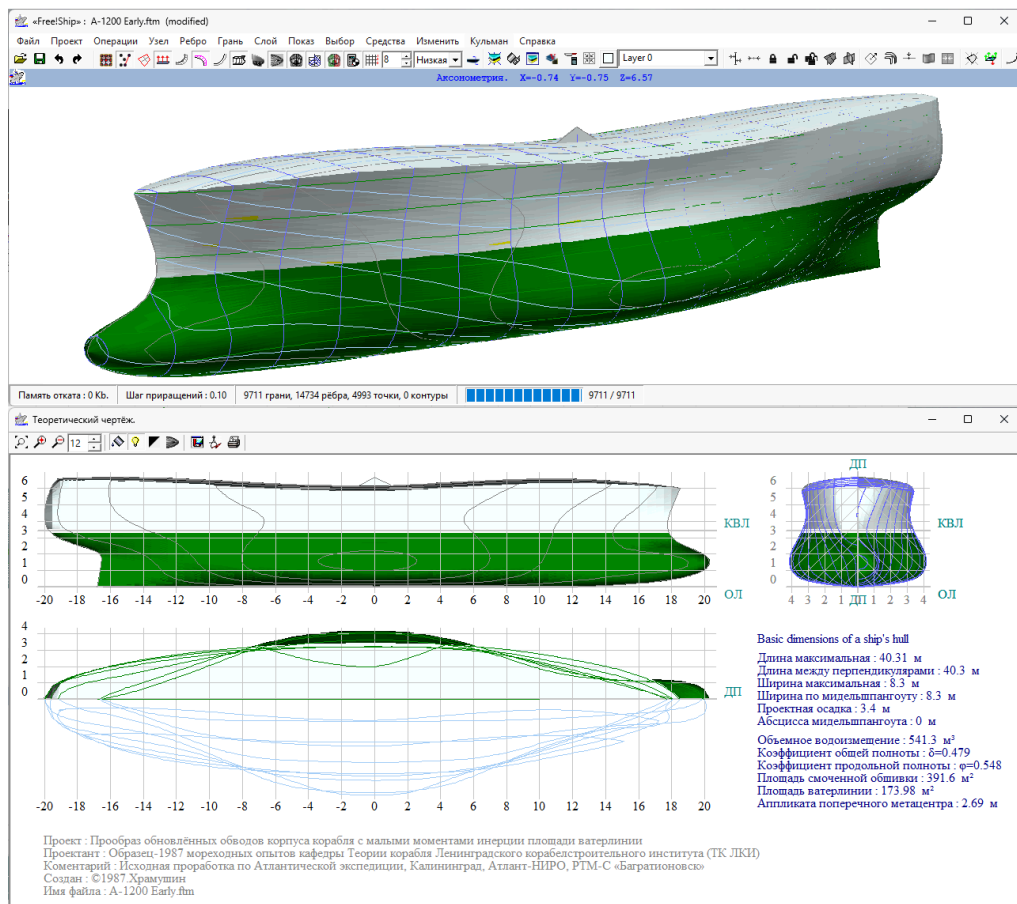




# FREE!ship

## Руководство \* Ver. 2.6.1.2 (из 5.0), 2025.

(предварительная редакция)



Тексты, примеры и исполняемые модули: [ShipDesign.ru/SoftWare/Aurora.z](http://ShipDesign.ru/SoftWare/Aurora.z), [Khramushin@ya.ru](mailto:Khramushin@ya.ru)  
Ресурсы программ по проектам Aurora(+)Free!Ship: [GitVerse.ru/Khran/Aurora](https://GitVerse.ru/Khran/Aurora); [GitHub.com/Khran-V](https://GitHub.com/Khran-V)

© 2005 **Martijn van Engeland**, DelftShip, Marine software developer, Netherlands

© 2007 - 2012 Виктор Фёдорович Тимошенко, Николаевский кораблестроительный институт

© 2015 Марк Малахов, Woodbridge, Canada

(+) 2024 Сахалинское отделение Научно-инженерного общества судостроителей им. А. Н. Крылова

~ Сызрань ~ Калининград~Севастополь~Ленинград~Владивосток~Сахалин~Петергоф~ ירושלים { 2025-12-28

## 1. Предисловие

Free!Ship<sup>1</sup> использует «построения» гладких корпусных оболочек по контрольным узлам сопряжённых поверхностей Безье. Палубы, надстройки, мачты, кили и рули моделируется прямым включением узловых точек и граничных рёбер со сломанными (свободными) гранями. Разбиение поверхностей служит гибкости в проектировании геометрии корабельных обводов и общекорабельной архитектуры.

На рис.1 показывается построение сглаженной Безье-поверхности обшивки корпуса по сети композиций из трёх типов числовых объектов, на которой заданные координаты сохраняются только на граничных рёбрах и угловых узлах:

- ▲ Грани (faces) –
- ▲ Рёбра (edge) – edge.Crease = false
- ▲ Узлы (point) – VertexType = ( Regular, Crease, Dart, Corner )
- ▲

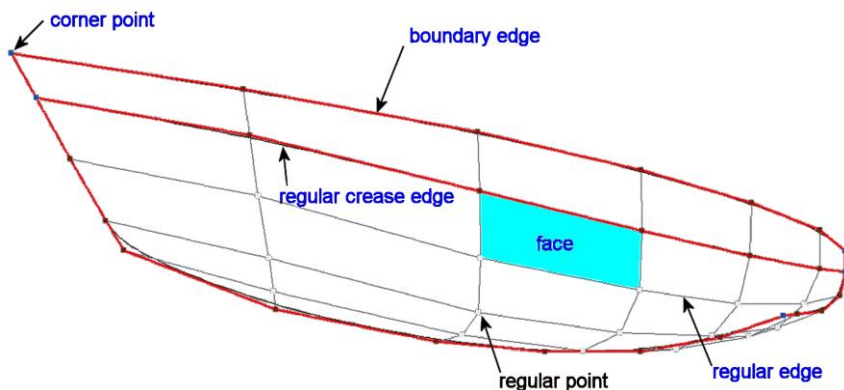


Рис. 1

### 1.1. Грани

Грань (face) – элементарный фрагмент поверхности бортовой обшивки, обычно определяется по трём, четырём или более угловых точек.

### 1.2. Рёбра

(Edges) Особым образом регуляризованные узлы соединяются рёбрами, оконтуривающими грани на поверхности бортовой обшивки корпуса. Определяется два вида рёбер.

---

<sup>1</sup> Замечание: изначально в двоичных файлах <Ship>.fbm используется ANSI-кодировка, которая может устанавливаться только в настройках самой программы free@Ship. В теле программы и в текстовых форматах используется только UTF-8.

- ★ Граничное ребро (*boundary edges*) всегда сопряжено только с одной **гранью**. Контур диаметральной плоскости представляется особым случаем для симметричного судна с зеркалированным полубортом.
- ★ Регулярные ребра (*regular edges*) гладко сопрягают поверхности смежных граней. По линии слома (*regular crease edge*) грани соединяются под углом друг к другу. Граничное ребро – частный случай слома без смежной грани для сглаживания поверхности.

Для регулярного ребра важно плавное соединение двух граней. Граничные рёбра в диаметральной плоскости исключены из проверки, и образуют смежные соединения по другому борту по правилу для регулярных рёбер.

### 1.3. Узлы

Алгоритмы построения модели корабля основаны на позиционировании узлов в пространстве. Два свойства узлов задают правила их использования:

- ★ Регулярные узлы (*regular point*) – все, кроме угловых. Узлы обычно смещены относительно генерируемой поверхности. Отклонение возрастает в случаях сильных искривлений. Сближение при большом количестве узлов и рёбер.
- ★ Угловые узлы (*corner point*). Угловые узлы позволяют делать сломы на смежных рёбрах и гранях. Угловые узлы всегда располагаются на поверхности. Узлы с тремя или более четырёх рёбер считаются угловыми.

### 1.4. Аппроксимация поверхностей

Обычно программа моделирования работает с параметрическим В-сплайном или поверхностями NURBS (*Non-uniform rational B-spline - неоднородный рациональный В-сплайн*). Параметрические координаты на поверхности вычисляются по опорным точкам на прямоугольных площадках: *N*-точек в одном направлении и *M*-точек – в ортогональном. При сглаживании поверхности добавляются полные столбцы матрицы (рис.3). Множество базовых поверхностей согласуются на связываемых границах (рёбрах) с указанием сломов или гладкого сопряжения.

Используется разбиение поверхностей по контрольным точкам в качестве маркеров моделирования NURBS-поверхностей или В-сплайнов. Сетка в разбиении граней служит сглаживанию по «шагам разбиения» (рис. 4), и может быть не прямоугольной, что усложняет вычисления с непараметрической интерполяцией.

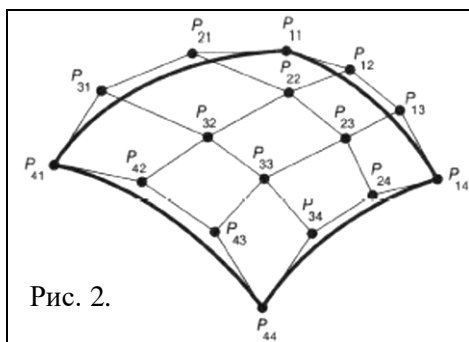


Рис. 2.

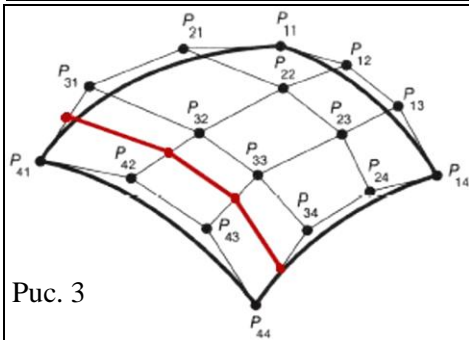


Рис. 3

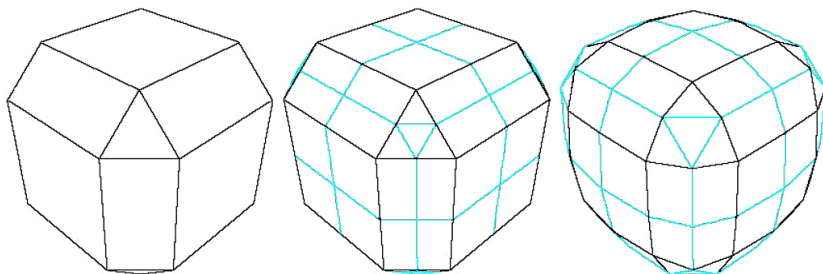


Рис. 4.

Контрольная сетка с внутренними подвижными узлами. К серединам рёбер пристраиваются смежные аппроксимирующие грани вокруг новых узлов. Треугольные грани разбиваются на четыре подобных треугольника. Если рёбра отмечаются сломом (рис. 4, в середине), то исходный объект сохраняет форму. Для внутренних (regular) рёбер произойдет *осреднение* со смещением (рис.4, справа).

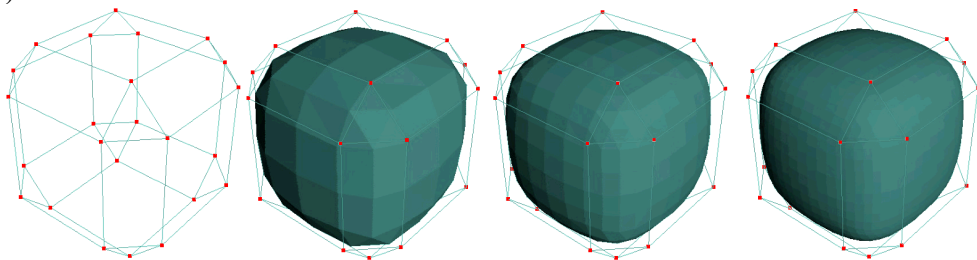


Рис. 5.

Троекратное сглаживание поверхности, определяемое параметром дробности (precision) от исходной аппроксимации.

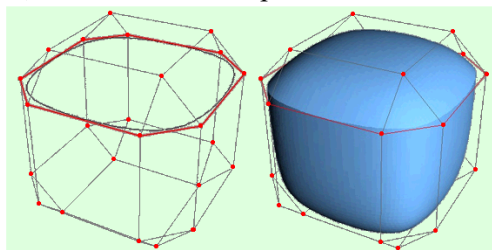
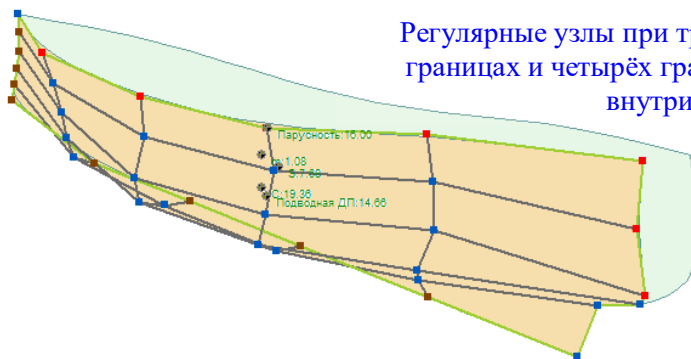


Рис. 6.

На скошенном кубе красным контуром выделены рёбра ширстрека со сломом поверхности (*VertexType=true*).

## 1.5 Особенности построения корпусной оболочки

Оптимальным построением буде использование регулярной структуры для базовых поверхностей из  $[4 \times 4]$  узлов и рёбер везде, где это возможно (рис. 7). Узел на границе считается регулярным, если с ним связаны три ребра и две грани. Могут использоваться треугольные грани, а также узлы и грани на пять более рёбер.



