

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»



СПКБ «Морские инженерные технологии»

СОГЛАСОВАНО

Декан ФАМТ


(подпись) О.А. Краси́льникова

«23» 05 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ

Начальник отдела ОНиПКРС


(подпись) В.В. Соле́цкий

«14» 06 2022 г.

Зав. кафедрой КС


(подпись) И.В. Каменских

«23» 05 2022 г.

ПРОЕКТ

«Разработка 3D модели судовой поверхности многоцелевого
сухогрузного судна «Deo Volente» в пакете FreeShip»

Руководитель СКБ МИТ


подпись, дата

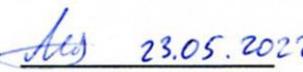
А.Д. Бурменский

Научный руководитель


подпись, дата

А.Д. Бурменский

Ответственный исполнитель


подпись, дата

А.Е. Полушкин

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»



СПКБ «Морские инженерные технологии»

ЗАДАНИЕ на разработку

Выдано студенту: Полушкину А.Е., гр. 8КСб-1

Название проекта: Разработка 3D модели судовой поверхности многоцелевого сухогрузного судна «Deo Volente» в пакете FreeShip

Назначение: Исследование проектных характеристик современных транспортных судов

Область использования: В учебном процессе для направления подготовки 26.03.02 и 26.04.02 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника морской инфраструктуры» в качестве виртуального наглядного пособия и учебного задания, а также в научных исследованиях в области концептуального проектирования перспективных транспортных судов и систем

Функциональное описание: Сформированная 3D-модель судовой поверхности может быть использована для разработки ряда судовых поверхностей однотипных судов и анализа их функциональных качеств.

Техническое описание: Разработанная 3D-модель судовой поверхности, соответствующая реальным обводам сухогрузного судна «Deo Volente».

Требования: Предварительно, на основе чертежей общего расположения или других графических данных выполняется эскиз теоретического чертежа или его части в САД-системе AutoCAD. Данный эскиз является основой для построения 3D-модели судовой поверхности. На основе разработанной модели необходи-

мо оформить теоретический чертеж судна и выполнить расчеты его гидростатических характеристик и функциональных качеств

По результатам проекта должен быть подготовлен доклад на научную конференцию студентов и аспирантов.

План работ:

Наименование работ	Срок
<i>Анализ и подбор конструкторской документации для моделирования</i>	<i>Ноябрь, 2021</i>
<i>Разработка эскиза теоретического чертежа</i>	<i>Декабрь, 2021</i>
<i>Разработка 3D модели судовой поверхности</i>	<i>Январь-Февраль, 2022</i>
<i>Проведение расчетов функциональных качеств судна на основе 3D модели корпуса</i>	<i>Март, 2022</i>
<i>Подготовка доклада на конференцию</i>	<i>Апрель, 2022</i>
<i>Оформление отчета, презентации, чертежей, защита проекта</i>	<i>Май, 2022</i>

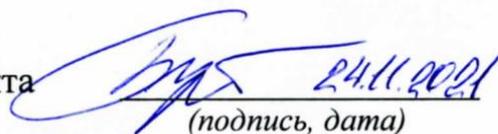
Комментарии:

Пояснительная записка к проекту выполняется по требованиям РД 013-2016 с изм. 4. Графический материал (чертеж, спецификация) оформляется по требованиям судостроительного черчения

Перечень графического материала:

- 3D-модели судовой поверхности
- Теоретический чертеж
- Чертеж гидростатических кривых
- презентация проекта

Руководитель проекта



А.Д. Бурменскийский

(подпись, дата)

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»



СПКБ «Морские инженерные технологии»

ПАСПОРТ ПРОЕКТА

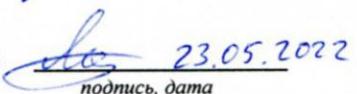
«Разработка 3D модели судовой поверхности многоцелевого сухогруз-
ного судна «Deo Volente» в пакете FreeShip»

Научный руководитель


подпись, дата

А.Д. Бурменский

Ответственный исполнитель


подпись, дата

А.Е. Полушкин

Содержание

Введение.....	3
1 Разработка эскиза теоретического чертежа.....	5
1.1 Проектные характеристики контейнеровоза.....	5
1.2 Исходные данные на разработку теоретического чертежа.....	6
1.3 Порядок разработки эскиза теоретического чертежа.....	7
2 Разработка 3D модели судовой поверхности в САПР FreeShip.....	9
3 Выполнение расчётов функциональных характеристик судна в FreeShip..	15
3.1 Расчеты гидростатических характеристик	15
3.2 Расчеты остойчивости	17
3.3 Расчеты ходкости	18
Заключение	20
Список использованных источников	21
ПРИЛОЖЕНИЕ А: Теоретический чертёж	22
ПРИЛОЖЕНИЕ Б: Чертёж гидростатических кривых	24

					<i>СПКБ МИТ 2022 07</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		2

Введение

В математических моделях концептуального проектирования судов для определения начальных значений параметров широко применяют эмпирические модели, основанные на статической обработке проектных данных. Для разработки актуальных эмпирических моделей проектных характеристик необходимо иметь достаточно широкую статистическую базу. Однако, по современным проектам информации, которую публикуют в различных источниках недостаточно, или она требует верификации.

Для верификации информации по проектным характеристикам современных судов требуется выполнить ряд проверочных проектных расчетов функциональных качеств.

Основой для большинства проектных расчётов по определению функциональных качеств судов является теоретический чертёж. Однако использование приближённых численных методов расчёта на его основе для современных форм судовой поверхности может приводить к существенным погрешностям. Более качественные результаты можно получить на основе 3D-модели поверхности корпуса судна. В настоящее время существует ряд САД систем, которые позволяют разработать качественную гладкую поверхность корпуса судна и выполнить расчёты гидростатики, ходкости, остойчивости.

На современном рынке, представителями являются FreeShip, Rino, FastShip, SeeSolushion и другие.

В качестве базы при создании трехмерной поверхности корпуса был выбран пакет FreeShip. Выбор обусловлен доступностью программного обеспечения, удобством освоения и работы.

В соответствии с заданием, необходимо разработать 3D модели судовой поверхности многоцелевого сухогрузного судна «Deo Volente». На основе разработанной модели корпуса выполнить расчеты функциональных качеств судна: расчет гидростатических характеристик, ходкости и остойчивости. Разработать и оформить теоретический чертеж и чертеж гидростатических кривых.

									Лист
									3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	СПКБ МИТ 2022 07				

Результаты работы необходимо представить на V Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых.

					<i>СПКБ МИТ 2022 07</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		4

1 Разработка эскиза теоретического чертежа

1.1 Проектные характеристики контейнеровоза

Для моделирования поверхности корпуса был выбран многоцелевое сухогрузное судно «Deo Volente» (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Общий вид многоцелевого сухогрузного судна «Deo Volente»

Главные проектные характеристики многоцелевого сухогрузного судна «Deo Volente» приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Проектные характеристики

Характеристика	Значение
Длина между перпендикулярами, м	98,2
Ширина, м	15,6
Высота борта, м	7,4
Осадка, м	5,81
Экипаж, чел	17
Водоизмещение, т	5486
Скорость эксплуатационная, уз	17,5

Архитектурно-конструктивный типа судна: многоцелевое сухогрузное судно с размещением груза в одиночном трюме вместимостью 4850 м³ и на люковых крышках верхней палубы, проект имеет двойное дно, двойные борта, жилую надстройку, рулевую рубку, машинное отделение в кормовой части судна, два грузовых крана на верхней палубе грузоподъемностью по 120 т., бульбообразную носовую оконечность, наклонный форштевень и транцевую корму.

										Лист
										5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	СПКБ МИТ 2022 07					

Оборудование грузовых трюмов позволяет делить его на грузовые зоны, создав вторую палубу при помощи понтонов, которые складываются в специально отведённом месте на судне находящуюся перед кормовой надстройкой.

