

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

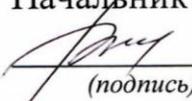
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»



СКБ «Компьютерные и инженерные технологии»

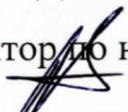
СОГЛАСОВАНО

Начальник отдела ОНИПКРС

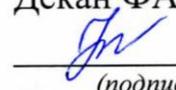
  
(подпись) Е.М. Димитриади  
« 16 » 06 2023 г.

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе

  
(подпись) А.В. Космынин  
« 19 » 06 2023 г.

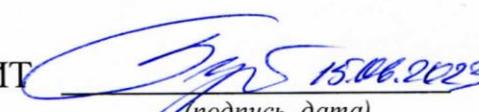
Декан ФАМТ

  
(подпись) О.А. Красильникова  
« 16 » 06 2023 г.

**«Разработка 3D модели судовой поверхности контейнеровоза  
вместимостью 1600 TEU в пакете FreeShip»**

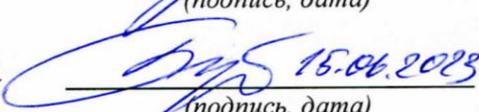
Комплект отчетной документации

Руководитель СКБ КИТ

  
(подпись, дата)

А.Д. Бурменский

Руководитель проекта

  
(подпись, дата)

А.Д. Бурменский

Комсомольск-на-Амуре 2023

### Карточка проекта

Название	Разработка 3D модели судовой поверхности контейнеровоза вместимостью 1600 TEU в пакете FreeShip
Тип проекта	По заданию кафедры «Кораблестроение и компьютерный инжиниринг»
Вид результата (НТП)	3D модель объекта, согласованный теоретический чертеж судна
Назначение	Реинжиниринг проектной информации по судам современных тпов с целью использования результатов в научных исследованиях магистров и в качестве исходной проектной информации для ВКР бакалавров..
Область использования	Научные исследования в области проектирования судов. В учебном процессе для направления подготовки 26.03.02 и 26.04.02 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника морской инфраструктуры»
Исполнитель	Студент  Боярчук И.М. группа 2КСм-1
Срок реализации	весенний семестр 2023 г.

### Использованные информационно-технические ресурсы

Наименование	Количество, шт.
Персональный компьютер	1
САПР FreeShip	
CAD система AutoCAD	
Проектная документация по судну	

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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



СКБ «Компьютерные и инженерные технологии»

ЗАДАНИЕ  
на разработку

Выдано студенту: Боярчук Иван Михайлович, группа 2КСм-1

Название проекта: Разработка 3D модели судовой поверхности контейнеровоза вместимостью 1600 TEU в пакете FreeShip

Назначение: Реинжиниринг проектной информации по судам современного типа для использования результатов проекта в научных исследованиях и в учебном процессе

Область использования: В учебном процессе для направления подготовки 26.03.02 и 26.04.02 «Кораблестроение, океанотехника и системотехника морской инфраструктуры» в качестве фрагмента учебно-методического комплекса Научные исследования в области проектирования судов.

Требования к научно-техническому продукту: \_\_\_\_\_

- функциональные: В процессе выполнения проекта следует исследовать эффективность приемов реинжиниринга проектной информации в зависимости от качества исходной информации.

- технические: Качество разработанной 3D модели должно позволять проводить все виды кораблестроительных расчетов предусмотренных в пакете FreeShip, а также получить качественный теоретический чертеж судна.

План работ:

Наименование работ	Срок
<i>Анализ и подбор конструкторской документации для моделирования</i>	<i>февраль, 2023</i>
<i>Разработка эскиза теоретического чертежа</i>	<i>март, 2023</i>
<i>Разработка 3D модели судовой поверхности</i>	<i>апрель, 2023</i>
<i>Проведение расчетов функциональных качеств судна на основе 3D модели корпуса</i>	<i>май, 2022</i>
<i>Оформление отчета и конструкторской документации</i>	<i>июнь, 2022</i>

Перечень отчетных материалов:

*- 3D модель корпуса контейнеровоза*

*- Теоретический чертеж контейнеровоза*

*- Пояснительная записка к проекту*

Требования к содержанию основного раздела пояснительной записки к проекту: пояснительная записка должна содержать следующие разделы:

*- описание исходных данных;*

*- разработка эскиза теоретического чертежа;*

*- разработка 3D модели судовой поверхности в САПР FreeShip;*

*- выполнение расчетов функциональных характеристик в FreeShip.*

Комментарии:

*Отчет по проекту выполняется по требованиям РД 013-2016 с изм. 4.*

Руководитель проекта

  
(подпись, дата)

*А.Д. Бурменский*

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

**Пояснительная записка к проекту**

**«Разработка 3D модели судовой поверхности контейнеровоза  
емкостью 1600 TEU в пакете FreeShip»**

Руководитель проекта

  
(подпись, дата)

*А.Д. Бурменский*

Комсомольск-на-Амуре 2023

## Содержание

Введение.....	7
1 Разработка эскиза теоретического чертежа.....	8
1.1 Проектные характеристики судна .....	8
1.2 Исходные данные для разработки теоретического чертежа.....	9
1.3 Порядок разработки эскиза теоретического чертежа.....	10
2 Разработка 3D модели судовой поверхности в САПР FreeShip .....	12
3 Выполнение расчетов функциональных характеристик в FreeShip .....	16
3.1 Расчеты гидростатических характеристик .....	16
3.2 Расчеты остойчивости .....	17
3.3 Расчеты ходкости .....	18
Заключение .....	20
Список использованных источников .....	21
ПРИЛОЖЕНИЕ А Теоретический чертеж .....	22

					СКБ КИТ.5.ИП.000000ПЗ	Лист-
эм.Из	Лист-	кум.№ докум.	Подпись-	таДа		

## 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 модель судовой поверхности контейнеровоза 1600 TEU. 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.

					<b>СКБ КИТ.5.ИП.000000ПЗ</b>	<i>Лист</i>
						7
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

## 1 Разработка эскиза теоретического чертежа

### 1.1 Проектные характеристики контейнеровоза

Для моделирования поверхности корпуса был выбран контейнеровоз 1600 TEU (рисунок 1.1).