Регулярные узлы при трёх рёбрах на границах и четырёх гранях и рёбрах внутри поверхности

Рис. 7.

Если ребра не связывают смежные грани, то они изображаются утолщенной линией в светло-зелёном цвете. В разделе 13.1 говорится об автоматической проверке и частичной корректировке цифровых моделей корпуса. Ориентация нормалей на элементах судовой обшивки отображается зелёными. Free!Ship проверяет ориентацию нормалей в случае полностью замкнутых оболочек корпуса. Проверка включается в настройках параметров проекта пп. 4.1.

## 2. Области просмотра

### 2.1 Изменение масштаба и вида графического изображения

Четыре графических площадки в окне Free!Ship представляют три стандартные проекции (рис. 8) и аксонометрическую прорисовку корпуса корабля. С нажатой правой кнопкой «rightMouse» изображение перемещается по графическому листу, с левой кнопкой «leftMouse» и перемещением вверх-вниз, так же как и при вращении колёсика «Mouse», изменяется размер (масштаб) изображения. В окне аксонометрии «leftMouse» вращает трёхмерную модель.

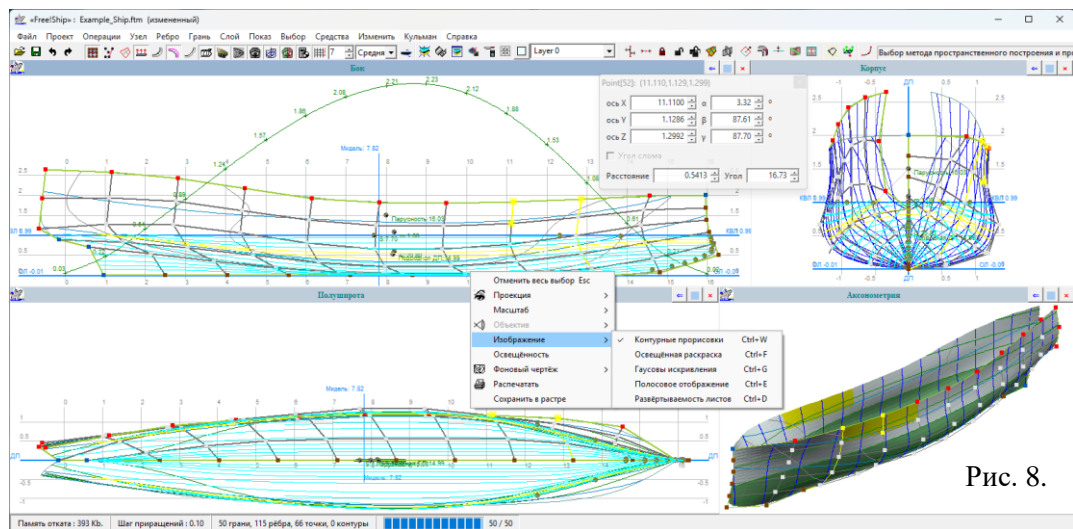


Рис. 8.

Нажатие и удержание на клавиатуре <Control> с движением «leftMouse» позволяет выбрать и активировать для модификации все графические элементы модели (*пока только узлы*), попадающие внутрь контурной нити прямоугольника. Выбранные элементы отмечаются или подсвечиваются жёлтым цветом.

Одиночное нажатие «rightMouse» на графическом поле вызывает контекстное меню (рис. 8, в нижней части) для настройки изображения и дополнительных операций в выбранном графическом поле.


Быстрый клик «leftMouse» делает выбор ближайшего элемента: грань, ребро, узел или линия тока. Узлы являются ключевыми строительными элементами цифровой модели, при выборе которых появляется специальная табличка (рис. 8, правее вверху) для редактирования местоположения узла.

## 2.5. Теоретические чертежи и аксонометрические прорисовки

Стандартная раскладка чертежей по корпусу и общекорабельной архитектуре корабля (рис. 8, Free!Ship) представляется тремя ортогональными проекциями: «корпус» – с права сверху; «бок» – слева вверху; «полуширота» – левая нижняя; а также аксонометрическая проекция в раскрывах освещённого корпуса – правый нижний рисунок. Количество листов (ViewPort), например для особых настроек изображения, может быть увеличено: [Кульман] ⇒ [Лист новой проекции].

Если на цифровой модели не активирован выбор опорных узлов, то стрелки на клавиатуре переключают фокус активности чертёжных листов (ViewPort).

Часто используемые действия над чертёжными листами собраны в контекстном меню, вызываемом во ViewPort под «rightMouse».


Для быстрой смены вида [ проекции] имеется четыре горячих ключа:

<Ctrl+1> - корпус;

<Ctrl+2> - бок;

<Ctrl+3> - полуширота;

<Ctrl+4> - аксонометрия;

Аксонометрическое изображение корпуса всегда выполняется в перспективной проекции [ объектив], настраиваемой по условному фокусному расстоянию от широкоугольного 28 мм до длиннофокусного 200 мм фотоаппарата, при сохранении размера видимого изображения относительно чертёжного листа.

Изменение масштаба изображения выполняется колёсиком <rollMouse> или тремя горячими ключами:

<Ctrl+I> - приближение, как увеличение масштаба;

<Ctrl+O> - отдаление – уменьшение масштаба;

<Ctrl+A> - вложение изображения в лист чертежа.

Предусмотрено пять вариантов графического представления корпуса корабля - <rightMouse> ⇒ [Изображение]:

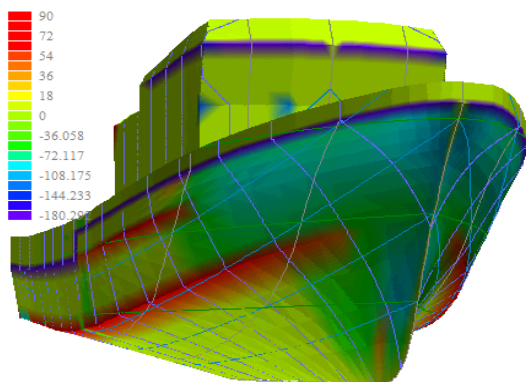


<Ctrl+W> [контурные прорисовки, wire frame] - стандартное отображение в виде теоретических контуров, опорных узлов и, по необходимости, стрелок-нормалей к элементарным поверхностям;

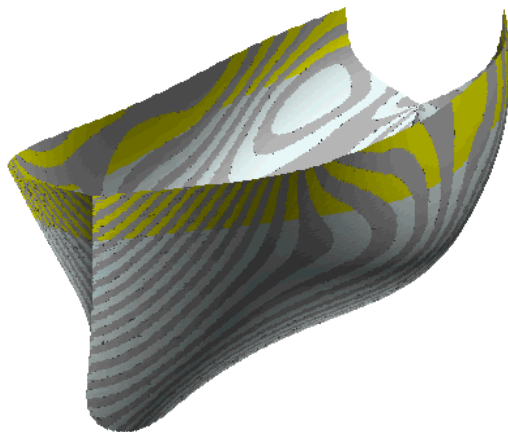
<Ctrl+F> [освещенная раскраска, flat shade] – представляется в цветах графических слоёв, что может соответствовать естественному разделению корпуса и общекорабельной архитектуры на конструктивные блоки. Полупрозрачная подкраска может придаваться для подводной части корпуса.

<Ctrl-G> [Гауссовы искривления, Gaussian curvature] – представляется радужной расцветкой с **фиолетовыми** или **синими** оттенками для седловых

фрагментов обшивки; **зеленые и жёлтые оттенки** для разворачиваемых поверхностей с кривизной лишь по одному из направлений; и в **красных цветах** для чисто выпуклых или вогнутых поверхностей.



<Ctrl+E> [полосовое отражение, zebra shading] – соответствует отражению полосатой поверхности на зеркальной поверхности корпуса для визуальной оценки гладкости, характера искривлений и наличия сломов или шероховатостей на корпусной оболочке.




<Ctrl+D> [развёртываемость листов корпусной обшивки, developability check] – раскрываемые без двусторонней деформации листы отображаются голубым цветом, а выпуклые или седловатые поверхности – красным.

Дополнительные опции в разделах свойств графических слоёв 10.8 и 13.4.

В контекстном меню ViewPort предусмотрено сохранение растрового изображения в выходном файле в формате «имя...проекция.png» (portable network graphics).

## 2.2 Выбор элементов.

Если не включен режим  «Вывод опорных узлов и рёбер для редактирования», то «leftMouse» выбирает только поверхности – грани для отслеживания и переустановки ориентации нормалей. Все варианты отображения устанавливаются по верхнему подменю «Видимость» (пп.11.). Активным является только последний из выбранных узлов, в том числе при назначении группы при удержании <Ctrl> на клавиатуре.

Рёбра и грани при выборе всегда дополняются, при повторном выборе предыдущей назначение отменяется, и по необходимости сброса выбранных элементов можно воспользоваться командой <Escape> с клавиатуры или контекстным под меню «rightMouse» - «Deselect all» в поле чертежа.

При нажатой <Ctrl> в движении «leftMouse» выполняется выбор всех опорных узлов внутри подвижного прямоугольного контура. С клавишей <Ctrl> одним нажатием «leftMouse» выбирается весь контур из связанных между собой рёбер, например палубный ширстрек, а при выборе граней активируется целиком гладкая оболочка внутри словов борта для определённого графического слоя.

## 2.3 Перемещение опорных узлов.

Узлы выбираются на любой графической площадке, включая аксонометрию, однако свободное перемещение с помощью «leftMouse» допускается только в основных чертёжных проекциях. При сдвиге опорных узлов автоматически пересчитываются и заново прорисовываются все шпангоуты, батоксы, ватерлинии, рыбины и линии тока. Без потери точности редактирование ускорит отклики с загрузлением графической прорисовки чертежей и скрытии теоретических контуров (шпангоутов, ватерлиний, батоксов, рыбин и линий тока).

## 2.4. Уточнённая работа с координатами опорных узлов

Для установки свойств и координат пространственных узлов используется всплывающая табличка. В числовых пунктах «оси X,Y,Z» показываются координаты последнего из выбранных узлов. Координаты изменяются непосредственным вписыванием числовых величин или смещений с @-префиксом, что будет относиться ко всем выделенным опорным узлам.

Узлы также синхронно смещаются по треугольникам «◀» и «▶» вокруг координатных записей; или стрелками на клавиатуре <right> <up> <left> <down> на величину «Шага приращений» из нижней контрольной строки; или смещением узлов на 10% по «+» и «-») на клавиатуре.

Узел[64]: ( 12.776, 2.345, 1.970 ) из 1

ось X	◀	12.7761	▶	+	α 13.48 °
ось Y	◀	2.3450	▶	+	β 79.72 °
ось Z	◀	1.9698	▶	+	γ 81.38 °

☐ Угол слома

Расстояние

Угол



Независимо от количества выбранных элементов, по «leftMouse» смещается только один активный узел. Группа выделенных узлов синхронно изменяет координаты по записи в меню, при этом использование символа «@» задаёт смещение выбранных узлов на указанную величину.

Использование Английских имперских мер длины выполняется вводом числовых величин по следующей схеме: «feet–inch–x<sub>8</sub>», как: 3-2-1 – что означает 3 фута 2 и 1/8 дюйма.

В простом пошаговом редактировании интенсивно расходуются ресурсы для сохранения последовательности команд восстановления, что отмечается в нижней информационной строке как: «Память отката». Для ускорения работы и экономии оперативной памяти по «leftMouse» в этом окошке временно приостанавливается запись цепочек операций восстановления, что отмечается как: «Останов отката», при этом все предыдущие операции сохраняют актуальность.

### 3. Создание, чтение и конвертация цифровых моделей

В первый блок главного меню включены операции по работе с различными цифровыми моделями на внешних файловых носителях, а также настройки самого программного комплекса Free!Ship.

#### 3.1 Новая модель

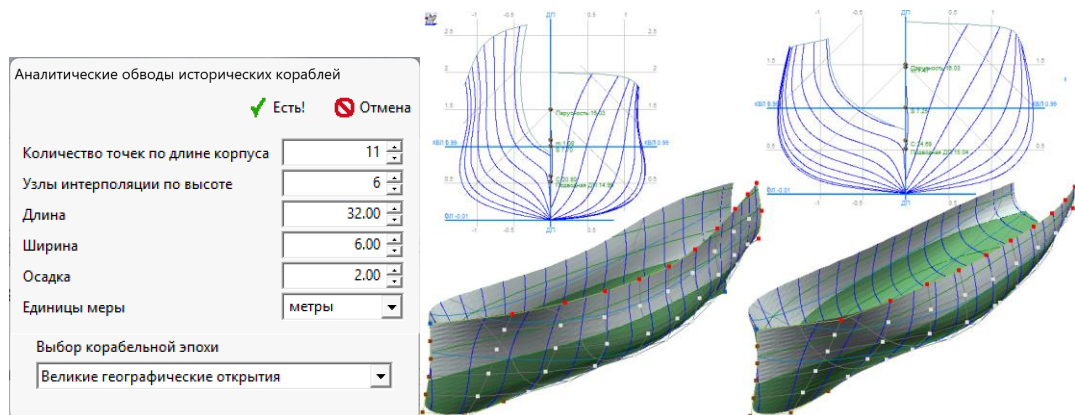


Рис. 9.

Горячий ключ: <Ctrl+N> При создании новой модели предлагаются три варианта обводов корпуса всепогодного корабля среднего водоизмещения (класса галеон), отвечающих эволюционному совершенствованию общекорабельной архитектуры из эпохи Великих Испанских географических открытий.

