

Санкт-Петербург
Седьмой международной научно-практической конференции
«Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем»
(ИКМ МТМТС-2023)

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СРЕДСТВ ОБСЛЕДОВАНИЯ ДНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИФИКАЦИИ OPENGL

Докладчик: Павлов А.А., к.т.н.

Соавторы: Быкова В.С.



АКТУАЛЬНОСТЬ



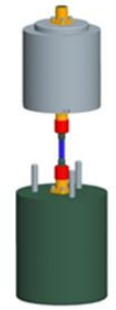
Основные тенденции развития робототехники:

- 1. Миниатюризация аппаратуры;
- 2. Интеллектуализация.

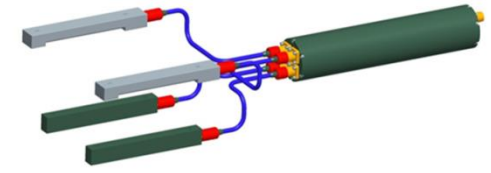
Задачи обработки полученных реальных данных со средств обследования дна, определения параметров (частота сигнала, период излучения, скорость движения, параметры алгоритмов обработки данных и пр.) их наилучшего совместного функционирования решаются нетривиально и требуют отладки соответствующих алгоритмов. В целях отладки указанных алгоритмов на практике применяют имитационно- и отладочно-моделирующих комплексы .



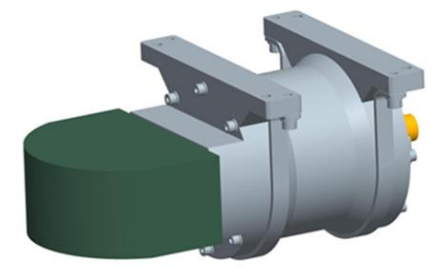
Глубоководная видеокамера



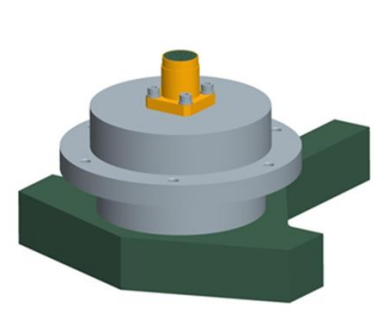
Профилограф



Гидролокатор бокового обзора



Гидролокатор секторного обзора



Многолучевой эхолот



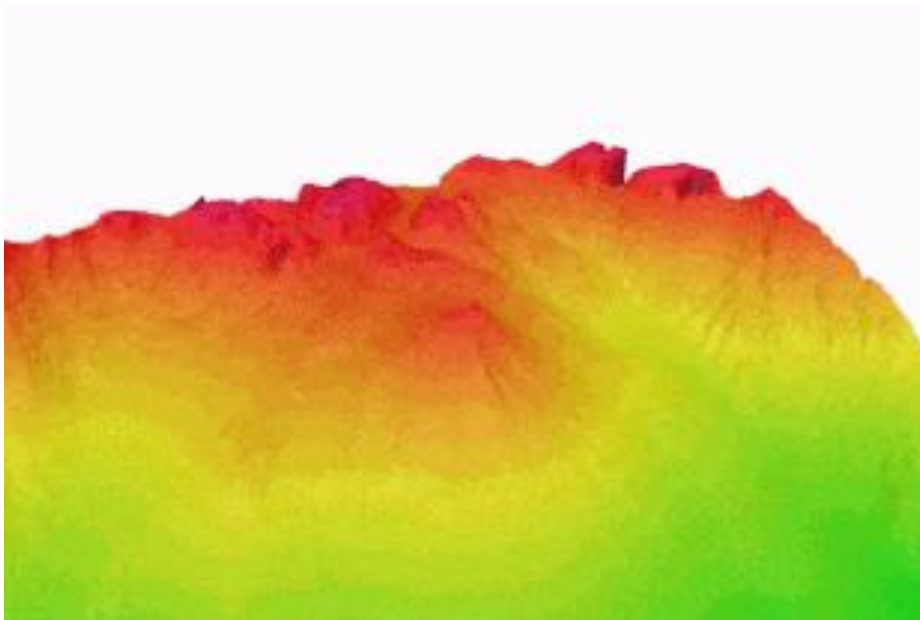
Электромагнитный искатель



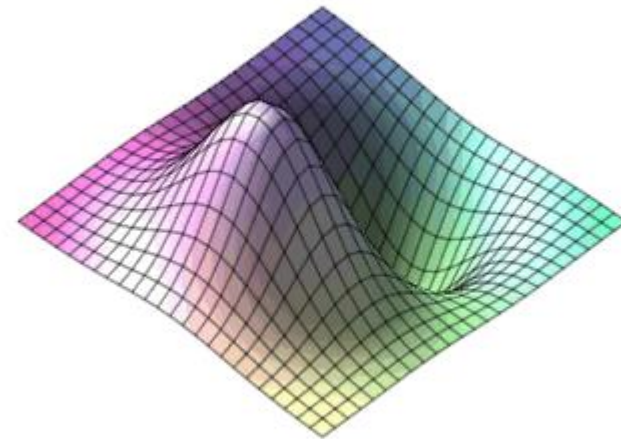
ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ В ВОПРОСЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДОННОЙ ОБСТАНОВКИ

При проведении имитационного моделирования в формировании донной обстановки желательна:

1. Визуализация получаемого в процессе формирования модели донной обстановки результата.
2. Взаимодействие средств обследования дна с моделью донной обстановки в режиме реального времени исходя из текущего положения центра масс и ориентации средств.
3. Высокая степень детализации модели донной обстановки.



Трехмерная монолитная модель



Аналитическая модель

Возможные варианты моделирования донной обстановки

№ п/п	Формирование модели			Вычислительный ресурс	
	Трехмерная монолитная	Трехмерная модульная	Аналитическая	ГПУ	ЦПУ
1.	+	-	-	+	-
2.	+	-	-	-	+
3.	-	+	-	+	-
4.	-	+	-	-	+
5.	-	-	+	+	-
6.	-	-	+	-	+
7.	+	-	+	+	-
8.	+	-	+	-	+
9.	-	+	+	+	-
10.	-	+	+	-	+
...					

