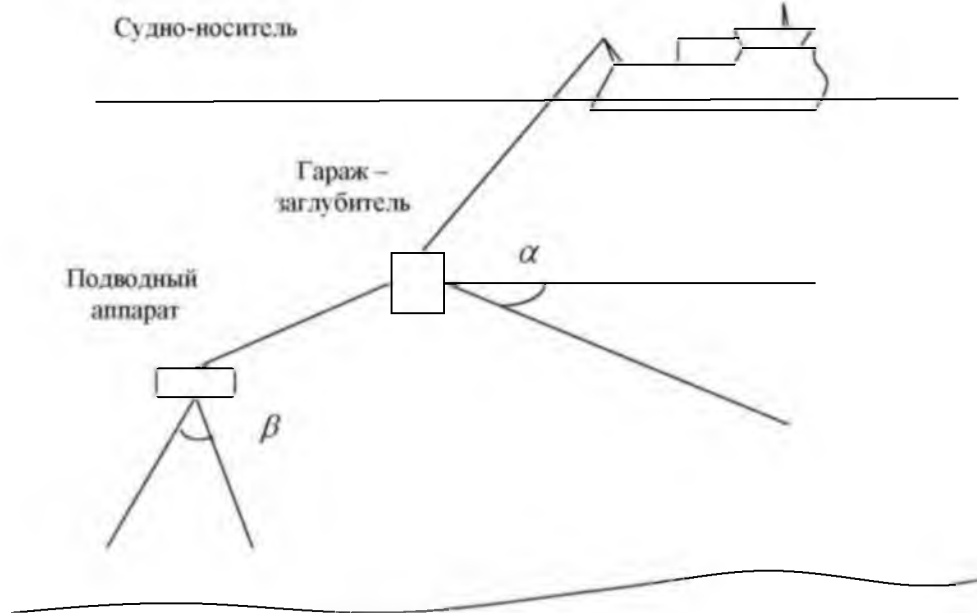


Рисунок 1 – Схема системы «Судно-Забортное оборудование»

Оснащение судна буксируемой системой позволит вести съёмку донной поверхности, производить океанологические исследования, брать пробы донного грунта. Для обеспечения этих высокотехнологических операций необходимо обеспечить движение судна-носителя, добиться параметров стабилизации.

Условия проведения съёмки одновременно различными методами требует одновременно разной дистанции до грунта (альтитуды) оборудования расположенного как на ГЗ, так и на ННП: от 3 до 8 м - для телекамер и гидролакаторного бокового оборудования, от 30 до 40 м - для многолучевого эхолота [3].

Размещение оборудования как на носителе нулевой плавучести (ННП), так и на гараже-заглубителе (ГЗ) позволяет решить эту задачу при условии, что ННП сможет маневрировать по глубине относительно ГЗ. Поэтому в составе ННП необходимо предусматривать средства управления глубиной.

Поскольку на скорости 6 уз (3 м/с) качественная фототелевизионная съёмка в условиях практической дальности видения невозможна, а опасность столкновения с грунтом при малой альтитуде высока, работы с комплексом будут производиться без заглубления ННП относительно ГЗ, и нет необходимости управлять отдельно высотным положением ННП. Управление глубиной погружения в данном случае будет проводиться с помощью лебедки СПУ. При малых скоростях применение для маневрирования горизонтальных рулей нецелесообразно ввиду их малой эффективности при реально допустимых размерах - с учётом проведения операций состыковки ННП и ГЗ, совместного их подъёма на палубу в условиях морского волнения. Поэтому для создания заглубляющего усилия предусматривается использование реактивных движителей - гребных винтов.

Для определения количественной взаимосвязи между заглубляющей силой, скоростью

буксировки, длиной КС и отстоянием ННП от ЗГ была проведена серия оценочных расчетов формы и натяжения КС в стационарном состоянии системы (статика гибкой нити) с учётом нормальной и касательной составляющих гидродинамического сопротивления.

Параметры управления получены с натурального эксперимента, проводимого в ФГУП «Крыловском государственном научном центре».

Расчёты выполнены для диапазона скоростей от 1 до 3 уз (от 0.5 до 1.5 м/с) и двух длин КС - 75 и 100 м - при его диаметре 16 мм и весе в воде 0.23 Н/м. Результаты расчётов представлены в таблице 1 и на рисунке 2 их анализ позволяет сделать следующие выводы:

- желаемое заглубление ННП – 30 м – достижимо для всех рассмотренных длин КС и скоростей буксировки при заглубляющем усилии 500 Н; при силе 400 Н и скорости 3 уз недостаточно 75 м КС (вертикальное отстояние составит около 25 м), поэтому необходимо вытравить 100 м;

- наиболее существенно влияет на маневренность ННП скорость буксировки; при скорости 1 уз заглубление ННП может достигать 70-90 м, а при скорости 3 уз – лишь 30-35 м;

- с увеличением длины КС вертикальная маневренность растёт; для длин 75 и 100 м различие в перемещениях ННП при максимальных усилиях для скоростей 1, 2 и 3 уз составляет около 20, 10 и 7 м, соответственно.