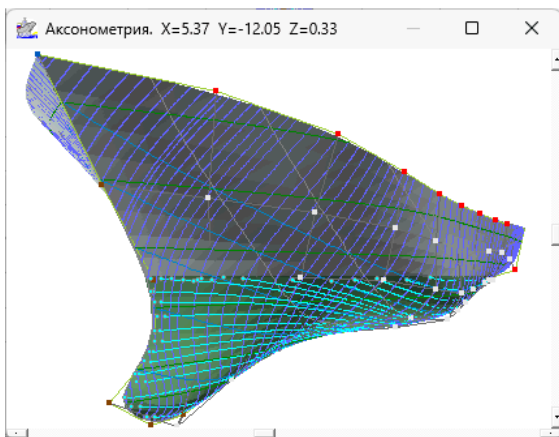
1) «Великие испанские географические открытия» - штормование без хода. Корпус всепогодного корабля среднего водоизмещения (галеон). *Вариант эволюционного совершенствования корабельных обводов с уверенным штормованием в эпоху Великих Испанских географических открытий;*

2) «Новый корабль золотого XIX века» - хорошая морская практика бывалых мореходов. Корпус всепогодного корабля среднего водоизмещения (фрегат). *Вариант эволюции корабельных обводов с достижением наилучшей штормовой ходкости при совершенном парусном вооружении;*

3) «Эстетика современных обводов корабля» - обводы быстрого высокоманевренного корабля среднего водоизмещения с мощными машинами. *Корабль с проектной отработкой элементов технической эстетики с испытаниями только под скоростной тележкой опытового бассейна;*

Все три варианта корабельных обводов создавались в ходе изысканий © подсекции штормовой мореходности Научно-инженерного общества корабелов им. А. Н. Крылова.

Для последующей работы с образцами можно установить требуемые величины длины, ширины и осадки корпуса, а также выбрать метрическую или имперскую систему мер.



### 3.2 Открыть.

Старые и наиболее распространенные цифровые модели хранятся в двоичных файлах [Ship].fbm, где текстовые данные сохраняются в 8-битной ASCII-кодировке. В обновлённой версии допускается установка и повсеместное использование универсальной кодировки UTF-8. Возможно использование обменных текстовых записей [Ship].fef (file exchange format), которые принимаются комплексом Free!Ship в качестве основных.

### 3.3 Сохранить и сохранить как

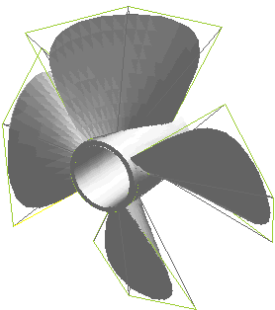
Для быстрого сохранения в исходном формате предусмотрен горячий ключ <Ctrl+S>. При сохранении обновляемой модели создаётся резервная копия с расширением .bak. Цифровые модели могут сохраняться в устаревшем двоичном формате [Ship].fbm с возможностью предустановки восьмибитной ASCII кодировки для внутренних текстов. При записи модели в открытом текстовом формате [Ship].ftm или [Ship].fef никакие перекодировки не выполняются, и тексты внутри файлов остаются в кодировке UTF-8. (обменный формат <Ship>.fef перенесён в блок чтения/сохранения из импорта/экспорта)

### 3.4 Импорт

Оригинальный [Ship].fef (Free!Ship exchange format) описания обводов корпуса и общекорабельной архитектуры настраивался в первых версиях программного комплекса. В отличие от обновлённых цифровых моделей этим форматом не предусматривается сохранение какой-либо инородной или избыточной информации. Чтение и запись обменного формата цифровых моделей включено в состав основных файлов для изначального считывания и сохранения для программы Free!Ship.

#### 3.5.1 Часть корпуса (дельная вещь)

Фрагменты корпуса и дельные вещи могут считываться из специального двоичного [Ship].part файла. В такой заготовке присутствует описание слоя и фиксируются имперские или метрические единицы меры. Автоматическое масштабирование служит согласованию геометрических размерений, используемых в текущем проекте.

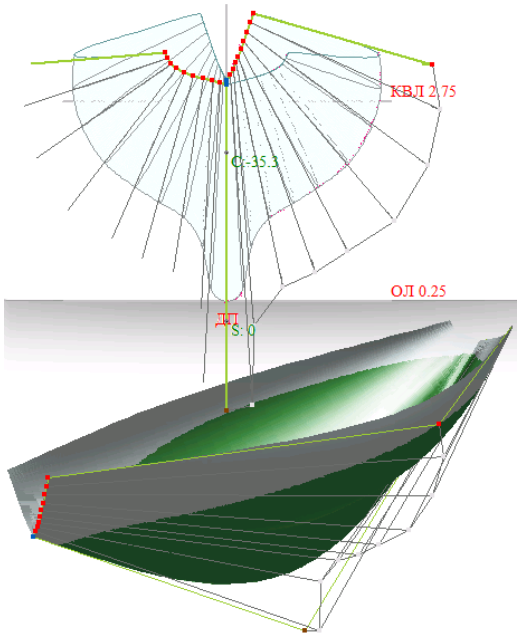


#### 3.5.2 Поверхность по шпангоутам, рыбакам или бортовым слоям.

Импорт текстового файла, содержащего несколько трехмерных контуров с ординатами круглоскулого корпуса. Контуры могут состоять из разного количества узлов, и задаются от днища вверх или вдоль корпуса по схеме «Chines», но обязательно с одинаковой ориентацией и без взаимного пересечения.

0			
-2.36	0.00000	2.96370	
-2.36	0.21418	3.02179	
-2.36	0.52380	3.11718	
-2.36	0.69894	3.23732	
-2.36	0.76813	3.36982	
6	0.00000	0.25901	
6	0.16319	0.33932	
6	0.35514	1.09669	
6	0.69465	1.40999	
6	0.98293	1.59716	
6	1.50472	1.98593	
6	1.89635	2.77629	
6	1.88854	3.35579	
13	0.00000	3.01751	
13	0.09559	3.19544	
13	0.18538	3.43133	
13	0.33232	3.86172	

EOF  
... ~~~ комментарии ...



После считывания текстового файла запрашиваются размерности аппроксимирующей матрицы в продольном направлении (число шпангоутов), и в вертикальном направлении (число рыбин). Для импортируемой оболочки создаётся В-сплайн таким образом, что новая поверхность интерполирует исходные узлы.

Первая строка файла должна или быть 0 (нуль) или 1 для определения числовой меры в метрах в футах. Контуры составляются из числовых последовательностей узловых точек: X – абсциссы; Y – ординаты левого борта; и Z – аппликаты от основной линии, разделяемые пустой строкой. Узлы сортируются от кормы к носу и от киля к палубе. Завершение данных может быть отмечено строкой с «EOF», после которой следуют описания или комментарии по числовой модели.

Начало отсчета по основной линии  $Z = 0,0$ , и на кормовом перпендикуляре  $X = 0,0$ . Масштабный множитель = 1,0. Недопустимо совпадение координат на одном или разных шпангоутах.

*Если два контура совпадают, то они должны объединяться с подключением двух сегментов с границей в плоскости ДП. Эти сегменты позже могут быть удалены.*

### 3.5.3 Таблица плазовых ординат

Считывается тестовый файл с разметкой по условным шпангоутам, которые записываются вместе с продольными координатами (абсциссами), что значительно расширяет возможности формирования оригинальных корабельных обводов и общекорабельной архитектуры по минимальному количеству опорных точек, обрабатываемых во Free!Ship в гладкие сплайновые поверхности.

В первой строке указывается количество шпангоутных контуров: Ns;

Затем следует Ns-блоков описаний и координатной информации:

1 строка блока – текстовое описание контура – пропускается;

2 строка в блоке: Nr – количество узлов в текущем шпангоутном контуре;

Каждый из Nr узлов представляется координатами: X,Y,Z

и необязательным признаком 0 или 1 для отметки углового слома.

### 3.5.4 Формат.obj от Wavefront Technologies

Популярный графический формат, изначально разработанный для анимационного пакета Advanced Visualizer. Представляется списками координат вершин и векторов нормалей, связываемых множеством индексов для построения трёхмерных графических объектов.

### 3.5.5 Числовая модель STL-stereolithography

STL (Standard Tessellation Language *мозаичный*) — формат хранения трёхмерных графических моделей создан компанией 3D Systems в конце 1980-х годов. Записи представляются в двух форматах:

ASCII — текстовый вид для ручного редактирования и отладки.

Бинарный — компактен и быстрее обрабатывается программами.

Геометрия не имеет атрибутов цвета, расслоений и др. Ориентация грани задаётся либо нормалью, либо перечислением вершин снаружи против часовой стрелки. Файл данных начинается с 80-байтового заголовка, за которым следует 4-байтовое целое число, указывающее количество треугольников, и далее — данные о треугольниках.

ASCII	Binaries	
<i>solid name</i>	UINT8[80] – Header	- 80 bytes
facet normal $n_i n_j n_k$	UINT32 – Number of triangles	- 04 bytes
outer loop	foreach triangle	- 50 bytes
vertex $v1_x v1_y v1_z$	REAL32[3] – Normal vector	- 12 bytes
vertex $v2_x v2_y v2_z$	REAL32[3] – Vertex 1	- 12 bytes
vertex $v3_x v3_y v3_z$	REAL32[3] – Vertex 2	- 12 bytes
endloop	REAL32[3] – Vertex 3	- 12 bytes
endfacet	UINT16 – Attribute byte count	- 02 bytes
...	end	
endsolid <i>name</i>	...	

### 3.5.6 VRML - Virtual Reality Modeling Language.

VRML — язык моделирования виртуальной реальности — объектно-ориентированный формат для построения описания трёхмерных интерактивных объектов и сцен. Файл данных с расширением <Ship>.vrlm или <Ship>.wrl. Форматом предусматривается:

- описание геометрии — различных геометрических примитивов (треугольники, квадраты, сферы и т. д.).
- материалы и текстуры — для создания реалистичных поверхностей.
- освещение и тени — с указанием источников света и затенения.
- анимации — подвижных объекты и перемещение камер.
- интерактивность — поддержка навигации, триггеров событий и др.
- сценарии и логика — с использованием скриптов для настройки логики и поведения объектов.

В текущей версии из файла VRLM считывается только поверхность судовой обшивки. При сборке модели только граничные рёбра становятся линиями слома, все другие бортовые сломы должны устанавливаться вручную.

### 3.5.7 Carlson Hulls...

Carlson Hulls представляется компанией по раскрою парусов на фирменном сайте: [www.CarlsonDesign.com/hulls.zip](http://www.CarlsonDesign.com/hulls.zip).

Из числового представления корпуса выбираются обводы и внутрикорпусные переборки.

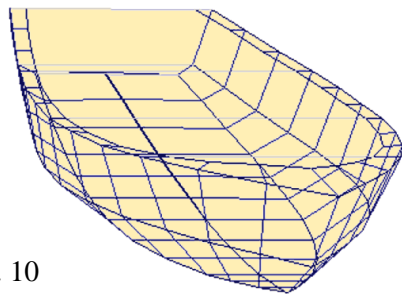


Рис. 10



Опорные узлы используются в качестве интерполяционных, они устанавливаются с помощью маркеров. Контрольные контуры ложатся строго по скуловым сломам, и должны совпадать с маркерами.

### 3.5.8 Импорт Carene XYZ файл

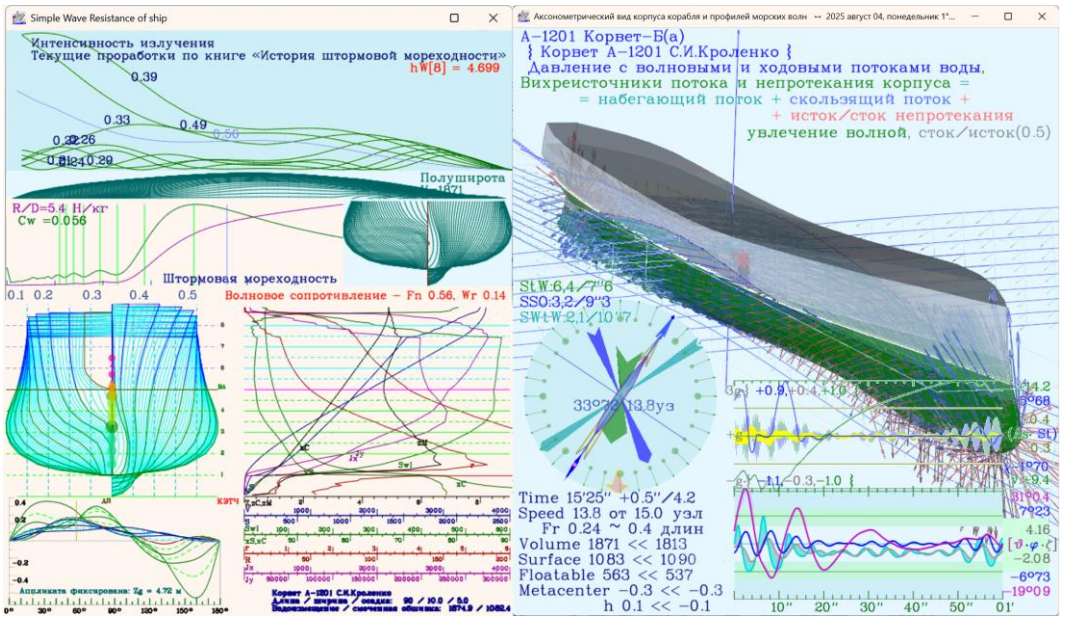
Выборка данных для числовой модели корпуса из текстового файла, генерируемого программой Carene ([www.epoxy-resins.co.uk/Carene/carene.htm](http://www.epoxy-resins.co.uk/Carene/carene.htm)). Данные по маломерному корпусу здесь представляются контурами скуловых сломов, формирующих оболочку. Скуловые сломы оформляются контурами маркеров для визуальной сверки качества восстановления геометрии корпуса.