Сравнение вариантов моделирования донной обстановки

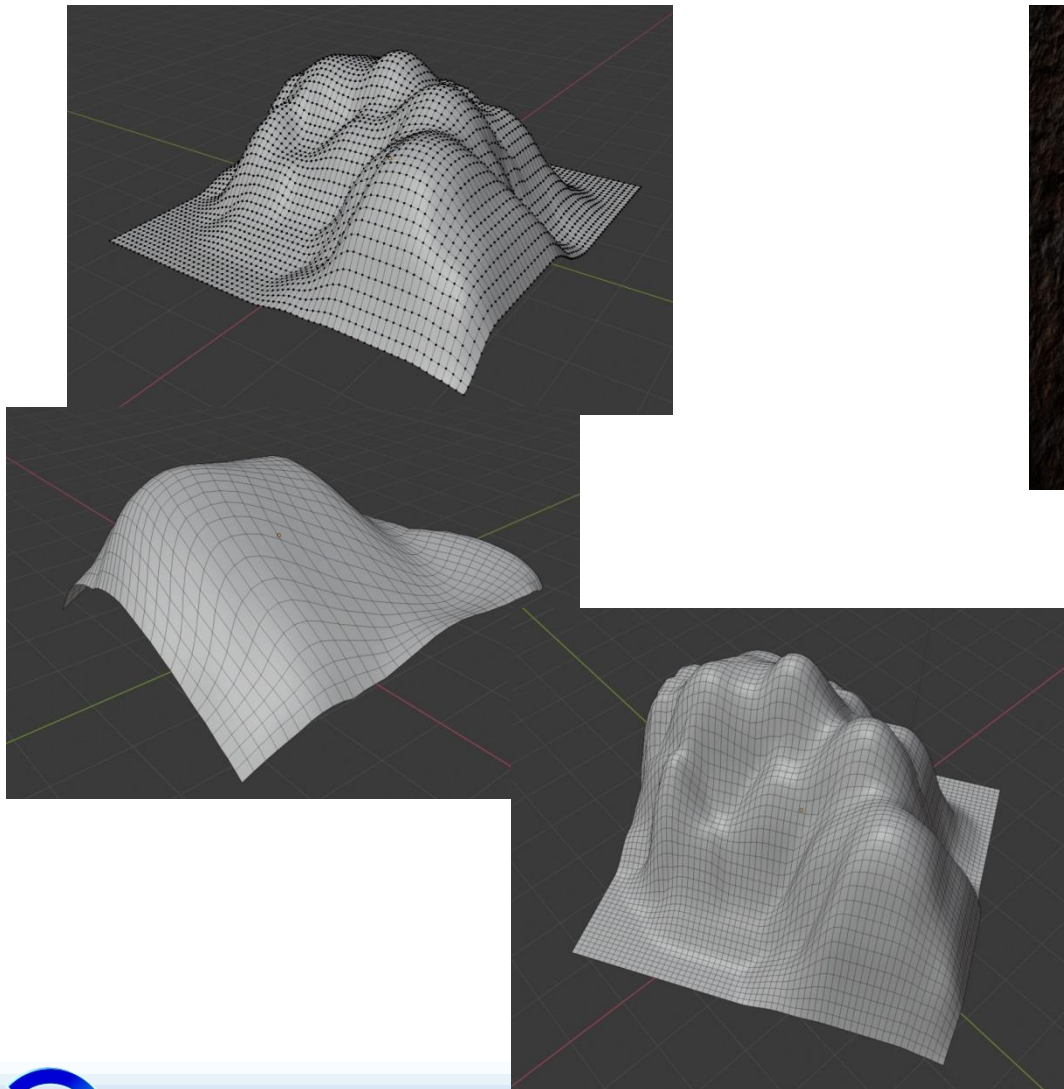
	Гибкость	Наглядность	Производительность
Трехмерная монолитная	-	+	+/-
Трехмерная модульная	+	+	+
Аналитическая	+/-	-	+

Модульность заключается в том, что сформированные модели могут быть многократно использованы для генерации различных объектов. Донная обстановка формируется за счет, описанных в таблицах базы данных, взаимосвязей сгенерированных объектов. Такой подход позволяет моделировать донную обстановку высокой детализации с множеством высокополигональных объектов с использованием инстансинг-технологии спецификации OpenGL



