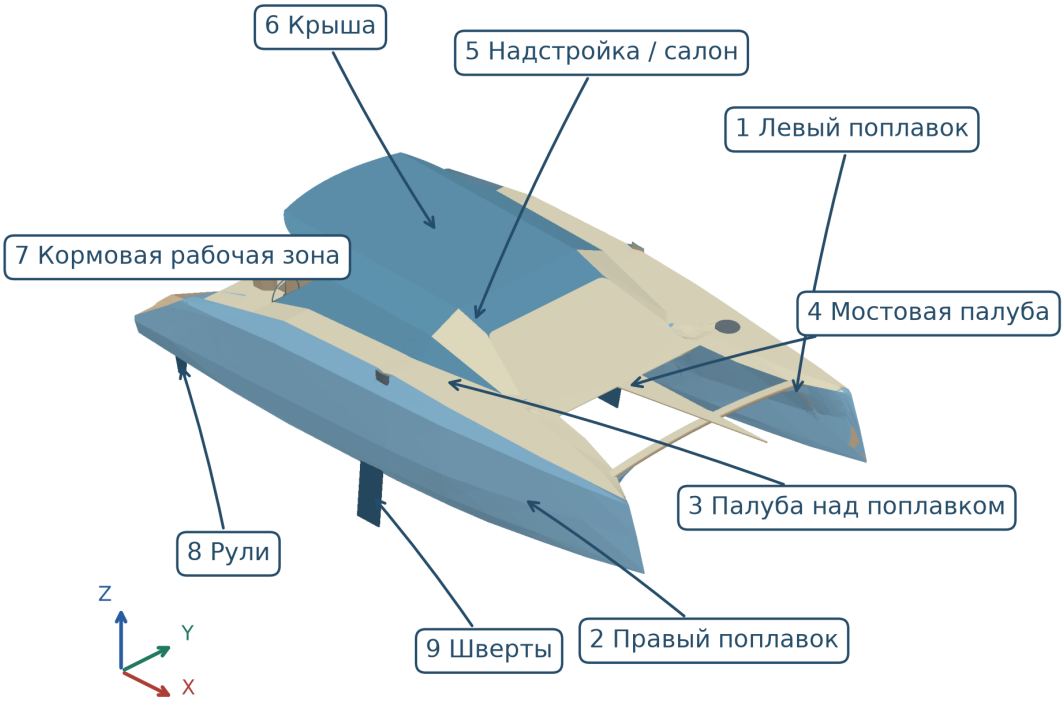
# ECONA

## Кругосветный катамаран

## Кайт · Солнце · LiFePO4 · BLDC

ECONA: части существующей сборки




Исходная CAD-геометрия: 13,6 м; ширина 7,398 м. Надстройка показана целиком.

Текущая компоновка и реальные обводы. Новые энергетические системы ещё не размещены в CAD.

| Миссия | Экипаж | Размер и скорость |
|---|---|---|
| Кругосветка; вокруг всех материков | Постоянно 2; на переходах до 8 | 13,6 м; цель 7-10 уз под кайтом |

**Сводный инженерный отчёт, версия 3.0.** Гидростатика рассчитана по замкнутым поплавкам ECONA средствами FreeCAD Ship и проверена независимым интегрированием. Массы, энергетика, нагрузки и варианты оборудования остаются проектными сценариями.

11 октября 2026 · Осадка поплавков не более 0,52 м · Образец моторов Golden Motor HPM · 72 В принято · Добавлены сравнение обшивок и реечный ламинат 8/8/8 мм

# 01 Главные результаты

Кайт остаётся основным движителем на переходах. Солнце обеспечивает бортовую энергетику и ограниченный электрический ход. Кругосветная миссия требует рассматривать погоду, отказ запуска кайта и ремонт вдали от берега вместе с запасом электрической энергии.

| Параметр | Результат | Статус |
|---|---|---|
| Длина / ширина обшивок | 13,600 / 7,398 м | CAD |
| Максимальная осадка поплавков | 0,52 м | Требование пользователя |
| Масса при T=0,52 м | 6,944 т / 6,775 т | Морская / пресная вода; ровная посадка |
| Рабочая цель для 8 человек | 6,5 т; пример 6,477 т | Предложенный бюджет; не достигнутая масса |
| Расчётные поплавки | 2 замкнутых Solid | Проверенная геометрия |
| Прежний бюджет с 2 людьми | 7,50 т | Превышает новый предел |
| Осадка при этой массе | 0,546 м | Прямая посадка, морская вода |
| Прежний вариант 8 человек | 8,86 т; T=0,608 м | Превышает новый предел |
| Активные PV / мощность | 17,3-21,0 м² / 3,8-4,6 кВт пик | Раскладка ещё не проверена |
| DC на 7 / 10 уз, опорный | 9,2 / 25,4 кВт | Добавка к трению назначена |
| АКБ 40 кВтч на 4 уз | 43,2 морских миль | Без солнца; резерв 8 кВтч |

Новое требование 0,52 м и бюджет облегчения разобраны на страницах 31-32; моторный образец - на странице 33. Далее: новое сравнение обшивки, T11 и 72 В. Прежние весовые сценарии не соответствуют этому пределу. Геометрическая гидростатика уже доступна. Допустимое водоизмещение, большие углы GZ, повреждённая остойчивость, предельная волна и прочность конструкции ещё не установлены. Подтвердить их по одному большому начальному GM нельзя.

# 02 Что изменилось и как читать документ

| Изменение | Версия 3.0 |
|---|---|
| Миссия | Кругосветка и проход вокруг всех материков; полярный охват пока не определён |
| Люди | 2 постоянных, до 8 на переходах |
| Гидростатика | Вместо эллипсоидного аналога - реальные замкнутые поплавки |
| Мощность | Трение по измеренной смоченной поверхности и LWL; неопределённая полная добавка сохранена явно |
| Иллюстрации | Полная надстройка и крыша; мост и верхняя часть показаны совместно; схема систем |
| Автономность | Чувствительность к 30/60/90 суткам и отоплению; это не утверждённые сроки |
| Осадка | Новый предел 0,52 м; точный срез Ship, уменьшение прежних бюджетов |
| Моторный образец | Golden Motor HPM; номинал 72 В принят; другие исполнения сравнительные |
| Обшивка | 971 пакет; T11 3/2; сосна 8/8/8 с поворотом 45°; ФСФ/пена и стеклянные сэндвичи |

**Измерено** означает данные геометрии. **Рассчитано** означает результат формулы при указанных входах. **Условно** означает зависимость от назначенных масс, КПД или режима. Числа округлены для чтения; исходные таблицы CSV и JSON сохранены в базе проекта.

Начальные разделы объясняют миссию и узлы. Затем идут геометрия, масса, гидростатика, тяга, энергия, оборудование и конструкция. Заключительные разделы перечисляют расчёты, которые пока требуют исходных данных, и решения для следующей итерации. PDF имеет закладки разделов.

Численные сценарии основной части сохранены для сравнения. Новое распределение массы находится в дополнении; его энергетика и остойчивость потребуют дальнейшего расчёта. Отчёт не утверждает прохождение норм или пригодность к океанскому/ледовому плаванию. Это рабочая расчётная основа для дальнейшего проектирования, а не набор подтверждённых предельных характеристик.

# 03 Миссия: океан и все материки

Постоянный экипаж из двух людей задаёт требования к защищённому управлению, отдыху, автоматическому ограничению тяги и действиям одним человеком. Восемь человек на переходе требуют отдельного бюджета воды, продуктов, спальных мест, вентиляции и спасательных средств.

| Режим | Что требуется предусмотреть |
|---|---|
| Океанский переход | Непрерывная вахта; повторный запуск; управляемый депауэр; ограничения тяги на волне; резервный ход |
| Прибрежные участки / теснота | Уборка кайта заранее; манёвр при отказе одного мотора; короткий маршрут до укрытия |
| Удалённые районы | Ремонт без облака и подписок; инструмент; дублирование критичных датчиков, приводов и питания |
| Высокие широты, если включены | Теплопотери, холодная зарядка, обледенение, защита винтов/рулей, ледовые нагрузки и связь |

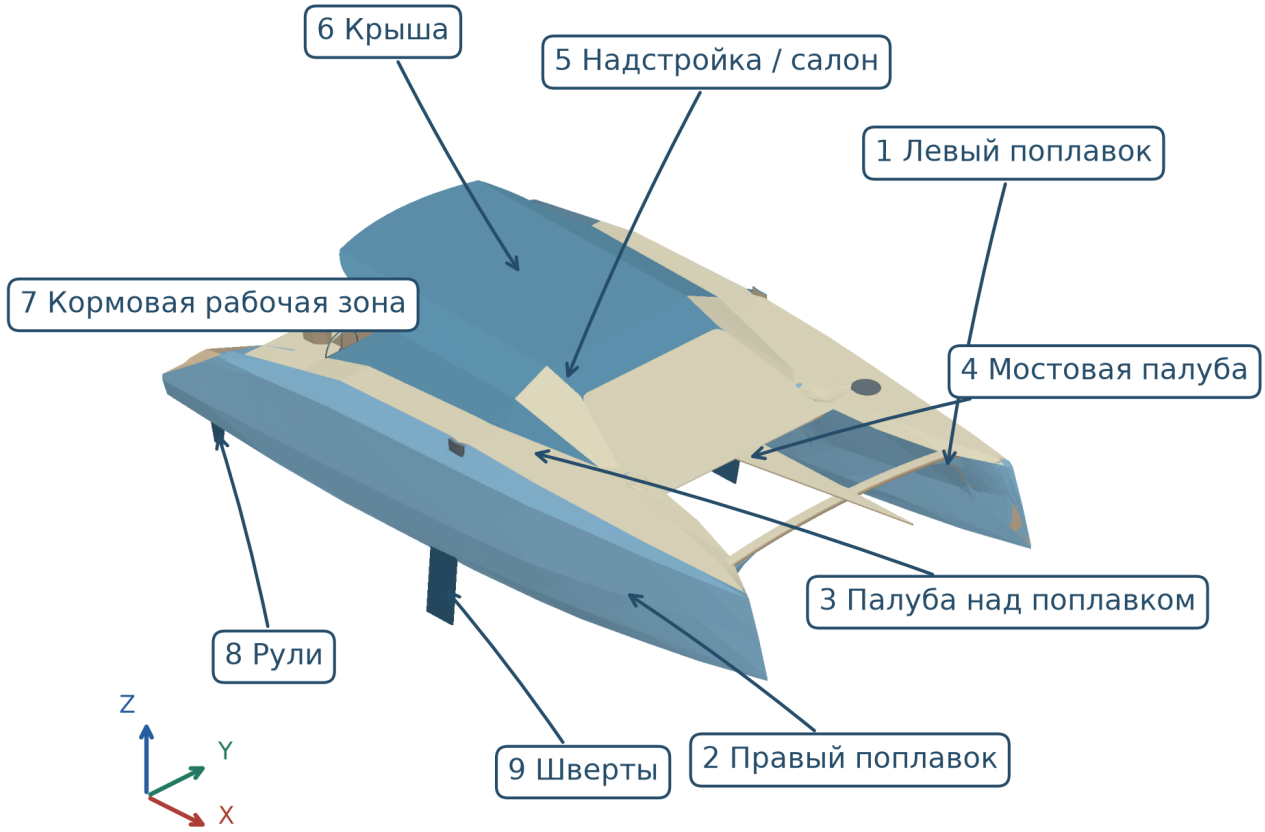
Обычный океанский катамаран и судно для взаимодействия со льдом имеют разные нагрузочные и эксплуатационные задачи. Обход материка в открытой воде и близкий маршрут вдоль ледового побережья нельзя считать одним сценарием.

IMO указывает дополнительные риски холода, льда, неполных навигационных данных и удалённости спасения [8]. Применимость обязательных требований к конкретному малому судну зависит от регистрации, размера и назначения; в этом отчёте юридическая категория не присваивается.

Маршрут и сезон пока неизвестны. Поэтому прогноз PV, ветровая доступность кайта, скорость продвижения и допустимые морские условия не выданы как доказанные характеристики кругосветного плавания.

# 04 Части катамарана: наружная сборка

## ECONA: части существующей сборки




Исходная CAD-геометрия: 13,6 м; ширина 7,398 м. Надстройка показана целиком.

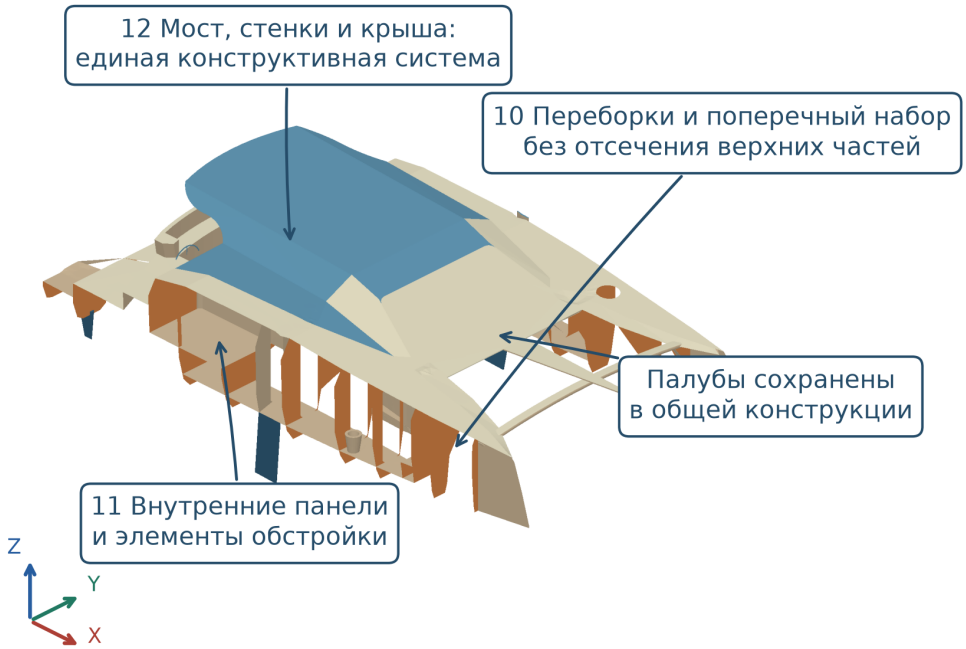
Выноски 1-9 относятся к существующей CAD-компоновке. Оси: X к носу, Y к левому борту, Z вверх. Часть целей находится за видимой поверхностью. Подписи дают назначение основных частей, а не строительные размеры.

| № | Часть | Задача |
|---|---|---|
| 1-2 | Левый и правый поплавки; обшивка | Плавучесть, форма, внешние нагрузки |
| 3 | Палубы поплавков | Проход, местная прочность и доступ |
| 4 | Мостовая палуба | Связь поплавков, рабочие/жилые зоны |
| 5-6 | Надстройка и крыша | Участие в передаче нагрузок моста; защита; основание PV |
| 7 | Кормовая рабочая зона | Управление, доступ и манёвры |
| 8-9 | Рули и шверты по геометрии | Курс и противодействие боковой тяге |

# 05 Конструкция моста и надстройки целиком

## Мост и надстройка: общая конструктивная геометрия

Скрыта только обшивка поплавков и оборудование. Крыша, стенки и палубы сохранены.




Исходная CAD-геометрия: 13,6 м; ширина 7,398 м. Надстройка показана целиком.

Скрыты только обшивка поплавков и оборудование. Надстройка, крыша, палубы, внутренние панели и все верхние части поперечного набора сохранены без высотного отсечения. Материалы, толщины и соединения ещё не заданы.