При совместной работе грузовых кранов допускается погрузка крупногабаритного груза массой до 240 т.

В качестве главной энергетической установки предусмотрен дизельный двигатель Wärtsilä 8L32 мощностью 3680 киловатт, обеспечивающий грузовую эксплуатационную скорость в 17,5 узлов.

1.2 Исходные данные на разработку теоретического чертежа

Основой информации для разработки теоретического чертежа послужили чертежи общего расположения, грузового плана и расположения балластных цистерн.

Графическая информация к многоцелевому сухогрузному судну «Deo Volente» представлена на рисунке 1.1.

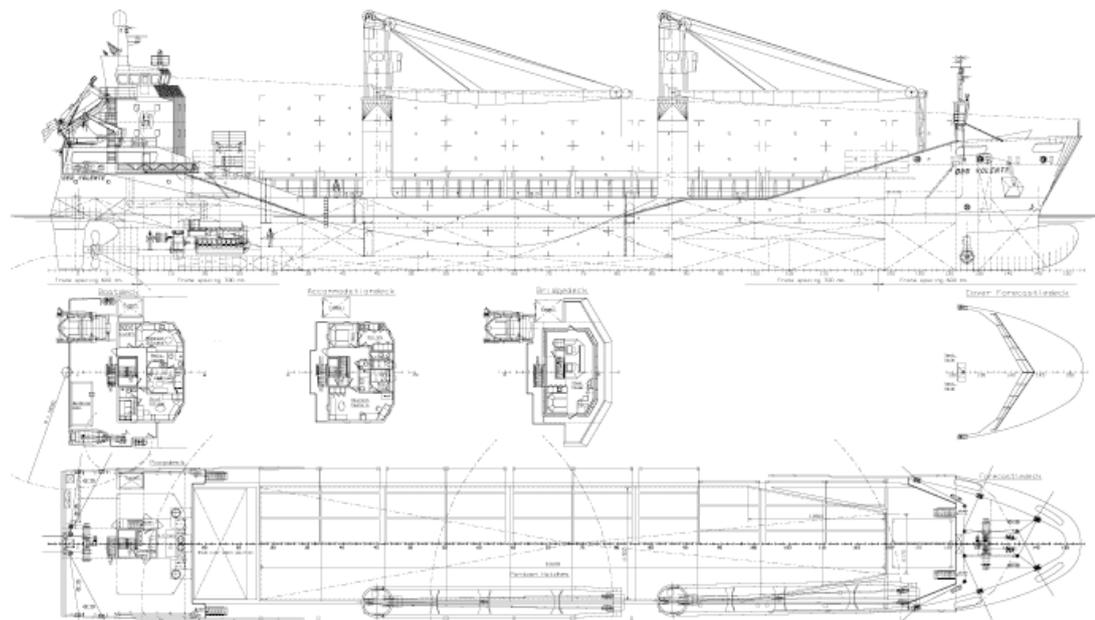


Рисунок 1.1 - Графическая информация к многоцелевому сухогрузному судну «Deo Volente»

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

СПКБ МИТ 2022 07

Лист

6

1.3 Порядок разработки эскиза теоретического чертежа

В системе AutoCAD, на основе исходной графической информации, в выбранном масштабе обрисованы базовые линии (верхняя палуба и балубы бака и юта), а также дополнительные (второе дно, практические шпангоуты, практические ватерлинии). Затем, создаются теоретические ватерлинии и шпангоуты, на их основе откладываются точки, с помощью которых и строятся необходимые линии. Пример выполненной работы на данном этапе представлен на рисунках 1.2-1.4.

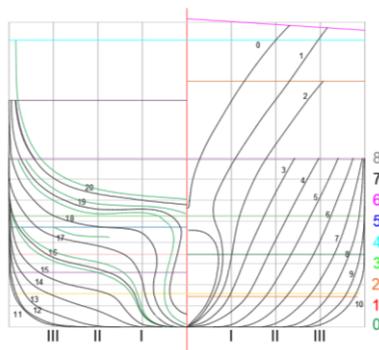


Рисунок 1.2 – Оцифровка линий сечений проекции «Корпус»

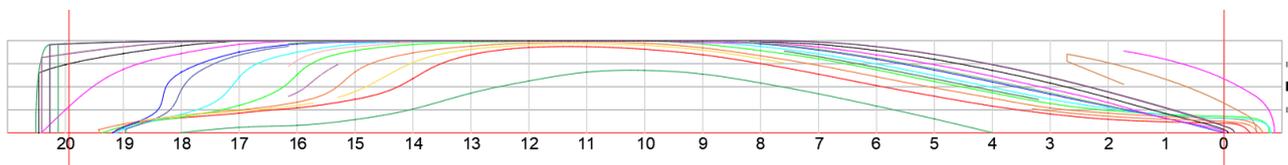


Рисунок 1.3 – Оцифровка линий сечений проекции «Полуширота»

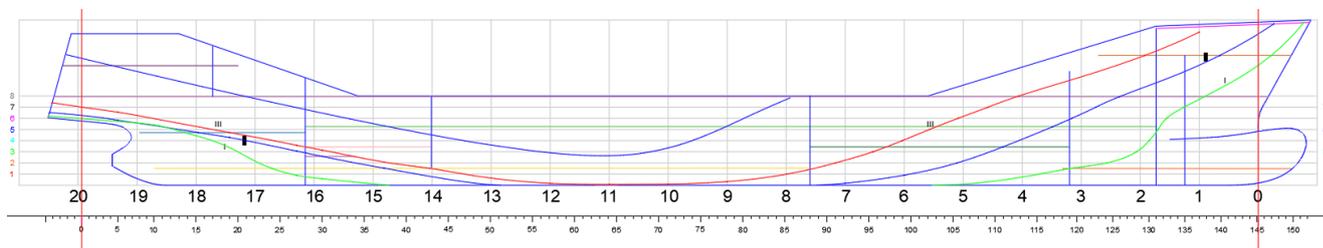


Рисунок 1.4 – Оцифровка линий сечений проекции «Бок»

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Далее линии согласуются с проекциями «Бок» и «Полуширота» многоцелевого сухогрузного судна «Deo Volente». Полученный эскиз теоретического чертежа с максимальной степенью его согласовки представлен на рисунке 1.5.