СОСТАВЛЯЮЩИЕ МОДУЛЬНОГО ПОДХОДА

Геометрические данные

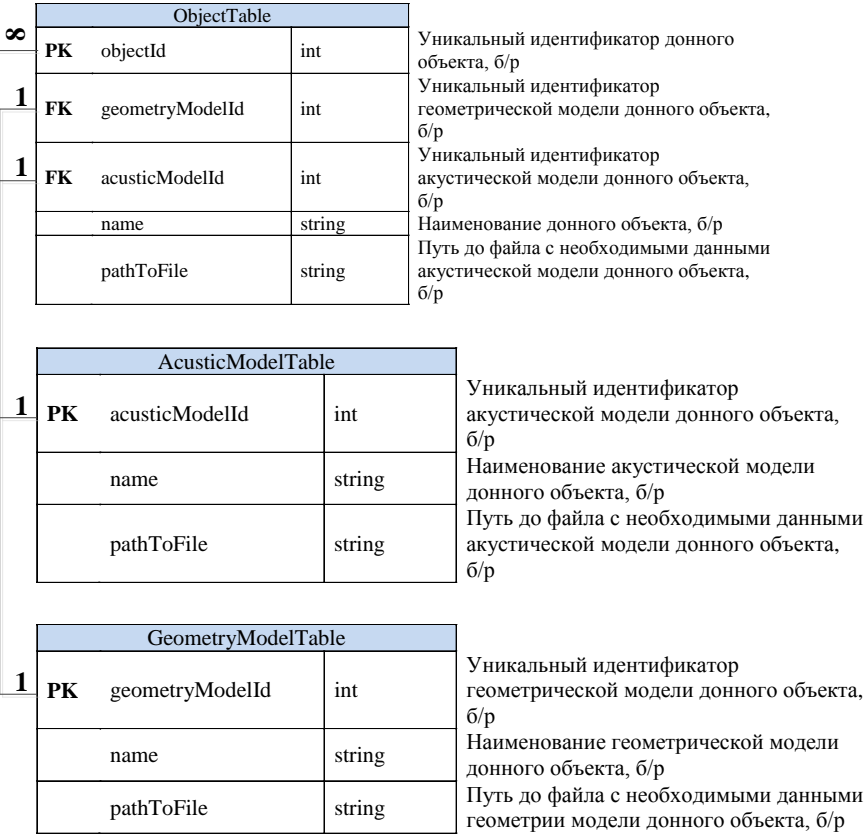


Акустические данные

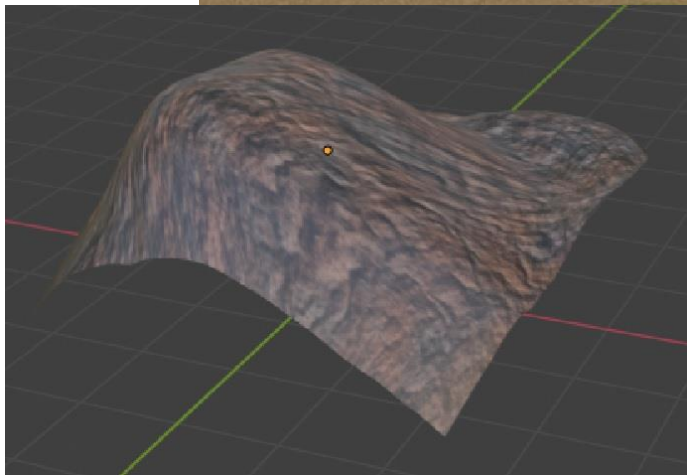
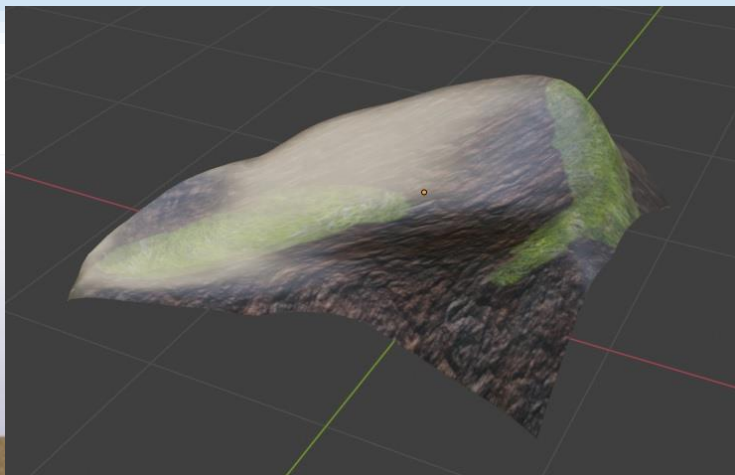
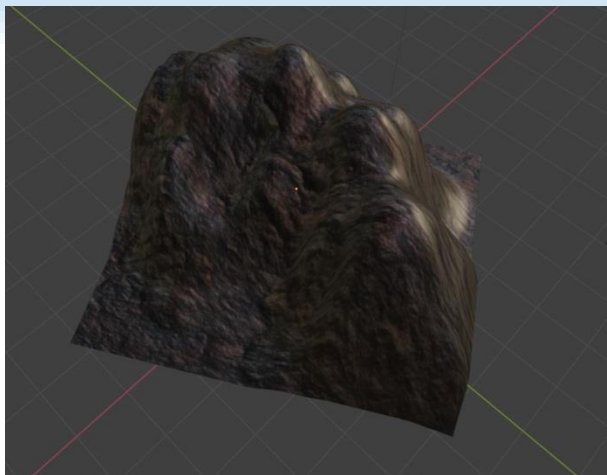


ОСНОВНЫЕ ТАБЛИЦЫ БАЗЫ ДАННЫХ

SceneTable			
PK	sceneId	int	Уникальный идентификатор модели донной обстановки, б/п
FK	objectId	int	Уникальный идентификатор донного объекта, б/п
	name	string	Наименование модели донной обстановки, б/п
	positionX	float	Позиция центра масс донного объекта на модели донной обстановки по оси X, y/e
	positionY	float	Позиция центра масс донного объекта на модели донной обстановки по оси Y, y/e
	positionZ	float	Позиция центра масс донного объекта на модели донной обстановки по оси Z, y/e
	rotateX	float	Положение донного объекта относительно своего центра масс на модели донной обстановки по оси X, y/e
	rotateY	float	Положение донного объекта относительно своего центра масс на модели донной обстановки по оси Y, y/e
	rotateZ	float	Положение донного объекта относительно своего центра масс на модели донной обстановки по оси Z, y/e
	scaleX	float	Размер донного объекта на модели донной обстановки по оси X, y/e
	scaleY	float	Размер донного объекта на модели донной обстановки по оси Y, y/e
	scaleZ	float	Размер донного объекта на модели донной обстановки по оси Z, y/e



МОДЕЛЬ ДОННОЙ ОБСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ МОДУЛЕЙ



ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

1. Модель донной обстановки.