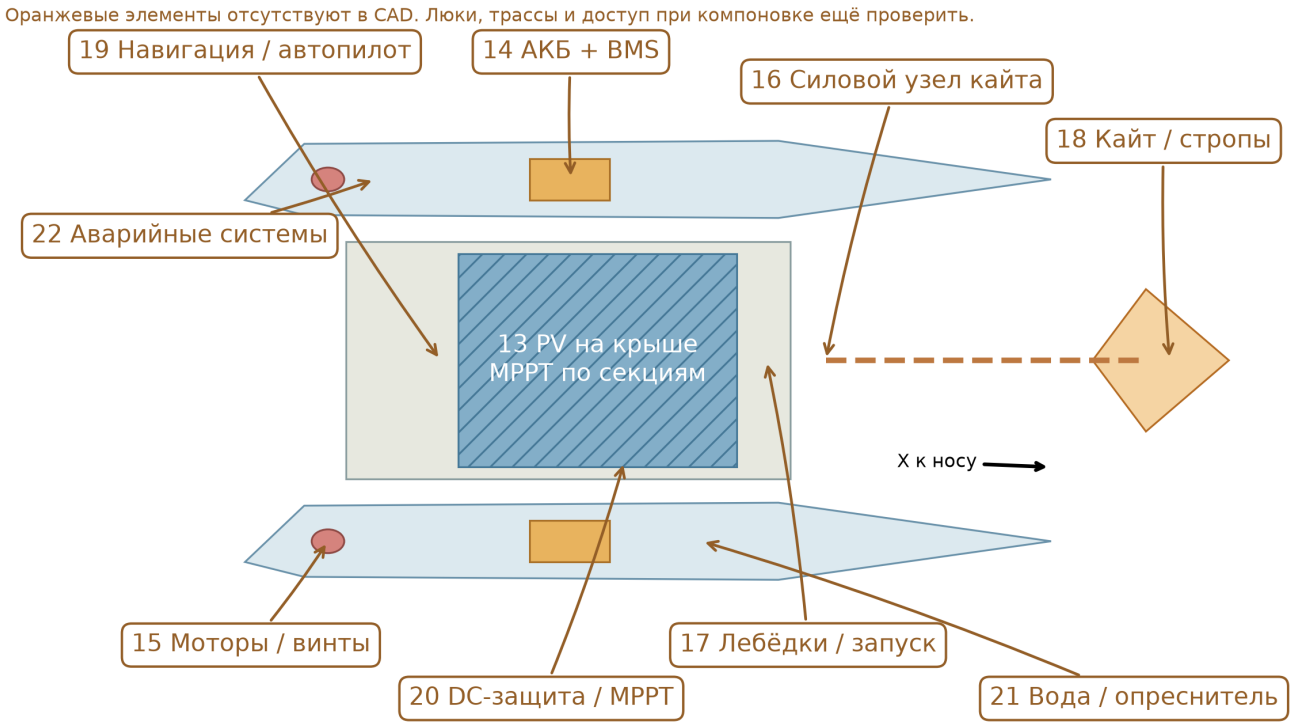
| № | Часть | Проверить далее |
|---|---|---|
| 10 | Поперечные детали / переборки | Шаг, проёмы, соединения, передача сил |
| 11 | Внутренние панели и обстройка | Что несёт нагрузку; что является мебелью |
| 12 | Мост, стенки и крыша надстройки | Совместная передача изгиба и кручения; соединения; силовой путь кайта |

CAD содержит 126 геометрических частей в группах обшивки, палуб, надстройки, внутренних деталей, поперечного набора, выступающих частей и оборудования. Семантических данных недостаточно, чтобы назвать каждый Surface строительной деталью. Для ведомости изготовления нужны марки деталей и связи с чертежами.

Верхняя часть надстройки включается в общую силовую систему моста. В FEM сохранять стенки, крышу и верхние части переборок, задавая реальные соединения. Их вклад в жёсткость и усилия предстоит вычислить; эта иллюстрация не заменяет расчёт прочности.

# 06 Части катамарана: новые системы

## Предлагаемые системы: размещение для обсуждения




Выноски 13-22 - проектная схема. Оранжевое оборудование отсутствует в CAD; координаты, трассы и габариты ещё не утверждены. Размер кайта условный.

| № | Узел | Содержание |
|---|---|---|
| 13-14 | Солнце и накопитель | PV; MPPT; LiFePO4; BMS; разделение банков |
| 15 | Электрическая тяга | BLDC/PMSM, контроллеры, винты, охлаждение |
| 16-18 | Кайтовая установка | Силовой узел, лебёдки, запуск, стропы, кайт |
| 19-20 | Управление и питание | OpenCPN, Signal K, pypilot; DC/DC и защита |
| 21-22 | Автономность и аварийные функции | Вода, опреснитель, связь, осушение и спасение |

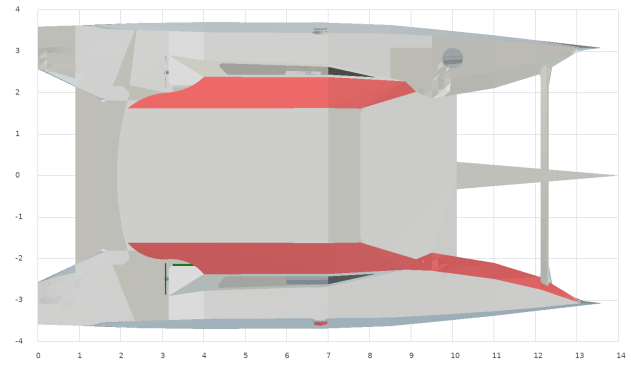
Нужны также датчики натяжения, ветра и движения, локальный контроллер полёта, ручной приоритет, отдельное аварийное питание, доступ к предохранителям и точки подъёма/ремонта моторов. Их функции описаны далее; монтаж ещё не выполнен.

# 07 Проекции и размерная сетка

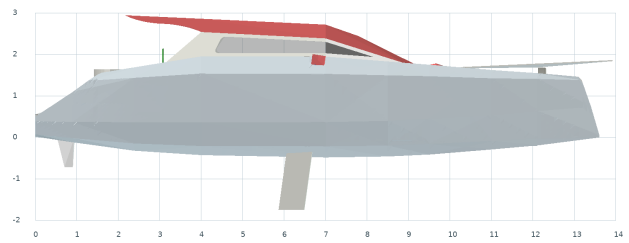
ECONA / ARROW 1360 — подогнанная компоновка

Корпуса 13,600 м · ширина 7,398 м · шаг сетки 1 м · отметки на сетке в метрах

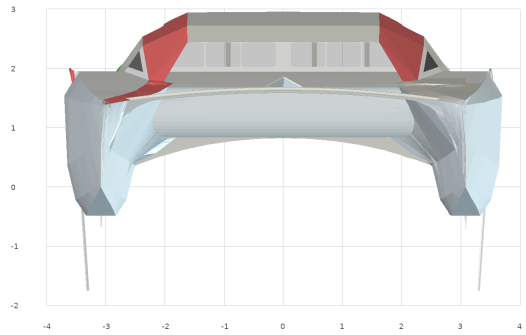
Вид сверху · X–Y



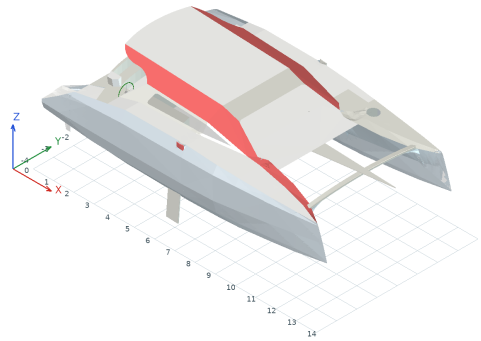
Вид сбоку · X–Z



Вид с носа · Y–Z



Аксонометрия · оси направлений X, Y, Z



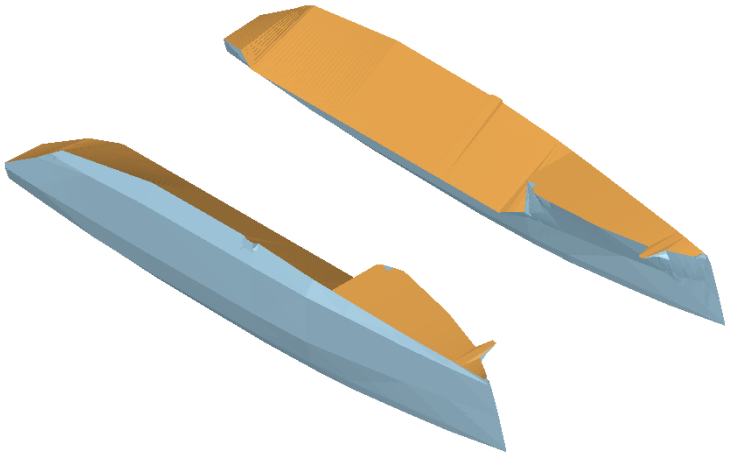

X — к носу; Y — к левому борту; Z — вверх. Z=0 — исходная отметка, не назначенная ватерлиния.

Существующая компоновка: три вида и аксонометрия, размерная сетка 1 м. X к носу, Y к левому борту, Z вверх. Физическое оборудование кайта и электропривода ещё не размещено.

| Размер | Текущая геометрия |
|---|---|
| Длина поплавков / всей сборки | 13,600 / 13,917 м |
| Максимальная ширина обшивок | 7,398 м |
| Площадь обшивки двух поплавков | 116,01 м²; не смоченная поверхность |
| Крыша над килем обшивки | Максимальная отметка около 3,440 м |

В сборке исходный Z не является ватерлинией. Расчётное преобразование в мм: Xcalc=Xsource-6800; Ycalc=Ysource; Zcalc=Zsource+486,100006. При переносе грузов и инерций применять то же преобразование.

# 08 Геометрия и условное замыкание

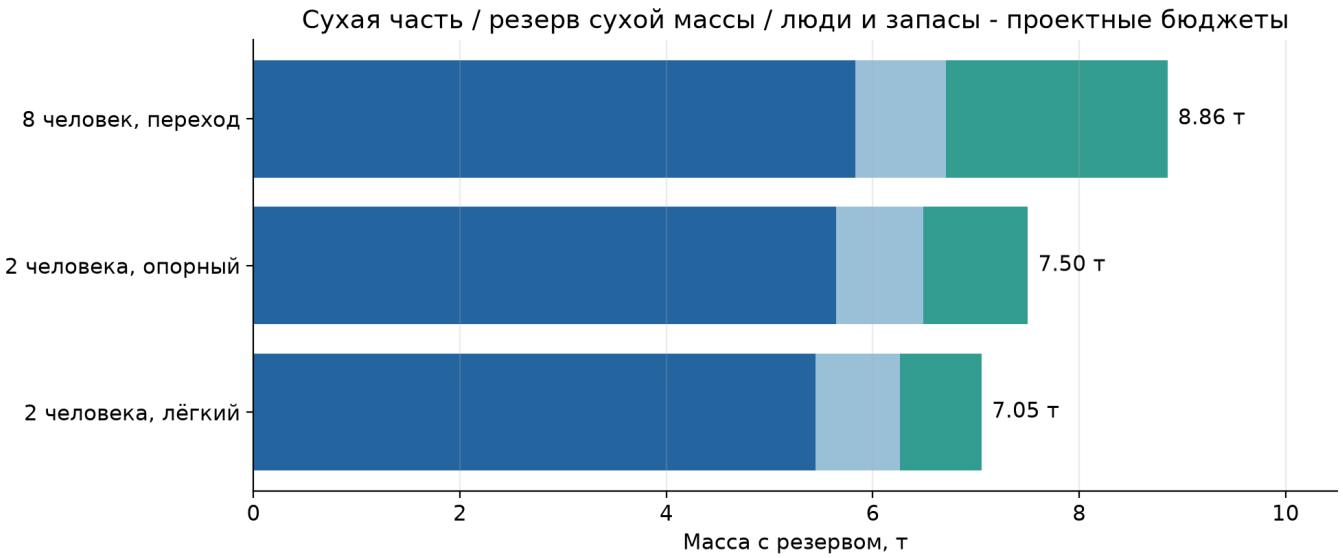


Расчётная модель: синяя обшивка и оранжевые замыкающие поверхности. Верхние крышки замыкают объём для гидростатики; они не являются подтверждённой палубой.

| Параметр | Значение |
|---|---|
| Solid / грани на поплавок | 2 / 19 140 плоских граней |
| Полный замкнутый объём на поплавок | 25,216819 м³; не допустимая загрузка |
| Максимальная регуляризация вершин | 0,004883 мм; без сглаживания обводов |
| Нижняя точка условной верхней крышки | Z=0,926000 м над килем обшивки |
| Отсчёт осадки | От нижней точки обшивки; без швертов |
| Система координат | X=0 в середине длины 13,6 м; Lpp не назначена |

Гидростатика при прямой посадке рассчитана ниже всех верхних крышек. При крене/дифференте их погружение надо проверять отдельно. Приход воды в проёмы и затопление отсеков требуют действительных непроницаемых границ.

# 09 Прежние весовые состояния: 2 и 8 человек




Все массы - бюджеты. Срок продуктов 30 суток используется для сравнения; срок автономности пользователь ещё не утвердил.

| Условный вариант | 2 лёгкий | 2 опорный | 8 на переходе |
|---|---|---|---|
| АКБ, кВтч | 20 | 40 | 60 |
| Вода, кг | 300 | 400 | 600 |
| Продукты, кг | 60 | 60 | 240 |
| Люди с непосредственным снаряжением, кг | 180 | 180 | 720 |
| Запчасти / другой багаж, кг | 150 / 100 | 250 / 120 | 350 / 240 |
| Полная масса, т | 7,05 | 7,50 | 8,86 |

Вариант для восьми одновременно включает увеличенные АКБ, воду и запасы. Разность с опорным вариантом нельзя приписывать только пассажирам. Если оставить оборудование и запасы одинаковыми, ещё шесть людей дают +540 кг; 30 суток их продуктов добавляют +180 кг.

Все три прежних бюджета превышают новое требование осадки 0,52 м. Новый вариант облегчения - на страницах 31-32. Масса ECONA из буклета не принята за массу порожнем ECONA или предел полной загрузки. Для фактической посадки нужна весовая ведомость с координатами X, Y, Z, а затем согласование LCG с центром величины.

# 10 Прежняя опорная весовая ведомость

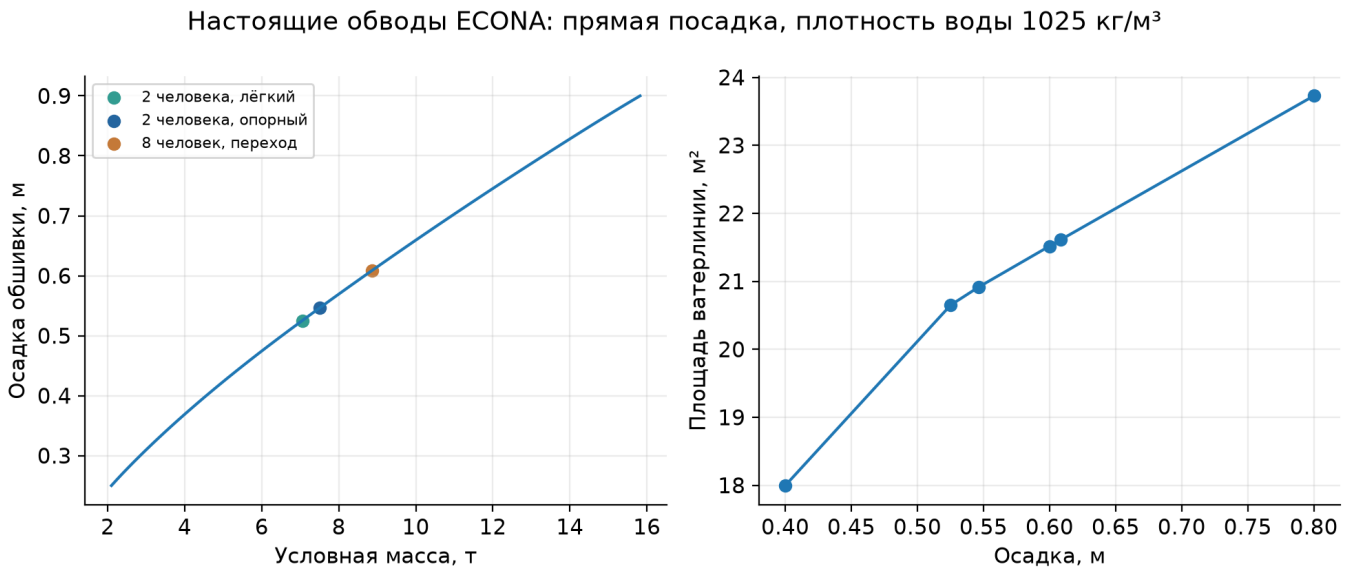
| Статья | Масса, кг | Назначенная высота, м |
|---|---|---|
| Корпус и мост | 3200 | 0,80 |
| Интерьер | 850 | 1,10 |
| Судовые системы | 450 | 1,20 |
| Кайт и запуск | 250 | 1,00 |
| Моторы и движители | 200 | 0,30 |
| Распределение энергии | 150 | 0,60 |
| PV с креплениями | 197 | 3,40 |
| Банк АКБ | 348 | 0,40 |
| Резерв массы сухой части | 847 | 1,00 |
| Люди и непосредственное снаряжение | 180 | 1,60 |
| Вода | 400 | 0,35 |
| Продукты на 30 суток | 60 | 0,50 |
| Запчасти и инструмент | 250 | 0,50 |
| Прочий багаж | 120 | 0,80 |

Высоты отсчитаны от киля расчётных поплавков. Они служат сравнению размещения, а не измеренным координатам готового оборудования. Условный KG=0,903 м. Горизонтальные координаты и инерции ещё не назначены.

Резерв 15% относится к сухой части. Вода здесь как груз без конкретной геометрии танков; поправки от свободных поверхностей и массы стенок танков отдельно не подтверждены.

Следующая версия ведомости должна вычисляться по материалам, толщине панелей, крепежу, трубам и выбранным компонентам. Нынешние 3200 кг корпуса и моста - распределение бюджета.