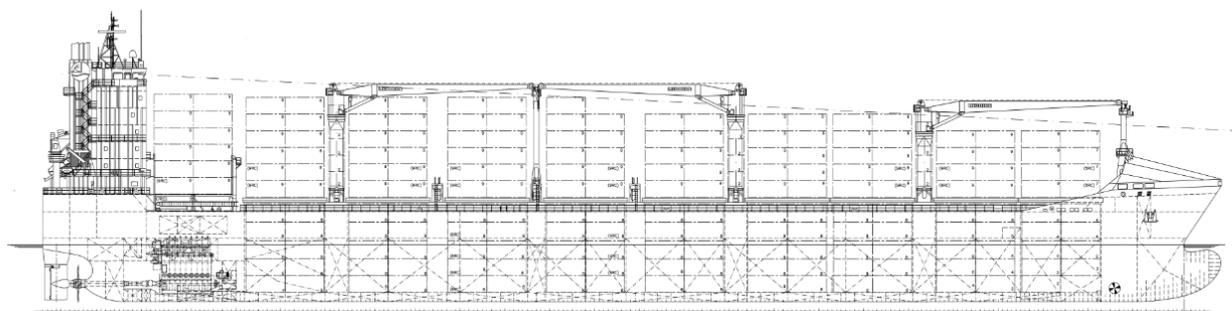


Рисунок 1.1 – Контейнеровоз 1600 TEU

Главные проектные характеристики контейнеровоза 1600 TEU приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Главные проектные характеристики контейнеровоза 1600 TEU

Характеристика	Значение
Длина наибольшая, м	184
Длина между перпендикулярами, м	176
Ширина, м	24,5
Высота борта, м	14,2
Осадка конструктивная, м	7,5
Осадка грузовая, м	9
Дедвейт для грузовой осадки, т	21780
Контейнеровместимость, TEU	1604

Контейнеровоз 1600 TEU представляет собой однокорпусное однопалубное судно со стальным корпусом с цилиндрической вставкой, с большим раскрытием палубы, является двухостровным, с кормовым расположением машинного отделения и жилой надстройки. Судно имеет бульбообразную носовую оконечность в подводной и наклонную форму форштевня в надводной части корпуса. Бульбообразная форма носовой оконечности способству-

ет уменьшению волнового сопротивления воды движению судна и тем самым повышается скорость судна. Уменьшение сопротивления воды движению судна влечет снижение расхода топлива, и увеличение дальности плавания при заданных запасах топлива. Наклонная форма носа, в свою очередь, позволяет придать более стремительную форму корпусу судна, а также и уменьшить заливаемость палубы.

Контейнеровоз имеет санеобразные кормовые обводы и транцевую корму.

## 1.2 Исходные данные на разработку теоретического чертежа

Основой для разработки теоретического чертежа послужили чертежи «General Arrangement», и «Shell Expansion».

Графическая информация к контейнеровозу 1600 TEU представлена на рисунке 1.2.

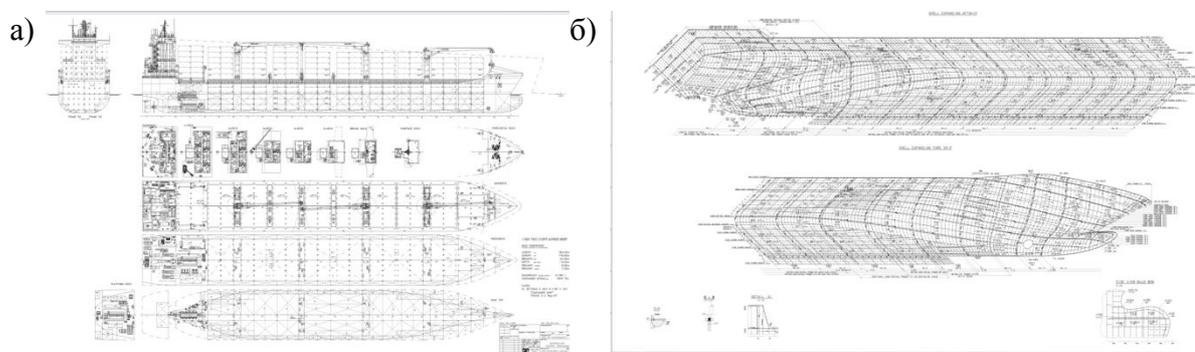


Рисунок 1.2 – Исходные данные для разработки теоретического чертежа

а – General Arrangement; б – Shell Expansion

### 1.3 Порядок разработки эскиза теоретического чертежа

В системе AutoCAD, на основе исходной графической информации, в выбранном масштабе обрисованы базовые линии (диаметральный батокс, верхняя палуба и балубы бака и юта), а также дополнительные (практические шпангоуты). Пример выполненной работы на данном этапе представлен на рисунках 1.3-1.5.

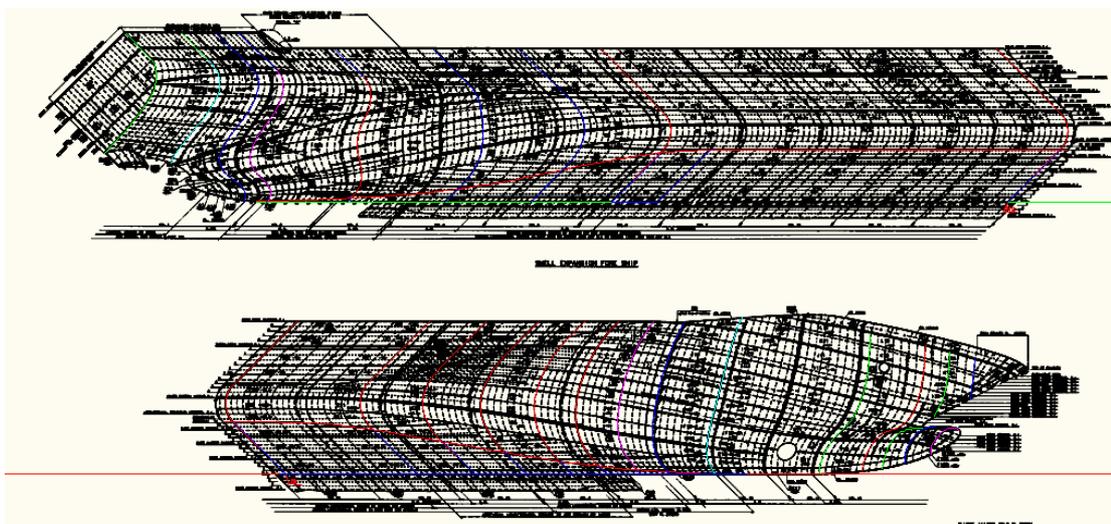


Рисунок 1.3 – Оцифровка линий сечений для проекции «Корпус»