### 3.5.9 Файлы из PolyCAD.

Формат <Ship>.geo генерируется комплексом PolyCAD Маркуса Боул, который может быть загружен из интернет по адресу: [www.polycad.co.uk](http://www.polycad.co.uk). Информация состоит из B-spline поверхностей или сгенерированную с опцией Shiplines или Yachtlines (временно отключен, т.к. реализован устаревший формат – к исключению).

## 3.6 Экспорт – числовых моделей в иные форматы

### 3.6.1 «Аврора» теория и штормовая мореходность корабля



Основным назначением программы Free!Ship является визуальная или эвристическая отработка обводов корпуса с элементами общекорабельной архитектуры корабля в целом. Проектная проработка вопросов теории корабля, гидростатики, остойчивости, корабельного волнообразования, ходкости и штормовой мореходности.



сти, в том числе в режиме тренажера для практического маневрирования в штормовом море, выполняется в специальном комплексе программ «Аурога» и «Hull».

«Hull» – Выполнение основных расчетов на теоретическом чертеже корпуса корабля, включая диаграммы остойчивости, гидростатические кривые и прорисовки профилей корабельного волнообразования и кривых волнового сопротивления для реальных и аналитических обводов;

«Aurora» – мореходность, эффективность и безопасность плавания корабля в штормовом море, произвольными ходами и курсами – прямой вычислительный эксперимент при различных вариантах трохoidalного волнения и с выбором математических моделей гидромеханики корабля;

Для поддержания возможности таких проектно-эксплуатационных изысканий предусматривается экспорт числовой модели в специальный цифровой формат <Ship>.vsl, в основе которого задействуется традиционная таблица плазовых ординат, дополненная контурами штевней с ординатами транцевых и бульбовых расширений. Это текстовый файл в кодировке UTF-8.

// Комментарии и техническая информация по кораблю    (// или ;)		
1. Признак формата (▲=0x1E <sub>(alt+30)</sub> ) и <название проекта> в угловых скобках		
2. <b>N M</b> – длина таблицы плазовых ординат и номер мидельшпангоута		
3. <b>L B T ΔT</b> – размерения корпуса: длина, ширина, осадка с добавкой		
{n} – количество точек на теоретическом контуре	4. n { <b>z x...</b> } – абсциссы контура ахтерштевня по аппликатам	
	5. n { <b>z y...</b> } – ординаты ширины транца	
	<b>{x}</b> – абсциссы местоположения шпангоутов (от кормы в нос)	6. n x { <b>z y...</b> } – плазовые таблицы формируются контурами из аппликат с ординатами узлов на шпангоутах, с отсчётами от основной линии корпуса. Совпадающие точки отмечают угловые сломы борта.
	7+N n { <b>z y...</b> } – ординаты утолщения форштевня и бульба	
	8.+N n { <b>z x...</b> } – абсциссы контура форштевня	

Весь комплекс вышеуказанных программ с исходными текстами, исполняемыми модулями, документацией и подборкой числовых моделей различных кораблей и судов, в том числе по комплексу Free!Ship, доступны в интернет по адресам: <http://shipdesign.ru/SoftWare/Aurora.z>  
<https://gitverse.ru/Khram/Aurora/releases>

3.6.2 Фрагмент обводов или дельная вещь корпуса <часть>.part

Сохранение выбранного блока или детали из построения модели как отдельного фрагмента в <часть>.part файле. Выборка для записи выполняется по слоям или вручную поэлементно. Кроме точек, ребер, граней и кривых контро-

ля в фале корпусных частей сохраняется информация об исходном графическом слое.

### 3.6.2 IGES.

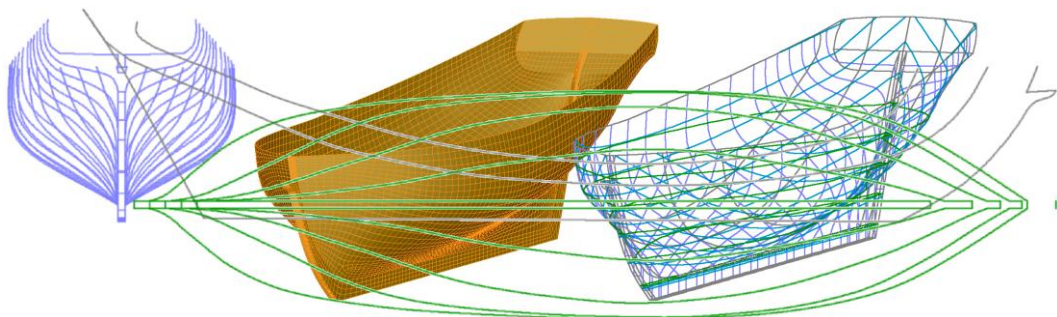
IGES (Initial Graphics Exchange Specification). \*igs файлы. — двумерный/трехмерный векторный формат графики используемый САД-системами. Состоит из 80-символьных ASCII-записей из эпохи перфокарт и Фортрана. Текстовые записи выполняются в «Холлерит» формате — число символов в строке, плюс буква «Н» и текстовая строка. Формат записей контролируется метками в правых 8 символах с нумерацией строк.

В текущей версии Free!Ship в файлы Iges экспортируются только NURBS-поверхности (IGES объект 128). Система координат приводится к корабельной: аппликата-Z – вверх, и ордината-Y – на левый борт.

Послойное разделение числовой модели еще не реализовано, и в качестве расцветки пока задействуется только аппроксимирование базовых цветов: Black<sub>(0)</sub>, Red<sub>(1)</sub>, Green<sub>(2)</sub>, Blue<sub>(3)</sub>, Yellow<sub>(4)</sub>, Magenta<sub>(5)</sub>, Cyan<sub>(6)</sub>, White<sub>(7)</sub>.

### 3.6.3 Корпус в формате DXF с обшивкой

В обменный формат AutoCad на экспорт попадают грани корпусной обшивки, с предложением записи по исходному имени файла числовой модели, но с расширением <Ship>.dxf. На выходе вся информация из видимой области в страницах Free!Ship, включая симметричную часть по правому борту. Названия слоёв записываются в кодировке UTF-8, но по необходимости старых 8-битовых подписей перекодирование может выполняться непосредственно по результирующему DXF-файлу.



Предлагается три варианта формирования графических моделей в обменном формате AutoCAD.dxf. 1 - поверхность бортовой обшивки (3.6.3); 2 - теоретические контуры: шпангоуты, ватерлинии, батоксы и контрольные контуры в трехмерном пространстве (3.6.5): и 3 – двумерные листы теоретических чертежей для контурами обводов корпуса и общекорабельной архитектуры (3.6.4).

### 3.6.4 Листы трёх теоретических проекций в DXF-чертежах

Контуры теоретических чертежей сохраняются в отдельных файлах по шпангоутам (Stations), ватерлиниям (Waterlines) и батоксам (Buttocks), пока кроме рыбин (Diagonals). Перед сохранением предлагается выбрать имя директории, единицы измерения, точность разбивки плавных кривых на отрезки. Также предлагается возможность записи в отдельные файлы по каждому теоретическому контуру.

### 3.6.5 Теоретические контуры в пространстве - DXF

Экспортируются все теоретические контуры, построенные средствами программы Free!Ship, с разделением по нумерованным Layer-слоям:

2 – Stations – шпангоуты проекции «Корпус»;

3 – Buttocks – батоксы проекции «Бок»;

4 – Waterlines – ватерлинии в проекции «Полуширота»;

5 – Diagonals – рыбина в наклонных параллельных плоскостях;

6 – Board Edges – контрольные контуры, как угловые ребра, использованные при формировании бортовых сломов, ширстреков и угловой общекорабельной архитектуры. В выходные записи включается видимая в областях просмотра Free!Ship информация.

### 3.6.6-7 Файлы WaveFront.obj и Stereolithography.obj

Сохраняются в текстовом виде с перестройкой системы координат относительно исходного корабельного базиса. Подробнее в пп.3.5.5 и 3.5.6.

### 3.6.8. Контуры теоретических чертежей в текстовых записях

В текстовый файл с необходимыми пояснениями записываются все контуры специально построенных теоретических чертежей: шпангоуты, ватерлинии, батоксы и рыбины.

### 3.6.9 Плазовые координаты опорных узлов

В тестовый файл сбрасываются координаты всех опорных узлов числовой модели с точностью 5 знаков после запятой.

### 3.6.11 Archimedes.

Запись теоретических шпангоутов в однокорпусный вариант Archimedes.app или многокорпусный ArchimedesMB.hll файл. Archimedes позволяет вычислять параметры гидростатики и некоторые элементы остойчивости (обрыв ссылок на [www.naval-architecture.co.uk](http://www.naval-architecture.co.uk) – к исключению?).

### 3.6.12 GHS.

Формат GHS – Global HydroStatic –гидростатической геометрии) импортируется некими специальными программами (типа Rhino.gf), выполняющими

гидростатические расчёты с использованием цифровых теоретических чертежей корабельного корпуса (ссылки оборваны - **к исключению?**).

### 3.7 Выход.

Завершает программу.

### 3.8 Настройки программы Free!Ship

На рисунке 11 (листы 1-2-3) показываются страницы меню настройки интерфейсов, сформированные автоматически при отсутствующем файле инициализации FreeShip.ini в директории исполняемого файла FreeShip.exe.

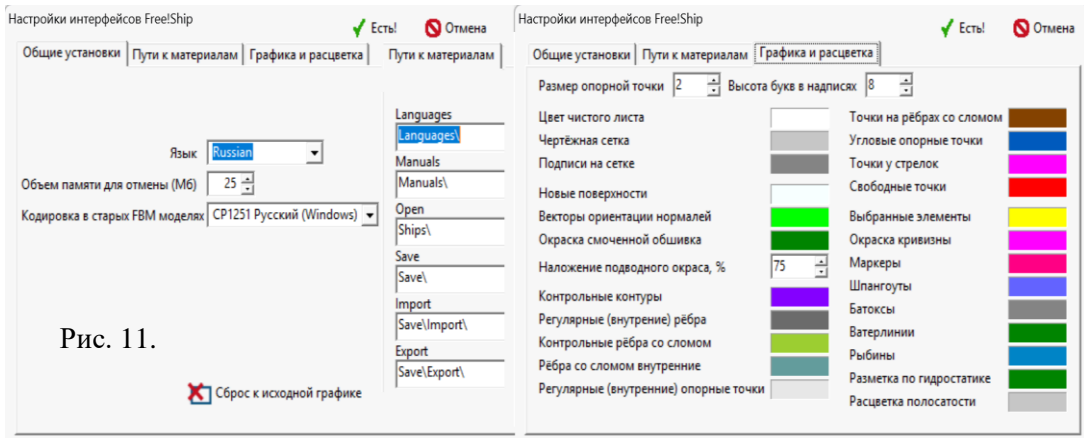


Рис. 11.

При отсутствии языковых списков в директории Language\ используются внутренние термины, преимущественно на русском языке. В старых двоичных файлах <Ship>.fbm задействуется 8-битная языковая кодировка, указание на которую не включалось в описание числовых моделей, и потому выбор должен предварительно выполняться здесь в меню настроек. После считывания такого старого файла можно переключаться на универсальную кодировку UTF-8, чтобы в будущем не возникало языковых рассогласований. Здесь в работу включается шесть дополнительных кодировок, и по необходимости список может расширяться:

UTF-8 (Unicode Transformation Format) — Unicode(65001);

CP866 Русский DOS или Windows console;

CP950 中文 (漢語/汉语) Traditional Chinese (Big5);

CP1251 Русский (Windows Cyrillic);

CP1252 Latin, Western European;

CP1253 Greek, ελληνική γλώσσα;

CP1254 Turkish, Türkçe;

CP1255 יִיִּבְרִית Hebrew;

CP1256 العربية اللغة;

CP1258 Việt ngữ (越語) Vietnam;

Если устанавливается UTF-8, то никаких дополнительных перекодировок в программе нигде не проводится.

При отсутствии файлов с языковыми переводами используется внутри-программная терминология, по большей части на русском языке.

Изменения в настройках программы, как поддержка языка, рабочие директории, расцветка чертежей, местоположение главного окна, список ранее использовавшихся числовых моделей и др., переносятся на последующие сеансы с помощью файла инициализации FreeShip.ini. Исходные значения автоматически назначаются по команде «сброс» в нижней части меню запросов.

## 4. Установки по проекту корабля и теоретические чертежи

Во второй группе «Размерения» две процедуры для настройки основных параметров числовой модели: «Установки по проекту»; и представление графических результатов на традиционном листе с тремя проекциями «теоретических чертежей» с краткими сопутствующими описаниями.

### 4.1 Настройка проектных параметров числовой модели корабля

В меню «Установки по проекту» три вкладки: 1 - Общие сведения; 2 – Главные размерения; и 3 – Гидростатика корпуса.

1.1. Общие сведения содержат четыре строки текстового описания реального корабля. Длина строк формально не ограничивается, но в целом они могут быть прочитаны в текстовых вариантах исходных файлов <Ship>.ftm или <Shop>.fef.

- Название корабля, ключевые моменты его судьбы.
- Разработчик корабельного проекта, верфь, страна постройки и др.
- Доопределение типа и иных особенностей назначения корабля.
- Дата и автор построения или оцифровки числовой модели корабля.

1.2. Система мер и весов может быть метрической (м,кг,°,Н,узлы) или английской имперской (*империальный*: фут, дюйм, тонна, фунт, л.с., и др.).

