

Концепт 3 «Дом на колёсных ногах»: купол на 4 телескопических ногах с тандем-тележками

Стадия: концепт / технико-экономическая проработка. Все числа получены по упрощённым формулам и нужны для выбора схемы и класса комплектующих. Это не рабочий расчёт: раму, ноги и узлы потом нужно проверить в FEM, а комплектующие подобрать по каталогам и с инженерами производителей.

Расчёт воспроизводится: `calc/calc.py` берёт массы и ЦТ из FreeCAD-модели (`cad/mass_*.json`) и пишет `calc/results.json` и рисунки 08–11 в `renders/`. Ссылки на источники данных по шинам и моторам есть в `results.json` → `sources` и в разделе 12. Всё, что не подтверждено каталогом, помечено «не проверено».

1. Итог

Рекомендуемая конфигурация. Геодезический купол (сфера Ø6,0 м, основание купола Ø5,9 м (усечение 5/8)) с панорамным поясом остекления ±110°. Он стоит на круглой платформе Ø6,6 м, платформа — на жёстком сварном квадратном шасси 5,2 × 5,2 м по осям ног. По углам шасси стоят **4 вертикальные телескопические ноги** с гидроцилиндром Ø100/80 и ходом **1,5 м**. Внизу каждой ноги через червячный **слиюинг-привод руля** подвешена **тандемная балансирная тележка** (bogie, как у форвардера) с двумя колёсами **710/45-26.5 Forest King F2** в линию (база 1,47 м, зазор между шинами 125 мм). Всего **8 колёс, по 2 на ногу**. Схема как у форвардера: колёса на ступицах снаружи, картер-балансир внутри, ось качания в центре тележки.

Каждую тележку ведёт **1 гидромотор** (орбитальный, 100 см³). Мотор стоит на оси качания тележки и работает через планетарный колёсный редуктор с пружинным тормозом ($i = 80$), а дальше через две цепи в масляном картере на оба колеса.

На стоянке дом опускается на **4 выносные опоры** с плитами 900×900: колёса разгружаются, гидравлика сбрасывается.

Параметр	Значение
Корпус	купол 3V: сфера Ø6,0 м, основание купола Ø5,9 м (усечение 5/8), платформа Ø6,6 м; высота над полом 3,56 м; 74 глухих сэндвич-панели «сталь 0,7 + XPS (Пеноплэкс) 100 + фанера» (42 м²) и панорамный пояс стеклопакетов (23 м²); кольцевой свес платформы с ограждением (≈0,3 м от купола до ограждения, не для прохода; полноценная терраса 0,8–1,0 м на платформе Ø7,6–8,0 м — прорабатываемая опция)
Шасси	сварной квадрат 5,2 × 5,2 м: труба 250×150×8, диагонали и поперечины 200×100; узлы-гнезда ног 520×520
Габарит в плане	≈8,3 × 7,1 м (тележки вдоль хода); с выносными опорами ≈8,1 × 8,1 м
Пол над грунтом	2,38 м на ходу (ноги втянуты), до 3,88 м при полном выдвижении; пример стоянки на склоне — 3,05 м в центре. Требование «пол ≥ 2,0 м» выполнено во всех позах, в том числе на ходу
Общая высота	5,94 м на ходу, 7,44 м при выдвинутых ногах
Масса	конструкция с интерьером ≈ 21,5 т , рабочая с 4 людьми ≈ 21,8 т ($W = 214$ кН); со снегом на стоянке ≈26,8 т