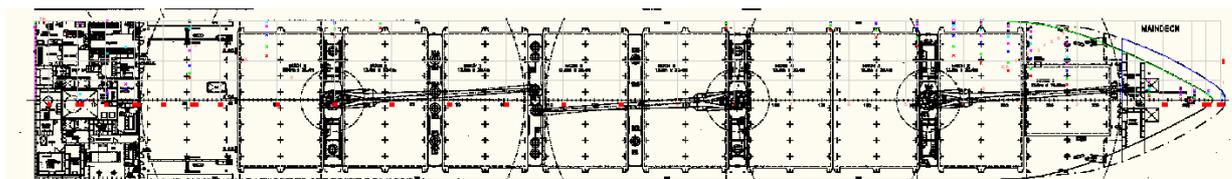


Рисунок 1.4 – Оцифровка линий сечений проекции «Полуширота»

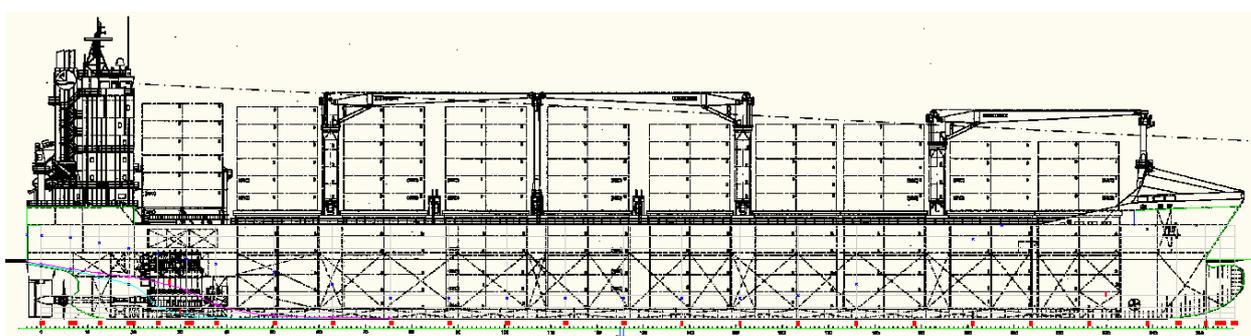


Рисунок 1.5 – Оцифровка линий сечений проекции «Бок»

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

СКБ КИТ.5.ИП.010000ПЗ

Лист

10

Далее полученные линии распределяются по видам теоретического чертежа. Оцифрованные с чертежа «Shell Expansion» линии шпангоутов наносятся на проекцию «Корпус», линия плоского борта на проекцию «Бок», линия плоского дна на проекцию «Полуширота».

Далее линии согласуются с проекциями «Бок», «Полуширота» и «Корпус» контейнеровоза 1600 TEU. Полученный эскиз теоретического чертежа с максимальной степенью его согласовки представлен на рисунке 1.6.



Рисунок 1.6 – Эскиз теоретического чертежа

## 2 Разработка 3D модели судовой поверхности в САПР FreeShip

После создания базовой модели с заданными размерениями, подобраны подложки по видам «Бок», «Полуширота» и «Корпус». На следующем этапе обведены очертания вставленных проекций в соответствии с линиями подложки, настроены пересечения, плавность линий регулируется, наблюдением изменения поверхности в теневой, зебровой закраске и искривлению по Гауссу. При этом, использовалось добавление контрольной сетки по рыбакам, что дало возможность использования меньшего количества точек при построении поверхности. Результат представлен на рисунке 2.1.

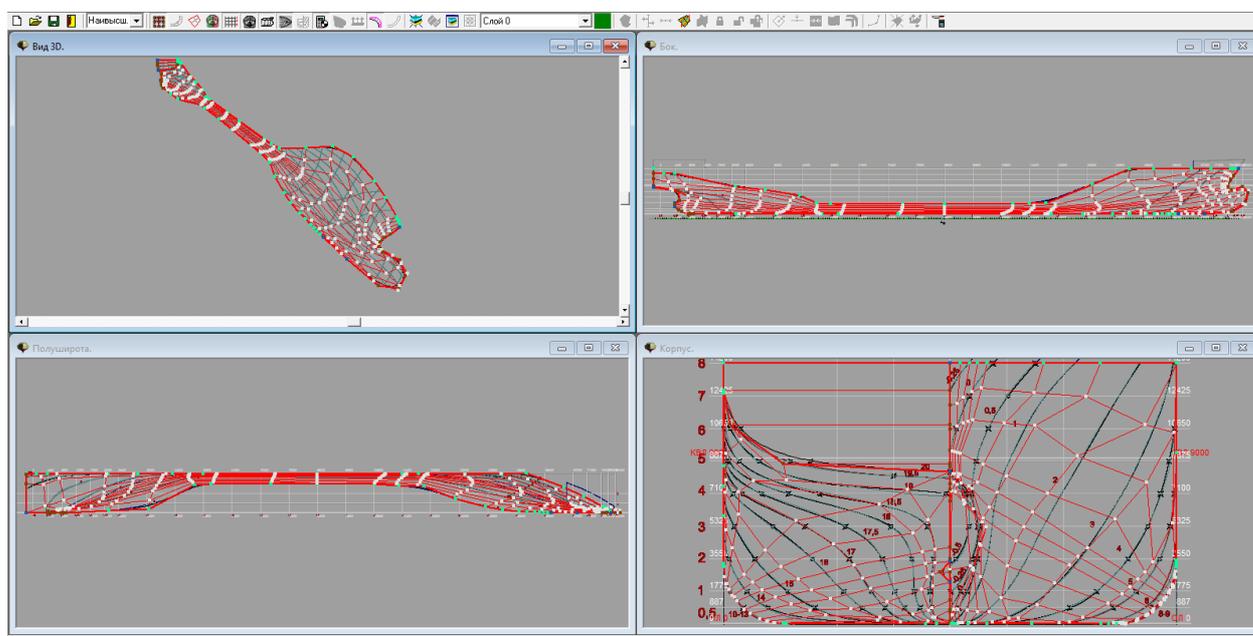


Рисунок 2.1 – Построение линий контрольной сетки

Линией слома очерчена линия плоского борта и нулевой ватерлинии (рисунок 2.2).