# 11 Гидростатические кривые настоящих обводов



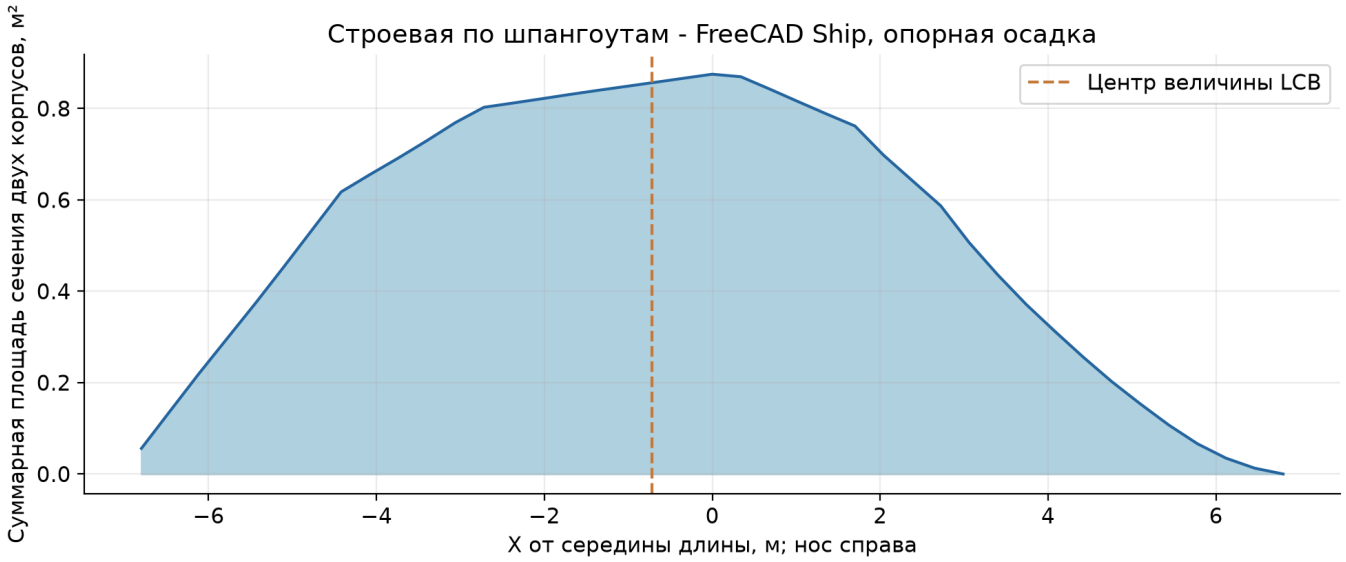

Прямая посадка без крена и дифферента. Кривая масса-осадка интегрирована независимо; отмеченные состояния и площади ватерлинии проверены FreeCAD Ship.

| Параметр | 2 лёгкий | 2 опорный | 8 переход |
|---|---|---|---|
| Осадка T, м | 0,525 | 0,546 | 0,608 |
| Объём ∇, м³ | 6,882 | 7,319 | 8,640 |
| Awp, м² | 20,65 | 20,91 | 21,61 |
| LWL по ватерлинии, м | 13,600 | 13,598 | 13,579 |
| KB, м | 0,325 | 0,338 | 0,374 |
| LCB от середины длины, м | -0,695 | -0,722 | -0,789 |

LCB отрицательный: центр величины смещён к корме. Равновесная прямая посадка требует соответствующего LCG; при другом LCG возникнет дифферент. Точное равновесие с фактическими грузами ещё не рассчитано. Указанная осадка относится только к обшивке.

Шверты в текущем нижнем положении выступают приблизительно на 1,267 м ниже киля обшивки. Геометрический габарит по ним в опорном состоянии около 1,81 м; это не подтверждённая минимальная глубина прохода.

# 12 Строевая по шпангоутам и проверки




Сумма площадей сечений двух поплавков. Родной AreasCurve предполагает ноль на концах; погружённый транец учтён отдельным односторонним сечением.

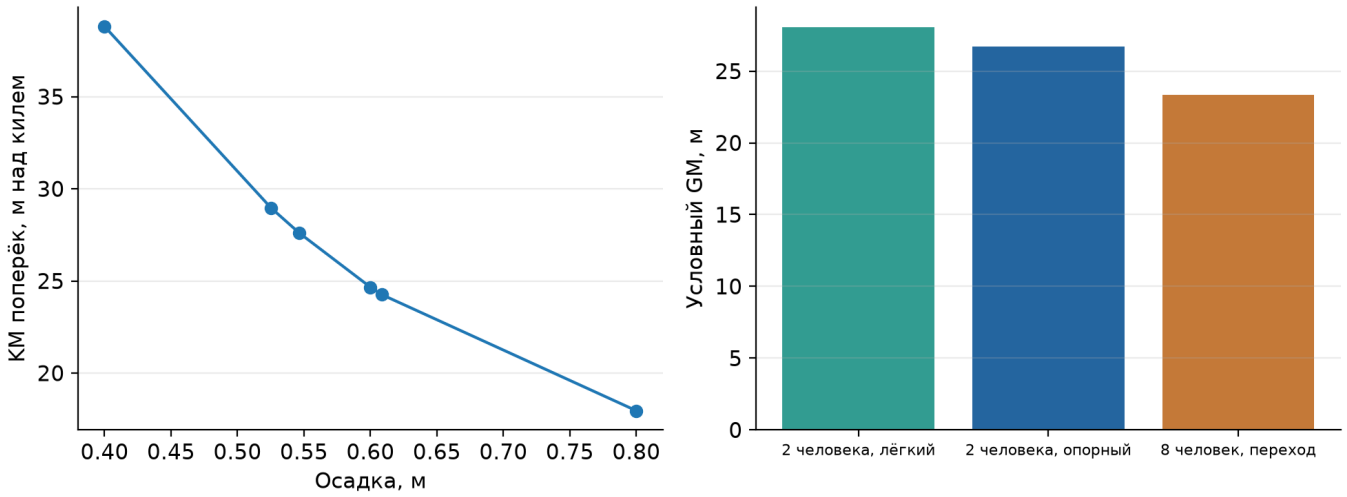
| Проверка | Результат |
|---|---|
| Вертикальные осадки FreeCAD Ship | 0,400, 0,525, 0,546, 0,600, 0,608, 0,800 м |
| Число раздельных ватерлиний | 2 валидные Face в каждом состоянии |
| Интеграл 41 станции, м³ | 7,3186 |
| Точный объём Solid, м³ | 7,3191 |
| Разность интеграла строевой | 0,007% |
| Сопоставление ∇, KB, LCB, Awp | Независимое отсечение треугольников; сохранены ошибки |

Оба поплавка зеркальны; TCB практически нулевой. В инерции ватерлинии учтён перенос каждой раздельной площади к общему центру. Так учитывается большая база катамарана, которую нельзя потерять при сложении отдельных корпусов.

Полный BOP-поиск самопересечений не выполнен. Результаты прошли проверку замкнутости, положительного объёма, сохранения/повторного чтения и конкретных подводных отсечений. Рандомное смещение ватерлинии при ошибках отключено.

# 13 Начальная остойчивость и изменение посадки

KM измерен по геометрии; GM зависит от назначенного KG и свободных поверхностей




KM = KB + BM. GM = KM - KG приведён только при назначенных высотах грузов; свободные поверхности не вычтены.

| Параметр | 2 лёгкий | 2 опорный | 8 переход |
|---|---|---|---|
| BMt, м | 28,64 | 27,28 | 23,89 |
| Условный KG, м | 0,920 | 0,903 | 0,912 |
| Условный GMt, м | 28,05 | 26,71 | 23,35 |
| TPC, кг на 1 см | 211,7 | 214,4 | 221,5 |
| Условный MCT 1 см, кН·м | 1,62 | 1,65 | 1,71 |

В опорном состоянии +1000 кг дают приблизительно 4,7 см дополнительной осадки в линейном приближении. TPC и KM - геометрические данные. GM и MCT зависят от неизвестных фактических масс и положения ЦТ.

Большой начальный GM не определяет угол опрокидывания, возможность возвращения из перевёрнутого состояния или допустимую тягу кайта. Полная GZ пока не представлена: действительные CG, проёмы и непроницаемые границы отсутствуют.

# 14 Что надо проверить для GZ и повреждения

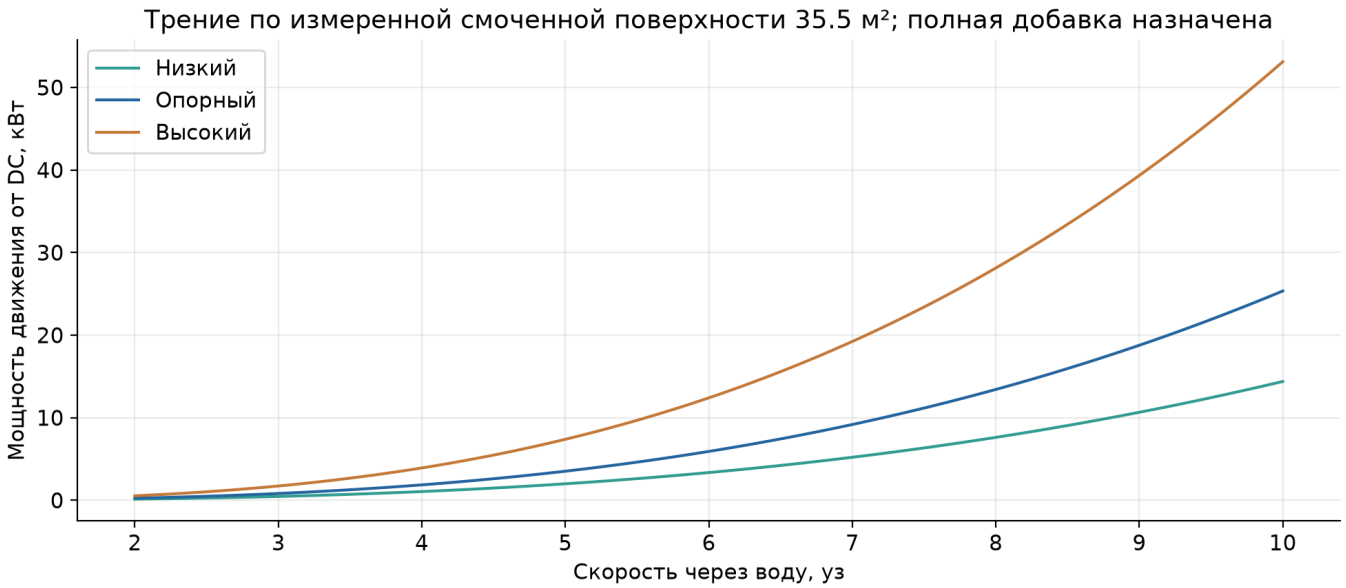
Полная статическая остойчивость требует равновесия в каждой точке крена. У нас пока нет действительной весовой ведомости, танков с уровнями, подтверждённых входов воды и закрытия верхних объёмов. Поэтому Ship GZ и SinkAndTrim для окончательного судна не запускались с выдуманными входами.

| Состояние | Нужные данные и результат |
|---|---|
| 2 / 8 человек, полные и минимальные запасы | Массы и CG; равновесная осадка, дифферент, GZ |
| Люди на одном борту | Координаты палуб и перемещений; угол и остаточный резерв |
| Танки частично заполнены | Геометрия, плотность, уровни; поправки свободных поверхностей |
| Повреждён один отсек | Непроницаемые переборки, перетоки, проёмы, аварийная посадка |
| Кайт тянет вверх и вбок | Связанный вектор сил и моментов; новая посадка |
| Переворот и эвакуация | Плавучесть перевёрнутой схемы; аварийные люки и доступ |

ISO 12217-2 рассматривает оценку остойчивости и плавучести малых парусных судов; доступная карточка отдельно ограничивает эффекты буксировки [7]. Применимость к кайтовой установке и выбор нужной части стандарта требуют отдельного решения; отчёт не объявляет категорию A.

При достижении условной крышки расчётный объём может перестать соответствовать реальной плавучести. Угол заливания нельзя получать из такого замыкания автоматически.

# 15 Сопротивление и электрическая мощность



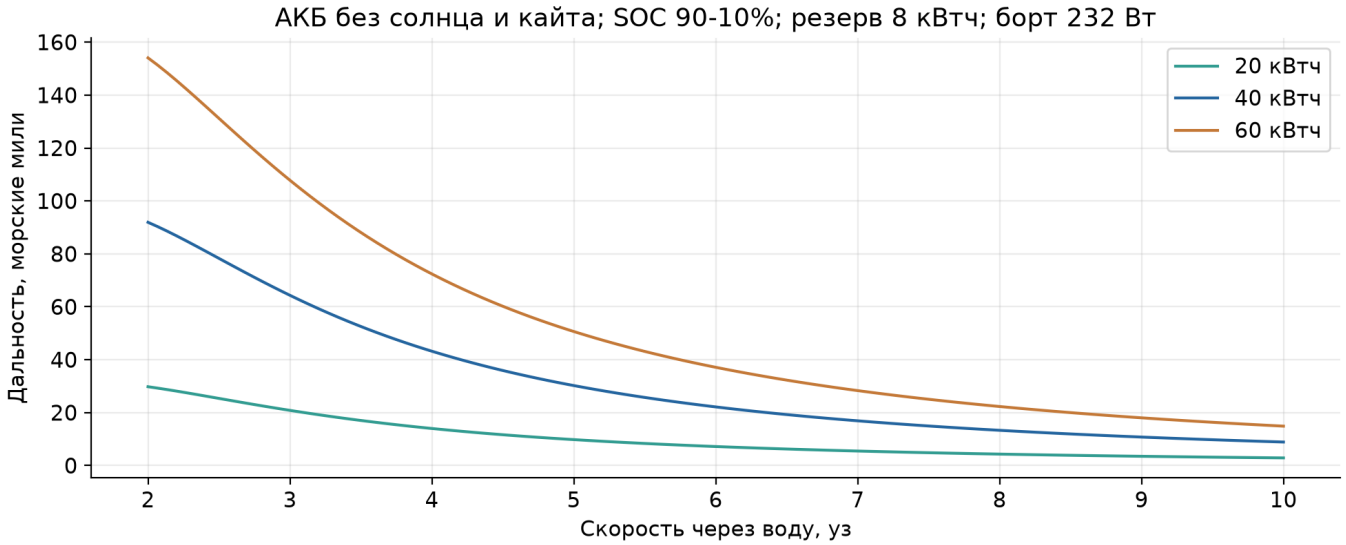

ITTC-57 описывает трение. Полное сопротивление = трение × 1,6 / 2,5 / 4; DC-эффективность 0,62 / 0,55 / 0,42 - назначенные сценарии [3].

| Скорость, уз | Fn | DC низк. / опорн. / высок., кВт |
|---|---|---|
| 4 | 0,178 | 1,1 / 1,9 / 3,9 |
| 5 | 0,223 | 2,0 / 3,5 / 7,4 |
| 6 | 0,267 | 3,4 / 5,9 / 12,4 |
| 7 | 0,312 | 5,2 / 9,2 / 19,2 |
| 8 | 0,356 | 7,6 / 13,4 / 28,1 |
| 10 | 0,445 | 14,4 / 25,4 / 53,1 |

Опорная LWL=13,598 м. Смоченная поверхность для формулы трения S=35,48 м² взята из точного независимого отсечения обшивки и транца. Выступающие части и воздушное сопротивление не измерены отдельно: их эффект входит в назначенную добавку.

Волновое сопротивление, взаимодействие корпусов и эффективность винтов ещё не подтверждены. Кривая не является CFD или испытательной характеристикой. Методы Holtrop/Savitsky/Blount-Fox не применены без доказанной применимости к этим узким поплавкам.

# 16 АКБ и дальность без кайта




Один опорный режим массы для сравнения АКБ. Массовая обратная связь при увеличении банка здесь не включена; ветер, течение и волна отсутствуют.