1.3. Частота дробления сетки кратно степени двойки:  $1 \Rightarrow \times 2$  – редкая;  $2 \Rightarrow \times 4$  – средняя;  $3 \Rightarrow \times 8$  – частая;  $4 \Rightarrow \times 16$  – густая. Параметр также влияет на количество узлов в сплайновых контурах, в том числе используемых теоретических чертежах, как:  $1 \rightarrow 150$ ;  $2 \rightarrow 100$ ;  $3 \rightarrow 150$ ; и  $3 \rightarrow 500$  – соответственно.

☒ - Сохранять растр внутри цифровой модели для быстрого просмотра – предназначено для визуального поиска по списку выбора из недавно просмотренных моделей. В настоящей версии программы сохранение растровых образцов выполняется, но в поиске при открытии новых моделей режим временно исключен (по необходимости может быть восстановлен).

☒ - Упрощение геометрических моделей для пересечения пространственных поверхностей – немного уменьшает объем цифровых моделей, однако с негативными накладками в построениях сплайновых теоретических контуров.


☑ - Цветовое затенение смоченной поверхности обшивки корпуса - полупрозрачная закраска подводных обводов корпуса, где:

- Степень укрытия корпуса под окраской – указывается в процентах;
- Подводная расцветка для затенения обшивки – цвет окраски.

2. Главные размерения – устанавливаются конкретные геометрические характеристики корпуса и общекорабельной архитектуры.

Длина, ширина и осадка указываются рядом с расчетными данными по экстремумам числовой модели корабля.

Ниже для ручного контроля приводятся данные по абсциссе мидельшпангоута и центру парусности:

☑ - мидельшпангоут может устанавливаться по максимальной площади шпангоута или по центру величины (  - «Установить местоположение мидельшпангоута в проекции корпуса»)

☑ - координаты центра парусности по надводной части общекорабельной архитектуры (по надводному борту, надстройкам, рубкам, шлюпкам, мачтам, дельным вещам и др.)

3. Гидростатика корпуса – определяет некие эксплуатационные или чисто информационные характеристики по работе с кораблём:

- плотность и температура воды, и
- характеристики шероховатости обшивки, включая рули, кили и забортную арматуру, влияющие на расчёты эмпирических оценок ходкости по тихой воде (обычно в диапазоне 1.005 - 1.010).

В четвертой строке стоит выбор базовых размерений для расчётов коэффициентов полноты и других геометрических соотношений по корпусу, как:

- Проектные установки размерений корпуса;
- Размерности геометрических экстремумов.

☑ - в пятой строке стоит отметка режима контроля сплошности – водонепроницаемости корпуса, формально влияющей на разрешения для проведения гидростатических вычислений. Функция представляет полезную информацию при вызове вручную: «Средства» -> «Контроль модели». (...автоматическое исполнение отключено, возможно не полностью).

В нижнем блоке третьей вкладки устанавливаются ключи для прорисовок гидростатических центров на листах теоретических чертежей.

- ☑ - Водоизмещение и центр величины;
- ☑ - Строевая по шпангоутам (площади шпангоутов вдоль корпуса);
- ☑ - Аппликата метacentра (над центром величины);
- ☑ - Величина и центр площади ватерлинии;
- ☑ - Подводный центр бокового сопротивления (в проекции площади).

## 4.2 Теоретические чертежи

Традиционный лист для трёх проекций теоретических чертежей (рис. 12) с краткими описаниями и таблицей характеристик корабля.



Состав графической информации определяется установками теоретических контуров в основных рабочих окнах программы Free!Ship, и невидимые слои также не будут попадать прорисовки поверхностей бортовой обшивки.

Если в основных окнах подготавливались рыбыны, то только их контуры будут прорисовываться в проекции полуширота правого борта.

Местоположение чертежей <rightMouse> и масштаб изображения <rollMouse> позиционируются указателем «Mouse».

В верхнем ряду инструментальной панели предусмотрены кнопки для выбора методов прорисовки чертежей:



- величина букв в надписях и разметках чертежей;



- использование раскраски корпусной обшивки или контурных линий;



- включение оттенков освещенности в окраске поверхностей;



- переход к черно-белому изображению с контурными линиями;



- изображение симметричного правого борта, если нет рыбин.



- сохранение теоретических контуров в обменный векторный файл <Ship>\_LinesPlane.dxf для считывания в AutoCAD и др.;



- сохранение активного растра в файл <Ship>\_LinesPlane.png, как замена <altPrintScreen>

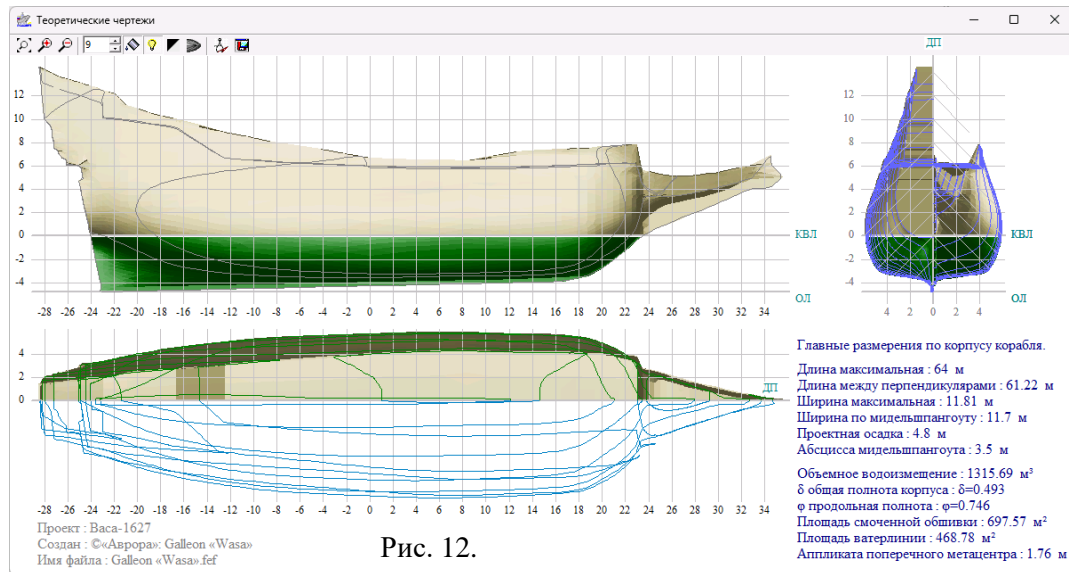


Рис. 12.

## 5. Операции и команды редактирования

По необходимости возможна отмена последовательности операций редактирования, или соответствующий возврат отменённых действий. Отмена и возврат

операция выполняется по копиям числовой модели, сохраняемым в оперативной памяти.

**Отмена <ctrl-Z>**

- отменяется последняя операция редактирования. В строке меню также показывается название отменяемой команды.

**Возврат <ctrl-R>**

- восстановление результата операции после последнего отменённого возврата.

**Удаление выбранного <ctrl-X>**



- программа сначала удаляет все грани, потом ребра и затем все выбранные узлы. Свободные узлы и рёбра, остающиеся после удаления граней, также вычищаются. При удалении рёбер попутно удаляются все связанные с ними грани. Вместе с выбранными узлами также вычищаются все сопряженные грани и ребра.

**Выборочный возврат изменений**

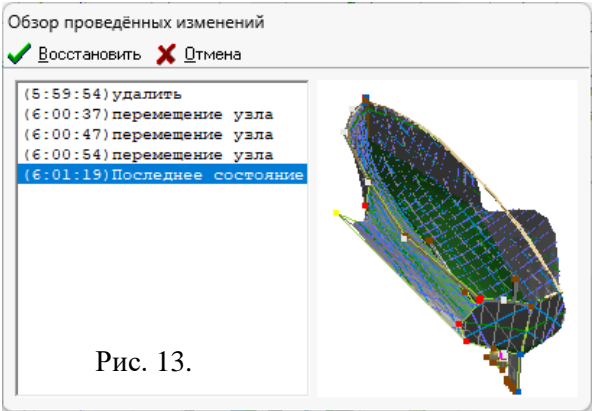
Здесь исполняются две операции с историей буфера отмены/восстановления исполненных операций.

**Сброс всех отмен**

Удаляется история операций, отмена которых становится невозможной

**Контроль выполненных действий**

В левой части всплывающего окошка выводится список с указанием времени исполнения и краткого описания выполненных ранее операций редактирования числовой модели. Правее, в графическом поле показывается результат отмечаемых в списке операций, к которому можно вернуться по команде «Восстановить».



## 5.1. «Узел» - операции над опорными узлами

### Добавить точку

Добавляет новый свободный узел - точку в трехмерном пространстве. По умолчанию предлагаются координаты начального базиса ( $x:0.0$ ,  $y:0.0$ ,  $z:0.0$ ). Для добавления свободных точек предварительно должен быть включен режим редактирования узлов

### Выравнивание узлов вдоль прямой линии



При выборе двух и более узлов включается алгоритм проецирования их на прямую линию внутри первого и последнего из отдалённых узлов.

### Сброс углового узла



Делается попытка удаления углового узла с объединением двух смежных рёбер в одно.

### Расстановка узлов по плоскости



Выбирается одна из базовых плоскостей по шпангоутам, ватерлиниям или батоксам, которая рассекает все видимые рёбра числовой модели с добавлением промежуточных опорных узлов. При установке можно отметить необходимость построения свободной контурной кривой, к которой автоматически привязывается изображение нормалей пространственной кривизны, отмечающих величину и направление искривления.

### Пересечение слоев



Построение пространственной линии пересечения поверхностей из двух разных слоёв графической модели. В алгоритме запрашиваются два пересекающихся слоя, в котором все ребра первого слоя будут разрываться новыми узлами в точках пересечения с гранями второго слоя. Второй слой остаётся неизменным. Операция может использоваться, например, для построения контура пересечения выступающих частей за оболочку корпусной обшивки.

### Блокирование выделенных узлов.



Блокированные точки подкрашиваются темно-серым цветом, и не могут быть перемещены или удалены.

## Освобождение захваченных точек



Разблокирование одного или группы выделенных узлов из ранее заблокированных.

## Разблокирование всех опорных узлов



Ускоренно освобождаются для редактирования сразу все ранее захваченные узлы.

## 5.2. «Ребро» - работа с контурами и граничными рёбрами


### Образование граней с параллельным копированием граничных рёбер



Как вариант построения новых сопряженных поверхностей путем параллельного смещения копий выделенных граничных контуров или одиночных рёбер.

### Разделение ребра пополам



Все рёбра в предварительно выбранной группе разделяются пополам со вставкой новых опорных узлов, при этом прилегающие грани увеличивают количество узлов по своему периметру. По необходимости поверхности усложненных граней могут быть рассечены (  ) соответствующим разделением по двум противоположных узлам на прилегающих рёбрах.

### Связывание граней



Выполняется удаление промежуточного ребра со связыванием двух смежных граней в единую поверхность с увеличенным количеством узлов по периметру.

### Рассечение



Операция обратная связыванию граней. Если по периметру грани более трёх узлов, то её можно многократно раздробить на треугольники, для чего выделяются два противоположных узла и применяется команда «Рассечение». Рассечение выполняется по всем выбранным узлам с совпадающими сопряжёнными поверхностями. Выбор с поиском осуществляется от первого к последнему по списку помеченных узлов, но пока без какой-либо оптимизации получающихся треугольников. Для повышения качества поверхности иногда полезно выполнить последовательность операций «Связывание» - «Рассечение» с переориентацией рёбер вдоль ближайших сломов борта.

## Слом по ребру



Приданием рёбрам свойств разделительного слома поверхностей создаются транцы, палубные ширстреки, бортовые сломы, фальшборты или рубки без скруглений переборок.

## Контрольные контуры – кривые



Непрерывный пространственный сплайн-контур может временно создаваться по связной подборке из выделенной цепочки рёбер. Получающийся гладкий контур полезен для оценки качества и гладкости обводов по сопряженным с ним графикам кривизны. Нормали к контуру показывают величину кривизны (обратный радиус искривления) и направление изгиба в пространстве.

В файлах числовых моделей эти наглядные пространственные кривые не сохраняются.

## 5.3. «Грань» - создание и ориентация поверхностных фрагментов

### Новая грань



Создаётся новая элементарная поверхность внутри периметра выделенных узлов. Ориентация грани навстречу направлению при обходе против часовой стрелки, соответственно изнутри корпуса элементы обшивки создаются по узлам с обходом по часовой стрелке. При создании новой грани все окружающие её рёбра отмечаются внутренними, если они не являются граничными для всей числовой модели. Для сохранения бортовых сломов они должны выставляться вручную повторно.

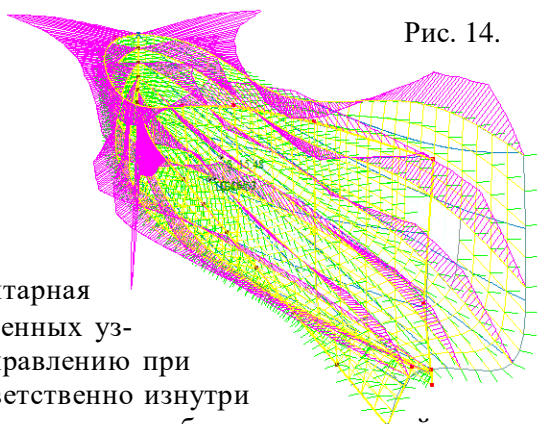


Рис. 14.

### Обращение нормалей.



Нормали могут отображаться на выделенных гранях, и по необходимости должны перенаправляться в наружную сторону бортовой обшивки.