Параметр	Значение
Нога	наружная труба 300×300×10, внутренняя 250×250×10 (S355), перекрытие ≥0,8 м; цилиндр Ø100/80, ход 1500 мм , 89 бар номинально, 165 кН при 210 бар; 10 мм/с, полный ход за 150 с
Шины	8 × 710/45-26.5 Nokian Forest King F2 24PR (Ø1345, ширина 710 мм); на колесо 2,73 т номинально, 3,55 т расчётно
Давление на песок	≈ 170-190 кПа при давлении в шинах 1,4-1,6 бар; с бортовыми гусеницами на тележки ≈30-60 кПа
Привод хода	4 × (орбитальный мотор 100 см³ → планетарный редуктор $i = 80$, 22 кН·м, тормоз → 2 цепи 28В-2); момент на тележку 15,8 кН·м расчётный, до 21 кН·м (ограничение давления 220 бар)
Скорость	ползучая 0,5 м/мин (позиционирование), рабочая 3 м/мин по песку, до 6 м/мин по плотному грунту
Руль	4 слюинг-привода (червяк, самоторможение), -100...+100°. Режимы: Аккерман, краб до 90°, разворот на месте
Гидростанция	LS-насос 45 см³ (67 л/мин) + электродвигатель 15 кВт ; пиковая гидравлическая мощность ≈11,5 кВт; 12-секционный пропорциональный распределитель
Энергия	≈0,9 кВт·ч на 100 м по плотному ровному; ≈5 кВт·ч на 100 м по рыхлому песку в гору 10 %; подъём дома на 1,5 м — 0,15 кВт·ч
Устойчивость	статический угол опрокидывания 51° на ходу и 42° при выдвинутых ногах; ветер 30 м/с на стоянке: $K = 7,9...12$ на колёсах, 10,8 на опорах
Приводов	12 гидравлических (4 ноги, 4 руля, 4 хода) + 1 гидростанция; + 1 электропривод лестницы
Подъём в дом	ножничная (пантограф) лестница с электроприводом из люка 0,8×1,0 м: 12 ступеней 740×250, всегда горизонтальны; угол 70°; подъём 2,0-3,9 м (на стоянке-примере 3,30 м, подступёнок 248 мм); раскладка ≈13 с (0,2 м/с); сложена — пакет 0,48 м под полом; 215 кг с приводом, люком и поручнями

Концепт 3 «Дом на колёсных ногах»: ход (ноги втянуты)



2. Исходные данные и допущения

- Корпус того же семейства, что в концепте 1: купол 3V (сфера Ø6,0 м, основание Ø5,9 м, платформа Ø6,6 м), стенка 100 мм (каркас 100×50, Пеноплэкс 100 мм, сэндвич).
- Удельные массы как в концепте 1: глухая панель 18,2 кг/м², стеклопакет 35 кг/м², пол 39 кг/м². Интерьер с АКБ 15 кВт·ч — 1500 кг. Люди — 4 × 80 кг. Сварка, крепёж, цинк и окраска — +6 % массы стали.
- Комплектующие с массой по оценке (не проверено):
 - колесо 710/45-26.5 с диском и ступицей — 360 кг;
 - мотор-редуктор — 165 кг;
 - слюинг-привод — 190 кг;
 - цилиндр — 135 кг;
 - гидростанция — 420 кг.
- Снег (стоянка): 1,5 кПа на план Ø6,6 м = 5,2 т. При снеге не ездим.
- Ветер: $q = \frac{1}{2}\rho v^2$. Купол: $C_f = 0,6$ на проекцию 17,5 м². Платформа, ноги и тележки: $C_f = 1,2-2,0$. Подъёмная сила на куполе: $C_L = 0,5$ на план.
- Грунт (пляж) задан конусным индексом CI:
 - 300 кПа — сухой рыхлый песок;
 - 700 кПа — влажный;
 - 1500 кПа — мокрый плотный песок полосы прилива.

Это ориентиры: на месте замерить ручным пенетрометром. * Ось X — «вперёд», к морю. Уклон пляжа в позе стоянки 10 % плюс бугор +0,3 м под задней левой ногой и ложбина −0,15 м под передней правой.

2.1 Масса (из модели + добавки)

Группа	кг
Купол (каркас, панели, остекление, опорное кольцо)	2802
Платформа пола (рама, пол, облицовка, поручень)	2573
Шасси 5,2 × 5,2 м	1876
Ноги: гнёзда, телескопы, гидроцилиндры, крышки	3046
Поворот: слюинг-приводы и Г-образные стойки	1280
Тележки: картеры-балансиры, оси качания, 8 колёс, 4 мотор-редуктора	5420
Выносные опоры (консоли, стойки, плиты)	1609
Гидростанция и гидроразводка	600
Лестница ножничная с электроприводом, люком, поручнями	215
Сварка, крепёж, цинк + окраска (+6 % стали)	623
Интерьер и инженерия	1500
Итого конструкция	21 545
Люди (4 × 80)	320
Рабочая масса	≈21,8 т

ЦТ на ходу на высоте 2,10 м над грунтом, при полностью выдвинутых ногах — 2,93 м.