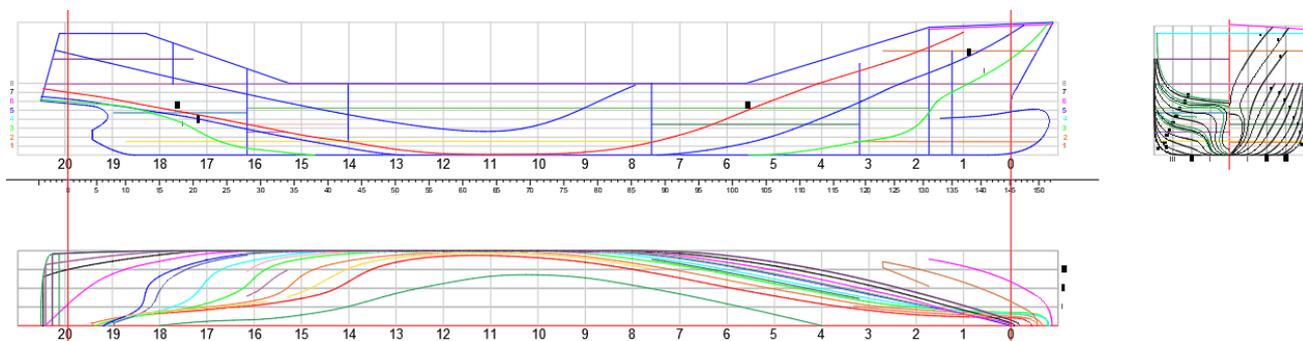


Рисунок 1.5 – Эскиз теоретического чертежа

					СПКБ МИТ 2022 07	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

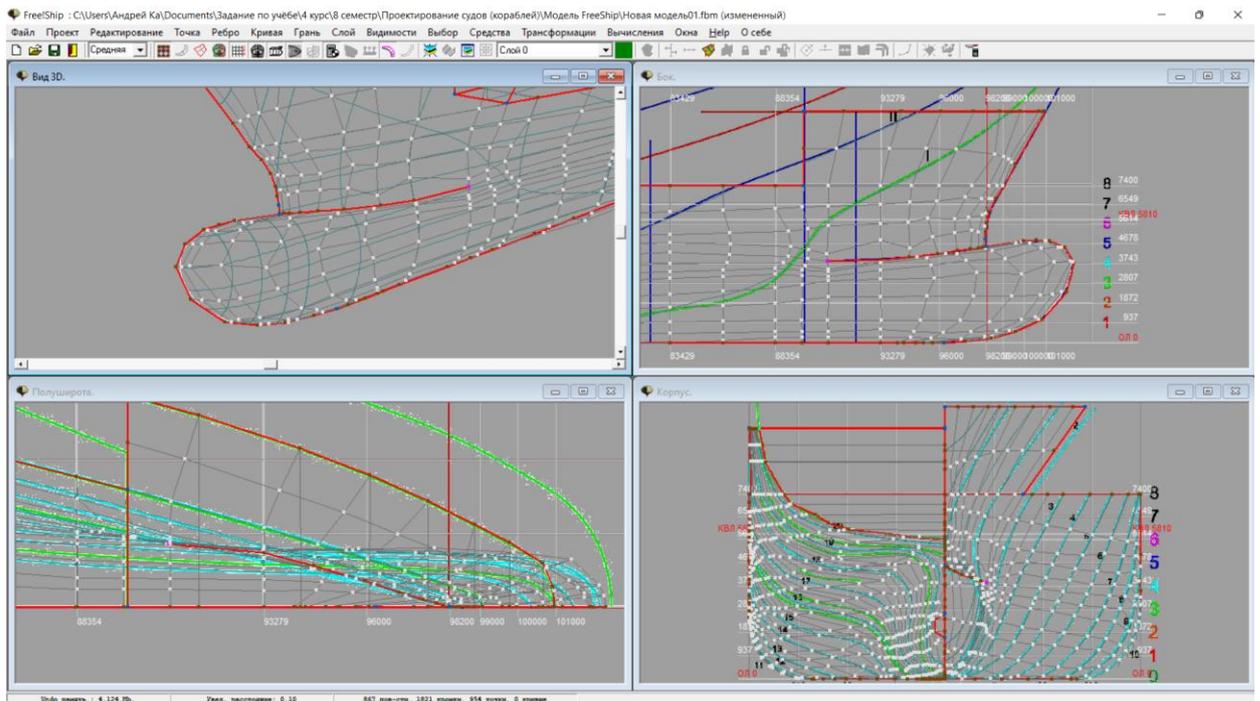


Рисунок 2.2 – Линия слома на шпангоуте наибольшего сечения

Линией слома очерчена линия плоского борта и нулевой ватерлинии (рисунок 2.3).

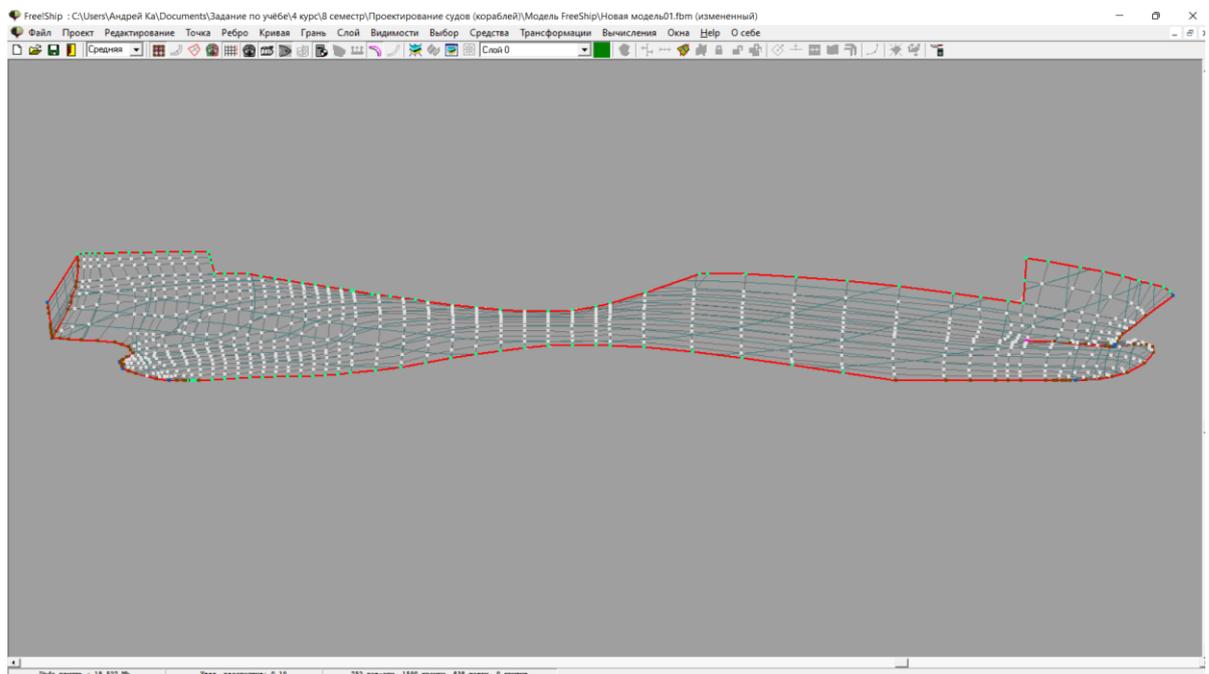


Рисунок 2.3 – Линия плоского борта и нулевой ватерлинии

После построения корпуса до ВП, создаётся поверхность бака, юта и комингса (рисунок 2.4).