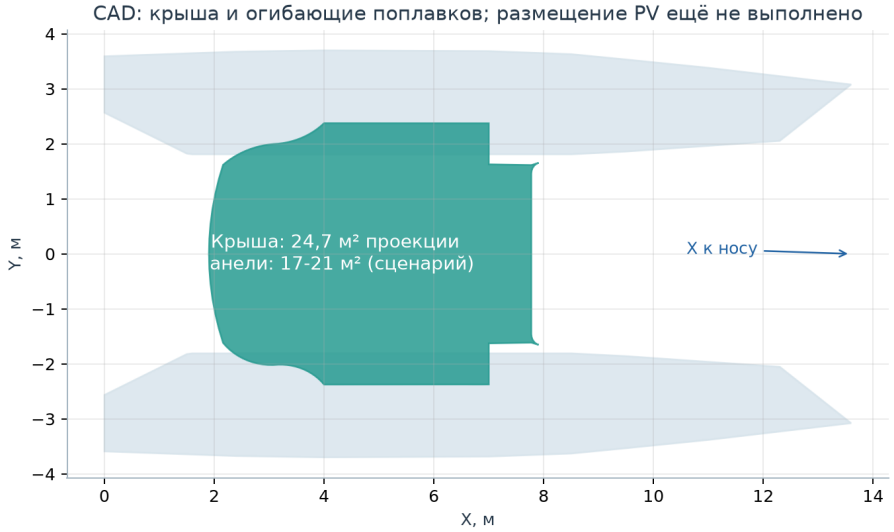
| АКБ, кВтч | 4 уз: мили / часы | 7 уз: мили / часы | 10 уз: мили / часы |
|---|---|---|---|
| 20 | 14,0 / 3,5 | 5,5 / 0,8 | 2,9 / 0,3 |
| 40 | 43,2 / 10,8 | 16,9 / 2,4 | 8,9 / 0,9 |
| 60 | 72,4 / 18,1 | 28,3 / 4,0 | 14,9 / 1,5 |

Рабочий SOC: 90-10%; КПД разряда 96%; резерв на DC-шине 8 кВтч; бортовая нагрузка 232 Вт. У банка 40 кВтч после этих ограничений остаётся 22,72 кВтч на обычную задачу. Номинальная ёмкость сама по себе не означает такой же запас на движение.

| Банк | Масса при 115 Втч/кг | Влияние |
|---|---|---|
| 20 кВтч | 174 кг | Каждые +20 кВтч ≈ +174 кг |
| 40 кВтч | 348 кг | Каждые +20 кВтч ≈ +174 кг |
| 60 кВтч | 522 кг | Каждые +20 кВтч ≈ +174 кг |

Нужно задать обязательную дальность и скорость манёвра/выхода к укрытию без кайта, затем выбирать банк. Резерв 8 кВтч - прежняя рабочая гипотеза, ещё не утверждённое аварийное требование.

# 17 Солнечная крыша и суточная энергия




Измеренная проекция выборки крыши 24,68 м². Не готовая раскладка прямоугольных модулей.

| Использование крыши | Активная PV, м² | STC, кВт пик |
|---|---|---|
| 70% | 17,28 | 3,80 |
| 80% | 19,74 | 4,34 |
| 85% | 20,98 | 4,62 |

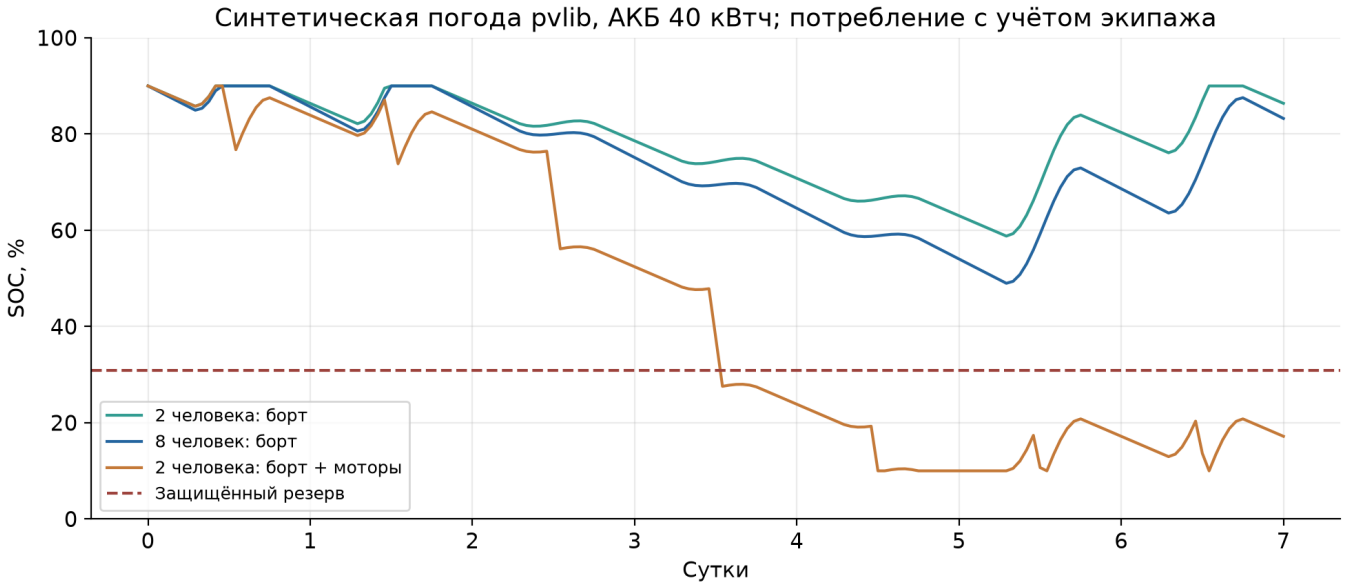
| Облучение, кВтч/м²/сут | PV на шине, кВтч/сут | После бортовых 5,56 кВтч |
|---|---|---|
| 0,8 | 2,6 | -3,0 |
| 2,0 | 6,5 | 1,0 |
| 4,0 | 13,0 | 7,5 |
| 6,0 | 19,5 | 14,0 |

Бортовой бюджет: прежние прочие нагрузки 5,2 кВтч/сутки плюс опреснение 0,36 для 2 или 1,44 для 8 людей. Готовка и вентиляция для восьми требуют отдельного уточнения.

КПД STC 22%; общий PR=0,75. Облучение назначено, а не взято с маршрута. При H=4 остаётся 7,47 кВтч/сутки: примерно 0,81 часа на 7 уз или 3,99 часа на 4 уз, до дополнительных потерь через накопитель.

Для маршрута нужен pvlib с положением, временем, наклоном, температурой, затенением и движением судна. Крыша должна сохранять люки, водоотвод, крепления и ремонтный доступ [4].

# 18 Почасовой баланс и резерв




7 суток: H=[4; 4; 0,8; 0,8; 0,8; 4; 4]; АКБ 40 кВтч. Генерация рассчитана pvlib для синтетической погоды, не маршрута.

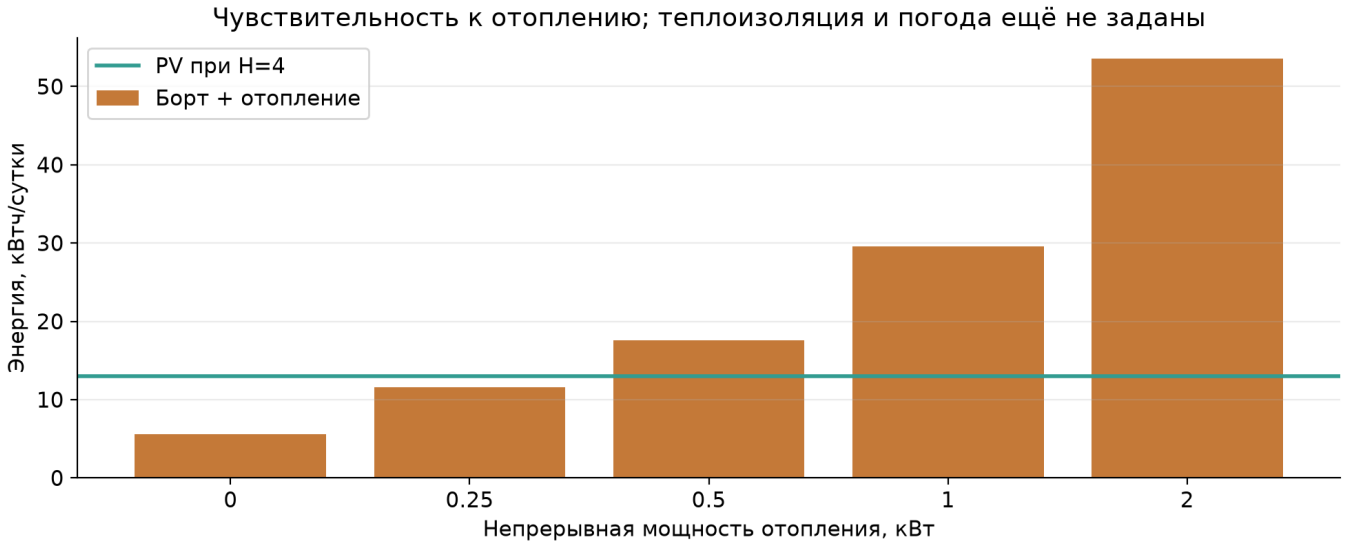
| Сценарий | Минимум SOC | Не покрыто, кВтч |
|---|---|---|
| 2 человека: борт | 58,8% | 0,00 |
| 8 человек: борт | 49,0% | 0,00 |
| 2 человека: борт + моторы | 10,0% | 10,66 |

Бортовой бюджет 5,56 кВтч/сутки для 2 и 6,64 для 8 людей. Здесь меняется только опреснение; прочие 5,2 кВтч пока фиксированы. Моторный сценарий дополнительно запрашивает 4 кВт по 2 часа каждый день; такой график не назначен пользователем.

Непокрытая энергия - запрос потребителей после исчерпания нижнего SOC, а не отрицательная энергия в батарее. Модель сначала расходует весь SOC до 10%; пунктир показывает, когда расход начинает затрагивать резерв 8 кВтч. Реальный контроллер должен запретить обычную тягу раньше.

Одного положительного среднего за неделю недостаточно: проверять самый длинный дефицит, старение банка, холод, затенение и отказы. Погодную последовательность заменить маршрутной после выбора пути и сезонов.

# 19 Ночи, облачность и холод




H=4 кВтч/м²/сутки; PV=13,03 кВтч/сутки. Постоянное тепло добавляется к бортовым 5,56 кВтч. Требуемая тепловая мощность пока неизвестна.

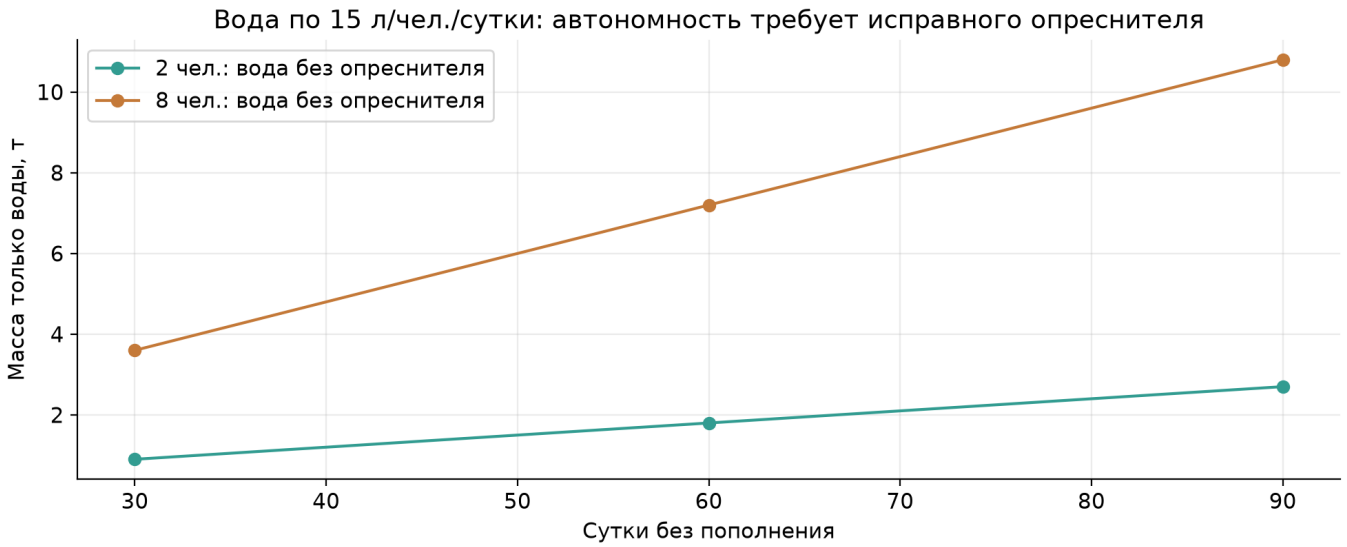
| Постоянное отопление | Добавка, кВтч/сут | Весь борт, кВтч/сут | Дефицит при H=4 |
|---|---|---|---|
| 0,25 кВт | 6 | 12 | -1,5 |
| 0,50 кВт | 12 | 18 | 4,5 |
| 1,00 кВт | 24 | 30 | 16,5 |
| 2,00 кВт | 48 | 54 | 40,5 |

Сценарий 0,5 кВт непрерывного электрического отопления добавляет 12 кВтч/сутки. Это чувствительность, не расчёт теплопотерь конкретного салона. Нужны теплоизоляция, площадь остекления, инфильтрация, наружная температура и желаемый режим обогрева.

Паспорт рассмотренного LiFePO4-компонента Victron NG допускает зарядку в диапазоне +5…+50 °C с управлением BMS [5]. Другие батареи имеют свои пределы. Для холодных районов предусмотреть температурный контроль и учитывать энергию подогрева.

Защищённые нагрузки должны переживать потерю солнечной выработки и аварийное отключение тяговой ветви. Проверить отдельное питание связи, управления и аварийного осушения.

# 20 Вода, продукты и длительность автономности



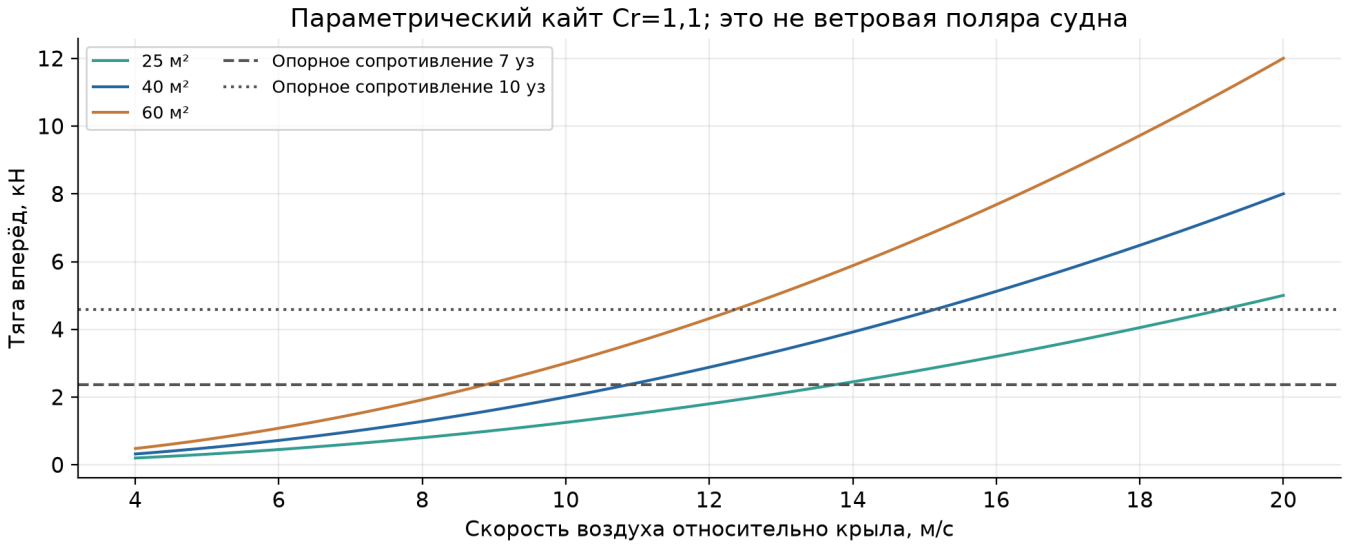

15 л/чел./сутки - расходная гипотеза, включая ограниченные бытовые нужды. Рацион и потребление воды ещё не утверждены.

| Параметр | 2 человека | 8 человек |
|---|---|---|
| Вода в сутки | 30 л | 120 л |
| 400 л без производства | 13,3 суток | 3,3 суток |
| Опреснение при 12 Втч/л | 0,36 кВтч/сут | 1,44 кВтч/сут |
| Продукты на 30 / 60 / 90 суток | 60 / 120 / 180 кг | 240 / 480 / 720 кг |
| Вода на 30 суток без опреснителя | 900 кг | 3600 кг |

Опреснитель снижает потребность в перевозимой воде, но требует энергии, фильтров, обслуживания и пригодной воды на входе. Запас питьевой воды на отказ назначить отдельно. Продукты заложены по 1 кг/чел./сутки как весовая гипотеза; это не разработанный рацион.

Автономность без пополнения конечна: продукты, мембраны, стропы, покрытия, подшипники и электронные компоненты расходуются. Цель проекта - измеримый срок и ремонт собственными средствами; число суток требуется выбрать.