Почему почти вдвое тяжелее концепта 1 (11,6 т). * Ходовая (ноги, тележки, рули, опоры, гидростанция) весит ≈13 т против ≈2,8 т у шагающей схемы. * Колёсный узел лесного класса тяжёлый сам по себе: одно колесо 710/45-26.5 в сборе — около 360 кг.

Резервы снижения массы на 2–3 т: * алюминиевый каркас купола; * шины 600/50-22.5 вместо 710 (−0,85 т; см. п. 5); * съёмные выносные опоры вместо постоянных консолей (−1 т); * более

лёгкий интерьер.

3. Выбор схемы и формы корпуса

3.1 Корпус: купол, а не прямоугольник

- **Колёсному шасси с рулём на каждой тележке направление не важно.** Дом может ехать вбок (краб) и разворачиваться на месте. Круглый симметричный корпус выглядит одинаково в любую сторону и не имеет «торца», который упирается в ветер.
- **Ветер:** у купола $C_f \approx 0,6$, у прямоугольного модуля $\approx 1,2-1,3$. Высокий пол (≥ 2 м) поднимает парусность, поэтому выигрыш купола важен.
- **Вид и «инвесторский» образ:** скруглённая форма, панорамный пояс остекления $\pm 110^\circ$ (23 м^2) с видом на море, кольцевой свес платформы с ограждением (полноценная терраса $0,8-1,0$ м — опция, прорабатывается), светящаяся облицовка торца платформы, «башни» ног с LED-крышками.
- Корпус — тот же купол, что в концепте 1: та же оснастка, раскрой панелей и узлы.
- Альтернатива с тем же шасси — эллиптическая капсула 7×5 м со скруглёнными углами и обтекаемой крышей. Она удобнее внутри (прямые стены под мебель), но тяжелее на $0,5-1$ т и в 2 раза парусней. Пока не рекомендую.

3.2 Колёса: тандем-тележка (основной вариант) или одно широкое колесо на ногу

Критерий	8 колёс: 4 тандем-тележки	4 колеса: одно на ногу
Шины	8 × 710/45-26.5 (или 600/50-22.5)	4 × 710/45-26.5
Нагрузка на колесо (ном./расч.)	2,73 / 3,55 т	4,73 / 6,15 т
Давление в шинах (по таблице Nokian)	1,4-1,6 бар	3,5 бар
Среднее давление на песок	≈170 кПа	≈390 кПа
Тяга на сухом рыхлом песке (Brixius, CI 300)	сопротивление качению $\rho = 0,16$; свободная тяга 27 % при буксовании 30 % → 10 % уклона проходит	$\rho = 0,25$; свободная тяга $\approx 3\%$ → практически не едет
Переезд препятствий	ось качания тележки поднимается на половину высоты бугра; заднее колесо подталкивает переднее; $\pm 12^\circ$ качания	колесо Ø1,35 м уверенно берёт ступеньку $\approx 0,3-0,4$ м; удар целиком идёт в ногу
Масса ходовой	+2,9 т	—
Стоимость ходовой (оценка, не проверено)	≈1,6-1,8×	1×
Гусеницы на сыпучий песок	ставятся штатно (бортовые гусеницы форвардера на тандем) → 30-60 кПа	невозможно

Вывод: тандем-тележка. Она вдвое снижает давление на песок и даёт штатную возможность поставить гусеницы. Для мягкого грунта это решающее.