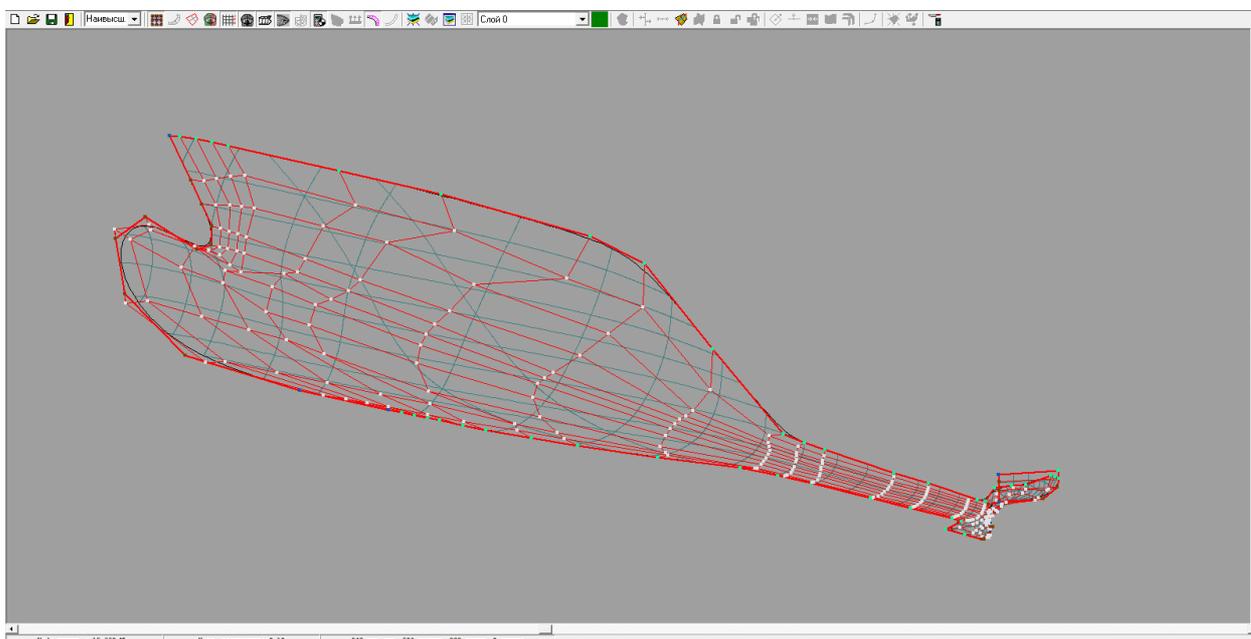


Рисунок 2.2 – Линия плоского борта и нулевой ватерлинии

После построения корпуса до ВП, создаётся поверхность бака и юта (рисунок 2.3).

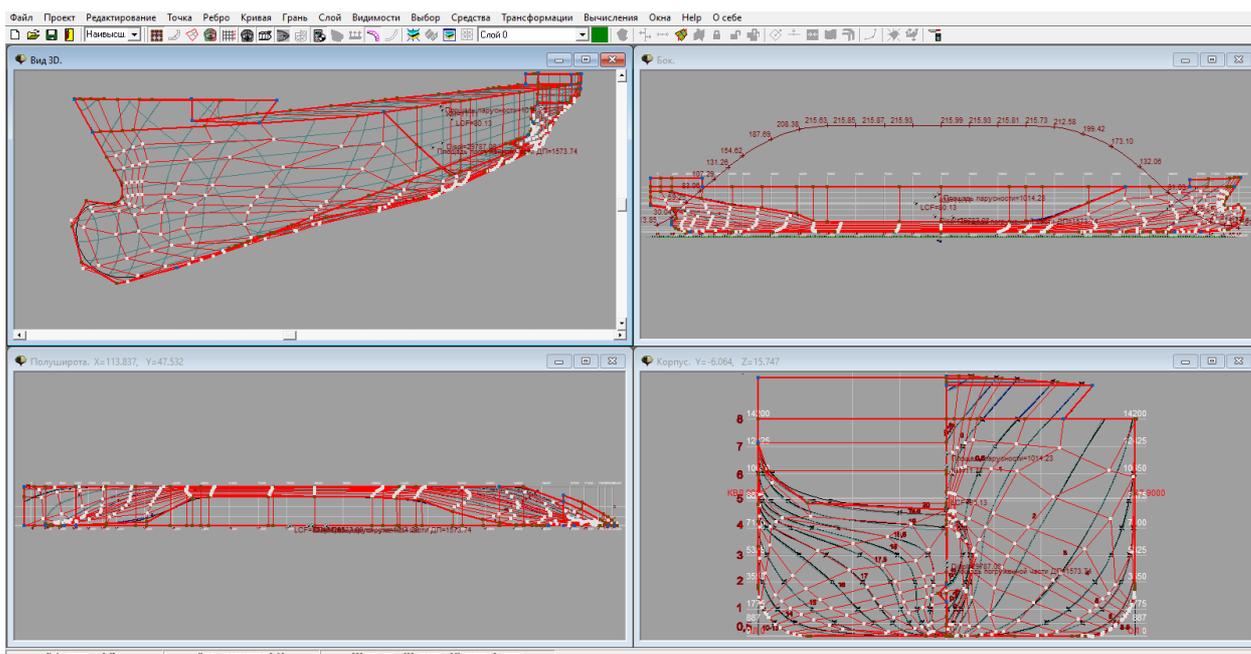


Рисунок 2.3 – Создание поверхности бака, юта и комингса

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Все открытые поверхности должны быть заделаны (рисунок 2.4).