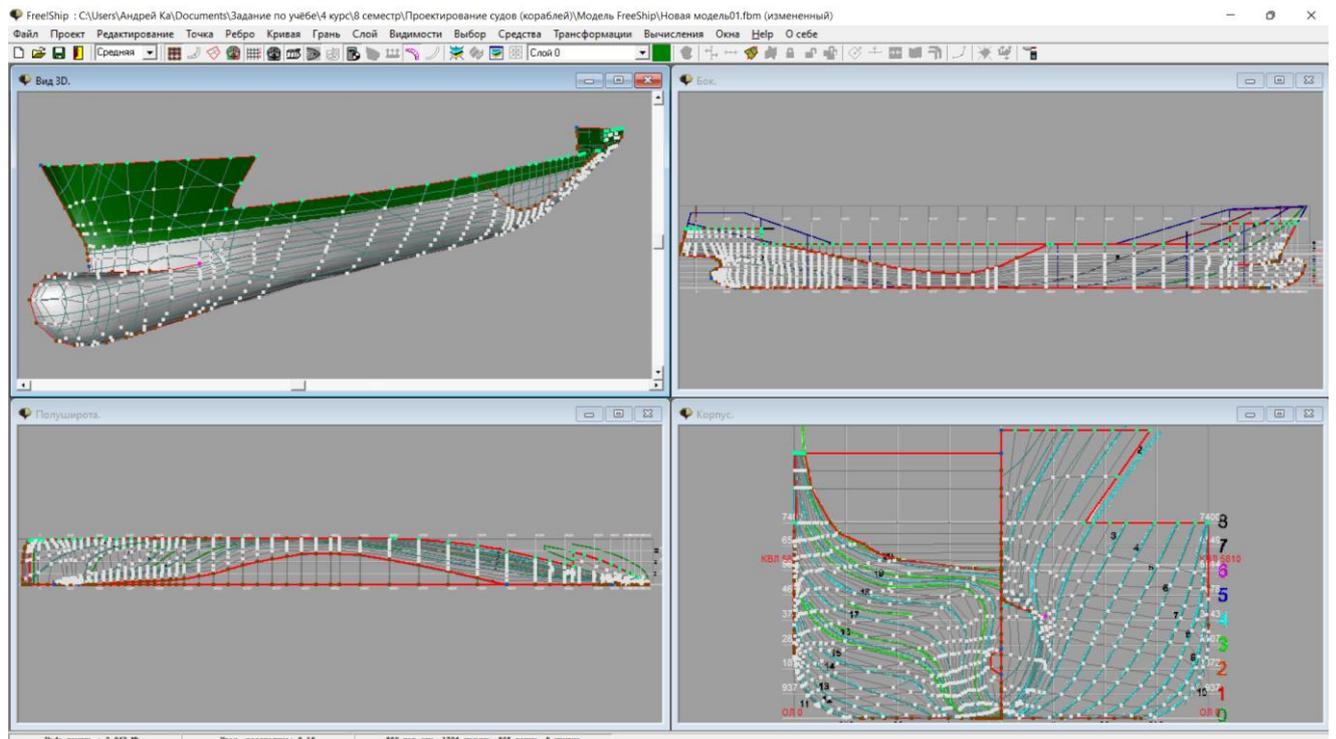


Рисунок 2.4 – Создание поверхности бака, юта и комингса

Все открытые поверхности должны быть заделаны (рисунок 2.5).

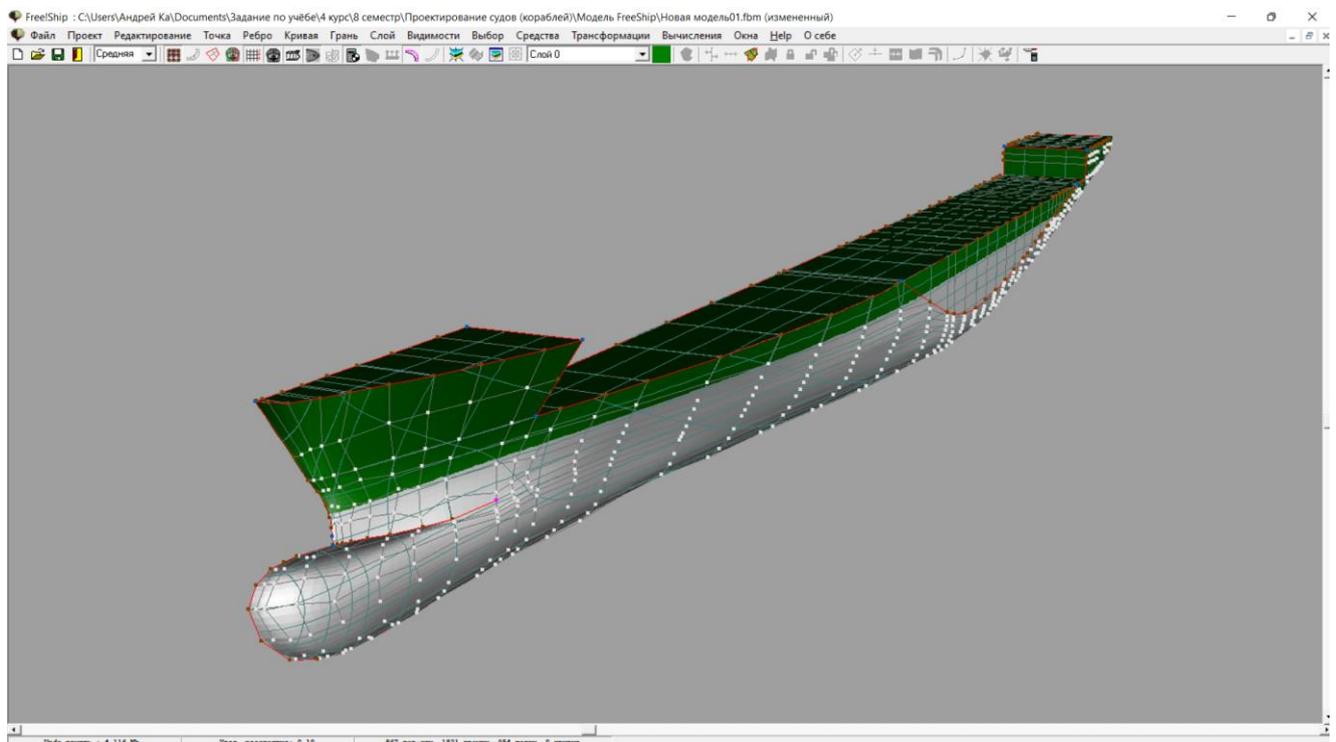


Рисунок 2.5 – Создание поверхности бака, юта и комингса

Также модель должна проверяться на точки утечки (рисунок 2.6).

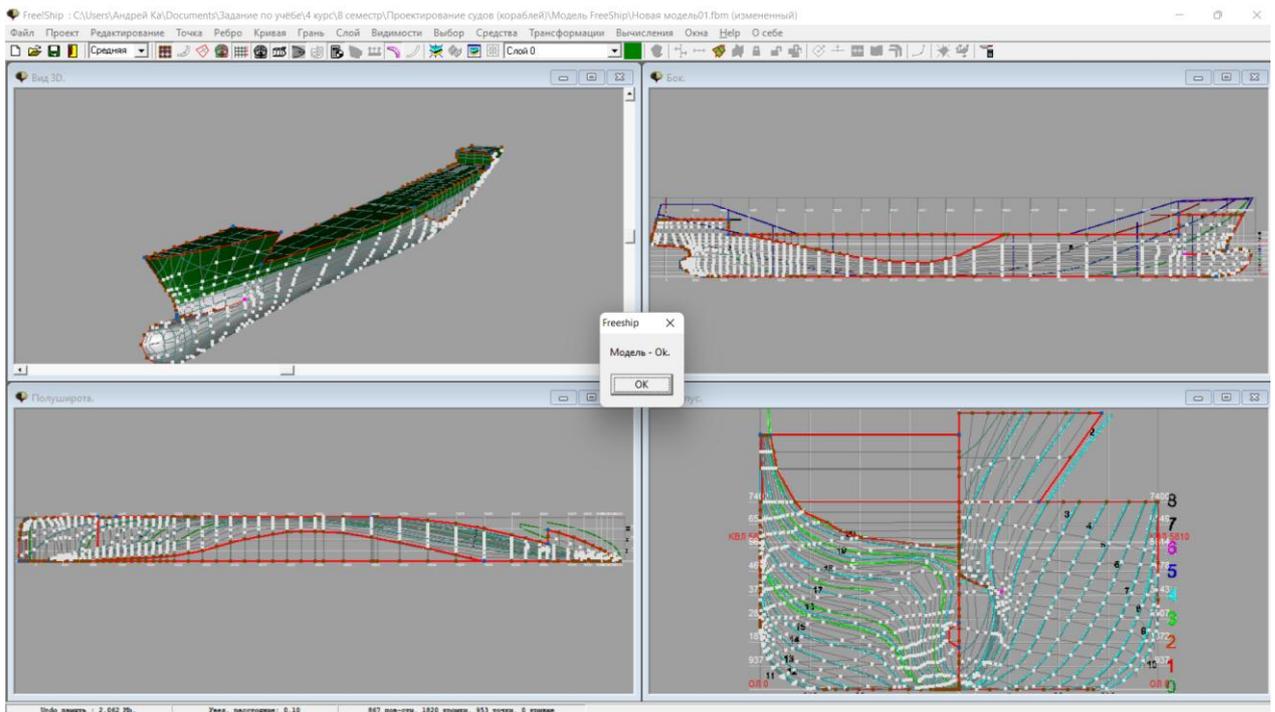


Рисунок 2.6 – Проверка корпуса на точки утечки

Результатом построения трёхмерной модели (рисунки 2.8-2.10) корпуса является построение теоретического чертежа (рисунок 2.7). Также пакет FreeShip даёт возможность проведения расчётов на основе построенной модели. Теоретический чертёж показан в приложении А.