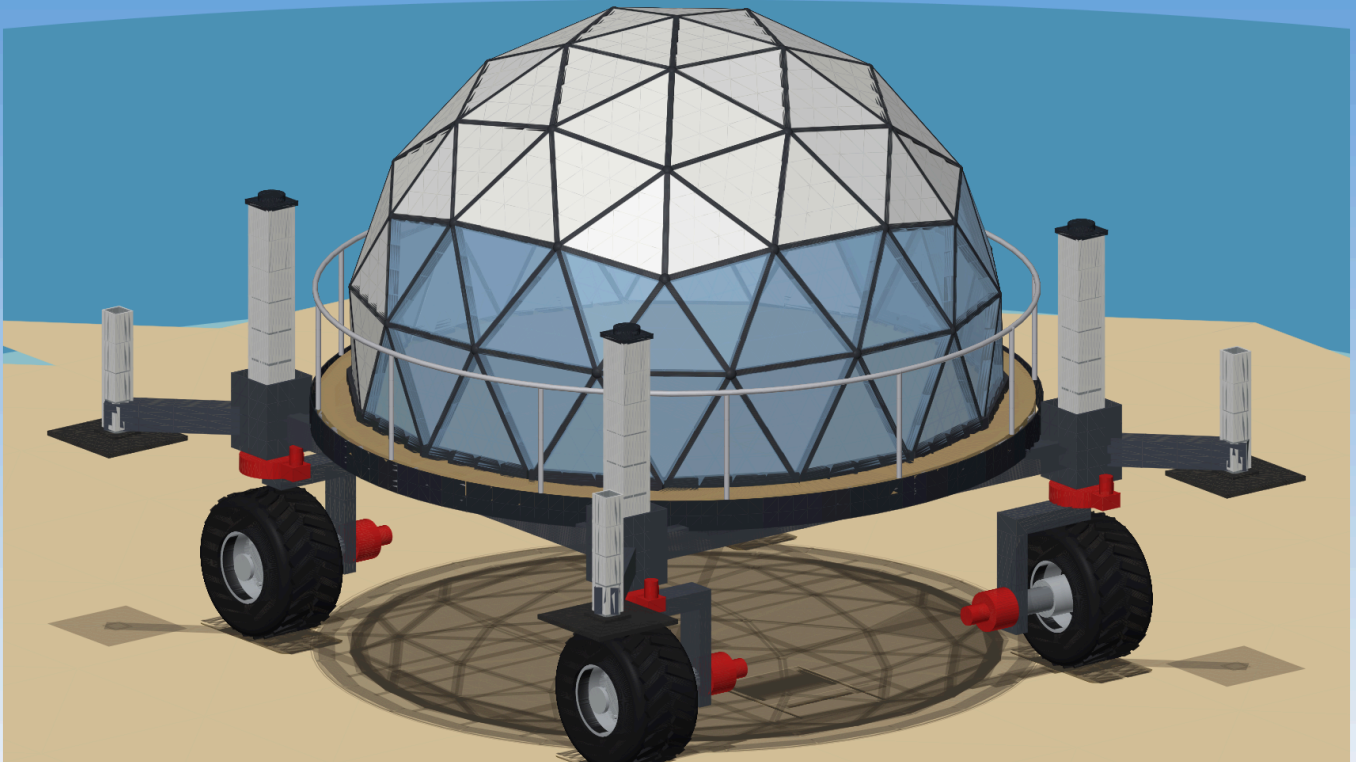
Конструкция тележки (как у форвардера, в модели):

- 2 шины 710/45-26.5 (Ø1345, ширина 710 мм, плечи скруглены, шевронные грунтозацепы 25 мм) стоят **в линию**: база 1470 мм, зазор между шинами 125 мм.
- Колёса крепятся на ступицах **снаружи. Внутри** (со стороны центра дома) стоит сварной картер-балансир 160 мм с двумя цепями 28В-2 в масляной ванне. Между шиной и картером

зазор 40 мм, балки сквозь колёса нет.

- **Ось качания Ø220 — в центре тележки, на высоте осей колёс.** Качание $\pm 12^\circ$.
- От слиинг-привода на оси ноги вниз идёт Г-образная стойка: консоль над шинами, затем вертикаль с внутренней стороны картера до цапфы оси качания.
- Мотор-редуктор стоит соосно оси качания, на внутренней стороне стойки.
- Пятно контакта: обе шины лежат на грунте в каждой позе, включая склон с бугром и ложбиной. Тангаж тележки подбирается так, чтобы касались обе шины; погрешность модели ± 5 мм — это шаг грунтозацепов.