## 6. О послойном разделении числовой модели корабля

Расслоение графических объектов в первую очередь необходимо для обособления методов задействования корабельных конструкций или их свойств в составе корабля. Важно выделять корабельную обшивку, которая строится только для одного борта и включает в себя характеристики материала для массогабаритных оценок; или иначе различные уникальные механизмы и дельные вещи, которые не участвуют в гидростатических расчетах и не симметризируются

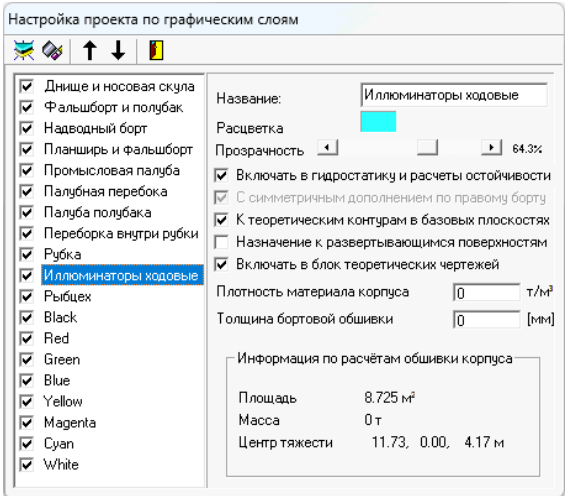
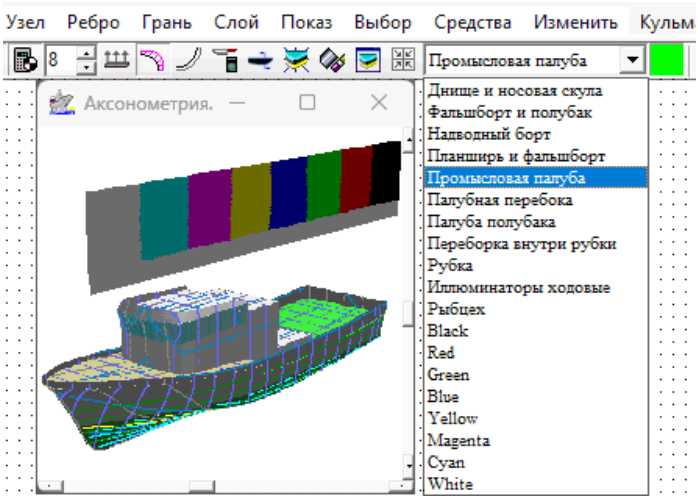
в графических прорисовках. В текущей версии приходится выполнять расслоение для изменения расцветок графических объектов, а также для блокировки их использования в теоретических чертежах и графических алгоритмах раскрытия листов обшивки на плазовые плоскости.

Множество функциональных слоев в числовой модели корабля необходимо в проектных разработках со сложными и громоздкими построениями общекорабельной архитектуры. В рабочих алгоритмах расслоение выполняется по ссылкам в свойствах элементарных граней, что формально позволяет пользоваться ребрами и узлами без конкретной привязки по рабочим слоям, сохраняя таким образом связность гладких поверхностей в разных слоях, с отличными раскрасками или различными свойствами конструктивных материалов, и т.п.

Основные процедуры для работы с графическими слоями вынесены на инструментальную панель (рис. 15). Над траулером изображены прямоугольники со стандартной расцветкой в восемь цветов из графического формата Iges, для чего в списке включены слои с названиями этих цветов.

Для быстрого назначения активного слоя есть раскрывающийся список-меню, в заголовке которого показывается название действующего на данный момент слоя. Если в работе с моделью будет выделено несколько слоев, то заголовок в этом списке очистится, а при его указании в ниспадающем списке, все отмеченные компоненты числовой модели будут перенесены на новый слой, и получат соответствующую этому слою раскраску.

Правее списка слоёв установлена метка с действующим цветом для текущего активного слоя, и этот цвет здесь же может быть изменён.







Первая кнопка слева вызывает процедуру автоматического распределения связанных поверхностей по разным новым слоям, с различными раскрасками и общими свойствами, характерными для бортовой обшивки. Процесс может быть начат при условии включения прорисовки внутренних рёбер.



<Ctrl-L> кнопка левее дублируется аккордом клавиатуры <ctrl-L>, и служат вызову окна полной интерактивной настройки слоёв числовой модели в едином блоке (рис. 16). Здесь галочка отмечает видимость слоя в основных окнах для редактирования.

Рис. 16.



В интерактивном окне, также как и на главной панели инструментов, установлены кнопки для добавления одного нового чистого слоя со свойствами ботовой обшивки нулевой толщины, а также;



- для быстрого удаления всех пустых слоёв.

## 7. Видимость и включение в редактирование графических компонент

Для управления видимостью графических компонент имеется главная панель инструментов, и с теми же значками управляющее меню «Видимость»:



### Опорная сеть узлов и ребер числовой модели



Базовая сеть узлов и рёбер в построения числовой модели обеспечивает поточечное и контурное редактирование всех графических объектов.

### Кривая контроля.



Включение в графическое поле контрольных кривых с дополнениями по кривизне и направлению изгибов связанных воедино рёбер (рис. 14).



### Внутренние линии аппроксимационного дробления исходных граней



Контурная разметка аппроксимирующих кривых раскрашивается палитрой слоя, и служит возможности уверенного захвата и выделения граней.

### Левый борт по диаметральной плоскости корабля



Обводы корабля обычно обладают симметрией относительно диаметральной плоскости, и потому для редактирования и гидростатических вычислений удобно пользоваться одним левым бортом (с положительным отсчётом по оси ординат).

## Сетка теоретического чертежа корабля



Сетка теоретического чертежа показывает разметку для прорисовки шпангоутов, ватерлиний, батоксов и рыбин на трёх ортогональных проекциях.

В аксонометрии разметка сеток пока не предусматривается, но могут прорисовываться собственно теоретические контуры и линии тока по видимой поверхности обшивки корпуса корабля (рис. 17, справа внизу).

## Шпангоуты, ватерлинии, батоксы и рыбины



Теоретические контуры настраиваются для отрисовки на в рабочих окнах редактирования числовой модели корабля. По всем теоретическим контурам возможна разметка графиков кривизны (рис. 14), что необходимо отмечать галочками при их создании.



В программе предусмотрен оценочный расчет линий тока при обтекании корпуса в движении с постоянной скоростью (рис. 17). Расчет выполняется чисто по оценкам градиентных наклонов поверхности судовой обшивки без учёта конвективных влияний, волнообразования и ходового дифферента. Такой расчет выполняется по <Alt+leftMouse> строго в подводной части корпуса, и выполняется очень быстро, в том числе с перерасчетами в темпе редактирования обводов корпуса.

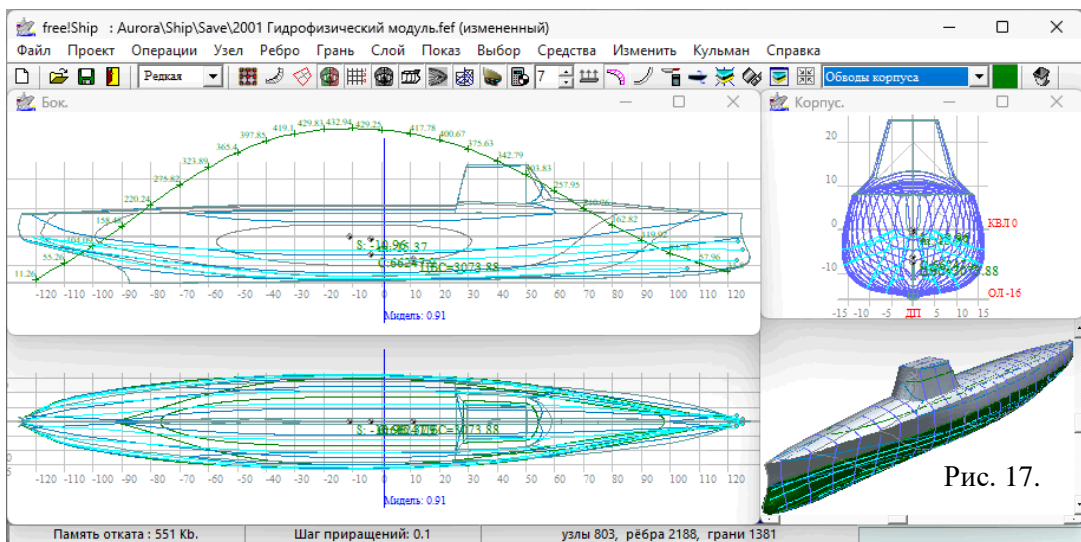


Рис. 17.

Линии тока прослеживаются вдоль поверхностей, задействуемых в гидростатических вычислениях (по смоченной обшивке корпуса).

## Строевая по шпангоутам и гидростатические центры



При включении гидростатических расчетов на проекции «бок» прорисовывается строевая по шпангоутам с указанием площади каждого из размечаемых теоретических шпангоутов. На двух других проекция также показываются расчетные гидростатические центры и :

$C$  – центр величины и водоизмещение;

$S$  – абсцисса местоположения центра и величина площади конструктивной ватерлинии;

$m$  – аппликата и величина поперечного метacentра здесь соотносится с абсциссой центра величины. В гидростатике иногда требуется оценка геометрических эффектов накренения относительно *центра площади ватерлинии*.

ЦБС – положение центра и величина смоченной поверхности в проекции на диаметральную плоскость.

## Размер надписей на чертежах в рабочих окнах



Размеры надписей на чертежах настоящей версии программы версии программы задаётся в абсолютных значениях, и может изменяться для настройки комфортного отображения.

## Нормали и ориентация поверхностных отсчетов по обшивке корпуса



Грани судовой обшивки должны ориентироваться во вне корпуса для корректных расчетов объёмных и инерционных геометрических характеристик. Для контроля отображаются короткие зелёные стрелочки, которые помещаются на внутренних аппроксимационных контурах элементарных граней (рис 14).

## Графики контурных искривлений



Пространственные искривления теоретических контуров и контрольных кривых также должны предварительно назначаться при их создании (рис. 14).

## Маркеры



Маркеры являются теми же произвольными пространственными контурами, предназначенными для визуальной оценки создаваемых или оцифровываемых моделей обводов и формы корпуса. Однако такие маркеры сохраняются в составе описаний числовых моделей.

## Масштаб кривизны

$\langle F9 \rangle$  и  $\langle I0 \rangle$  - уменьшают и увеличивают масштаб графиков искривлений на теоретических и свободных пространственных контурах (рис. 14).

## 8. Выбор графических элементов




Выбирается вся видимая геометрия, включая маркеры и линии тока.  
<Esc> Снимаются отметки всех ранее выбранных элементов.

## 9. Инструментальные средства

### Создание контуров теоретических чертежей



В построении теоретических чертежей последовательно заполняются списки сечений корпуса по шпангоутам, батоксам, ватерлиниям и рыбинам. Рыбины здесь образуются параллельными плоскостями с наклоном  $45^\circ$ , с указанием аппликаты линии пересечения диаметральной плоскости.

Выделенные «галочкой» контуры на чертежах могут дополняться графиками кривизны при включении соответствующей опции:  - контурных искривлений.

[+1] – добавление одного теоретического контура;

[+N] – построение сечений по всему диапазону с заданным шагом.

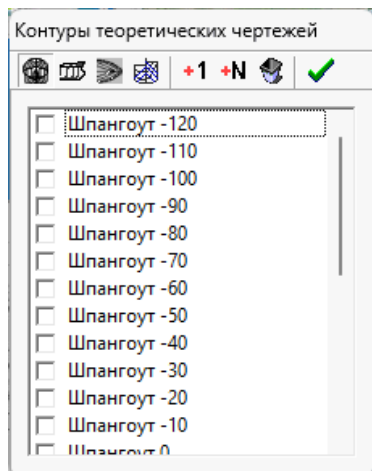
<del> с клавиатуры удаляет одно выделенное сечение.



- очистка сразу всего списка.



- завершение формирования списков теоретических контуров.



### Контроль модели

Операция позволяет проверить модель для поиска геометрических несогласований, и отчасти исправляет некоторые из них автоматически. Проверка также выполняется при гидростатических вычислениях, если это не исключено в «Установках по проекту».

Проверка включает поиск несвязных граней, и контроль однонаправленности нормалей. В предположении, что самая низкая точка на днище и её нормаль должна ориентироваться вниз, выполняется адаптация близлежащих связанных поверхностей.

Проводится поиск рёбер с более чем двумя гранями.

По отношению к точкам утечки определяются следующие признаки:

- Граничная точка в диаметральной плоскости имеет ординату  $Y > 0.0001$ .
- Узел принадлежит ребру с одной сопряжённой гранью.

Если проверка вызвана вручную из меню, то делается краткий обзор возможных рассогласования и исправленных ошибок. Список точек утечек сортируется по аппликату, и в отчёт попадает 12 первых по списку.

## Убрать отрицательные ординаты

Выполняется поиск и удаление граней по правому борту. В случаях пересечения диаметральной плоскости, отрицательные ординаты в узлах просто обнуляются, что автоматически замыкает контролируемые поверхности на диаметральной плоскости.

## Вычистка лишних точек

Выполняется поиск свободных точек и их удаление.

## Развертка обшивки на плоскости

Бортовая обшивка корабля, отмечаемая в свойствах графических слоёв как «Предназначенная к развёртывающимся поверхностям» включается в работу с алгоритмами раскроя на плоскости. На рисунке 19 приведён вариант послойной симметричной развертки корпусной обшивки для траулера, показанного ранее на рисунке 15.

Алгоритмом оптимизации разверток выполняется до 25 итераций, с выбором варианта с наименьшей общей погрешностью. Оценки погрешностей по длинам рёбер и недочётам в площадях приводятся в правом верхнем поле. Ниже в правой части список слоёв, задействованных в построении разверток.