sceneId	name	objectId	positionX	positionY	positionZ	rotateX	rotateY	rotateZ	scaleX	scaleY	scaleZ	reflectModelId
58	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	6	198.775	0.0	117.952	0.0	0.0	0.0	30.155	1.00089	30.0	1
59	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	6	258.454	0.0	117.878	0.0	0.0	0.0	30.155	1.00089	30.0	1
60	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	6	318.179	0.0	117.522	0.0	0.0	0.0	30.155	1.00089	30.0	1
61	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	6	377.766	0.0	117.644	0.0	0.0	0.0	30.155	1.00089	30.0	1
62	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	6	437.507	0.0	117.598	0.0	0.0	0.0	30.155	1.00089	30.0	1
63	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	6	495.796	0.0	117.492	0.0	0.0	0.0	30.155	1.00089	30.0	1
64	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	6	575.098	0.0	-20.3127	0.0	0.0	0.0	50.2583	1.00089	50.0	1
65	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	6	-79.6045	0.0	-316.393	0.0	0.0	0.0	50.2583	1.00089	50.0	1
66	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	6	19.9366	0.0	-315.94	0.0	0.0	0.0	50.3788	1.00089	50.0	1
67	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	6	119.666	0.0	-316.077	0.0	0.0	0.0	50.2583	1.00089	50.0	1
68	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	6	219.242	0.0	-316.396	0.0	0.0	0.0	50.2583	1.00089	50.0	1
69	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	6	318.872	0.0	-316.394	0.0	0.0	0.0	50.2583	1.00089	50.0	1
70	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	6	418.435	0.0	-316.162	0.0	0.0	0.0	50.2583	1.00089	50.0	1
71	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	6	517.787	0.0	-316.066	0.0	0.0	0.0	50.2583	1.00089	50.0	1
72	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	6	595.935	0.0	-298.203	0.0	0.0	0.0	30.2755	1.00089	30.0	1
73	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	1	2.08	-1.0	15.63	0.0	-6.0	0.0	5.0	5.0	5.0	3
74	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	1	37.824	-0.875	-6.91974	0.0	90.0	0.0	3.95522	5.13248	3.75	3
75	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	1	42.4003	-0.625	-4.45008	-3.0	29.0	0.0	3.95522	5.13248	3.75	3
76	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	1	125.039	-1.25	-63.4708	0.0	40.0	0.0	9.09473	8.88928	8.75	3
77	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	1	121.556	-1.0	-149.449	0.0	120.0	0.0	10.3796	10.1415	10.0	3
78	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	1	134.243	-1.25	-152.44	0.0	110.0	0.0	10.3796	10.1415	10.0	3
79	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	1	149.06	0.0	-152.777	0.0	105.0	0.0	11.6645	11.7695	11.25	3
80	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	1	161.609	-1.5	-155.484	0.0	75.0	0.0	12.5639	12.6461	11.625	3
81	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	1	177.849	-1.00002	-154.219	0.0	76.0	0.0	11.6645	11.7695	11.25	3
82	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	1	196.15	-2.125	-151.995	0.0	90.0	0.0	15.5191	10.7677	16.25	3
83	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	2	6.94369	-0.25	-3.85715	0.0	40.0	0.0	1.0	1.4762	1.0	3
84	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	2	319.337	-0.125	-179.952	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	3
85	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	4	9.51402	-0.624996	2.16208	0.0	44.0	0.0	1.0	1.61957	1.0	2
86	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	4	25.07	-1.375	-13.5927	0.0	90.0	0.0	2.0	3.0136	2.29238	2
87	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	4	269.792	-5.625	-92.195	0.0	0.0	0.0	12.5	18.6577	17.3701	2
88	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	4	106.175	-0.25	-108.977	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2
89	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	4	129.027	-0.375	-126.774	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2
90	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	4	150.949	-0.375	-97.5092	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	2
91	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	3	37.6595	-1.125	18.041	0.0	170.0	0.0	1.0	2.68963	1.0	3
92	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	3	25.131	-1.625	-43.8152	0.0	0.0	0.0	3.125	4.68648	3.1596	3
93	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	3	195.346	-4.75	-48.4159	0.0	180.0	0.0	9.5	15.2851	11.0781	3
94	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	3	65.6672	-3.875	-83.848	0.0	270.0	0.0	10.0	10.0626	10.2143	3
95	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	3	92.817	-0.374992	-119.275	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	3
96	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	3	151.022	-0.375	-96.1481	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	3
97	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	3	151.738	-0.25	-95.3514	0.0	90.0	0.0	1.0	1.0	1.0	3
98	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	2	319.336	-0.125015	-179.584	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	1.0	3
99	3 scene_Пн апр 10 16:30:48 2023	7	253.001	0.0	-150.995	0.0	-31.0	0.0	375.0	27.2932	47.7227	4

2. Комплекс моделей средств обследования дна, в общем случае, представляет собой совокупность заданных значений следующих характеристик: мощность акустического сигнала, разрешающая способность (интервал между отсчетами), количество отсчетов, ширина диаграммы направленности акустического луча в продольной, поперечной плоскостях.

3. Модель возмущающих воздействий учитывает:

- влияние внешних факторов ξ_1 на движение центра масс средства и направление излучения акустического луча.

$$M_{4 \times 4}^{(\xi_1)}(t).$$

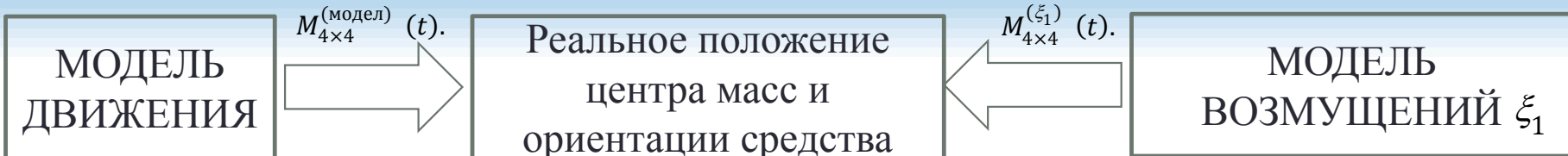
- влияние внешних факторов ξ_2 на потерю и искажение измеренных средством обследования дна данных.

$$f^{(\xi_2)}(t).$$

Трубопровод диаметром 2.5 м. и длиной более 3000 м.



ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

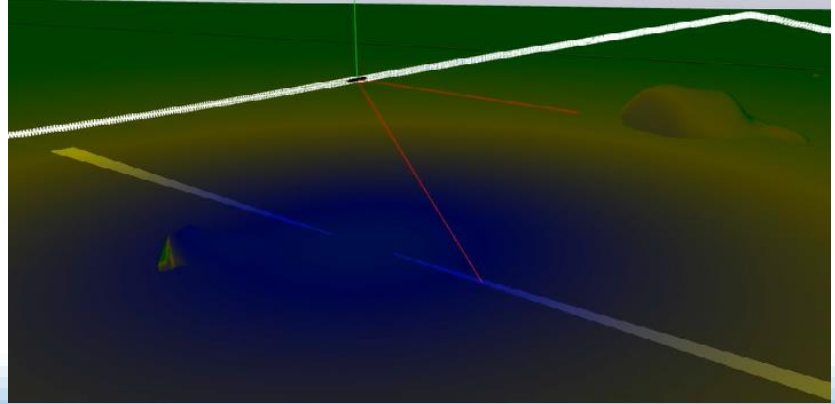


$$M_{4 \times 4}^{(реал)}(t) = M_{4 \times 4}^{(модел)}(t) \times M_{4 \times 4}^{(\xi_1)}(t).$$

Этап 1. Расчет акустических теней относительно положения центра масс средства обследования дна и направления его работы.