Только для сравнения (НЕ основной вариант): 1 колесо 710/45-26.5 на ногу вместо тандема



Основной вариант — 8 колёс, по 2 на ногу. Здесь 4 колеса: легче на ~ 2.9 т, но давление на песок ≈ 390 кПа против ≈ 170 кПа; на сухом песке почти не едет

3.3 Привод тележки: один мотор на тележку, а не на каждое колесо

- **1 мотор на тележку, как у форвардера.** Мотор с редуктором стоит соосно оси качания, поэтому качание не мешает приводу. Оба колеса связаны цепями и всегда крутятся вместе: это механическая «блокировка» внутри тележки. 4 мотора, 4 тормоза, 8 РВД на ход. Цепной картер — понятный цеховой узел (как у мини-погрузчиков): сварной короб, звёздочки на ЧПУ, масляная ванна.
- **Мотор на каждое колесо (8 шт.)** — проще механически: балансир без цепей. Но в 2 раза больше моторов, тормозов и РВД. При прямом приводе нужны радиально-поршневые моторы, например Rosclain MS18 на ≈ 2700 см³ при 200 бар. Их минимальная устойчивая скорость ≈ 2 об/мин, то есть ≈ 8 м/мин на колесе Ø1,35. Ползучая скорость 0,5–3 м/мин без редуктора не получается: Black Bruin прямо пишет, что ниже 1 об/мин ровную скорость получить сложно.
- **Вывод:** планетарный колёсный редуктор с орбитальным мотором. Это стандартная связка: каталог Bonfiglioli 600 прямо допускает «hydraulic orbit motors». Мотор работает на 10–120 об/мин, а здесь он стабилен.

3.4 Руль: 4 слюинг-привода (минимально разумное число)

Вариант	Приводов	Плюсы	Минусы
Бортовой (skid) поворот	0	нет приводов	8 широких шин и 4 тележки длиной 3,3 м волокут боком: огромный момент сопротивления, разрыв песка, перегрузка ног изгибом. Неприемлемо
Руль 2 передних ног	2	меньше приводов	задние тандемы при повороте скребут; нет краба и разворота на месте; к кромке воды не подъехать боком
Руль всех 4 ног (слюинг-привод)	4	Аккерман, краб до 90°, «карусель» на месте; шины катятся без бокового сдвига	4 привода и 4 энкодера

Слюинг-привод — червячный, самотормозящийся, на гидромоторе, с абсолютным энкодером. Требования: * выходной момент $\geq 30 \text{ кН}\cdot\text{м}$: поворот тележки на месте, боковое трение 2 шин на плече 0,735 м, $\mu = 0,5$ ($\approx 26 \text{ кН}\cdot\text{м}$, с запасом — 30); * при повороте на ходу достаточно $\approx 8 \text{ кН}\cdot\text{м}$; * опрокидывающий момент $\geq 60 \text{ кН}\cdot\text{м}$, осевая нагрузка $\geq 120 \text{ кН}$.

Это класс червячных слюинг-приводов 17–21" (не проверено по каталогу). **Правило эксплуатации:** поворачивать тележки на ходу, а на месте — только на мокром или плотном песке.