# 21 Кайт: площадь, тяга и ограничения




Тяга по T=½ρA Cr V². Cr=1,1; подъём троса 35°, азимут 25°. V - воздух относительно крыла, а не истинный ветер над судном [6].

| Оценка | Значение |
|---|---|
| Проекция тяги вперёд | 74,2% полного натяжения |
| Площадь для 7 уз при локальных 12 м/с | 19,5 м², опорное сопротивление |
| Площадь для 10 уз при локальных 12 м/с | 37,6 м², опорное сопротивление |
| Рост скорости воздуха ×1,5 | Натяжение ×2,25 в этой формуле |
| Стропа 200 м при 35° | Высота 114,7 м; горизонтальная дальность 163,8 м |

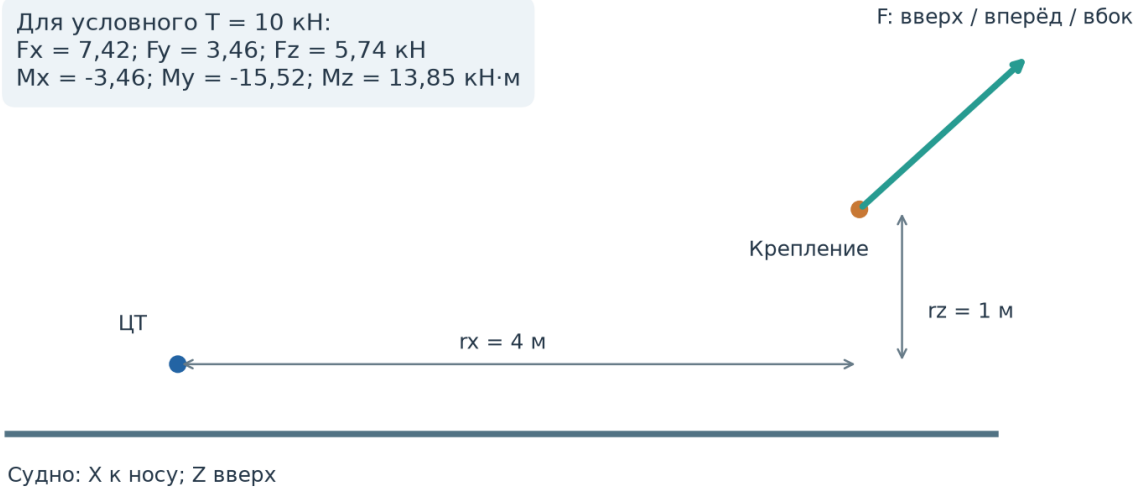
Кандидаты 25/40/60 м² не являются выбранным комплектом. Нужны аэродинамические данные, реальные режимы запуска/возврата, минимальная тяга при полёте, сопротивление строп и динамика движущегося основания.

Регулятор должен оптимизировать продвижение к цели с ограничениями натяжения, крена, дифферента и SOC. Максимальная тяга сама по себе не гарантирует максимальную полезную скорость.

# 22 Кайт: сила и моменты на катамаране

Точка крепления определяет кренящий, дифферентующий и рыскательный моменты

Для условного T = 10 кН:
Fx = 7,42; Fy = 3,46; Fz = 5,74 кН
Mx = -3,46; My = -15,52; Mz = 13,85 кН·м




Пример: r=(4;0;1) м относительно ЦТ, полное натяжение 10 кН. Координаты узла и нагрузка условные.

| Компонента | При 10 кН | При 20 / 30 кН |
|---|---|---|
| Fx вперёд | 7,42 кН | 14,85 / 22,27 кН |
| Fy вбок | 3,46 кН | 6,92 / 10,39 кН |
| Fz вверх | 5,74 кН | 11,47 / 17,21 кН |
| Mx / My / Mz | -3,46 / -15,52 / 13,85 кН·м | Линейно ×2 / ×3 |

Подъёмная сила 5,74 кН эквивалентна снижению опорной нагрузки на воду примерно на 585 кг, если остальные вертикальные силы неизменны. Посадка меняется вместе с моментами; нельзя добавлять кайт только как горизонтальный толчок.

Линейное начальное сравнение при 5° даёт условный восстанавливающий момент 171 кН·м. Это не допускаемая нагрузка узла и не запас до опрокидывания. Рывки и волна требуют временного расчёта.

Возврат троса под 10 кН на 200 м при КПД 80% требует около 0,69 кВтч; при 0,5 м/с - 6,25 кВт. Проектировать штатный возврат через депауэр и отдельно отказовый режим.

# 23 Моторы, винты и охлаждение

| Условный режим одного мотора | Момент | Тепло при КПД 92% |
|---|---|---|
| 10 кВт; 900 об/мин | 106 Н·м | 0,87 кВт |
| 10 кВт; 1500 об/мин | 64 Н·м | 0,87 кВт |
| 15 кВт; 900 об/мин | 159 Н·м | 1,30 кВт |
| 15 кВт; 1500 об/мин | 95 Н·м | 1,30 кВт |
| 20 кВт; 900 об/мин | 212 Н·м | 1,74 кВт |
| 20 кВт; 1500 об/мин | 127 Н·м | 1,74 кВт |

Обсуждаемый диапазон общей DC-мощности 20-40 кВт не выбран как окончательный. На 10 уз опорный сценарий требует 25,4 кВт, а высокий - 53,1 кВт. Сначала подтвердить сопротивление и обязательную задачу без кайта.

## Что считать для BLDC/PMSM

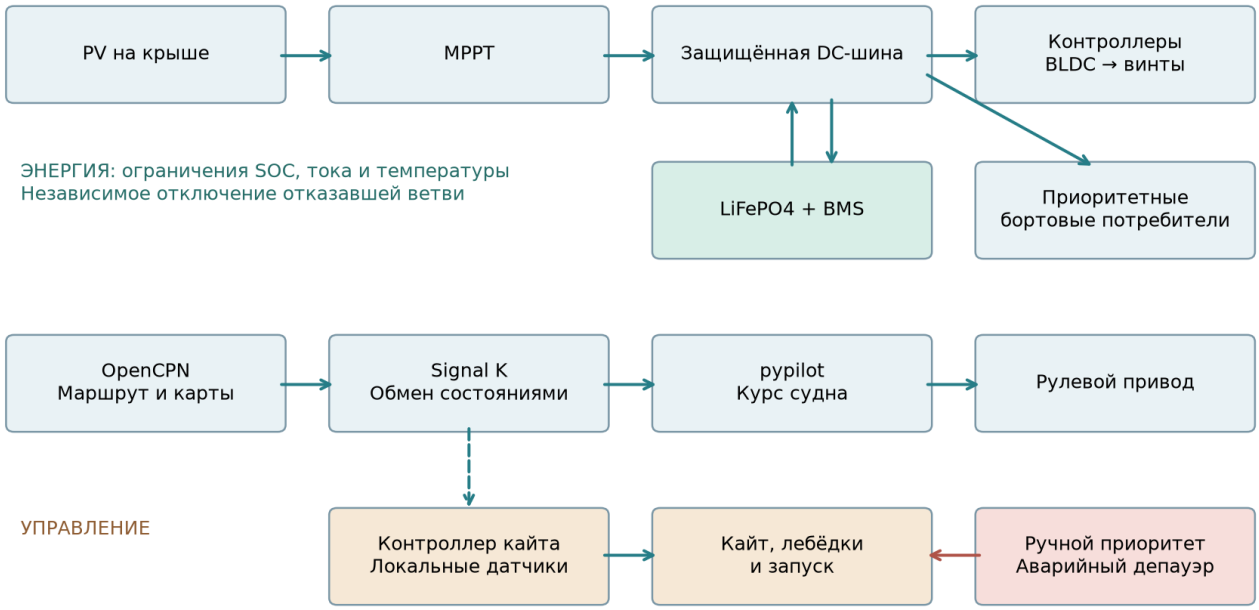
Полюса, пазовая схема, ЭДС, ток, момент, магнитное насыщение, потери стали/меди, тепловой режим, подшипники, коррозия, герметизация, балансировка и ресурс. PYLEECAN/FEMM/GetDP пока дают расчётный стенд; рабочего проекта нашего мотора нет.

Принятый пользователем образец Golden Motor HPM разобран на странице 33. Пробные 900/1500 об/мин в этой таблице не являются паспортом HPM-20KW. Номинал моторной системы 72 В принят пользователем; число ячеек АКБ, редуктор и длительный режим ещё не выбраны.

Винт нельзя выбирать только по мощности. Нужны J, KT/KQ, кавитация, диаметр/шаг, зазор, положение, подъём или сервис, обратный ход и режим одного мотора. Рассмотренные D=0,45 м и 900 об/мин - пробные значения.

# 24 Силовое питание и навигационная архитектура

Предлагаемая архитектура ECONA: силовые цепи и локальные контуры управления



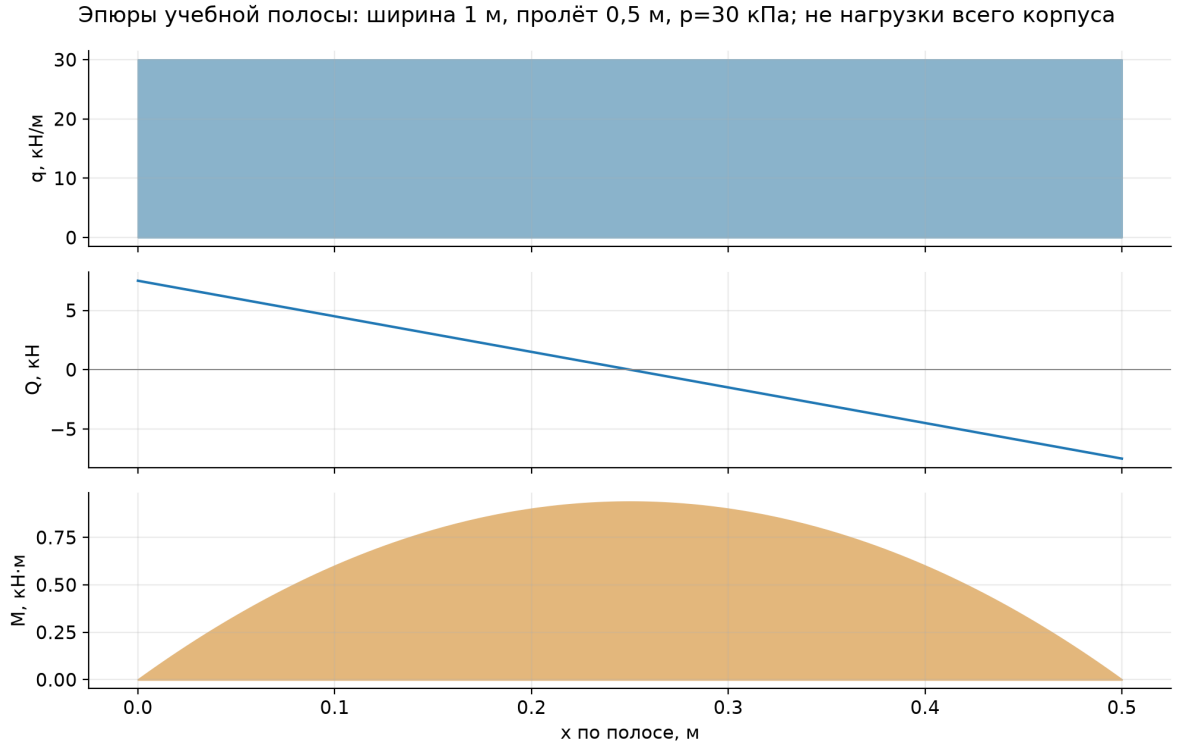

Предлагаемые связи. Signal K - обмен состояниями; OpenCPN - маршрут; pypilot - курс корпуса; полёт кайта ведётся отдельно.

| 20 кВт DC, Rпетли≈5 мОм | 72 В принято | 51,2 В, архив | 102,4 В, сравнение |
|---|---|---|---|
| Ток без потерь | 278 А | 391 А | 195 А |
| Cu: петля 20 м, 70 мм² | 386 Вт | 763 Вт | 191 Вт |
| Падение напряжения | 1,93% | 3,81% | 0,95% |

Это сравнение электрических потерь, а не подбор безопасного сечения. Нужны допустимый нагрев, укладка, номиналы защиты, ток короткого замыкания, отключение BMS, селективность и водозащита. Повышенное напряжение требует отдельного решения защиты прикосновения.

Управление полётом и аварийный депауэр должны работать при потере картплоттера и сети. На двухлюдном экипаже журнал, диагностика и ручное управление должны позволять одному человеку быстро понять отказ.

# 25 Конструкция: эпюры и выбор материала




Эпюры q, Q, M для отдельной учебной полосы. Опоры шарнирные; нет динамики, ортотропии, концентраций и соединений.

| Пробный сэндвич | Результат при 0,5 м и 30 кПа |
|---|---|
| Обкладки / сердцевина | 1,2 / 20 / 1,2 мм |
| E обкладок / G сердцевины | 20 ГПа / 25 МПа |
| Прогиб с учётом сдвига | 6,40 мм |
| Напряжение обкладки / сдвиг сердцевины | 38,9 / 0,375 МПа |
| Удельная масса с резервом отделки | 6,64 кг/м²; лишь пример |

Не выбраны допускаемые напряжения, ламинат, клей, влажность, усталость и нормативные давления. Эпюры объясняют расчёт, но не подтверждают толщину и шаг набора ECONA.

Для FEM моста вместе со стенками, крышей и полным набором надстройки нужны материалы, реальные толщины, крепления и расчётные случаи моста, слеминга, кручения и узла кайта. После этого - сеточная сходимость, независимая проверка сил/реакций и технологичные узлы.

# 26 Волна, клиренс и пределы эксплуатации

| Период волны, с | Длина волны, м | Встречный период на 7 / 10 уз, с |
|---|---|---|
| 6 | 56,2 | 4,33 / 3,87 |
| 8 | 99,9 | 6,21 / 5,67 |
| 10 | 156,1 | 8,13 / 7,52 |
| 12 | 224,8 | 10,07 / 9,41 |

Это кинематика глубоководной волны, а не амплитуды качки и не допустимое состояние моря. Для RAO нужны масса/инерция, CG, равновесие, панельная модель и проверенная сходимость. RAO при нулевой скорости нельзя объявлять результатом при 7-10 уз.

Клиренс мостовой палубы следует измерять по её настоящей нижней поверхности в состояниях нагрузки. Условная верхняя крышка поплавка не является этой палубой. Локальные детали CAD не позволяют назначить один гарантированный клиренс без выделения мостового днища.

| Дополнительная задача | Выход |
|---|---|
| Слеминг и асимметричная волна | Нагрузки моста, набора, крышек и крепления кайта |
| Дрейф и боковая тяга | Боковое сопротивление швертов/рулей, баланс курса |
| Кайт на качающемся основании | Скорость и ускорение узла; рывки; границы контроллера |
| Обледенение, если нужно | Добавочная высокая масса, нагрузка PV и строп, снижение доступности |

Максимальная высота волны, штормовая тяга и океанский рейтинг остаются открытыми. Их нельзя восстановить из только гидростатической геометрии.

# 27 Покрытие инструментов FreeCAD Ship

| Инструмент / группа | На нашем концепте |
|---|---|
| Ship / Hydrostatics | Настоящие 2 Solid; шесть прямых осадок; ∇, KB, LCB, Awp, LCF, LWL, BMt/BMl, TPC, TMC |
| AreasCurve / сечения | 41 станция опорной осадки; погружённый транец исправлен явным сечением |
| Weight / Tank / Capacity / LoadCondition | Бюджет масс записан; действительных грузов и танков ещё нет; тарировка отсутствующего танка не выполняется |
| SinkAndTrim / GZ | Ожидают действительные массы, координаты и непроницаемые объёмы; условная прямая посадка не подменяет их |
| Сопротивление Ship | Эмпирические методы не применены без обоснования; трение ITTC + явная чувствительность |
| Mesh / RAO / Capytaine | Стенд установлен; нет согласованных инерций и панели для окончательного волнового расчёта |
| Примеры / Plot / линейный чертёж | Служебные средства и эталоны; не характеристики нового судна |
| FEM / CfdOF вне Ship | Готовы как инструменты; полный расчёт ждёт материалов/толщин и постановки CFD |

Таким образом выполнен доступный геометрический расчёт и связанный количественный обзор. «Все инструменты» не означает применить каждый алгоритм вне его области или запустить GZ с неизвестными грузами. Незавершённые расчёты имеют конкретные входные условия.

FreeCAD 1.1.4; Ship с сохранёнными патчами раздельной ватерлинии и густой гранёной геометрии. Проверки эталонов и реальные результаты архивированы, исходная компоновка сохранена.

# 28 Решения следующей итерации

| Этап | Вопрос / решение | После него можно считать |
|---|---|---|
| 1 | Включены ли Арктика, Антарктида, лёд? Маршрут и сезоны? | Солнечная/ветровая доступность; холод; эксплуатационные ограничения |
| 1 | Сколько суток без пополнения для 2 и 8 людей? | Вода, рацион, инструменты и запасы; полная нагрузка |
| 1 | Реальная весовая ведомость, положение танков и оборудования? | SinkAndTrim, GZ, повреждённая остойчивость, масса/инерция для RAO |
| 1 | Материал, технология, толщины, узлы и непроницаемые границы? | Прочность моста/корпуса/узла кайта; нормативные нагрузки |
| 2 | Дальность и скорость без кайта; отказ одного мотора? | Банк АКБ, электрическая архитектура, винты и тепловой режим |
| 2 | Раскладка PV, бытовые нагрузки и отопление? | Маршрутный почасовой баланс, запас энергии и резерв |
| 2 | Запуск/возврат кайта силами одного человека; допустимая тяга? | Выбор крыла, лебёдок, датчиков и алгоритма ограничений |
| 3 | Кривая сопротивления и полярная модель движения? | Моторы и полезная скорость; VMG, дрейф и прогноз перехода |
| 3 | Регистрация, назначение и критерии приёмки? | Применимые нормы и программа испытаний |

Практический ближайший шаг - параметрическая весовая ведомость и реальная водонепроницаемая граница. После них можно перейти от прямых геометрических срезов к равновесию и остойчивости, затем закреплять энергетическую и силовую компоновку.