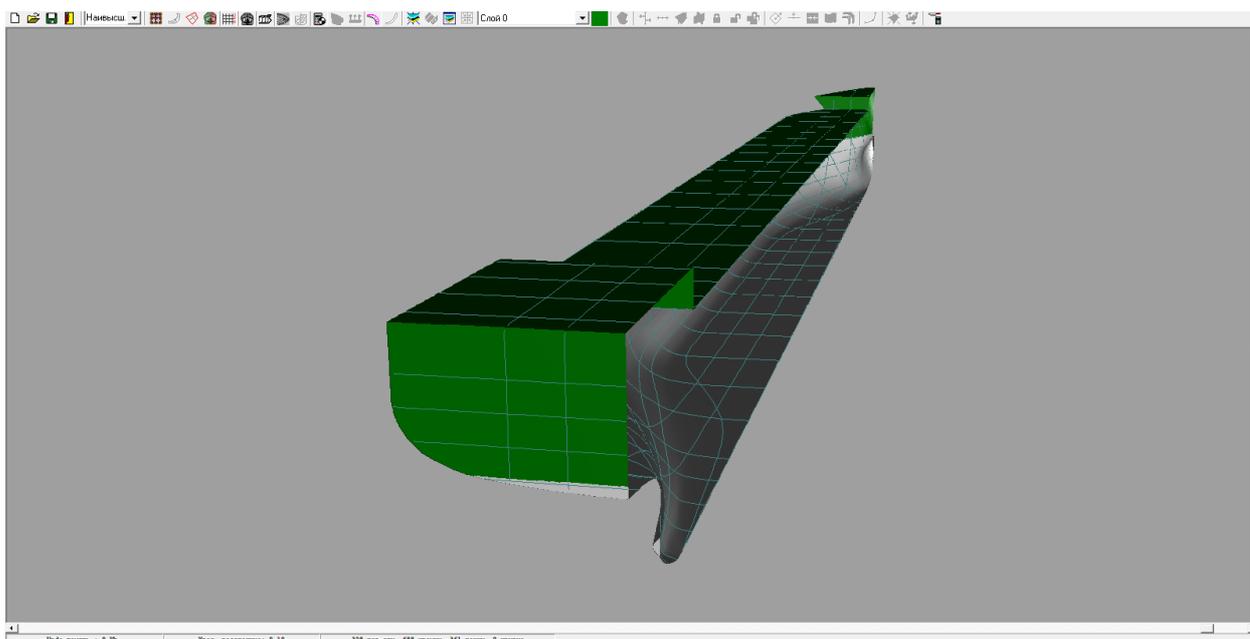


Рисунок 2.4 – Создание поверхности бака, юта и комингса

Также модель должна проверяться на точки утечки (рисунок 2.5).

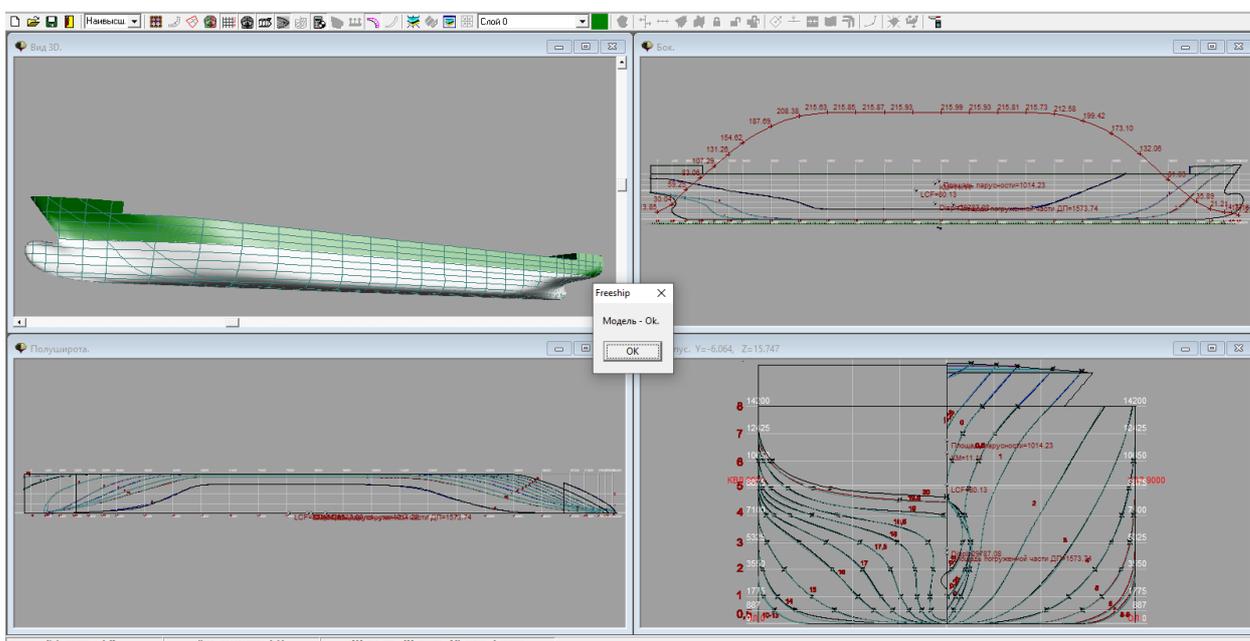


Рисунок 2.5 – Проверка корпуса на точки утечки

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Результаты построения трёхмерной модели приведены на рисунках 2.6 – 2.8.