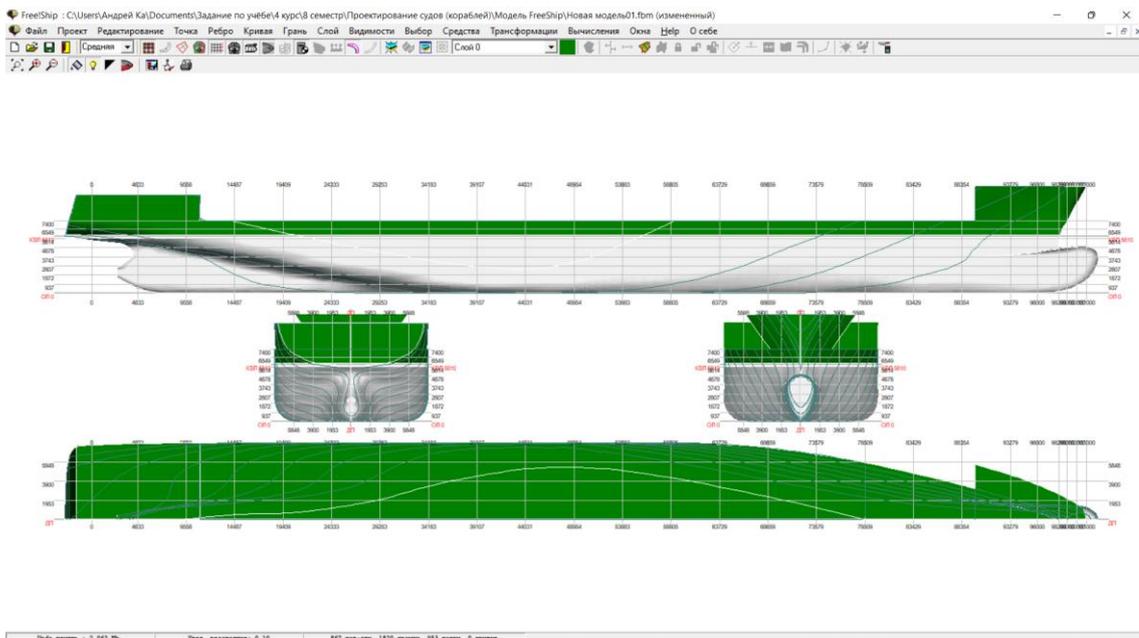


Рисунок 2.7 – Теоретический чертёж в пакете FreeShip

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

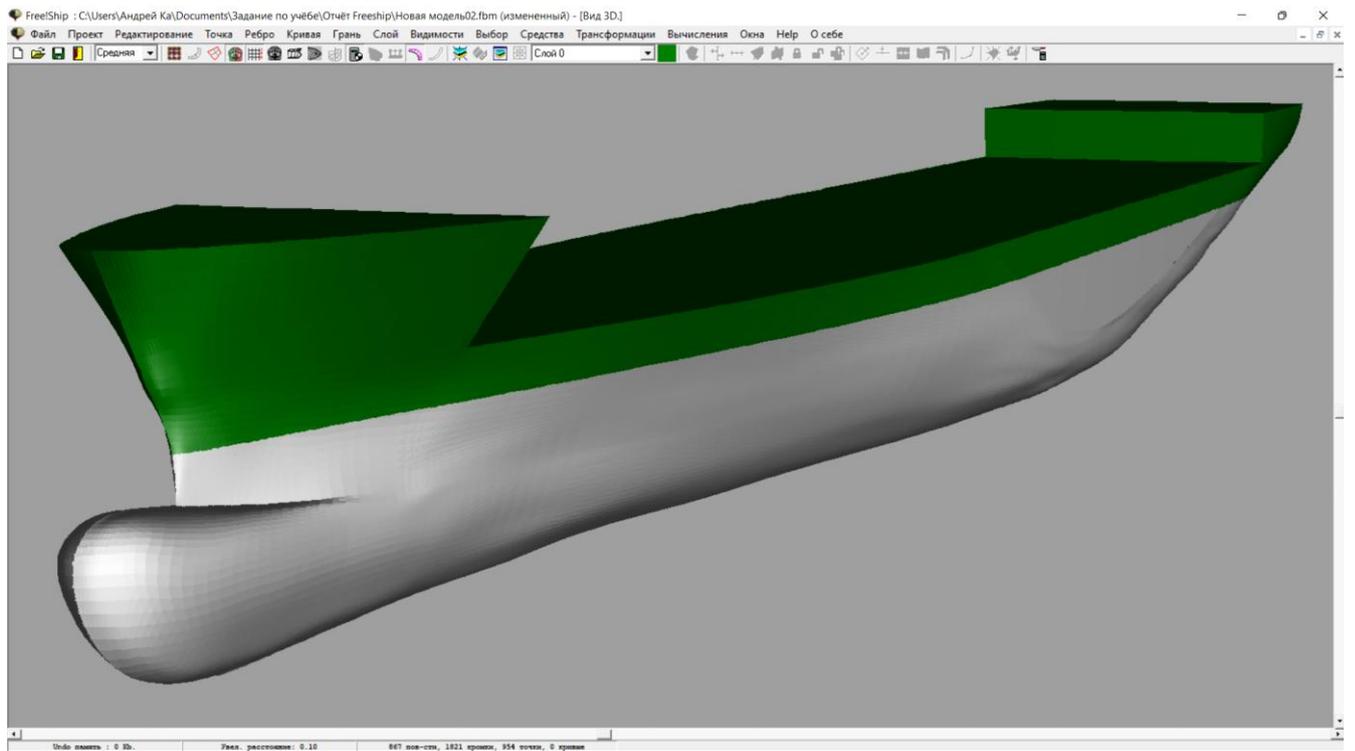


Рисунок 2.8 – Трёхмерная модель 1

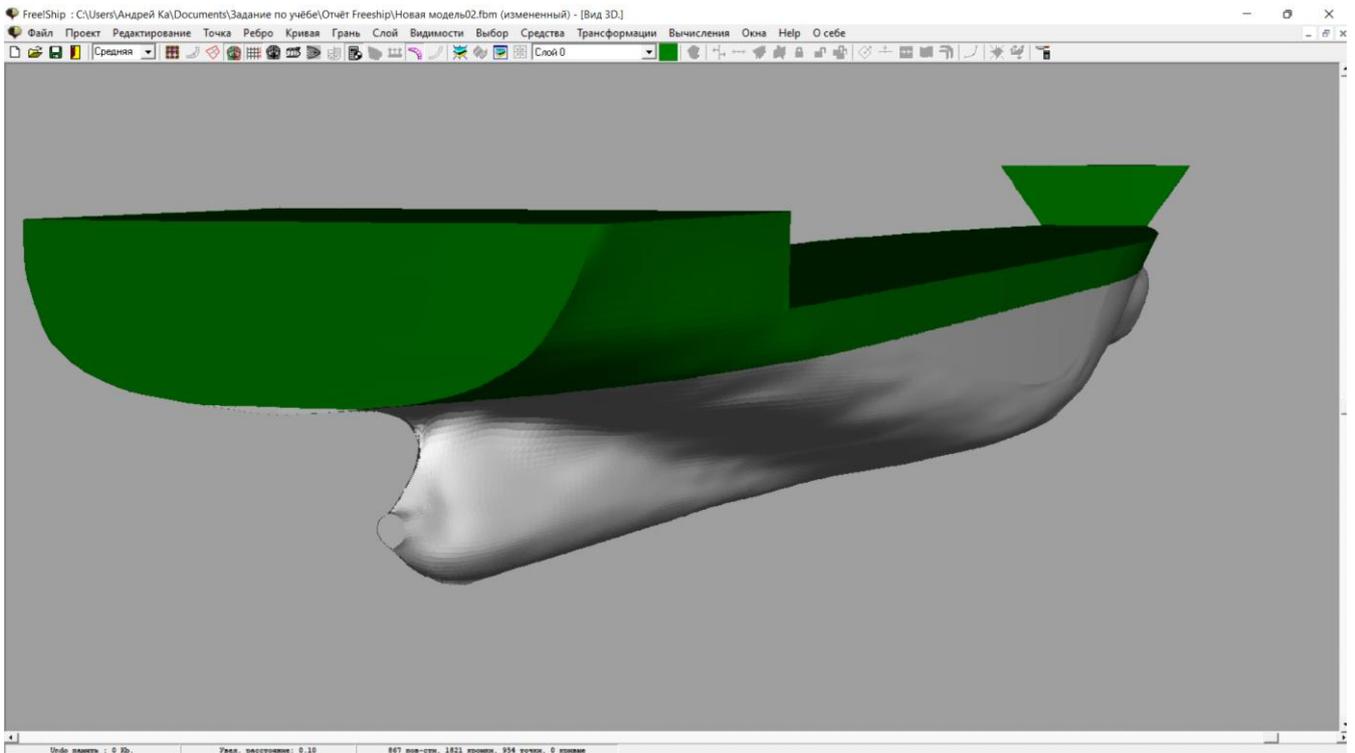


Рисунок 2.9 – Трёхмерная модель 2

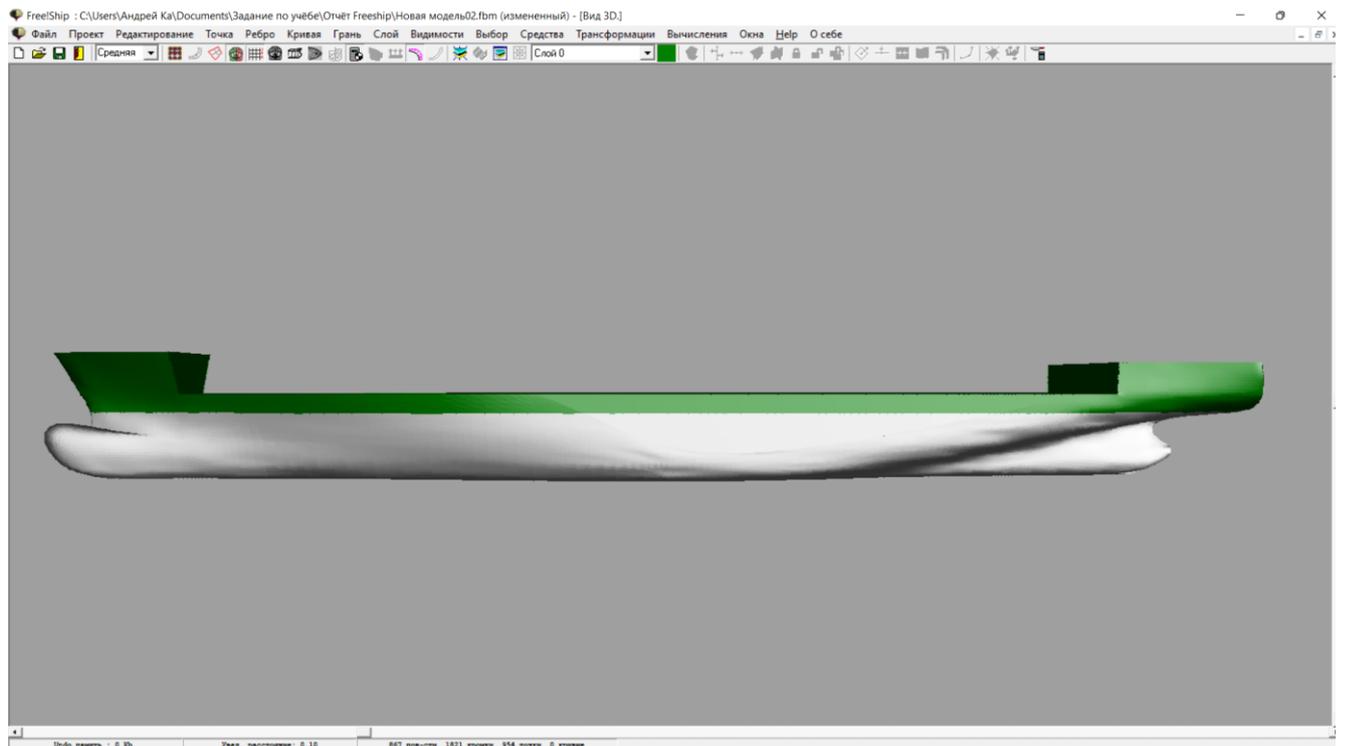


Рисунок 2.10 – Трёхмерная модель 3

					<i>СПКБ МИТ 2022 07</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

3 Выполнение расчётов функциональных характеристик судна в FreeShip

Пакет FreeShip даёт возможность проведения расчётов гидростатики, остойчивости и ходкости. Здесь необходимо сверить вычисленные характеристики со спецификационными.

3.1 Расчеты гидростатических характеристик

Результаты расчётов представлены на рисунках 3.1-3.4.

Проект	:	
Проектант	:	
Имя файла	:	Новая модель01.fbm
Длина между перпенд.	:	98.200 м
Длина максимальная	:	105.00 м
Ширина на миделе	:	15.600 м
Ширина максимальная	:	15.600 м
Проектная осадка	:	5.810 м
Абсцисса миделя	:	49.100 м
Плотность воды	:	1.025 т/м ³
Дополн. коэффициент	:	1.0000
Характеристики объема:		
Объемное водоизмещение	:	5372.4 м ³
Водоизмещение	:	5506.7 тонн
Полная длина погруженного тела	:	104.999 м
Полная ширина погруженного тела	:	15.600 м
Коэффициент общей полноты	:	0.5645
Призматический коэффициент	:	0.5820
Коэффициент вертикальной полноты	:	0.7423
Смоченная площадь поверхности	:	2034.5 м ²
Абсцисса Ц.В.	:	47.275 м