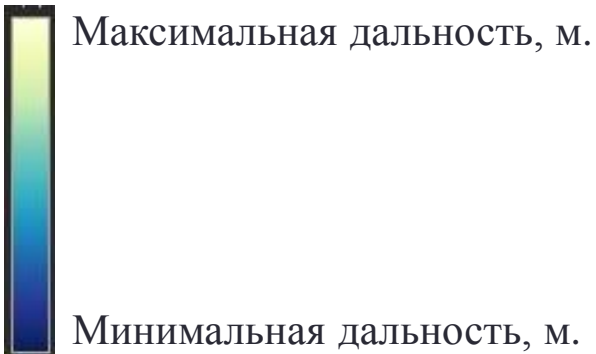
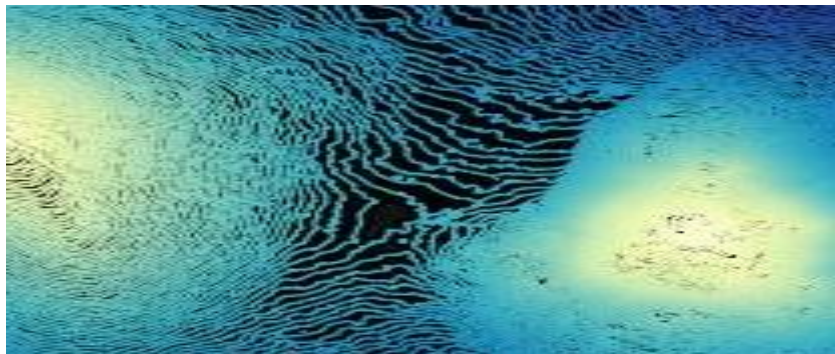


Этап 2. Расчет акустического изображения донной поверхности относительно положения центра масс средства обследования дна и направления его работы с учетом рассчитанных акустических теней.

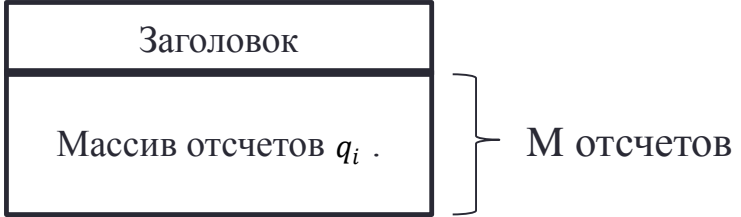
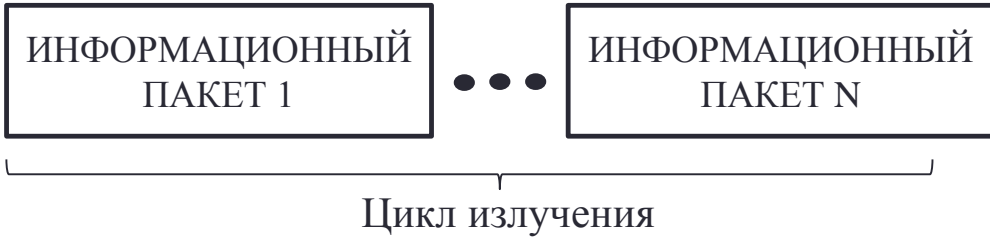


ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Этап 3. Расчет карты дальностей элементов донной обстановки от положения центра масс средства обследования дна с учетом направления его работы. Дальность от центра масс до каждого элемента донной обстановки рассчитывается на ГПУ и кодируется цветом.



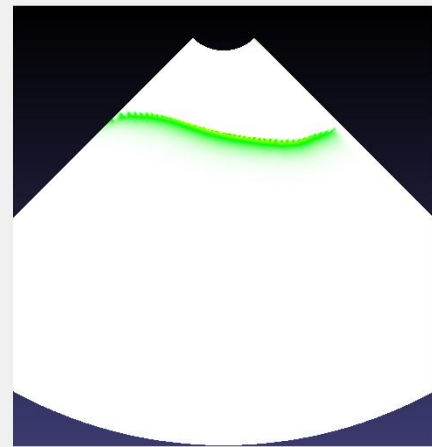
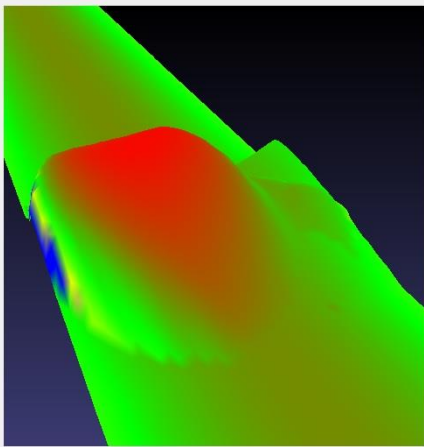
Этап 4. Формирование информационного массива, генерируемого средством обследования дна на каждом цикле излучения.



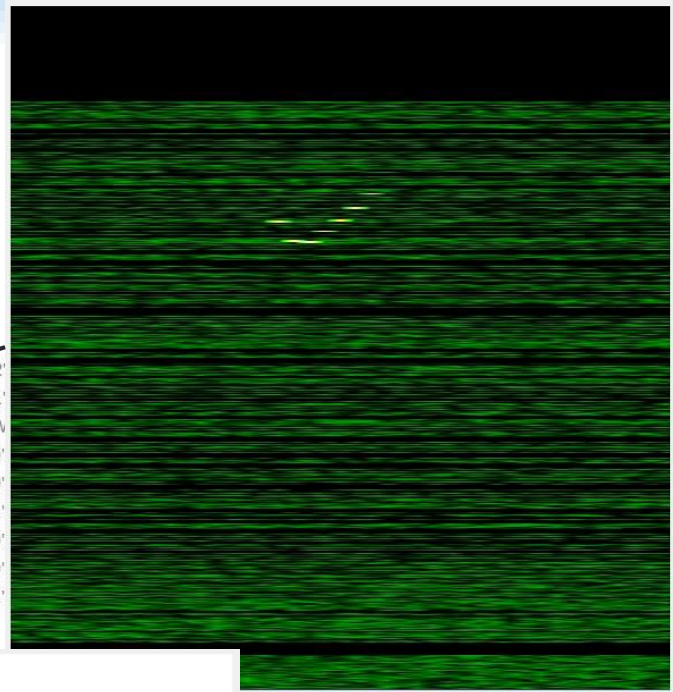
$$q_i = q_i f^{(\xi_2)}(t), i \in 1, \dots, M \times N.$$



ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

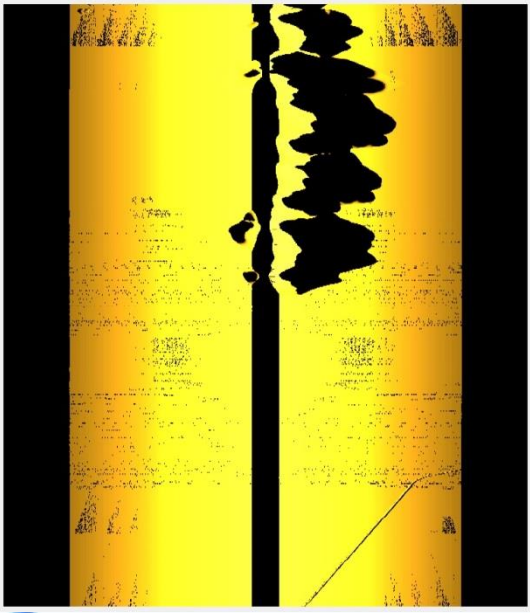


Данные
многолучевого
эхолота

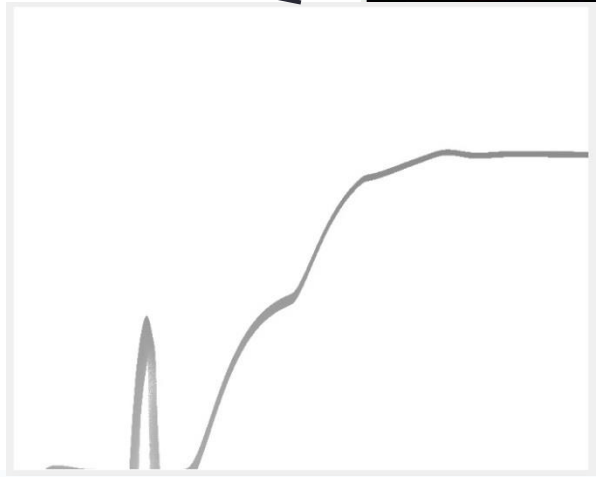


Данные гидролокатора
секторного обзора

<input type="checkbox"/> mission_22_05_2023.dv19	22.05.2023 16:29	Файл "DC02"
<input type="checkbox"/> mission_22_05_2023.dv20	22.05.2023 16:29	Файл "DD01"
<input type="checkbox"/> mission_22_05_2023.dv21	22.05.2023 16:29	Файл "DNAV"
<input type="checkbox"/> mission_22_05_2023.dv30	22.05.2023 17:07	Файл "DV10"
<input type="checkbox"/> mission_22_05_2023.dv30	22.05.2023 16:22	Файл "DV20"
<input type="checkbox"/> mission_22_05_2023.dv40	22.05.2023 16:29	Файл "DV21"
<input type="checkbox"/> mission_22_05_2023.dv40	22.05.2023 16:24	Файл "DV30"
<input type="checkbox"/> mission_22_05_2023.dv51	22.05.2023 16:22	Файл "DV40"
<input type="checkbox"/> mission_22_05_2023.dv51	22.05.2023 16:22	Файл "DV51"