С целью более полного использования тяги и минимизации вредного дифферента ННП при переходе на другой горизонт подруливающее устройство должно быть расположено как можно ближе к точке крепления КС в носовой оконечности ННП.

Для стабилизации дифферента во время переходных процессов целесообразно иметь также кормовое подруливающее устройство с меньшей тягой.

Таблица 1 – Зависимость заглубления ННП относительно ГЗ от длины КС, заглубляющей силы и скорости буксировки

Длина кабеля связи $L_{КС}$, м		75						
Заглубляющая сила, Н		0	100	200	300	400	500	
Заглубление ННП относительно ГЗ при скорости буксировки V_6 , м	$V_6 = 0,5$ м/с	6,6	42,1	56,6	63,9	67,7	70,0	
	$V_6 = 1,0$ м/с	1,7	16,8	26,8	34,2	40,3	45,2	
	$V_6 = 1,5$ м/с	0,8	8,5	14,7	19,9	24,2	28,1	
Длина кабеля связи $L_{КС}$, м		100						
Заглубляющая сила, Н		0	100	200	300	400	500	
Заглубление ННП относительно ГЗ при скорости буксировки V_6 , м	$V_6 = 0,5$ м/с	11,0	52,7	71,3	81,7	87,6	91,2	
	$V_6 = 1,0$ м/с	3,0	21,6	33,4	42,2	49,6	55,8	
	$V_6 = 1,5$ м/с	1,3	11,2	18,8	25,0	30,1	34,7	

С учётом того, что ННП для аварийного всплытия обладает положительной плавучестью 10-15 кгс. носовое подруливающее устройство, состоящее из двух движителей, сможет создавать заглубляющую тягу около 40 кгс, кормовое - около 20 кгс. Это позволит ННП:

- заглубляться относительно ГЗ на 30 и более метров при скоростях буксировки до 3 уз включительно;

- при плавном изменении рельефа дна поддерживать постоянную альтитуду ННП без изменения глубины буксировки ГЗ;
- огибать единичные препятствия на грунте;
- стабилизировать дифферент на ходу;
- управлять высотным положением, дифферентом и креном при входе в ГЗ.

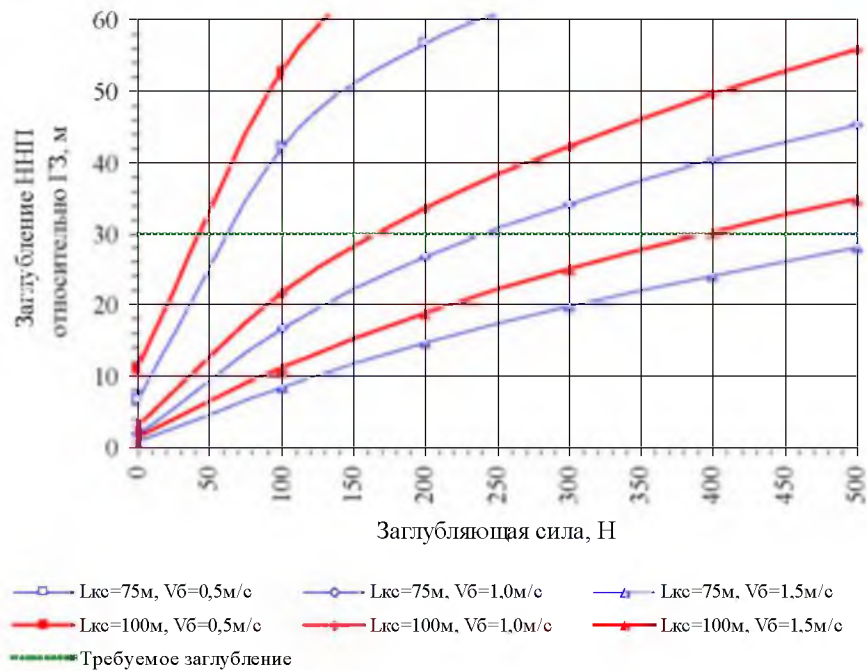


Рисунок 2 – Зависимость заглубления ННП относительно ГЗ от длины КС, заглубляющей силы и скорости буксировки

Для эффективной работы подруливающего комплекса целесообразно предусмотреть возможность использования режима автоматического поддержания нулевого дифферента. Для разработки алгоритмов и программного обеспечения системы управления движением в автоматизированных режимах необходимо проведение:

- модельного эксперимента по уточнению гидродинамических коэффициентов ННП;
- численного моделирования процессов маневрирования ННП.