Абсцисса Ц.В.	:	-0.471 %
Ордината Ц.В.	:	0.000 м
Апplikата Ц.В.	:	3.248 м
Характеристики мидельшпангоута:		
Площадь миделя	:	87.916 м ²
Коэффициент полноты миделя	:	0.9700
Характеристики ватерлинии:		
Длина по ватерлинии	:	101.05 м
Ширина по ватерлинии	:	15.600 м
Площадь ватерлинии	:	1245.7 м ²
Коэффициент полноты ВЛ	:	0.7605
Абсцисса Ц.Т. площади ватерлинии	:	42.570 м
Ордината Ц.Т. площади ватерлинии	:	0.000 м
Половина угла носового заострения	:	19.461 град
Поперечный момент инерции	:	20793 м ⁴
Продольный момент инерции	:	748539 м ⁴
Начальная остойчивость:		
Апplikата поперечного метацентра	:	7.118 м
Поперечный метацентрический радиус	:	3.870 м
Апplikата продольного метацентра	:	142.58 м
Продольный метацентрический радиус	:	139.33 м
Характеристики ДП:		
Площадь погруженной части ДП	:	568.03 м ²
Абсцисса центра тяжести площади ДП	:	51.887 м
Апplikата центра тяжести площади ДП	:	2.929 м
Характеристики надводной части корпуса:		
Проекция на ДП площади парусности	:	229.68 м ²
Апplikата Ц.Т. площади парусности	:	7.340 м
Абсцисса Ц.Т. площади парусности	:	48.888 м
Возвышение Ц.Т. площади парусности над КВЛ	:	1.530 м
Расстояние от НП до Ц.Т. площади парусности	:	49.312 м

Рисунок 3.1 – Результаты расчёта гидростатики 1

Свойства слоя были рассчитаны для обоих бортов судна:

Слой	Площадь м ²	Толщина мм	Масса тонн	COG X м	COG Y м	COG Z м
Слой 0	4095.3	0.000	0.000	45.698	0.000	5.040

Внимание: Масса судна и водоизмещение отличаются более чем на 10% !