Данные гидролокатора
бокового обзора



Данные
профилографа

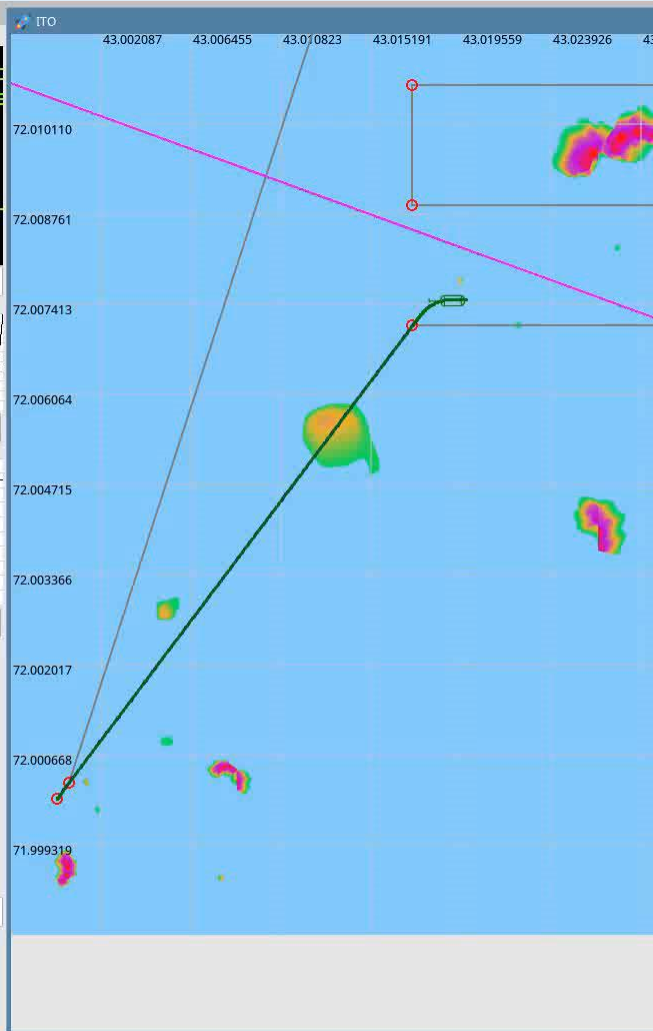
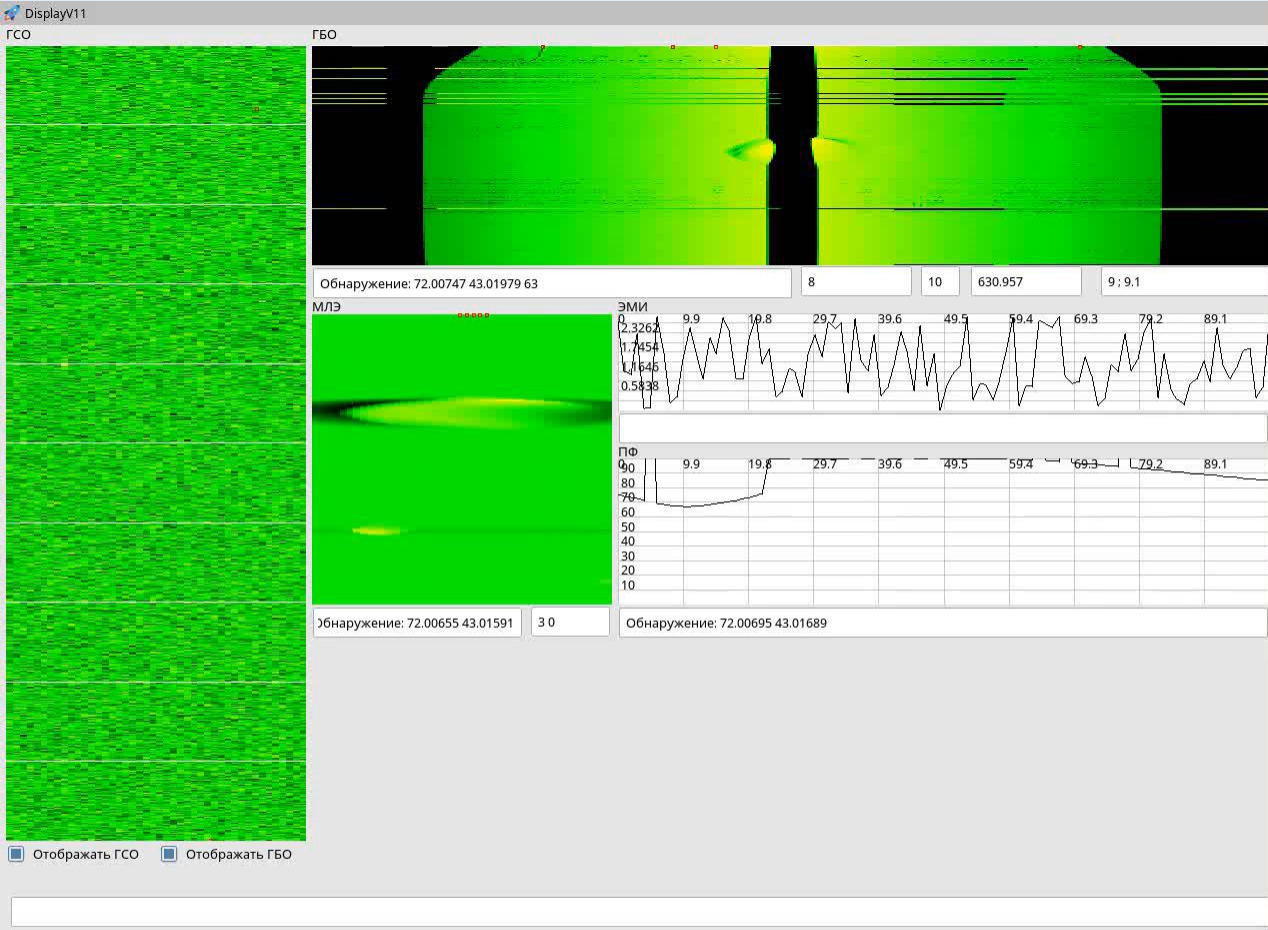


ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СРЕДСТВ ОБСЛЕДОВАНИЯ ДНА С ДОННОЙ ОБСТАНОВКОЙ

The screenshot displays the Enviminator software interface. At the top, a menu bar includes 'Start', 'HeightMap', 'NetworkConnection', 'SetMode', 'AddObject', and 'SaveScene'. Below the menu, a status bar shows simulation parameters: 'Время: 76,90 сек.', 'Расстояние: 436,71 м.', 'Скорость: 2,84 уз.', 'Долгота: 72,00224 град.', 'Широта: 43,00542 град.', 'Глубина: 100,24 м.', and 'Курс: 36,984 град.'. The main 3D view shows a brown seabed with a white trajectory line, a green vertical axis, and a red horizontal axis. On the right, a control panel titled 'Модель сцены:' includes a dropdown for 'scene_17 14:29:16 2023' and a 'Загрузить' button. Below this are settings for 'Реальные линейные размеры моделей', such as 'Размер донной поверхности: 400,00 м.' and 'Размер АНПА: 40,00 м.'. A 'Разрешение сцены:' section has a value of '8,00 м./у.е.' and an 'Ok' button. The 'Настройки отображения сцены' section contains several checkboxes, with 'Система координат модели АНПА' checked. Below are dropdown menus for 'Лучи', 'Точки', and 'Полупрозрачный'. The 'Положение, ориентация и размер модели АНПА' section features input fields for 'Долгота: 40,00000 град.', 'Широта: 60,00000 град.', 'Глубина: 20,00 м.', 'Курс: 0,000 град.', 'Тангаж: 0,000 град.', 'Крен: 0,000 град.', 'Рысканье: 0,000 град.', and 'Размер модели: 1,00 у.е.', with an 'Ok' button. The 'Начало системы координат и размер модели донной поверхности' section has fields for 'Долгота: 43,00 град.', 'Широта: 72,00 град.', 'Глубина: 200,00 м.', and 'Размер модели: 100,00 у.е.', also with an 'Ok' button. At the bottom left, a 'Выделенный объект' section has input fields for 'Размер: 0,00 м.', 'Глубина: 0,00 м.', and 'Высота: 0,00 м.'. The Windows taskbar at the bottom shows various application icons and the system clock displaying '17:10 30.05.2023'.