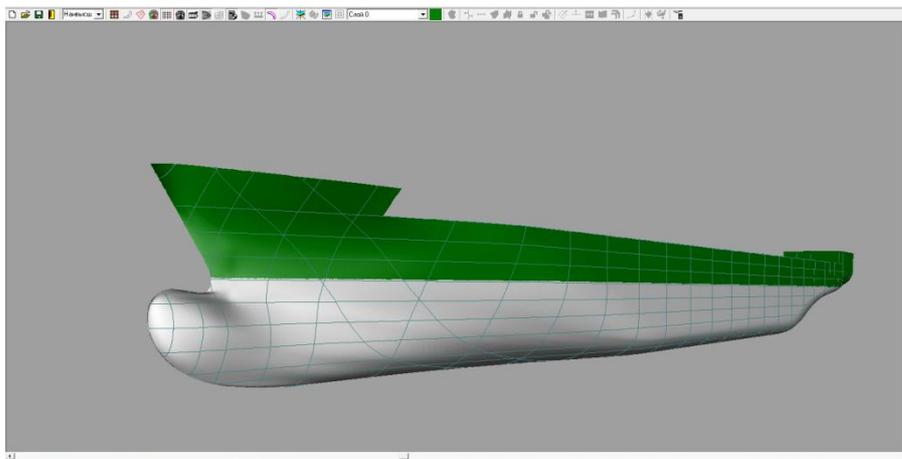


Рисунок 2.6 – Трёхмерная модель 1

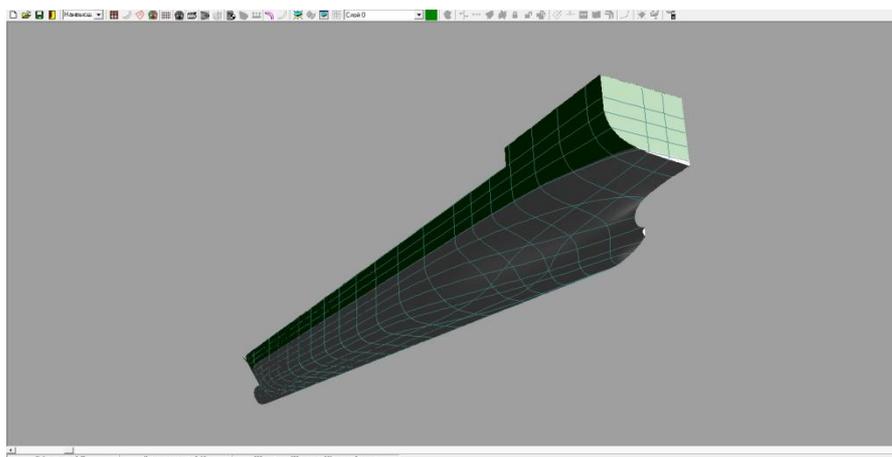


Рисунок 2.7 – Трёхмерная модель 2

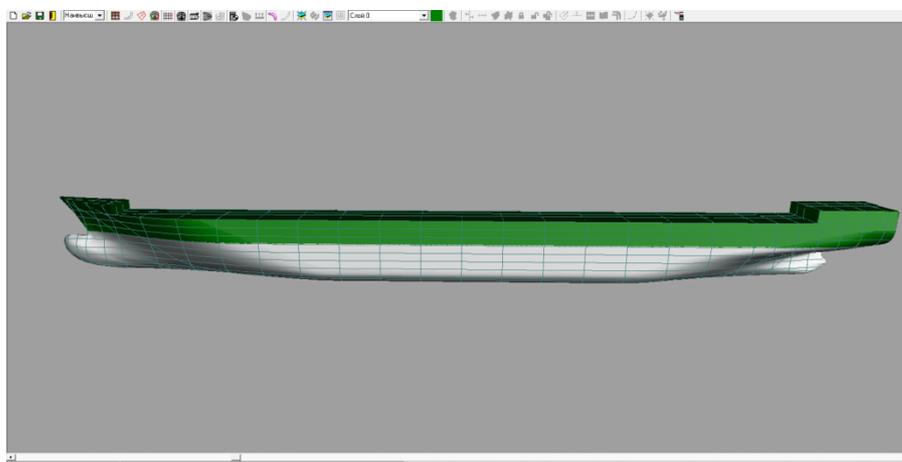


Рисунок 2.8 – Трёхмерная модель 3

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

СКБ КИТ.5.ИП.020000ПЗ

Лист

15

### 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 3.1-3.2.

Проект	:	
Проектант	:	
Имя файла	:	TEOP_Бак_0г.fbm
Длина между перпенд.	:	176.00 м
Длина максимальная	:	183.85 м
Ширина на миделе	:	24.500 м
Ширина максимальная	:	24.513 м
Проектная осадка	:	9.000 м
Абсцисса миделя	:	88.000 м
Плотность воды	:	1.025 т/м <sup>3</sup>
Дополн. коэффициент	:	1.0000
Характеристики объема:		
Объемное водоизмещение	:	29061 м <sup>3</sup>
Водоизмещение	:	29787 тонн
Полная длина погруженного тела	:	183.848 м
Полная ширина погруженного тела	:	24.500 м
Коэффициент общей полноты	:	0.7169
Призматический коэффициент	:	0.7318
Коэффициент вертикальной полноты	:	0.8237
Смоченная площадь поверхности	:	6228.9 м <sup>2</sup>
Абсцисса Ц.В.	:	86.182 м
Абсцисса Ц.В.	:	-0.409 %
Ордината Ц.В.	:	0.000 м
Апplikата Ц.В.	:	4.844 м
Характеристики мидельшпангоута:		
Площадь миделя	:	215.99 м <sup>2</sup>
Коэффициент полноты миделя	:	0.9795
Характеристики ватерлинии:		
Длина по ватерлинии	:	178.12 м
Ширина по ватерлинии	:	24.500 м
Площадь ватерлинии	:	3919.8 м <sup>2</sup>
Коэффициент полноты ВЛ	:	0.8702
Абсцисса Ц.Т. площади ватерлинии	:	80.127 м
Ордината Ц.Т. площади ватерлинии	:	0.000 м
Половина угла носового заострения	:	16.189 град
Поперечный момент инерции	:	182116 м <sup>4</sup>
Продольный момент инерции	:	8567399 м <sup>4</sup>
Начальная остойчивость:		
Апplikата поперечного метacentра	:	11.111 м
Поперечный метacentрический радиус	:	6.267 м
Апplikата продольного метacentра	:	299.66 м
Продольный метacentрический радиус	:	294.81 м
Характеристики ДП:		
Площадь погруженной части ДП	:	1573.7 м <sup>2</sup>
Абсцисса центра тяжести площади ДП	:	91.791 м
Апplikата центра тяжести площади ДП	:	4.546 м
Характеристики надводной части корпуса:		
Проекция на ДП площади парусности	:	1014.2 м <sup>2</sup>
Апplikата Ц.Т. площади парусности	:	11.918 м
Абсцисса Ц.Т. площади парусности	:	87.219 м
Возвышение Ц.Т. площади парусности над КВЛ	:	2.918 м
Расстояние от НП до Ц.Т. площади парусности	:	88.781 м

Свойства слоя были рассчитаны для обоих бортов судна:

Слой	Площадь м <sup>2</sup>	Толщина мм	Масса тонн	COG X м	COG Y м	COG Z м
Слой 0	12894	0.000	0.000	84.512	0.000	8.483