Рисунок 3.2 – Результаты расчёта гидростатики 2

Положение м	Площадь м ²
-2.801	1.512
4.633	11.264
9.558	28.673
14.487	43.473
19.409	56.485
24.333	68.432
29.253	77.218
34.183	84.298
39.107	87.455
44.031	88.137
48.954	87.961
53.883	84.635
58.805	78.810
63.729	70.669
68.659	60.362
73.579	49.622
78.509	38.619
83.429	28.424
88.354	20.450
93.279	14.435
96.000	11.932
98.200	9.790
99.000	9.309
100.000	8.165
102.198	0.000

Рисунок 3.3 – Результаты расчёта гидростатики 3

Характеристики бульба:

Средняя осадка	:	5.810 м
Абсцисса носового перпендикуляра	:	98.200 м
Площадь бульба на носовом перпендикул.	:	9.790 м ²
Апликата Ц.Т. площади бульба	:	2.624 м
Коэффициент бульбообразности	:	0.111

Примечание 1: Осадка (и все другие верт. высоты) измерены от линии Z=0

Примечание 2: Все рассчитанные коэффициенты основаны на действит. размерах погруженного тела.

Примечание 3: Хар-ки бульба определяются правильно, если носовой перпендикуляр проходит через точку пересечения линии форштевня с конструктивной ватерлинией.

Рисунок 3.4 – Результаты расчёта гидростатики 4

Расчитанные характеристики соответствуют спецификационным с минимальной погрешностью.

График гидростатических кривых показан в приложении Б.

									Лист
									16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	СПКБ МИТ 2022 07				

3.2 Расчеты остойчивости

По рассчитанной аппликате центра тяжести, в пакете FreeShip производится расчёт остойчивости. Для этого необходимо внести данные расчёта: весовое водоизмещение, т, ожидаемый ЦТ, м, площадь скуловых килей, м², площадь парусности, м², ЦТ парусности над ГВЛ, м, и угол входа палубы в воду, град. Результаты представлены на рисунке 3.3.

Результаты расчета остойчивости по правилам Регистра России:

Расчетное водоизмещение D	: 7467.000 тонн	
Аппликата Ц.Т. судна Z _g	: 6.210 м	
Площадь скуловых килей	: 0.000 м ²	
Площадь брускового киля	: 0.000 м ²	
Площадь боковой парусности	: 293.000 м ²	
Возвышение Ц.Т. площади парусности над КВЛ	: 1.690 м	
Плечо парусности	: 5.050 м	
Угол крена от постоянного ветра	: 0.6 град	
Амплитуда угла крена при качке	: 22.0 град	
Начальная поперечная метацентрич. высота h ₀	: 1.047 м	
Максимальное плечо восстанавливающего момента	: 0.329 м	(0.20)
Угол максимума плеча ДСО	: 20.0 град	(30°)
Угол заката диаграммы	: 49.8 град	(60°)
Критерий погоды К	: 2.123	(1.0)
Исправленная метацентрическая высота	: 1.047 м	(0.150)
Площадь под кривой ДСО до угла крена 30°	: 0.119 м*рад	(0.055)
Площадь под кривой ДСО до угла крена 40°	: 0.160 м*рад	(0.090)
Площадь под кривой ДСО от 30° до 40°	: 0.042 м*рад	(0.030)

Примечание: В скобках указаны минимальные значения требуемых параметров

Рисунок 3.5 – Результаты расчёта остойчивости при подобранной z_g

Параметры остойчивости удовлетворяют нормам РМРС.

3.3 Расчеты ходкости

Расчёт ходкости проводился с осадкой по КВЛ. Для контейнеровоза использовался «Метод Holtrop-1988(1984) для морских транспортных судов». В открывшемся окне (рисунок 3.6) задаётся диапазон расчетных скоростей с шагом в 1 узел, информация по корпусу принимается с текущего проекта, задаётся коэффициент формы кормы, количество гребных винтов и диаметр, снятый с чертежа общего расположения.

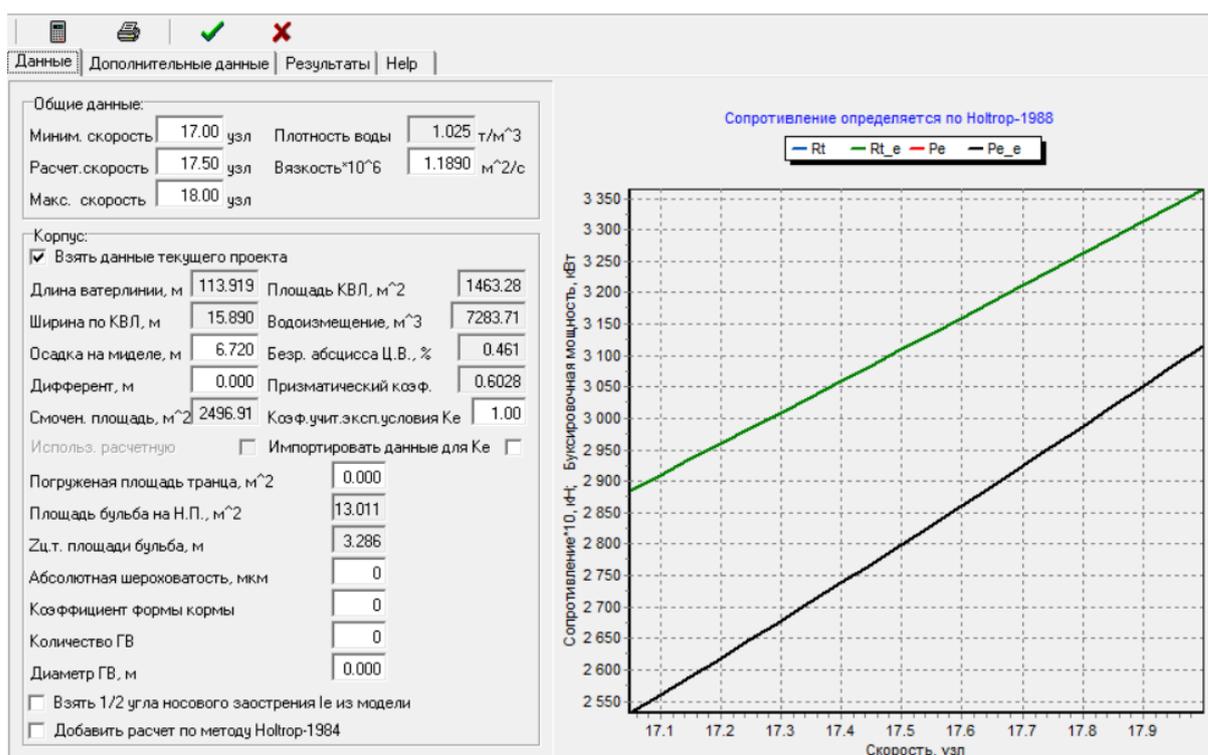


Рисунок 3.6 – Окно ввода данных при расчёте ходкости в программе FreeShip

Результаты расчёта ходкости по методу Холтропа приведены на рисунке 3.7.