# 29 Формулы, воспроизводимость и источники

Гидростатика: Δ=ρ∇; TPC=ρAwp/100; BMt=It/∇; BMl=Il/∇; KM=KB+BM; условный GM=KM-KG; условный MCT=m g GMl·0,01/LWL. Ship TMC использует BMl и входную Length=13,6 м; это отдельно сохранённый геометрический показатель в кг·м/см, а не наш условный MCT.

Мощность: Re=VL/ν; Cf=0,075/(log10(Re)-2)²; Rf=½ρV²S Cf; RT=k Rf; PDC=RT V/η. Дальность: D=v·[Еном·0,8·0,96-8]/[PDC+0,232]. PV: Есут=A·0,22·H·0,75. Кайт: T=½ρвозд A Cr Vкрыла², M=r×F.

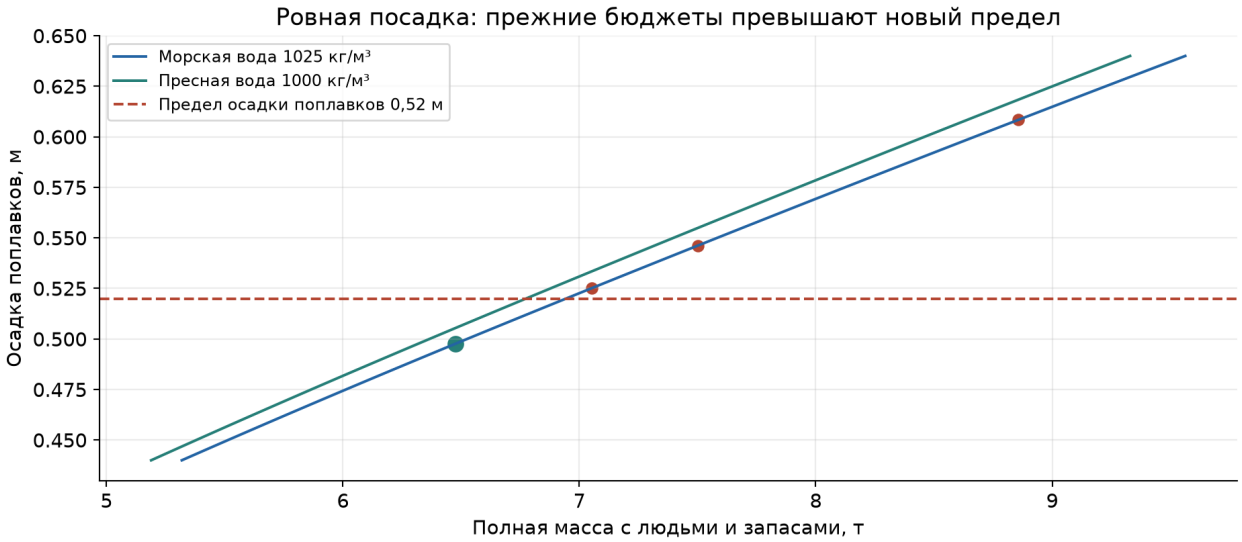
Основная сборка SHA-256: 7ae0c6e91c30dc92f1f46d84660eb2e1f431d6f56efa7243a7c15a9a608791ef. Расчётные корпуса: 2017ed784828a44002d722219b461f099f2ce543aaeb2514e268bc50aad25202. Источники и локальные расчёты сохранены с контрольными суммами.

| № | Источник / применение |
|---|---|
| 1 | ECONA Study Plans, June 2015: философия, компоновка ECONA |
| 2 | ECONA CAD + паспорт замкнутых корпусов: геометрия и ограничения |
| 3 | ITTC Resistance Test 2021: трение ITTC-57; ittc.info/media/9595/75-02-02-01.pdf |
| 4 | pvlib PVWatts / NREL PVWatts manual: формулы солнечной генерации |
| 5 | Victron Lithium NG 51,2 V manual: масса, температурные условия конкретной АКБ |
| 6 | Erhard, Strauch, Control of Towing Kites (2012): arxiv.org/abs/1202.3641 |
| 7 | ISO 12217-2:2022 и ISO 12215-7:2020: открытые карточки; полный нормативный расчёт не выполнен |
| 8 | IMO Shipping in polar waters: imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/polar-default.aspx |
| 9 | FreeCAD/freecad.ship: github.com/FreeCAD/freecad.ship; установленный код и локальные патчи |

Данные: calculations/concept-v2/inputs.yaml, results.json, ship-hydro.json и CSV. Формулы/сборка: tools/concept/*v2*.py. Схема выносок - отдельный PNG. Версия 1 сохранена в архиве; прежний эллипсоидный результат не применяется к новым обводам.

# 30 Дополнение: осадка поплавков 0,52 м

DRAFT-001: пользователь подтвердил, что предел относится к обшивке поплавков. Винты, рули и шверты в него не включены. Это требование к дальнейшему проекту; существующие весовые бюджеты его превышают.




Красные точки - прежние бюджеты, зелёная - новый пробный бюджет 8 человек. Кривые относятся к прямой посадке без крена и дифферента.

| Точный срез FreeCAD Ship | Результат |
|---|---|
| Объём двух поплавков | 6,7747305 м³ |
| Полная масса, морская / пресная вода | 6944,1 / 6774,7 кг при 1025 / 1000 кг/м³ |
| Awp / масса на 1 см | 20,57934 м² / 210,94 кг/см в морской воде |
| LCB / KB | -0,68759 / 0,32185 м от расчётных начал |
| Независимая проверка | Объём согласован; 41 сечение: разность 0,000297% |

| Прежний бюджет | Масса, кг | Убрать: морская / пресная, кг |
|---|---|---|
| 2 человека, лёгкий | 7054 | 110 / 279 |
| 2 человека, опорный | 7502 | 558 / 727 |
| 8 человек, переход | 8856 | 1912 / 2082 |

Это геометрический предел полной массы при ровной посадке, а не нормативно допустимое водоизмещение. Для максимальной местной осадки нужны реальные CG, танки, крен и дифферент. Основная сборка и вся надстройка сохранены.

# 31 Дополнение: целевой бюджет облегчения

Предлагаемая рабочая цель - 6500 кг полной массы с максимальным экипажем. В таблице распределены массы, которых предстоит достичь; материал, толщины и изделия ещё не выбраны. Резерв сухой массы 15% сохранён.

| Сухая статья | Цель, кг |
|---|---|
| Корпус, мост и надстройка | 2500,0 |
| Интерьер | 300,0 |
| Судовые системы | 350,0 |
| Кайт и запуск | 220,0 |
| Установленные моторы и движители | 200,0 |
| Распределение энергии | 130,0 |
| PV с креплениями | 197,4 |
| АКБ 30 кВтч: прежние условные 115 Втч/кг | 260,9 |
| Локальный ИИ и дополнительные датчики: резерв | 30,0 |
| Сухая сумма | 4188,3 |
| Резерв сухой части, 15% | 628,2 |

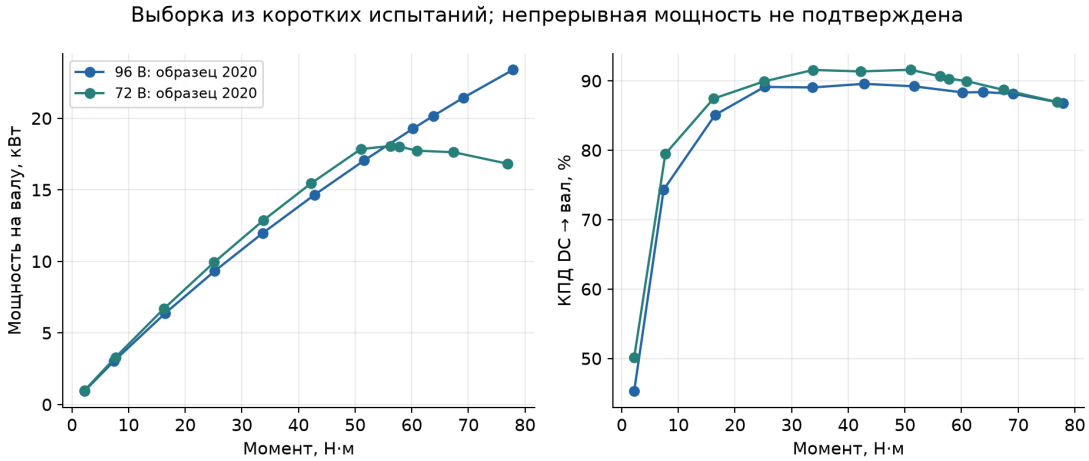
| Люди и запасы / итог | 2 человека | 8 человек |
|---|---|---|
| Люди / вода / продукты, кг | 180 / 300 / 60 | 720 / 300 / 240 |
| Запчасти / прочий багаж, кг | 220 / 100 | 220 / 180 |
| Полная масса с резервом, кг | 5676,6 | 6476,6 |
| Осадка: морская / пресная, м | 0,4582 / 0,4654 | 0,4977 / 0,5054 |

Главные направления: корпус и полная надстройка 3200 → 2500 кг; интерьер 850 → 300 кг; АКБ в пробном варианте 60 → 30 кВтч. Это цели, не выполненное физическое облегчение. Геометрические осадки новых вариантов интегрированы независимо; равновесие Ship SinkAndTrim с фактическими грузами ещё не определено.

Верхний набор и надстройку не срезать. 300 л воды для восьми - 2,5 суток при 15 л/чел./сутки без опреснителя. Меньший банк сокращает электрический резерв. Перед принятием бюджета проверить прочность, запасы воды, дальность без кайта и отказы; 30 кг ИИ - резерв без выбранного оборудования.

# 32 Дополнение: моторный образец Golden Motor HPM

Приняты приложенные пользовательские образцы HPM. Механический ориентир - HPM-20KW с жидкостным охлаждением. Это не выбор мощности двух моторов и не решение о покупке; номинал 72 В принят; редуктор, винт и длительный режим пока открыты.




Испытания 17.03.2020, 23 выбранные строки. КПД DC → вал включает инвертор. Это короткие проходы, не карта КПД.

| Параметр приложенного образца | Значение / следствие |
|---|---|
| HPM-20K: масса одного / пары | 45 / 90 кг без инверторов, передачи и охлаждения |
| Установленная пара: бюджет | 200 кг условно; не считать разность 110 кг экономией |
| Заявленный номинал / rpm | 20 кВт / 3200; 55 Н·м дают 18,43 кВт - противоречие |
| Внешний чертёж 2019 | 280×280 мм; осевая длина 273 мм; вал Ø30 мм |
| Образец 72 В, строка 35 | 70,21 В; 18,027 кВт вал / 19,964 кВт DC; 2978,9 rpm; η≈90,3% |
| Передача к пробным 900 rpm винта | 3200/900 ≈ 3,56:1; передача не выбрана |
| Шина / морское применение | 72 В принято; 96/120 В сравнительные. IP54; морской ресурс не доказан |

Исполнение производителя 39 кг отличается от пользовательского образца 45 кг; версии сохранены отдельно. Проходы до 45,63 с не подтверждают непрерывные океанские 20 кВт.

Два вала по 20 кВт при сценарном КПД 90% требуют 44,4 кВт DC и дают 4,4 кВт потерь в моторах и инверторах. Это не подтверждённая рабочая точка 72-вольтового образца. Номинал 72 В принят; число ячеек АКБ и верхнее напряжение ещё не назначены. Сравнение с парой HPM-10K экономит лишь 56 кг голых моторов; мощность автоматически не изменена.

Источники: пять JPG пользователя с SHA-256; goldenmotor.com/frame-bldcmotor.htm, проверено 11.10.2026.
Данные и ограничения: research/motors/goldenmotor-hpm/reference.yaml; calculations/draft-052/results.json.

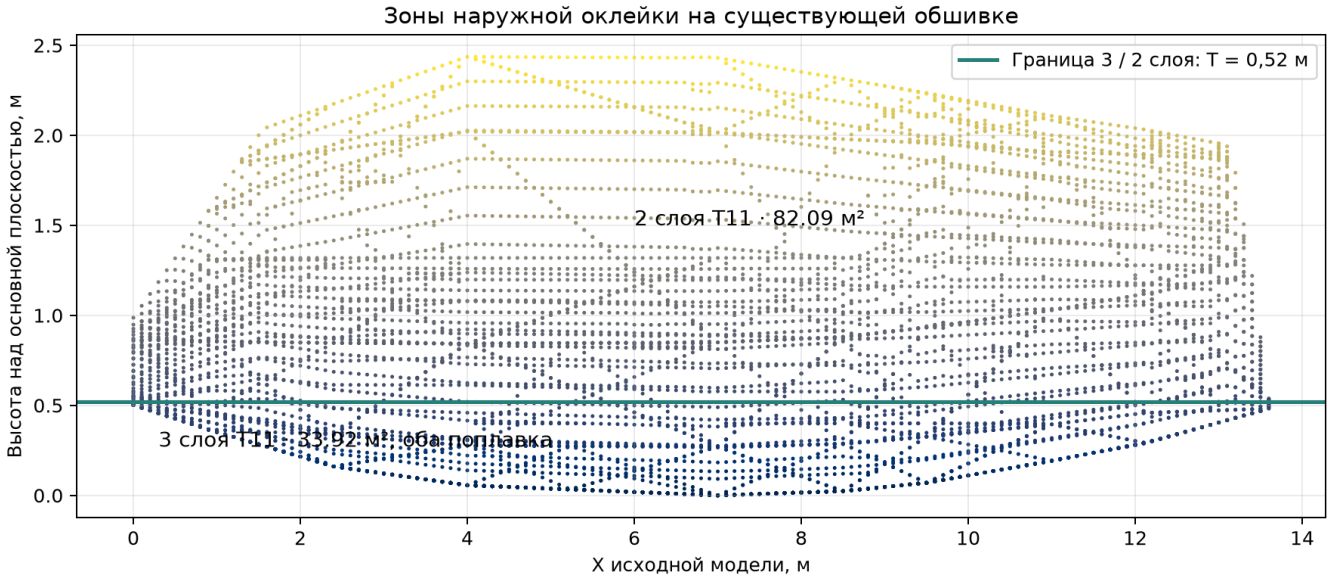
# 33 Обшивка: выводы новой итерации

Сопоставлены 971 сочетаний толщин. Наружная оклейка везде одинаковая: 3 слоя T11 ниже отметки осадки 0,52 м, 2 слоя выше. У сосны приняты ваши три слоя по 8 мм с поворотом соседних слоёв на 45°. Толщины ФСФ, пены и внутреннего стекла варьируются.

| Приоритет | Предварительный результат |
|---|---|
| База с наиболее полными данными сердечника | PVC H80 + стекло/эпоксид. Пример 30 мм, внутри 3 слоя T11: 941 кг для двух обшивок. У PVC есть минимальные E/G/сдвиг, но готовая панель пока не испытана. |
| Более лёгкие марки и SAN | PVC H60 40 мм, внутри 2 слоя: около 843 кг. H45: около 781 кг, но почти исчерпан экран сдвига. SAN M80 30 мм: 862 кг, прогиб 5,92 мм при пределе 6 мм. Сравнение марок дано отдельно. |
| Деревянный сэндвич для испытаний | ФСФ 3 / XPS 50 / ФСФ 3: 1186 кг, только при предположенном G=6 МПа и идеальной склейке. При G=3 МПа выбранный экран не проходит. |
| Ваш реечный пакет 8/8/8 | Около 1910 кг; экономии массы относительно рассмотренных сэндвичей нет. При плоском пролёте 0,6 м сценарный прогиб 12,2 мм. Проверить более частые опоры и работу кривизны. |

Это условная оптимизация в заданной сетке, по массе при одинаковом проверочном пролёте и давлении. Реальные морские нагрузки, шаг набора, сорта древесины, мокрые свойства, смола и соединения ещё не определены. Ни один пакет не объявлен готовой строительной обшивкой.