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

Рисунок 3.1 – Результаты расчёта гидростатики 1



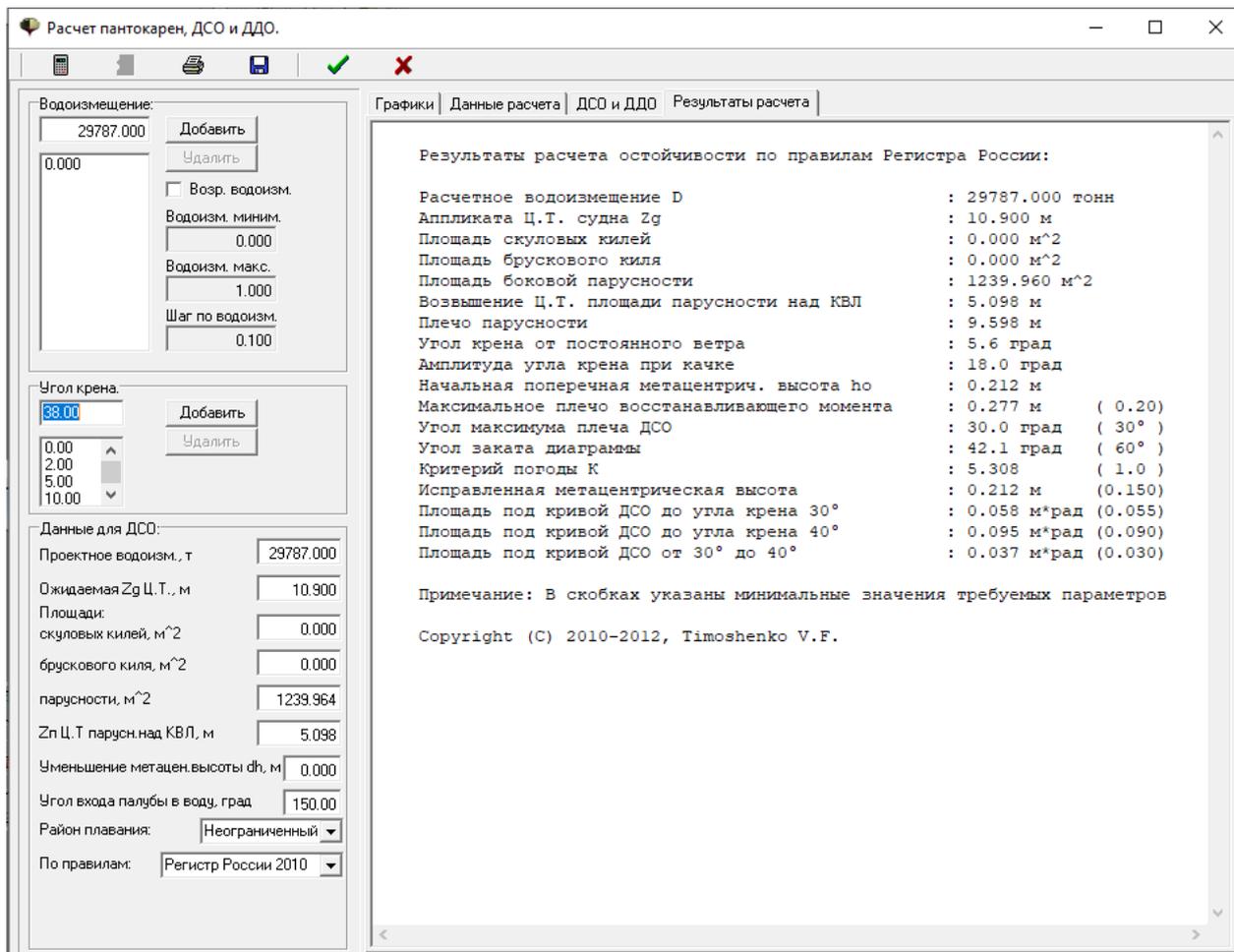


Рисунок 3.3 – Результаты расчёта остойчивости при подобранной  $z_g$

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 3.4) задаётся диапазон расчетных скоростей с шагом в 1 узел, информация по корпусу принимается с текущего проекта, задаётся коэффициент формы кормы и количество гребных винтов.