Результаты расчета буксировочной мощности и сопротивления по методу Холтропа-1988 (84)

Vs	Vms	Fr	R _f	R _r	R _T	Pe	R _{T_e}	Pe_e
узл	м/с	-	кН	кН	кН	кВт	кН	кВт
17.00	8.75	0.262	175.8	110.4	286.2	2502.8	286.2	2502.8
17.07	8.78	0.263	177.2	112.4	289.6	2543.8	289.6	2543.8
17.14	8.82	0.264	178.6	114.5	293.1	2585.2	293.1	2585.2
17.21	8.86	0.265	180.0	116.7	296.7	2627.1	296.7	2627.1
17.29	8.89	0.266	181.4	118.8	300.2	2669.5	300.2	2669.5
17.36	8.93	0.267	182.8	120.9	303.8	2712.4	303.8	2712.4
17.43	8.97	0.268	184.2	123.1	307.3	2755.7	307.3	2755.7
17.50	9.00	0.269	185.6	125.3	310.9	2799.4	310.9	2799.4
17.75	9.13	0.273	190.6	133.0	323.7	2955.4	323.7	2955.4
18.00	9.26	0.277	195.7	140.7	336.5	3115.6	336.5	3115.6

Ke = 1.000
 ie = 11.923 град
 Wt = 0.0933
 t = 0.1000
 EtaR = 1.0395
 EtaH = 0.9926
 EtaH*EtaR= 1.0317

Примечание: Коэффициенты Wt, t и EtaR вычислены по формулам метода Holtrop-1988

Рисунок 3.7 – Результаты расчёта ходкости

Таким образом, мощность предусмотренного на многоцелевом сухогрузном судне главного двигателя превышает рассчитанную, что позволяет развивать скорость в 1765 узлов при эксплуатационной мощности.

Заключение

В результате выполнения проекта была разработана 3D модель корпуса многоцелевого сухогрузного судна «Deo Volente».

На основе разработанной модели корпуса судна были выполнены расчеты гидростатических характеристик, ходкости и остойчивости.

В соответствии с заданием были разработаны следующие чертежи:

- теоретический чертеж (Приложение А);
- чертеж гидростатических характеристик (Приложение Б).

По результатам выполнения проекта был выполнен доклад на V Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных «МОЛОДЁЖЬ И НАУКА: АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ» на тему «Особенности разработки 3D - модели судовой поверхности многоцелевого сухогрузного судна «Deo Volente».

Разработанная 3D модель корпуса многоцелевого сухогрузного судна была использована для анализа проектных характеристик многоцелевого сухогрузного судна «Deo Volente» в рамках выполнения ВКР бакалавра.

Также данная компьютерная модель корпуса судна может быть использована в учебном процессе в качестве прототипа при выполнении курсового проекта по дисциплине «Проектирование судов», а также основой для разработки корпусных конструкций по дисциплинам, связанных с САПР.

					<i>СПКБ МИТ 2022 07</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

Список использованных источников

1 Пак, Т. И. Методология реконструкции теоретических чертежей транспортных судов / Т. И. Пак, Д. Н. Александрова, А. Д. Бурменский // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, в 3 ч., Комсомольск-на-Амуре, 06–10 апреля 2020 года. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2020. – Ч.1. – С. 429-431.

2 Container Ship Register: справочно-информационный портал по поиску технической информации контейнеровозов мира. – URL: <http://www.containershipregister.nl/schepen.php> (дата обращения 12.04.2021).

3 Соколова Т.Ю. AutoCAD 2011: учебный курс / Т.Ю. Соколова. – СПб: Питер, 2011. – 574 с.

4 Моделирование поверхности корпуса судна: методические указания к выполнению компьютерного практикума и индивидуальных заданий по курсу «Информационные технологии в жизненном цикле морской техники» / сост. А.Д. Бурменский. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГУ» (рук.) (в свободном доступе в электронно-образовательной среде вуза).

					СПКБ МИТ 2022 07	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

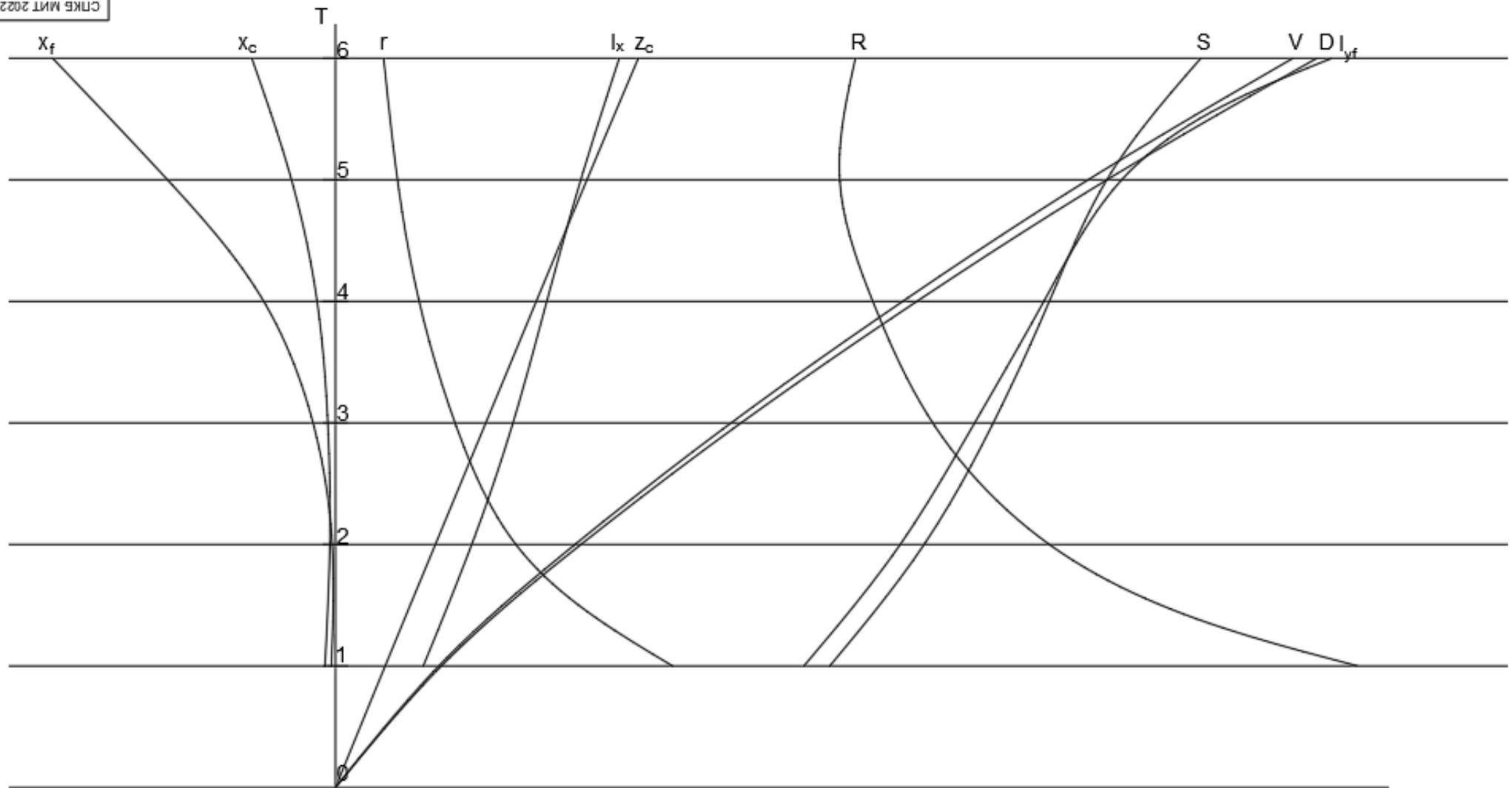
ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Теоретический чертёж

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)

Чертёж гидростатических кривых



X_c, X_f, Z_c, M

R, r, M

S, M^2

V, M^3, D, T

l_x, l_{yf}, M^4

СПКБ МИТ 2022 07	
График гидростатических кривых	1:1
Кафедра КС	