3 Анализ результатов расчётов позволяет сделать следующие выводы

Для скорости буксировки 1.0 м/с:

- после приложения заглубляющей силы 400 Н погружение ННП на требуемое отстояние от ГЗ (30 м) происходит примерно за 1 мин., буксируемый комплекс продвинется за это время на дистанцию около 60 м;

- максимальная относительная глубина составляет около 50 м. ННП достигнет её через 2,5 минуты на дистанции около 140 м от точки начала погружения; далее вертикальные перемещения представляет собой быстро затухающий колебательный процесс вокруг стационарного положения (ок. 50 м);

- после того, как тяга ВПУ меняет направление на противоположное (в точке соответствующей дистанции 300 м), ННП начинает всплывать; с глубины 50 м до до глубины ГЗ он поднимется примерно за 1,5 мин., пройдя по дистанции 90 м;

- с глубины 30 м ННП всплывёт примерно за 1 мин., продвинувшись по дистанции на 60 м;

- средняя расчётная скорость погружения ННП до глубины 30 м составляет 0,44 м/с, скорость всплытия с этой глубины — 0,53 м/с.

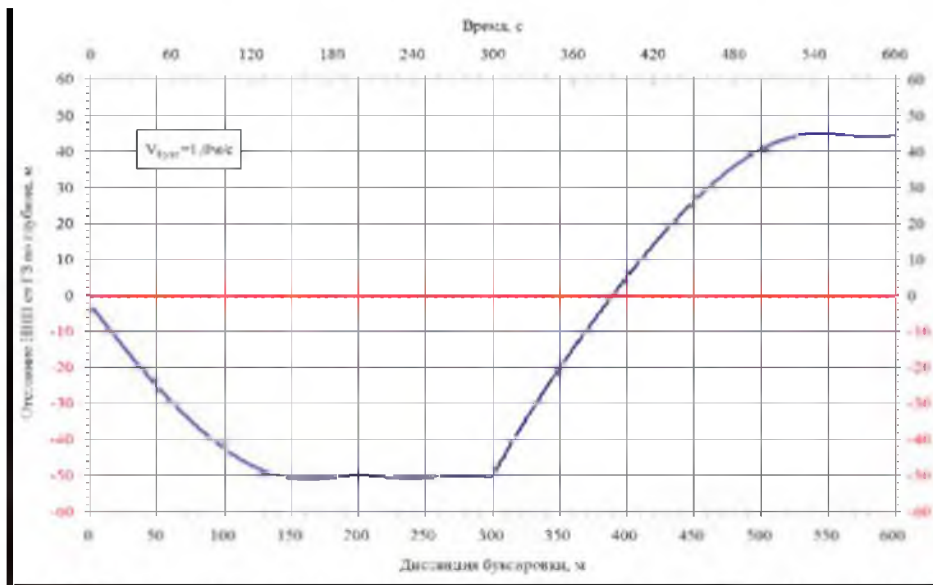


Рисунок 3 – Траектория маневрирования по глубине ННП относительно ГЗ при реверсе тяги ВПУ на скорости буксировки 1,0 м/с