# 34 Какая площадь вошла в массу



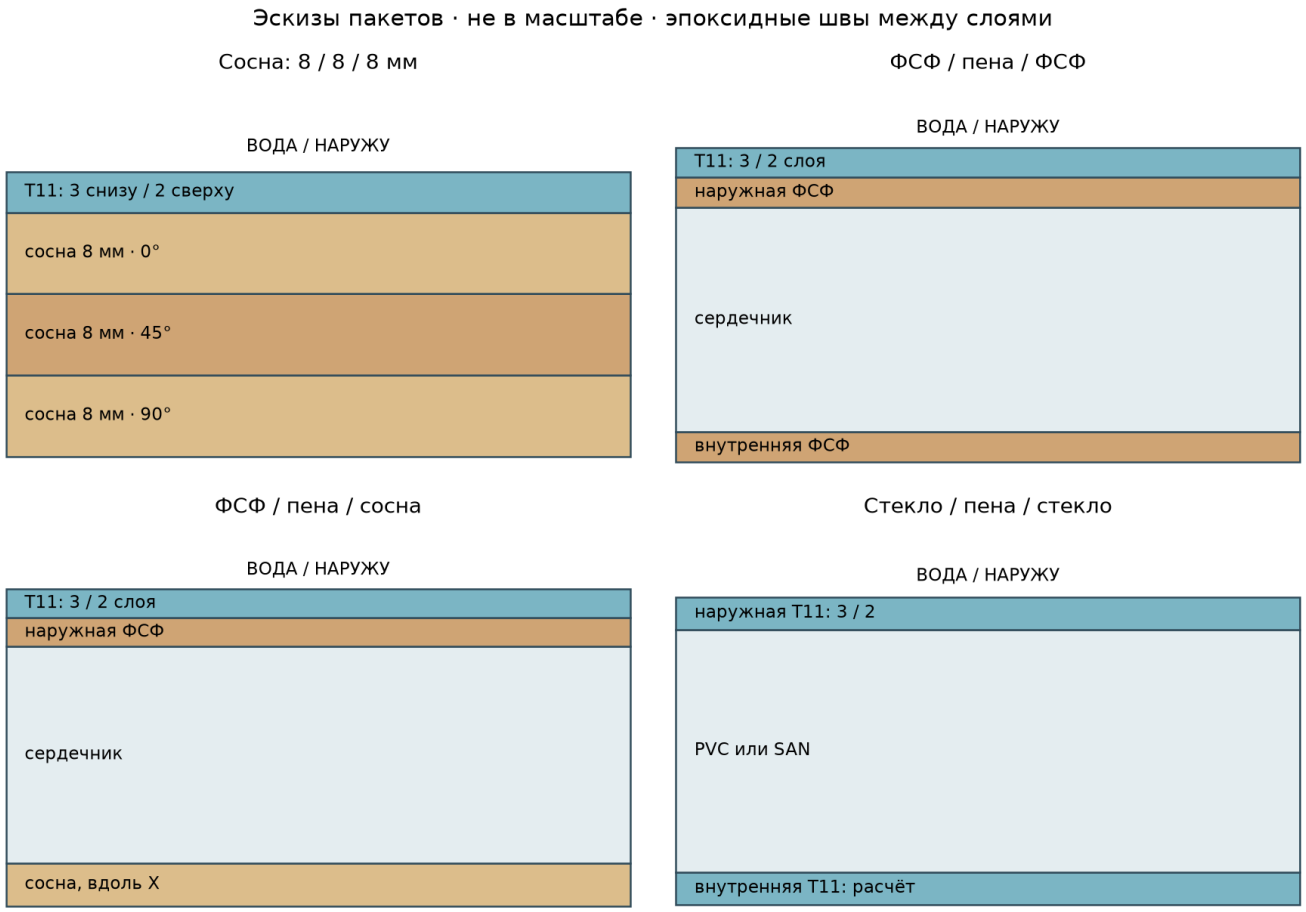

| Площадь двух существующих обшивок | м² |
|---|---|
| Всего PortSkin + StarboardSkin | 116,0132 |
| Ниже T = 0,52 м: 3 слоя T11 | 33,9241 |
| Выше: 2 слоя T11 | 82,0891 |
| Смоченная площадь замкнутых расчётных корпусов | 33,9443 |

Площадь вычислена отсечением исходных граней плоскостью и совпала с CAD до 0,00001 м² на поплавок. Разница со смоченной площадью закрытого корпуса около 0,0202 м² относится к замыкающим граням. Условные верхние крышки гидростатической модели не превращены в строительную палубу.

Массы далее включают только эту обшивку, эпоксид, оклейку, покрытия и условную надбавку на стыки. Не включены палубы, крыша, мост, набор, рули, шверты, реальные отдельные транцы, силовые закладные кайта и моторные опоры. Вся верхняя конструкция сохраняется.

SHA-256 исходной CAD: 7ae0c6e91c30dc92f1f46d84660eb2e1f431d6f56efa7243a7c15a9a608791ef

# 35 Эскизы четырёх технологий




Пакеты показаны от воды к внутренней стороне. В гибриде наружной принята ФСФ, внутренней - сосна с волокном вдоль X. Если порядок или направление сосны изменить, надо пересчитать матрицы и напряжения; массовые суммы при том же составе сохранятся.

Для чистого стеклопластикового сэндвича нужна отдельная внутренняя несущая оболочка. Два или три наружных слоя сами по себе её не заменяют. Внутренние слои варьировались в расчёте; для деревянных пакетов задана внутренняя герметизация эпоксидом, без дополнительной внутренней стеклоткани.

Клеевые прослойки учтены в массе по 0,22 кг/м² на интерфейс, но их толщина и податливость в ABD не включены. Расчёт предполагает сплошную идеальную склейку; отрыв, ползучесть и дефекты шва требуют испытаний.

# 36 T11 и смола: согласованный расход

Исходный ориентир T11: 385 г/м². У поставщика найдены разные карточки T11 и T11П с различающимися переплетением, замасливателем и разрывными нагрузками. В проект нужно заказывать конкретную ткань с паспортом и совместимым с эпоксидом замасливателем, проверив смачивание.

| Зона | Сухая ткань, кг/м² | Ткань + смола, кг/м² |
|---|---|---|
| Подводная, 3 слоя | 1,155 | 2,310 |
| Надводная, 2 слоя | 0,770 | 1,540 |
| Оба поплавка, наружная оклейка | 102,39 | 204,78 |

| Дополнительный вход | Принято |
|---|---|
| Отношение массы смолы к сухой ткани | 1,0; чувствительность 0,7 / 1,0 / 1,4 |
| Плотности стекла / смолы | 2550 / 1150 кг/м³; предположения |
| Толщина одного слоя в модели | 0,486 мм из объёмов стекла и смолы |
| Клей / герметизация древесины | 0,22 кг/м² на контакт / 0,15 на сторону |
| Шпаклёвка, грунты, краска | 0,60 снизу; 0,40 кг/м² сверху |
| Монтажные нахлёсты, стыки, усиления | +10% массы пакета; условный резерв |
| Раскрой для закупки | +15% площади; обрезки не входят в массу судна |

Указанные в TDS 0,28 мм на монослой нельзя совместить с расходом смолы 1:1 без изменения объёмной доли волокна. В расчёте использована согласованная толщина 0,486 мм; это не измерение нашего ламината. Модули готового T11/эпоксид заданы сценарно, прочность сухой ткани в них не подставлялась.

# 37 Свойства: древесина и стеклопластик

| Материал | ρ, кг/м³ | E1 / E2, МПа | G12 / G13 / G23, МПа |
|---|---|---|---|
| Сосна | 500 | 10000 / 500 | 600 / 600 / 60 |
| ФСФ берёзовая | 680 | 7000 / 3000 | 600 / 450 / 450 |
| Т11 + эпоксид | Из расхода | 20000 / 14000 | 4500 / 3000 / 3000 |

Основа Т11 в расчёте направлена вдоль X; ориентация ткани в раскладке пока не выбрана. Для ФСФ E=7000/3000 МПа взяты из СТО SVEZA 52654419-001-2024: минимумы для 6,5-40 мм. Их перенос на обкладки 3-6 мм - явная аналогия. Плотность 680 кг/м³ - расчётная точка внутри опубликованного диапазона берёзовых плит 640-700; сорт, пустоты и влажность конкретной партии не установлены.

Для сосны и готового стеклопластика все численные упругие входы - предварительные сценарии. USDA Wood Handbook 2021, глава 5, подтверждает необходимость ортотропной модели и учёта влажности, но не выдаёт паспорт нашей российской сосны. Радиальное и тангенциальное направления зависят от распила реек.

| Условные пределы экрана, МПа | σ1 / σ2 / τ12 |
|---|---|
| Сосна | 20 / 2 / 3 |
| ФСФ | 20 / 10 / 3 |
| Т11/эпоксид | 80 / 60 / 25 |

Это назначенные сравнительные пределы, одинаковые по знаку растяжения/сжатия; не нормативные допускаемые напряжения. Ползучесть, мокрая деградация, расслоение и различие растяжения/сжатия не решены. Нельзя переносить эти числа в финальный FEM как аттестованный материал.

# 38 Свойства и неопределённость сердечников

| Сердечник | ρ | E* / G, МПа | Прочность сдвига, МПа |
|---|---|---|---|
| XPS, аналог 45/500 | 45 | 20 / 6* | Не известна |
| EPS, сценарий | 30 | 10* / 6* | Не известна |
| PIR, сценарий | 40 | 20* / 10* | Не известна |
| PVC Divinycell H80 | 80 | 80 / 23 min | 0,95 min |
| SAN Corecell M80 | 85 | 78 / 34 typical | 1,15 typical |
| ProBalsa, торцевой | 155 | 100* / 166 typical | 3,0 typical |

E у PVC/SAN - модуль сжатия, использованный как слабый внутриплоскостной аналог; у торцевой бальсы E в плоскости назначен отдельно, а не взят из её сильного направления по толщине. G и прочность сдвига PVC/SAN/ProBalsa имеют отдельные источники и методы испытаний.

XPS: исторический E=20 МПа для ТЕХНОПЛЕКС 45…500 разрешён пользователем как аналог SOLID 500. Это общий справочный модуль с неизвестным направлением; G=6 МПа здесь гипотеза, с диапазоном 3-10 МПа. EPS: общий диапазон G=4-10 из INNER не является паспортом выбранной марки. Для PIR числовые E/G - гипотезы; данные PUR не перенесены как доказательство PIR.

Прочность сжатия строительной плиты при 10% деформации не заменяет допускаемый сдвиг, модуль G, склейку или усталость. Для XPS/EPS/PIR результат ранжирования остаётся условным до испытаний. Подборка Пеноплекс/Технониколь сохраняется как экспериментальная, материал не утверждён.

# 39 Как считались жёсткость и напряжения

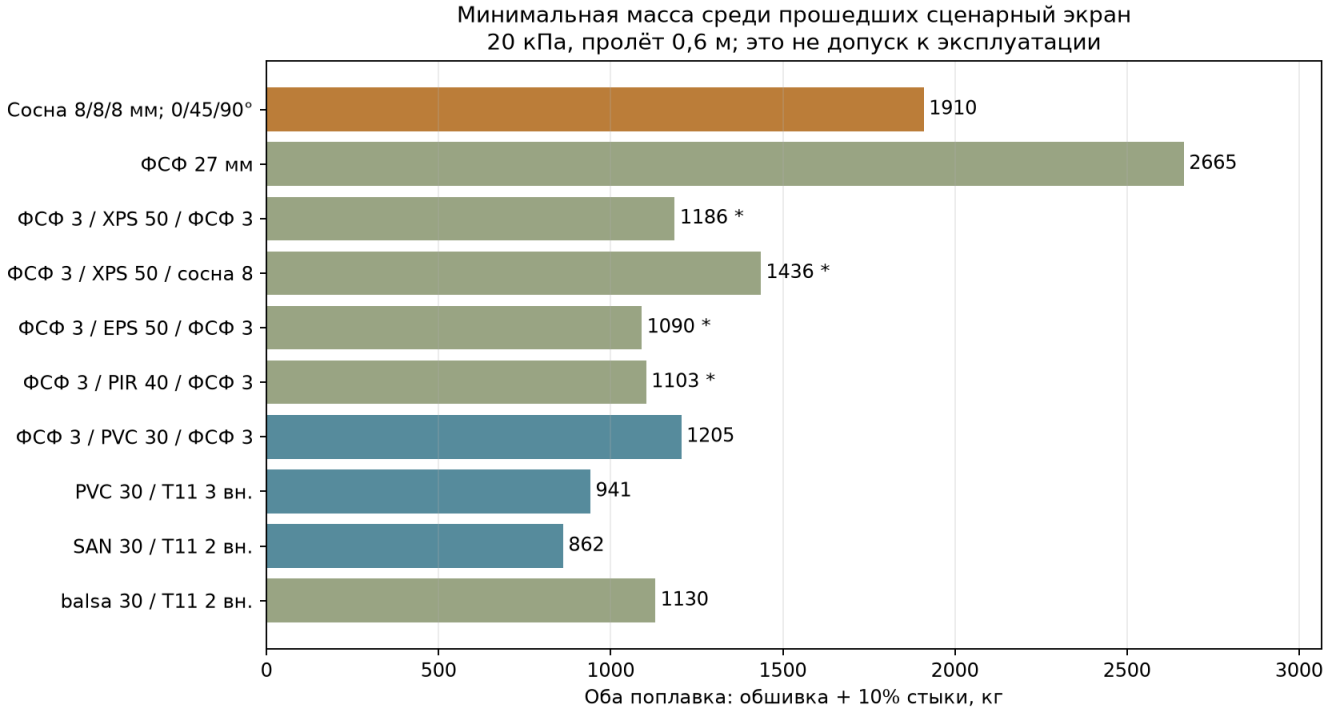
Сравнивается плоская полосовая панель шириной 1 м между двумя шарнирными опорами: равномерное давление 20 кПа, пролёт 0,6 м. Однонаправленные проверки выполняются вдоль X и вдоль Y. Это выбранный сравнительный случай; гидростатическое давление при 0,52 м всего около 5,23 кПа, а реальные удары волн требуют отдельной постановки.

| Расчётная величина | Метод |
|---|---|
| Изгиб и связь со скручиванием | Ортотропные Q, матрицы A/B/D; Dэфф = D - B $A^{-1}$ B; мембранные результанты N=0 |
| Эффективная жёсткость полосы | Dx = 1/($D_{эфф}^{-1}$)11; Dy = 1/($D_{эфф}^{-1}$)22; учитывается свободная поперечная кривизна |
| Изгибный прогиб | 5 p $L^4$ / (384 D); поперечный сдвиг прибавляется |
| Сдвиг мягкого ядра | Ks = G $t_{ядра}$; $w_{сдв}$ = p $L^2$/(8 Ks); τ≈pL/(2$t_{ядра}$) |
| Сплошной деревянный пакет | Сдвиговая жёсткость по гармоническому усреднению G13/G23; коэффициент 5/6 |
| Условный экран | w ≤ L/100 = 6 мм; напряжения обкладок ≤ назначенных пределов |
| Экран сдвига PVC/SAN/бальсы | τ ≤ паспортная прочность / 3; коэффициент 3 назначен для сравнения, не взят из норм |

Критерий напряжений применён к локальным компонентам σ1/σ2/τ12 каждого слоя, не только к максимальному числу в таблице. Двухосное давление на реальную панель, мембранная работа радиусной скорлупы, угловая жёсткость опор, продавливание, устойчивость тонких обкладок, усталость и удар не проверены. «Проходит экран» означает только прохождение этих выбранных арифметических критериев.

Подробные входы: calculations/skin-comparison/inputs.json; все варианты и проверки: results.json; воспроизведение: tools/concept/compare_skins.py. Источники, методы и границы: docs/32_skin_comparison.md.

# 40 Масса сопоставленных пакетов




Одинаковая наружная T11 учтена во всех вариантах. 10% на стыки включены. Толщины в обозначениях - миллиметры; внутри стеклопластика число слоёв указано отдельно. Для сосны 24 мм фиксированы пользователем.

Сосна 8/8/8 на этом пролёте не проходит выбранный экран: показана именно заданная конструкция. Остальные столбцы - минимумы среди прошедших условный экран в своей группе. Звёздочка у строительных пен означает отсутствие подтверждённой прочности сердечника. Это не общая проверка пригодности всех столбцов.