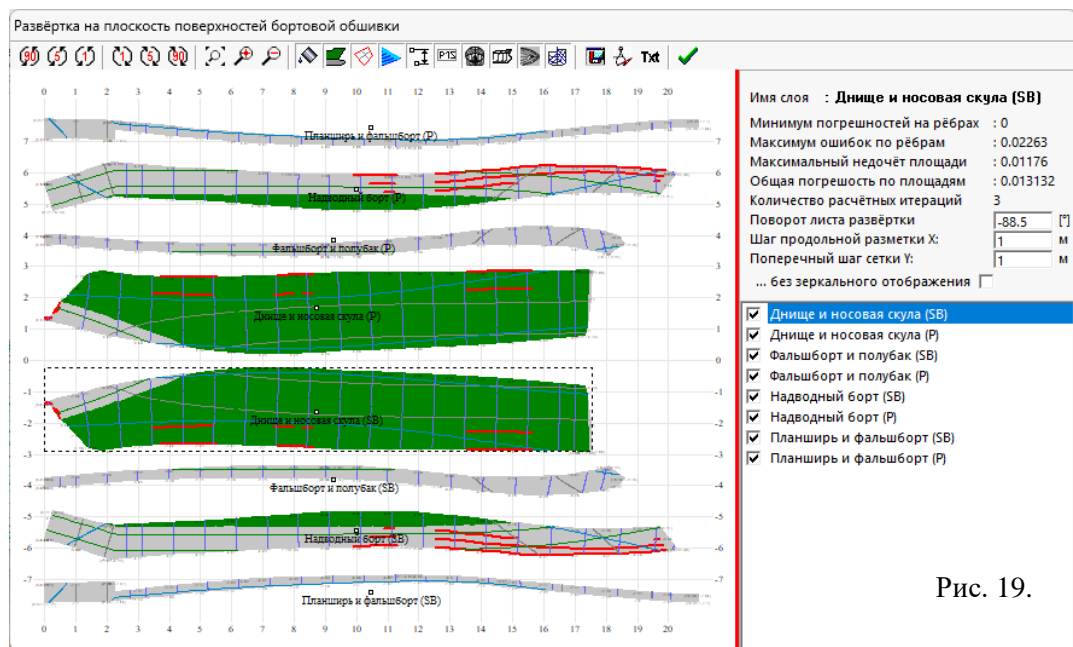


Рис. 19.

Развёрнутые панели могут перемещаться по графическому полю с помощью указателя мышки, а также разворачиваться относительно общего листа, например, для формирования плотной упаковки с минимальными обрезками при резке.

На панели инструментов собраны следующие процедуры



- сплошная закрашка всех развёрток в единой светлой палитре;



- раскраска поверхностей по установкам в рабочих слоях;



- прорисовка внутренних рёбер из разметки числовой модели;



- сжатые рёбра утолщаются синим, растянутые – красным цветом.



- вывод сетки и числовых величин в граничных узлах разверток;



- надписи названий рабочего слоя для каждой из развёрток.



- сохранение растрового изображения в директорию экспорта.



- запись контурных кривых в формате AutoCAD.dxf

[Txt] – послонная запись координат ограничивающих контуров в тестовых файлах в кодировке UTF-8.



- завершение редактирования разверток и возврат к основным оконным процедурам программы.

## Контрольные контуры - маркеры

### Импорт маркеров



Маркерные контуры не участвуют в построении обводов числовой модели, но могут служить своеобразными распределёнными образцами от оригинальных теоретических чертежей при их ручной оцифровке.



- маркерные контуры открываются или скрываются на рабочих окнах при их наличии в числовой модели.

К маркерным кривым не применяется прорисовка контуров искривлений, в отличие от свободных и теоретическим контурам. Редактирование маркеров также не предусмотрено, но они могут быть импортированы из внешних текстовых файлов по типовым ранее представленным здесь форматам: 3.5.2 «Поверхность по шпангоутам, рыбакам или бортовым сломам». Первый логический признак: 0-метрической или 1-имперской меры здесь будет игнорироваться, т.е. строка с этим признаком - пропускается.

### Удалить все маркеры



- вычистка всех маркерных контуров из числовой модели.



## 10. Геометрическая трансформация корпуса

В базовых геометрических преобразованиях участвуют либо любые выбранные графические элементы, либо в преобразования включаются рабочие слои и свободные точки по специальному предварительному запросу.

### Масштабирование

Чисто аффинное преобразование геометрии корпуса в Евклидовых прямоугольных координатах. Если необходимо изменить направление базовых осей, то оптимальным вариантом будет использование коэффициента трансформации:  $-1$ , и если такое обращение проводится по нечетному количеству осей, то затем необходимо обращение ориентации граней в числовой модели. Особенностью алгоритма является возможность смена знака по X-абсциссе и Y-ординате одновременно, масштабирование изображений будет выполняться вполне корректно, однако...

### Смещение...

При смене направления координатных осей потребуется приведение модели к нулевому кормовому перпендикуляру. Смещение также требуется для приведения системы координат к нулевой основной линии.

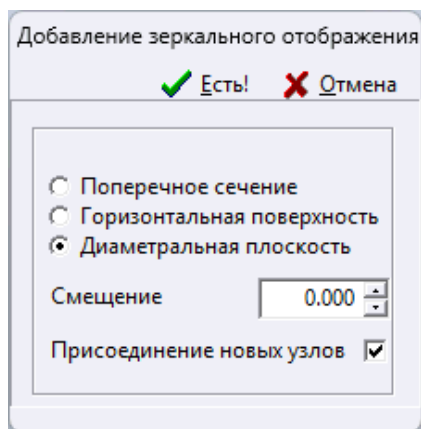
### Вращение...

Опция полезна для придания модели строительного дифферента, например, или для разворота модели на  $180^\circ$  вместо обращения знака осей координат, при которых сохраняется ориентация нормалей на элементах корабельной обшивки.

### Зеркальная копия

В построении зеркального отображения всегда создается копия оригинальной модели, что может быть полезно для создания многокорпусных моделей, для чего предусматривается установка необходимого смещения.

Ключ присоединения новых узлов означает связывание совпадающих поверхностей некими объединёнными гранями, что следует опробовать с осторожностью.



Трансформация обводов корпуса по Лакенби

Метод Лакенби предназначен для выполнения деформации гладких обводов корпуса с подбором водоизмещения и положения центра величины при условии сохранения исходной концепции корабельного проекта.

При назначении новых числовых величин (Рис. 20) для информации в левом столбце приводятся исходные значения корабельных характеристик в качестве опорных, по завершении оптимизации на теоретическом чертеже новые обводы прорисовываются красным пунктиром.

«Максимальное число итераций» может быть ограничено.

☑ - ход трансформации корпуса может наблюдаться в рабочих окнах программы.

☑ - слева внизу перечисляются слои модели. Преобразование применяется только по помеченным слоям.

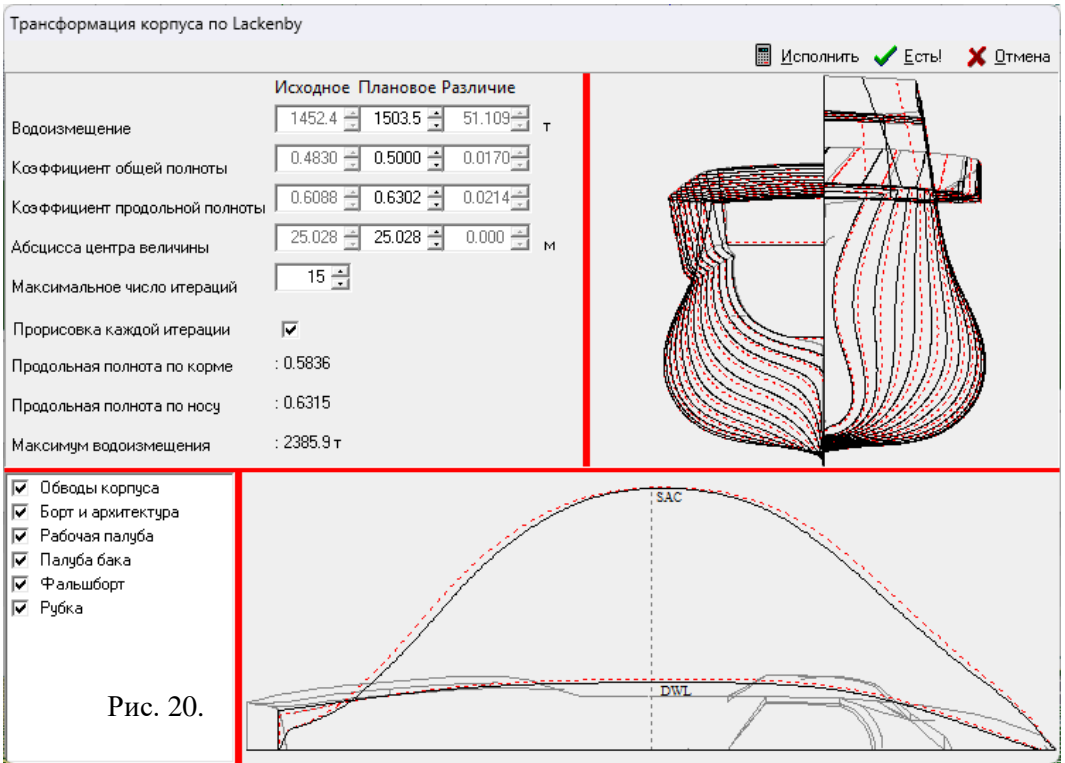


Рис. 20.

Замечание: в настоящем варианте программы на 2025.12.22 не исправлены недочёты в вычислениях при произвольном смещении абсциссы мидельшпангоута (?от кормового перпендикуляра) и ненулевом отсчёте основной линии.

## 11. Фоновые изображения.

Для оцифровки исходных бумажных чертежей предусматривается возможность проявления фонового изображения (рис. 21). Допускается загрузка трёх копий чертежей, обычно это проекции бок, полуширота и корпус.

Все опции, связанные с фоновыми изображениями располагаются во всплывающем меню <rightMouse>.

### Показать/скрыть фоновый оригинал чертежа

Фоновый растр проявляется во всех окнах - копиях с отображаемой проекцией теоретического чертежа. По команде «показать/скрыть» подложка временно скрывается.

### Очистить

По команде очистки выбранное фоновое изображение полностью удаляется из числовой модели корабля.

### Загрузить

Фоновые изображения могут быть в растровых форматах <Bitnap>.bmp или <Joint Photographic Experts Group>.jpeg (необходимо добавить <Portable network graphics>.png). Сразу по загрузке изображения его левых нижний угол ставиться в точку Origin(0,0) с нулевыми координатными отсчётами.

### Сохранить

Фоновый растр выбранного окна сохраняется в формате <Ship>.jpg.

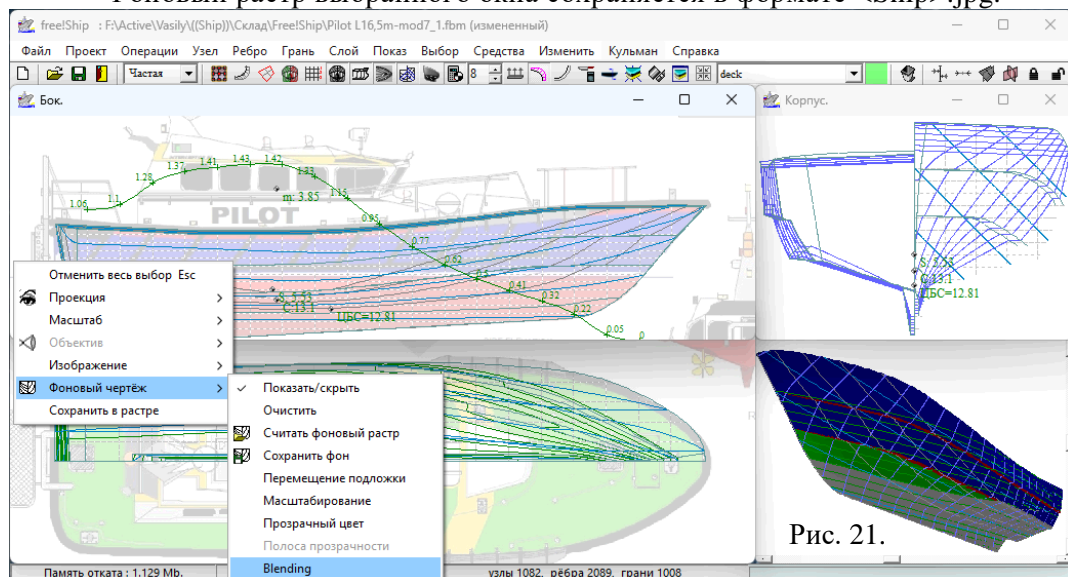





Рис. 21.

## Перемещение подложки


При появлении курсора с кружочком  при нажатой <leftMose> возможно однократное перемещение фонового изображения. По завершении, повторная инициация смещения снова запускается через меню «перемещение подложки».

## Масштабирование

Масштабирование проводится по отстоянию от начала координат, куда  предварительно должен перемещаться кормовой перпендикуляр теоретического чертежа. При запросе масштабирования сначала появляется курсор с линейкой , по которому на растровой картинке выбирается точка на форштевне или носовом перпендикуляре, и затем запрашиваются необходимые координаты X, Z. Фоновая подложка будет вытягиваться для приведения выбранной точки к численно заданным координатам. Возможно операции перемещения к кормовому перпендикуляру и последующего вытягивания масштаба по точкам в носовой (правой) части модели должны итеративно повторяться для достижения наилучшего совпадения.

Масштаб повторно импортируемого изображения устанавливается по ранее настроенному, что полезно при настройке одного и того же растра или его частей к разным чертежным проекциям. По горизонтальному и вертикальному направлениям устанавливается строго одинаковый масштаб.