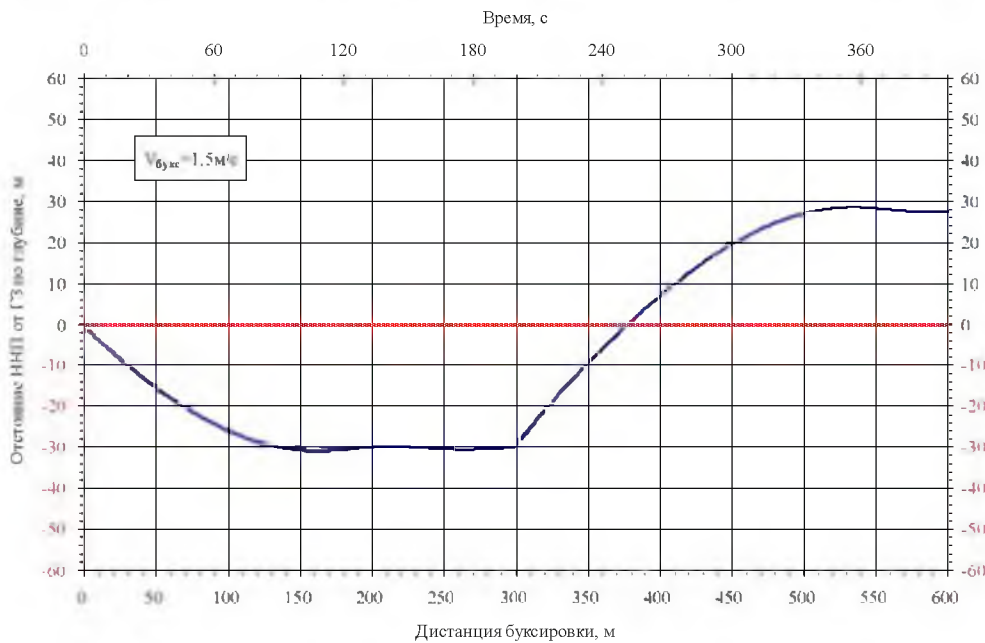


Рисунок 4 – Траектория маневрирования по глубине ННП относительно ГЗ при реверсе тяги ВПУ на скорости буксировки 1,5 м/с

Для скорости буксировки 1,5 м/с:

– после приложения заглубляющей силы 400 Н погружение ННП относительно ГЗ на глубину 30 м (максимально достижимую на такой скорости буксировки) происходит примерно за 1,5 мин., буксируемый комплекс продвинется за это время на дистанцию около 135 метров;

– после того, как тяга ВПУ изменит направление на противоположное (в точке, соответствующей дистанции 300 м), ННП всплывёт с глубины 30 м до глубины ГЗ менее чем за 1 мин., пройдя 80 м дистанции; если учесть 100 Н положительной плавучести ННП (суммарная верти-

кальная сила 500, а не 400 Н), то всплытие укорачивается примерно на 10 м дистанции (70 вместо 80 м);

– средняя расчётная скорость погружения ННП до глубины 30 м составляет 0,22 м/с, скорость всплытия с этой глубины – 0,57 м/с.

Исследования в данной работе позволяют сделать вывод о том, что управление заглубления ННП относительно ГЗ от длины КС - 75 и 100 м, заглубляющей силы и скорости буксировки от 1 до 3 уз (от 0,5 до 1,5 м/с), является необходимым и достаточным условием для качественного маневрирования по глубине ННП и получения информативной видеосъемки.

Литература:

1. Лукомский, Ю.А. Системы управления морскими подвижными объектами: учебник / Ю.А. Лукомский, В.С. Чугункин. – Л.: Судостроение, 1988. – 272 с.
2. Данцевич, И. М. Формализация задачи движения в продольно-поперечной плоскости телеуправляемых подводных аппаратов / И. М. Данцевич, М. Н. Лютикова, Ю. Ю. Метревели // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – Т. 4. – № 2(53). – С. 168-177. – DOI 10.37220/MIT.2021.52.2.088.
3. Агеев М.Д. Автономные подводные роботы: системы и технологии /Л.В. Киселев, Ю.В. Матвиенко и др.; под общ. ред. акад. М.Д.Агеева; [отв. ред. Л.В. Киселев]; Ин-т проблем морских технологий. – М.: Наука. 2005. – 298 с.
4. Калинин А. Подводная видеосъемка. URL: <http://diving-phuket.ru/>.
5. Мохов Г. В. Разработка и исследование математических моделей основных характеристик геофизических и рыбопромысловых судов /Г. В. Мохов, В. В. Ковальчук // Бюллетень транспортной информации, № 6,2011.

References

1. Lukomskij, YU.A.. Sistemy upravleniya morskimi podvizhnymi ob"ektami/ Lukomskij YU.A., CHugunkin V.S. Uchebnik: – L.: Sudostroenie, 1988. – 272 s.
2. Dancevich, I. M. Formalizaciya zadachi dvizheniya v prodol'no-poperyochnoj ploskosti teleupravlyаемых podvodnyh apparatov / I. M. Dancevich, M. N. Lyutikova, YU. YU. Metreveli // Morskie intellektual'nye tekhnologii. – 2021. – Т. 4. – № 2(53). – С. 168-177. – DOI 10.37220/MIT.2021.52.2.088.
3. M.D. Ageev, Avtonomnye podvodnye roboty: sistemy i tekhnologii /L. V. Kiselev, YU. V. Matvienko i dr.; pod obshch. red. akad. M.D.Ageeva; [otv. red. L. V. Kiselev]; In-t problem morskikh tekhnologij. – M.: Nauka. 2005. – 298 s.
4. Kalinin A. Podvodnaya videos"emka. URL: <http://diving-phuket.ru/>.
5. Mohov G. V. Razrabotka i issledovanie matematicheskikh modelej os-novnyh harakteristik geofizicheskikh i rybopromyslovyhsudov /G. V. Mohov, V. V. Koval'chuk // Byulleten' transportnoj informacii, № 6, 2011.