# 41 Таблица результатов: масса и механика

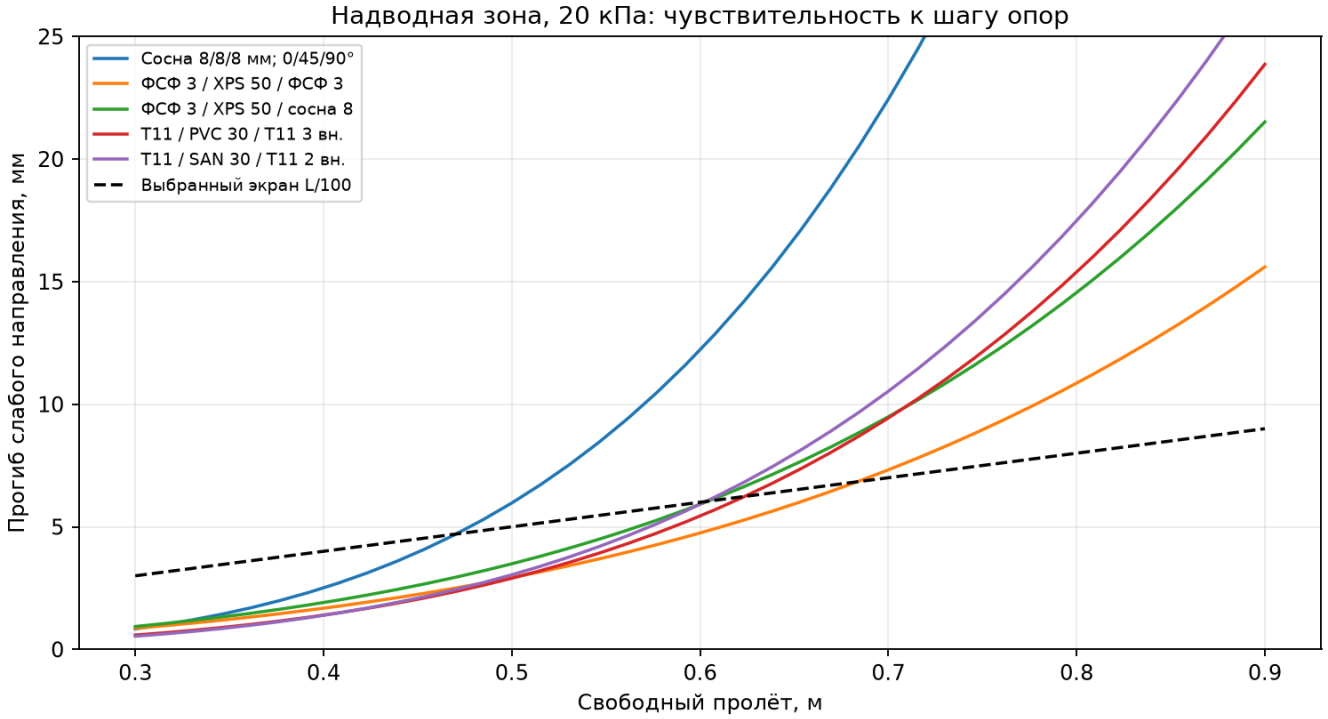
| Пакет | Масса двух, кг | Dx / Dy, кН·м | wслаб., мм | тядра, МПа |
|---|---|---|---|---|
| Сосна 8/8/8 мм; 0/45/90° | 1910 | 2,9 / 6,4 | 12,21 | - |
| ФСФ 27 мм | 2665 | 14,9 / 7,2 | 4,77 | - |
| ФСФ 3 / XPS 50 / ФСФ 3 | 1186 | 40,6 / 19,3 | 4,75 | 0,12 |
| ФСФ 3 / XPS 50 / сосна 8 | 1436 | 86,4 / 11,6 | 5,92 | 0,12 |
| ФСФ 3 / EPS 50 / ФСФ 3 | 1090 | 40,5 / 19,1 | 4,76 | 0,12 |
| ФСФ 3 / PIR 40 / ФСФ 3 | 1103 | 26,9 / 12,8 | 4,89 | 0,15 |
| ФСФ 3 / PVC 30 / ФСФ 3 | 1205 | 16,3 / 7,9 | 5,58 | 0,20 |
| T11 3/2 / PVC 30 / T11 3 вн. | 941 | 11,6 / 8,2 | 5,44 | 0,20 |
| T11 3/2 / SAN 30 / T11 2 вн. | 862 | 9,5 / 6,7 | 5,92 | 0,20 |
| T11 3/2 / balsa 30 / T11 2 вн. | 1130 | 9,5 / 6,8 | 5,18 | 0,20 |

Результаты показаны для надводного пакета с двумя наружными слоями: здесь оболочка тоньше. Для подводного пакета с тремя слоями расчёт выполнен отдельно и тоже входит в выбор. Нагрузка 20 кПа и свободный пролёт 0,6 м в обоих направлениях.

Варианты ФСФ 3 мм - предварительная экстраполяция паспортной упругости более толстых плит. ФСФ 27 мм - минимум сетки 6…36 мм для монолитной обшивки на этом пролёте; при более частом наборе требуемая толщина снизится.

Масса сосны 24 мм сама по себе не доказывает её непригодность. Результат требует проверить ориентацию относительно сил, реальную кривизну, пролёты и мокрые свойства. Для общего минимального веса считать обшивку и поддерживающий набор вместе.

# 42 Чувствительность: опоры и свойства




| XPS: гипотеза G, МПа | ФСФ 3/50/3: w, мм | ФСФ 3/50/сосна 8: w, мм |
|---|---|---|
| 3 | 7,75 | 8,92 |
| 6 | 4,75 | 5,92 |
| 10 | 3,55 | 4,72 |

При G=3 МПа оба выбранных XPS-пакета превышают 6 мм: вывод об их минимальной толщине меняется. Давление 40 кПа удваивает прогибы и напряжения относительно 20 кПа. Рост пролёта усиливает изгиб как $L^4$ и сдвиг как $L^2$; уменьшение шага опор добавит массу набора.

Фиксированные упругие свойства T11 при изменении расхода смолы не предсказывают реальный новый ламинат. Чувствительность смолы в следующей таблице используется для массы; для нового процесса нужно измерить толщину, долю волокна и модули.

# 43 Радиусная скрутка: сосна 8/8/8

| Направления наружу → внутрь | Dx / Dy, кН·м | wслаб., мм | \|кху/кнагрузки\| max |
|---|---|---|---|
| [0, 45, 90] | 2,85 / 6,42 | 12,21 | 0,225 |
| [-45, 0, 45] | 4,58 / 2,98 | 11,81 | 0,461 |
| [0, 90, 0] | 13,85 / 2,84 | 12,38 | 0,000 |

Ваше условие поворота соседних слоёв на 45° выполнено в 0/45/90 и -45/0/45; абсолютная ориентация относительно X в первом примере назначена. 0/90/0 приведён только как контроль другой схемы и не принят вместо вашей. Наружное стекло также влияет на асимметрию.

Рейки 8 мм нужно формовать до склейки полного пакета. Простейшая оценка деформации одной рейки ε≈t/(2R): R=1/2/3 м даёт 0,40/0,20/0,13%; при EL=10 ГПа это 40/20/13,3 МПа упругого напряжения вдоль волокна. Это не разрешённый радиус: учесть влажность, сучки, ширину реек, скручивание, технологию формовки и остаточные напряжения.

Суммарный объём сосны: 2,784 м³; древесина 1392 кг до клея и оклейки. Масса пакета с принятыми добавками 1910 кг. Облегчать его изменением ваших 8 мм в расчёте не стали.

Склейка на шаблонах, одинаковая влажность, исключение непроклеев, контроль торцов и доступ для ремонта нужны для повторяемой скорлупы. На существующей гранёной CAD-обшивке технология радиусного формования ещё не задана геометрически.

# 44 Весовой предел: что остаётся на конструкцию

| Обшивка | Обшивка, кг | Остаток от цели 2500 кг |
|---|---|---|
| Сосна 8/8/8 мм; 0/45/90° | 1910 | 590 |
| ФСФ 27 мм | 2665 | -165 |
| ФСФ 3 / XPS 50 / ФСФ 3 | 1186 | 1314 |
| ФСФ 3 / XPS 50 / сосна 8 | 1436 | 1064 |
| T11 3/2 / PVC 30 / T11 3 вн. | 941 | 1559 |
| T11 3/2 / SAN 30 / T11 2 вн. | 862 | 1638 |
| T11 3/2 / balsa 30 / T11 2 вн. | 1130 | 1370 |

2500 кг - прежняя предложенная цель для всего корпуса, моста и надстройки, не измеренная масса. Остаток должен покрыть все палубы, мост, крышу, стенки, переборки, набор, реальные транцы, соединения и силовые узлы. Для сосновой обшивки остаётся всего 590 кг; монолитная ФСФ на пролёте 0,6 м уже превышает всю цель.

Условная разница массы сосновой обшивки и PVC-примера 969 кг соответствует примерно 4,59 см изменения осадки около 0,52 м при неизменных остальных массах и ровной посадке. Это локальная линеаризация, не абсолютная новая осадка и не проверка крена/дифферента.

Нельзя прибавить массу новой обшивки к старому бюджету или вычесть всю прежнюю конструкцию: масса старой обшивки отдельно неизвестна. Целостность и участие надстройки в работе моста сохраняются. Предельные 6944/6775 кг полной массы остаются геометрическими, а не одобренными безопасными значениями.

# 45 Расходы на закупку и смолу

| Для выбранного пакета | Ткань с раскроем, м² | Древесина, м³ | Пена, м³ |
|---|---|---|---|
| Сосна 8/8/8 мм; 0/45/90° | 305,8 | 3,202 | 0,000 |
| ФСФ 3 / XPS 50 / ФСФ 3 | 305,8 | 0,800 | 6,671 |
| ФСФ 3 / XPS 50 / сосна 8 | 305,8 | 1,468 | 6,671 |
| T11 3/2 / PVC 30 / T11 3 вн. | 706,1 | 0,000 | 4,002 |
| T11 3/2 / SAN 30 / T11 2 вн. | 572,7 | 0,000 | 4,002 |

| Смола / ткань, кг/кг | Сосна 24, кг | PVC пример, кг | SAN пример, кг |
|---|---|---|---|
| 0,7 | 1876 | 863 | 799 |
| 1,0 | 1910 | 941 | 862 |
| 1,4 | 1955 | 1045 | 946 |

Таблица даёт материал для запросов цен, а не коммерческую смету. Доставка, реальные форматы листов, эпоксид для пропитки пор/пропилов, раскрой и труд могут изменить экономический порядок. Объём смешанной древесины указан суммарно: ФСФ и сосну закупать раздельно.

Покупная площадь ткани с +15% раскроя не включает неопределённую раскладку конкретных нахлёстов; установленный резерв +10% оценён отдельно. Перед закупкой заменить оба коэффициента ведомостью деталей и полос усиления. Цены на готовое судно или выигрыш по стоимости не заявлены.

# 46 Плотность и марка судовой пены

Толщина и плотность сердечника оптимизируются совместно. Помимо H80/M80 рассмотрены H45, H60, H100 и M60, M100. Наружные 3/2 слоя T11 неизменны. Ниже минимумы выбранной сетки при том же плоском пролёте 0,6 м и давлении 20 кПа.

| Марка / ядро / внутренние слои | Масса, кг | w, мм | τ / (прочность/3) |
|---|---|---|---|
| PVC45 40 / T11 2 вн. | 781 | 4,77 | 0,978 |
| PVC60 40 / T11 2 вн. | 843 | 4,28 | 0,714 |
| PVC 30 / T11 3 вн. | 941 | 5,44 | 0,632 |
| PVC100 30 / T11 3 вн. | 1018 | 5,16 | 0,429 |
| SAN60 40 / T11 2 вн. | 868 | 3,87 | 0,577 |
| SAN 30 / T11 2 вн. | 862 | 5,92 | 0,522 |
| SAN100 30 / T11 2 вн. | 948 | 5,66 | 0,408 |

PVC H45/H60/H80/H100: плотности 48/60/80/100 кг/м³, минимальные Eсж 45/60/80/115 МПа, G 12/16/23/28 МПа и прочность сдвига 0,46/0,63/0,95/1,40 МПа из Diab May 2026. Для SAN M60/M80/M100 плотности 65/85/107,5, типовые Eсж 48/78/112, G 23/34/44 и сдвиг 0,78/1,15/1,47.

По этому экрану H60 40 мм - лёгкий кандидат для следующего образца; H80 30 мм остаётся сравнительной базой с более прочным ядром. H45 даёт минимальную массу, но τ/(прочность/3) около 0,98: до морских ударов, локальных опор и дефектов запас не оценён. Не принимать H45 для всех зон только по этой таблице.

Нужно сравнить H60 и H80 с учётом продавливания, устойчивости наружной оболочки и массы местных усилений. Более плотный сердечник может быть нужен у узлов и днища; одинаковый пакет для всех поверхностей пока не назначен.

# 47 Технологический выбор и проверка образцов

| Вариант | Что даёт | Что проверить |
|---|---|---|
| PVC / SAN + стекло | Лучшие массы в этой проверке; близко к панельной философии Arrow | Внутренний ламинат, вакуум/расход смолы, удар, склейка, местные закладные |
| ФСФ / XPS / ФСФ | Доступная древесная обработка; пакет легче 24 мм сосны | G и сдвиг партии, поверхность XPS, отрыв клея, ползучесть, вода и температура |
| ФСФ / пена / сосна | Ремонт и доступность реек | Слабая поперечная сосна и несимметрия; в примере тяжелее ФСФ/пена/ФСФ |
| Сосна 8/8/8 | Монолитная скорлупа; нет мягкого ядра | Масса, направления 45°, формование, мокрый модуль, частота опор |
| Бальса / стекло | Сильный сдвиг торцевого сердечника | Поропоглощение смолы, локальная вода, герметизация всех вводов |

Следующая проверка: одинаковые панели выбранных технологий с паспортами партий, фактической толщиной и массой после отверждения. Изгиб в обоих направлениях, отдельный сдвиг ядра, отрыв обкладки, выдержка в воде, температурные циклы и повторное нагружение. Сравнивать сухие и мокрые результаты на одинаковом пролёте.

Для FEM общей конструкции после испытаний задать ортотропные материалы, толщины, соединения, нагрузки кайта/моста/волн/моторов и проверить сходимость. Этот расчёт не менял CAD и не удалял верхний набор, палубы или надстройку.

# 48 72 В, контроллеры и локальный ИИ

В этой версии номинал моторной системы 72 В принят как решение пользователя. Выбранного числа LiFePO4-ячеек, аппаратного контроллера, редуктора, винтов и длительной мощности пока нет. Короткие испытания HPM не доказывают непрерывные 20 кВт.

| Результат исследований | Применение |
|---|---|
| VESC / Phobia | Программные кандидаты. Базовая PMC REV5 до 52 В к 72 В не подключается. |
| Nucular / Fardriver | Сравнение аппаратных вариантов. Пиковые 27 кВт P24F не равны длительным 20 кВт. |
| 20 кВт на вал, 72 В, η=0,90 | 308,6 A DC на мотор; 617,3 A на пару. Это арифметический пример, не назначенный режим. |
| Полная зарядка и рекуперация | Отдельно проверять верхний U, выбросы, запас напряжения ключей, токи DC/phase/RMS/peak. |
| Локальный ИИ AI-CONTROL-001 | Маршруты и координация всех систем; ручной приоритет и независимые быстрые контуры/защиты сохраняются. |

Форум Electrotransport: обработаны 19 тем, 53 страницы, 865 сообщений, выделены 38 инженерных фрагментов. Это ограниченная подборка, не весь форум. Прошивки из форума не запускались. INNER: статьи и калькуляторы использованы как методы и гипотезы, численные несогласованности занесены в аудит.

Облегчение обшивки не назначает автоматически более лёгкие моторы, меньшую АКБ или меньшую прочность моста. Проверить общий вес, тепловой режим, нагрузочные случаи и энергетический резерв с теми же ограничениями автономности.

База: docs/30_inner_site_review.md; docs/31_electrotransport_review.md; docs/02_architecture.md.

# 49 Новые источники и воспроизводимость

Источники проверены 11.10.2026. Числа из паспортов отделены от переноса по аналогии и назначенных сценариев. Локальные PDF и извлечённые страницы имеют SHA-256; для недоступных загрузок сохранены URL и ошибки.

| Источник | Что использовано / предел |
|---|---|
| CarboCarbo: T11 TDS и карточка | 385 г/м²; различия марок/замасливателей; PDF не скачан (403), данные веб-представления. Модули готового ламината назначены отдельно. |
| SVEZA СТО 52654419-001-2024 | E=7000/3000 МПа для 6,5-40 мм; веб-таблица. Прямая загрузка PDF не удалась. Не использовать ламинированную опалубочную поверхность как готовую поверхность склейки. |
| Diab Divinycell H, май 2026 | H80 минимальные E/G/сдвиг; локальный паспорт. |
| Gurit Corecell M, 11-0623 | M80 типовые E/G/сдвиг; локальный паспорт, типовые значения не минимальные. |
| Diab ProBalsa, октябрь 2022 | Плотность 9,7 lb/ft³, G 24076 psi, сдвиг 435 psi; SI округлено до 155 кг/м³, 166 / 3 МПа. |
| USDA Wood Handbook 2021, глава 5 | Ортотропия, влажность и вариабельность древесины; не паспорт российских реек. |
| H25, исторический справочник / INNER-069 | XPS E20 МПа: разрешённая старая аналогия. Общий EPS G не приписан XPS; PIR G назначен гипотетически. |

SC01: T11 · SC02: SVEZA · Divinycell H · Corecell M · SC04: ProBalsa · SC03: USDA Wood

Формулы, границы площадей, версии Python/NumPy, контрольные суммы и результаты всех 971 вариантов сохранены в calculations/skin-comparison/. Новый материал в поисковой базе: docs/32_skin_comparison.md. Все иллюстрации основной части сохраняют надстройку и крышу.

Подробные входы: calculations/skin-comparison/inputs.json; все варианты и проверки: results.json; воспроизведение: tools/concept/compare_skins.py. Источники, методы и границы: docs/32_skin_comparison.md.