## Прозрачный цвет

Курсор выбора  цвета для его обесцвечивания. Выбранный цвет становится прозрачным. Для отмены операции необходимо выбрать иной, например фоновых цвет самого растрового чертежа.

## Полоса прозрачности.

Делается запрос ширины цветового спектра [0..255], чтобы все близкие по окраске расцветки также стали прозрачными

## Перетекание (blending).

Выполняется запрос степени смешивания (затенения) растрового изображения с фоновой расцветкой графического окна, при котором контрастность и яркость чертежа могут быть снижены до еле видимых.

Замечание: последние три операции приводят к заметному замедлению и задержкам откликов программы free!Ship.

## 12. Кульман с листами – окнами Windows

Стандартные окна для размещения проекций теоретического чертежа.

С началом работы открывается большое главное окно – кульман, на котором размещаются листы с теоретическими чертежами корабля в трёх проекциях с наглядным аксонометрическим изображением на четвёртом листе.

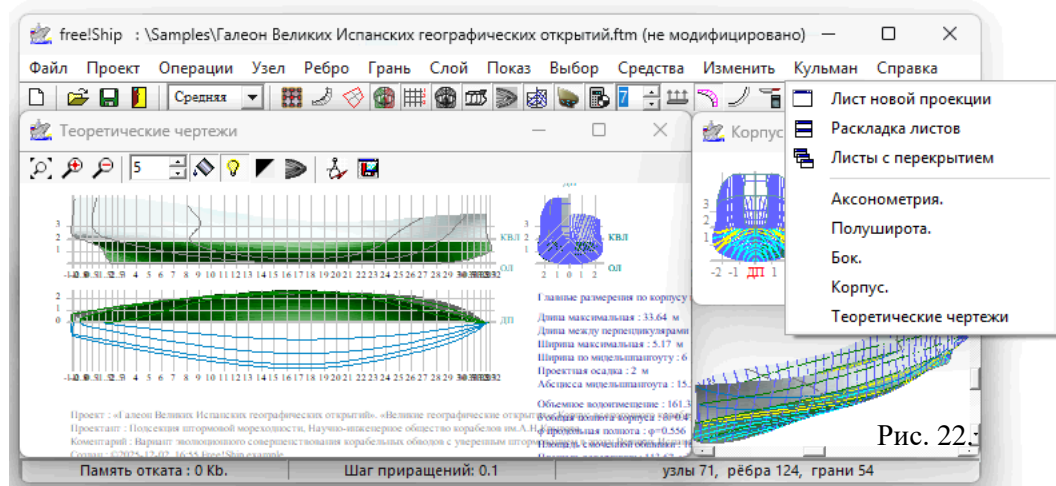
При запуске программы начальный размер главного окна Windows может определяться в файле конфигурации FreeShip.ini, при отсутствии которого рабочее пространство будет предустанавливаться в растровых размерах 1280x720. Три варианта предусматриваются файлом конфигурации:

- 0 – нормальное окно в заданных размерах;
- 2 – окно принимает размер активного графического экрана;
- 3 – главное окно раскрывается с захватом всего экрана монитора.

Вариант 1 – от свёрнутого окна преобразуется к нормальному, ввиду сложности с аналогичным статусом для свободных листов чертежей.

Все листы с чертежами обладают свойствами полноценных окон Windows, и могут перемещаться и раскрываться по необходимости на других графических экранах компьютера.

Новый лист создаётся в аксонометрической проекции с затенённой цветовой раскраской. Все листы с корабельными проекциями автоматически располагаются по команде <Раскладка листов> в собственных местах главного окна программы: «Бок» - слева сверху; «Полуширота» - слева внизу; «Корпус» - справа сверху; и «Аксонметрия» - справа внизу.



На рисунке 22 показан минимальный размер главного окна free!Ship с шириной для размещения строки со списком управляющих меню: 720x300, а каждое окно – лист чертежа имеет размер не менее чем 200x100 пикселей. Максимальный размер и местоположение в объединённом поле из нескольких мониторов не ограничивается.

Лист с раскладной стандартных «теоретических чертежей» также входит в общий список рабочих окон - листов, и по необходимости активируется или поднимается на видимую часть экрана с помощью собственной ссылки-строчки «Теоретические чертежи» в меню: «Кульман».

## 13. Справка

### Руководство к программе free!Ship

<F1> вызов руководства по использованию программы free!Ship автоматически настраивается на имя файла с языковыми терминами в директории Language, активируемых в «Настройках», где можно явно указать местоположение директории Manuals с разноязычными файлами документации.

Если руководство на требуемом языке отсутствует, то из предварительно указанной директории вызывается русский вариант: Russian.pdf.

### Геометрические и гидростатические таблицы

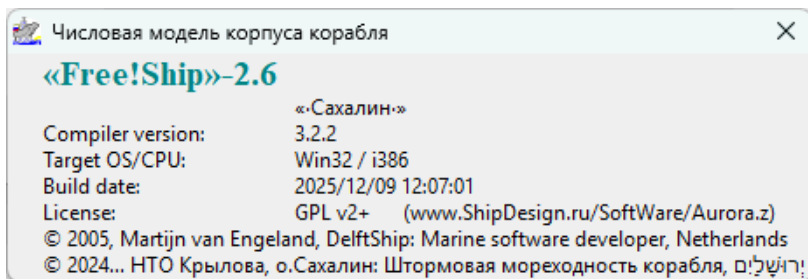
Простые расчеты гидростатики судна выполняется для проектной осадки. Если используются имперские единицы измерения, то водоизмещение задается в длинных тоннах (1 длинная тонна равняется 2240 фунтам).

Кривые элементов теоретического чертежа рассчитываются в автоматически назначаемом диапазоне осадок.

Информационные материалы и таблицы могут пересохраняться в текстовом файле.

### О free!Ship – авторская справка

FREE!ship – моделирование корабельных обводов и общекорабельной архитектуры с открытым исходным кодом, основанная на разбиении поверхностей Безье-поверхностями и контурными сплайнами, предназначена для проектирования корабля.



Форматы файлов для считывания числовых моделей адаптированы к последним вариантам free!Ship, включая расширенные версии до 5.0, предложенных и опубликованных другими авторами:

©2007-2012 Виктор Фёдорович Тимошенко - Николаевская корабелка.

©2015 Mark Malakanov - Woodbridge, Canada.

Сохранение числовых моделей выполняется только в версии 2.6 или ниже, в зависимости от состава инородных компонент, сохраняемых в выходном формате числовой модели корабля.

К основным форматам отнесён обменный формат <free!Ship exchange format>.fef, в который включается только геометрическое описание корабля только с учетом расслоения графических компонент.

Привнесена возможность экспорта данных в текстовый формат таблиц плазовых ординат программного комплекса «Hull» и «Аулога», где возможно решения задач теории корабля (гидростатики, остойчивости, корабельного волнообразования и др.), а также проведение прямых вычислительных экспериментов по моделированию штормового маневрирования на предельно интенсивном морском нерегулярном трогоидальном волнении.

Математические алгоритмы и особенности управляющих интерфейсов сохранены на исходном уровне по FREE!Ship Версии 2.6. Сделано несколько исправлений досадных ошибок для повышения устойчивости программы, и теперь появление ошибок типа C5-«AccessViolation» в опробуемых режимах интенсивной работы пока не обнаруживается.

## Лицензия GNU/GPL

Это руководство распространено как часть FREE!ship.

Допускается перераспределение и/или изменение программы и документации к ней в соответствии с Универсальной Общественной Лицензией GNU (GNU GPL) как издано Фондом Свободного программного обеспечения в версии 2+, или (в Вашей опции) любая более поздняя версия.

Есть возможность получения копии GPL GNU в интернет, так же как и этого руководства. В ином случае пишите: The Free Software Foundation, Inc, 59 Temple Place, Suite 330, Boston, MA 02111-1307, США

©2025, [Khramushin@ya.ru](mailto:Khramushin@ya.ru)

[www.ShipDesign.ru/SoftWare/Aurora.z](http://www.ShipDesign.ru/SoftWare/Aurora.z)

[www.ShipDesign.ru/Khram/Aurora.pdf](http://www.ShipDesign.ru/Khram/Aurora.pdf)

[www.ShipDesign.ru/SoftWare/freeShip\\_ru.pdf](http://www.ShipDesign.ru/SoftWare/freeShip_ru.pdf)



# Оглавление

1. Предисловие .....	2
1.1. Грани .....	2
1.2. Рёбра .....	2
1.3. Узлы .....	3
1.4. Аппроксимация поверхностей .....	3
1.5 Особенности построения корпусной оболочки .....	4
2. Области просмотра .....	5
2.1 Изменение масштаба и вида графического изображения .....	5
2.5. Теоретические чертежи и аксонометрические прорисовки .....	6
2.2 Выбор элементов .....	8
2.3 Перемещение опорных узлов .....	8
2.4. Уточнённая работа с координатами опорных узлов .....	8
3. Создание, чтение и конвертация цифровых моделей .....	9
3.1 Новая модель .....	9
3.2 Открыть .....	10
3.3 Сохранить и сохранить как .....	10
3.4 Импорт .....	11
3.5.1 Часть корпуса (дельная вещь) .....	11
3.5.2 Поверхность по шпангоутам, рыбакам или бортовым сломам .....	11
3.5.3 Таблица плазовых ординат .....	12
3.5.4 Формат.obj от Wavefront Technologies .....	12
3.5.5 Числовая модель STL-stereolithography .....	12
3.5.6 VRML - Virtual Reality Modeling Language .....	13
3.5.7 Carlson Hulls .....	13
3.5.8 Импорт Carene XYZ файл .....	14
3.5.9 Файлы из PolyCAD .....	14
3.6 Экспорт – числовых моделей в иные форматы .....	14
3.6.1 «Аврора» теория и штормовая мореходность корабля .....	14
3.6.2 Фрагмент обводов или дельная вещь корпуса <часть>.part .....	15
3.6.2 IGES .....	16
3.6.3 Корпус в формате DXF с обшивкой .....	16
3.6.4 Листы трёх теоретических проекций в DXF-чертежах .....	17
3.6.5 Теоретические контуры в пространстве - DXF .....	17
3.6.6-7 Файлы WaveFront.obj и Stereolithography.obj .....	17
3.6.8. Контуры теоретических чертежей в текстовых записях .....	17
3.6.9 Плазовые координаты опорных узлов .....	17
3.6.11 Archimedes .....	17
3.6.12 GHS .....	17
3.7 Выход .....	18
3.8 Настройки программы Free!Ship .....	18
4. Установки по проекту корабля и теоретические чертежи .....	19
4.1 Настройка проектных параметров числовой модели корабля .....	19
4.2 Теоретические чертежи .....	20
5. Операции и команды редактирования .....	21
Отмена <ctrl-Z> .....	22
Возврат <ctrl-R> .....	22
Удаление выбранного <ctrl-X> .....	22
Выборочный возврат изменений .....	22
Сброс всех отмен .....	22
Контроль выполненных действий .....	22
5.1. «Узел» - операции над опорными узлами .....	23
Добавить точку .....	23
Выравнивание узлов вдоль прямой линии .....	23
Сброс углового узла .....	23
Расстановка узлов по плоскости .....	23
Пересечение слоев .....	23
Блокирование выделенных узлов .....	23
Освобождение захваченных точек .....	24
Разблокирование всех опорных узлов .....	24
5.2. «Рёбро» - работа с контурами и граничными рёбрами .....	24

Образование граней с параллельным копированием граничных рёбер .....	24
Разделение ребра пополам .....	24
Связывание граней .....	24
Рассечение.....	24
Слом по ребру.....	25
Контрольные контуры – кривые .....	25
5.3. «Грань» - создание и ориентация поверхностных фрагментов.....	25
Новая грань .....	25
Обращение нормалей .....	25
6. О послойном разделении числовой модели корабля.....	25
7. Видимость и включение в редактирование графических компонент .....	27
Опорная сеть узлов и ребер числовой модели.....	27
Кривая контроля.....	27
Внутренние линии аппроксимационного дробления исходных граней .....	27
Левый борт по диаметральной плоскости корабля.....	27
Сетка теоретического чертежа корабля .....	28
Шпангоуты, ватерлинии, батоксы и рыбины .....	28
Строевая по шпангоутам и гидростатические центры .....	29
Размер надписей на чертежах в рабочих окнах .....	29
Нормали и ориентация поверхностных отсчетов по обшивке корпуса .....	29
Графики контурных искривлений .....	29
Маркеры.....	29
Масштаб кривизны .....	29
8. Выбор графических элементов.....	30
9. Инструментальные средства.....	30
Создание контуров теоретических чертежей .....	30
Контроль модели .....	30
Убрать отрицательные ординаты .....	31
Вычистка лишних точек .....	31
Развертка обшивки на плоскости .....	31
Контрольные контуры - маркеры .....	32
Импорт маркеров .....	32
Удалить все маркеры.....	32
10. Геометрическая трансформация корпуса .....	33
Масштабирование.....	33
Смещение.....	33
Вращение... ..	33
Зеркальная копия .....	33
Трансформация обводов корпуса по Лакенби.....	34
11. Фоновые изображения.....	35
Показать/скрыть фоновый оригинал чертежа .....	35
Очистить.....	35
Загрузить .....	35
Сохранить.....	35
Перемещение подложки .....	36
Масштабирование .....	36
Прозрачный цвет .....	36
Полоса прозрачности.....	36
Перетекание (blending).....	36
12. Кульман с листами – окнами Windows .....	37
13. Справка .....	38
Руководство к программе free!Ship .....	38
Геометрические и гидростатические таблицы .....	38
О free!Ship – авторская справка .....	38
Лицензия GNU/GPL .....	39