ДААННЫЕ ПОЛУЧАЕМЫЕ ОТ СРЕДСТВ ОБСЛЕДОВАНИЯ ДНА



ДАННЫЕ ПОЛУЧАЕМЫЕ ОТ СРЕДСТВ ОБСЛЕДОВАНИЯ ДНА

DisplayV11

ГСО

Обнаружение: 72.00517 43.03016 448

ГБО

Обнаружение: 72.00554 43.03363

МЛЭ

ЭМИ

0	9.9	19.8	29.7	39.6	49.5	59.4	69.3	79.2
2.391								
1.8075								
1.224								
0.6405								

Обнаружение: 72.00747 43.02496

Обнаружение: 72.00695 43.01689

ПФ

00	9.9	19.8	29.7	39.6	49.5	59.4	69.3	79.2
80								
70								
60								
50								
40								
30								
20								
10								

Отображать ГСО

Отображать ГБО

Объект обнаружен!!!1543

ГТО

43.015187 43.019556 43.023924 43.028293 43.032661 43.037030 43.041399 43.045767

72.012811

72.011462

72.010113

72.008764

72.007415

72.006067

72.004718

72.003369

72.002020

bin : mc — ... IUSLauncher ТПО СИПС ИТО ИМИТАТО... ИМИТАТО... ИМИТАТО... TesterNK ТПО УТС DisplayV11 DisplayD01 Convertin...

en 13:35 СБ, 11 НОЯ

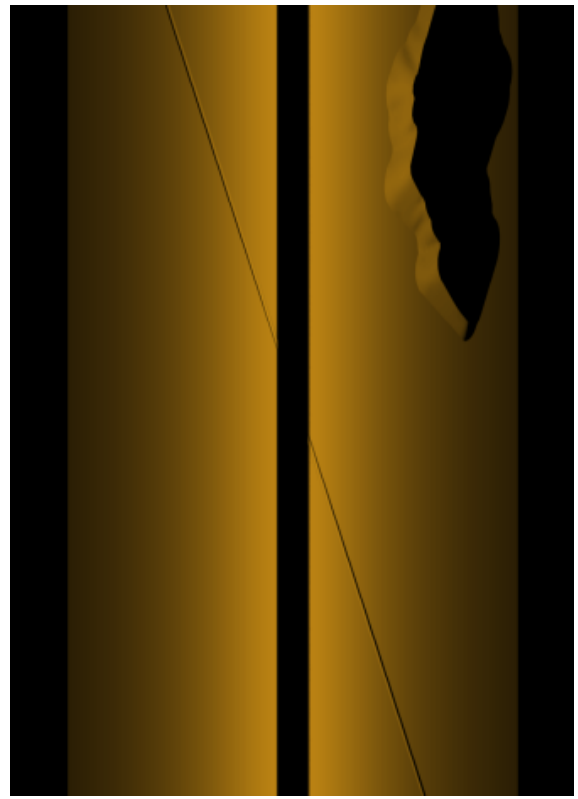


РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

$$M_{4 \times 4}^{(\xi_1)}(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$f^{(\xi_2)}(t) = 1.$$

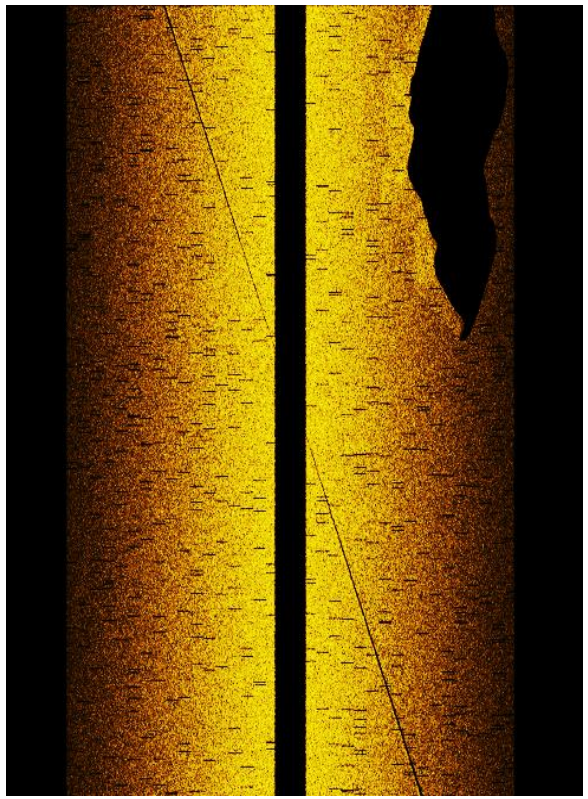
Возмущающие воздействия отсутствуют.



$$M_{4 \times 4}^{(\xi_1)}(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

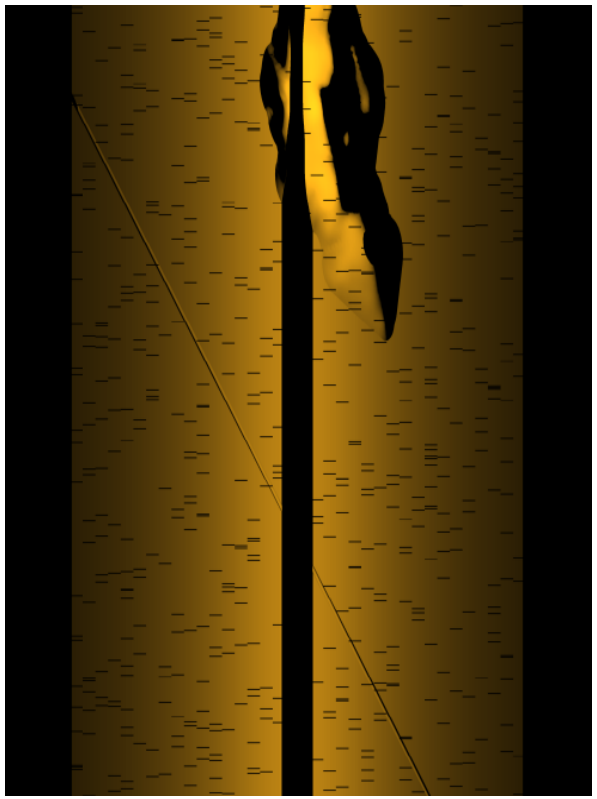
$f^{(\xi_2)}(t)$ – логонормальный закон распределения.

Возмущающие воздействия с искажением данных.



$$M_{4 \times 4}^{(\xi_1)}(t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0.0143 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Возмущающие воздействия на движение центра масс.



В докладе была представлена имитационная модель средств обследования дна с использованием вычислительных ресурсов ГПУ на базе спецификации OpenGL, на основе модульного принципа формирования модели донной обстановки.

Приведенные результаты позволяют судить о применимости изложенного подхода в задачах отладки алгоритмов обнаружения объектов в процессе проведения исследований автономным необитаемым подводным аппаратом, а также постобработки полученных данных, отладки алгоритмов планирования совместного применения средств обследования дна (определение параметров их наилучшего совместного функционирования).



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!