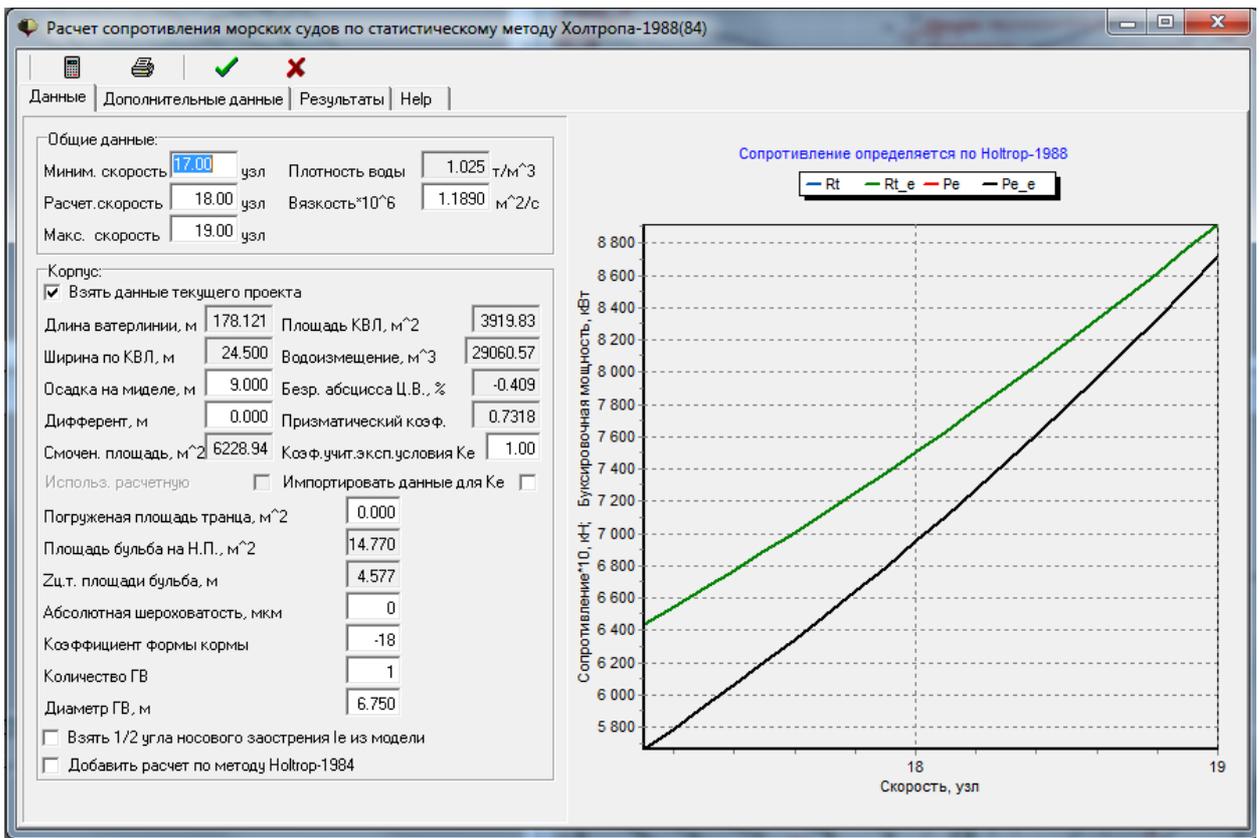


Рисунок 3.4 – Окно ввода данных при расчёте ходкости в программе FreeShip

Результаты расчёта ходкости по методу Холтропа приведены на рисунке 3.5.

Vs	Vms	Fr	R <sub>f</sub>	R <sub>r</sub>	R <sub>T</sub>	Pe	R <sub>T_e</sub>	Pe_e
узл.	м/с	-	кН	кН	кН	кВт	кН	кВт
17.00	8.75	0.209	412.7	220.3	633.0	5535.8	633.0	5535.8
17.14	8.82	0.211	419.3	229.2	648.5	5719.1	648.5	5719.1
17.29	8.89	0.213	425.8	238.6	664.4	5908.2	664.4	5908.2
17.43	8.97	0.214	432.5	248.2	680.7	6103.4	680.7	6103.4
17.57	9.04	0.216	439.2	258.3	697.5	6305.0	697.5	6305.0
17.71	9.11	0.218	445.9	268.8	714.7	6513.4	714.7	6513.4
17.86	9.19	0.220	452.7	279.8	732.5	6728.7	732.5	6728.7
18.00	9.26	0.222	459.5	291.2	750.7	6951.3	750.7	6951.3
18.50	9.52	0.228	483.8	334.6	818.4	7788.9	818.4	7788.9
19.00	9.77	0.234	508.6	382.9	891.5	8714.3	891.5	8714.3

Tb = 883.548 кН  
 Kdt = 1.468  
 Dp = 6.750 м  
 Z = 4  
 Ae/Ao = 0.421 - расчетное  
 Ae/Ao = 0.550 - для выбора винтовой диаграммы  
 P/Dp = 1.081 - по кривой оптимальных частот вращения винта  
 Ke = 1.000  
 ie = 27.199 град  
 Wt = 0.3103  
 c = 0.1504  
 EtaR = 1.0147  
 EtaH = 1.2319  
 EtaH\*EtaR = 1.2501

Рисунок 3.5 – Результаты расчёта ходкости

Таким образом, мощность предусмотренного на контейнеровозе главного двигателя превышает рассчитанную, что позволяет развивать скорость в 18 узлов при эксплуатационной мощности.

## Заключение

В результате выполнения проекта была разработана 3D модель корпуса контейнеровоза 1600 TEU.

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

В соответствии с заданием был разработан теоретический чертеж (Приложение А).

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.

					<b>СКБ КИТ.5.ИП.000000ПЗ</b>	<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).

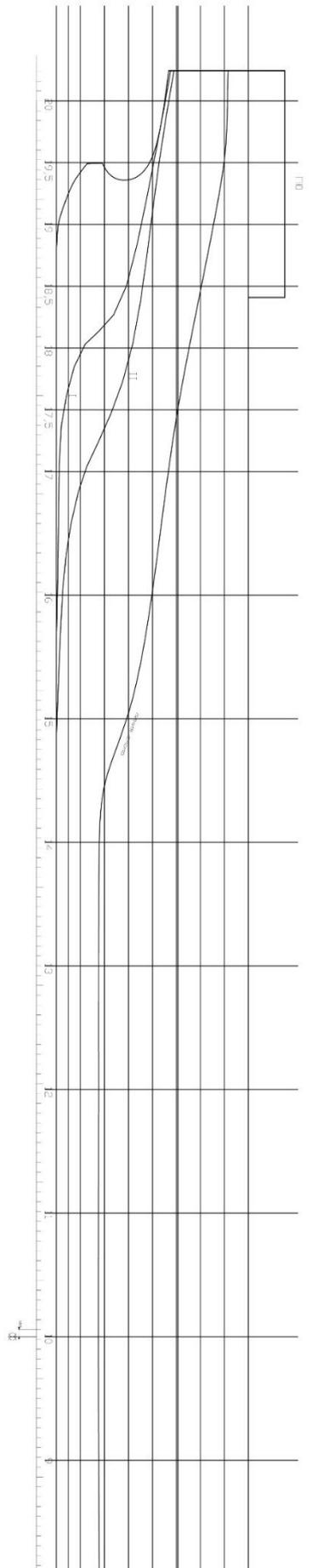
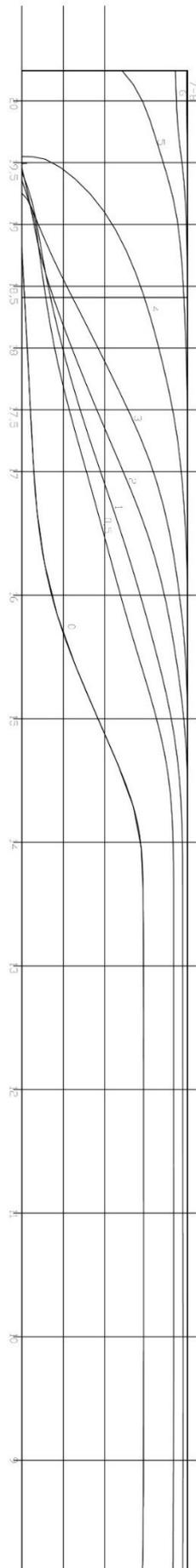
3 Соколова Т.Ю. AutoCAD 2011: учебный курс / Т.Ю. Соколова. – СПб: Питер, 2011. – 574 с.

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).

					<b>СКБ КИТ.5.ИП.000000ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
**(обязательное)**  
**Теоретический чертеж**

					<b>СКБ КИТ.5.ИП.ПА000000ПЗ</b>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		22



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

СКБ КИТ.5.ИП.ПА000000ПЗ