4. Ноги: телескоп, цилиндр, продольный изгиб, боковые нагрузки

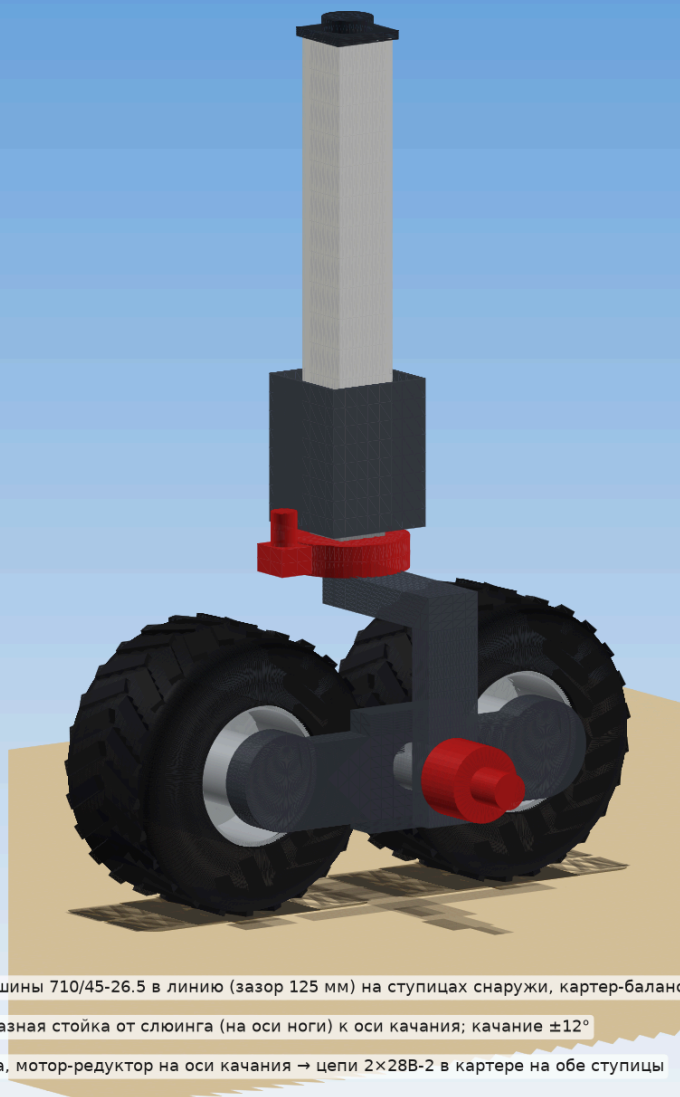
Конструкция. * Наружная труба 300×300×10 вварена в узел-гнездо шасси 520×520×700. Сверху крышка с цапфой цилиндра. * Внутренняя труба 250×250×10 скользит по сменным накладкам из бронзы или полиамида ПА6-G: внизу наружной трубы и вверху внутренней. * Внутри стоит цилиндр Ø100/80. Он работает только на осевую силу, изгиб воспринимает телескоп. * Перекрытие труб — 2,3 м при втянутой ноге и 0,8 м при полном выдвижении. * На стоянке — стопорный палец по отверстиям через 100 мм и сброс давления.

Проверка	Ход (ноги втянуты)	Ноги +1,5 м, полная тяга	Ноги +1,5 м, тяга ограничена 50 %
Вертикальная нагрузка на ногу ($k = 1,3$)	69,6 кН (со снегом 85 кН)	←	←
Горизонтальная сила у грунта	42 кН ($\mu = 0,6$ при пробуксовке)	42 кН	21 кН
Плечо до нижней направляющей	1,73 м	3,23 м	3,23 м

Проверка	Ход (ноги втянуты)	Ноги +1,5 м, полная тяга	Ноги +1,5 м, тяга ограничена 50 %
Изгибающий момент	72 кН·м	135 кН·м	67 кН·м
σ во внутренней трубе 250×250×10 ($W = 739 \text{ см}^3$)	105 МПа ($K = 3,4$)	190 МПа ($K = 1,9$)	99 МПа ($K = 3,6$)
Реакция на направляющих	31 кН	169 кН	84 кН
Прогиб у грунта	4 мм	24 мм	12 мм
Устойчивость ноги как стойки ($K_L = 2$)	$P_{cr} = 13\,600 \text{ кН}$	$P_{cr} = 4200 \text{ кН}$ (запас ≈ 50)	←

- **Продольный изгиб штока Ø80** при длине выдвинутого цилиндра 3,9 м, шарнирные концы, считая только шток (консервативно): $P_{cr} = 274 \text{ кН}$. При 85 кН запас $K = 3,2$. Шток Ø70 давал только 1,9, поэтому выбран Ø80.
- Давление в цилиндре: 89 бар номинально, 109 бар со снегом (если стоять на колёсах). Предохранительный клапан 250 бар, усилие при 210 бар — 165 кН.
- **Вывод.**
- Нога работает с запасом во всех случаях, кроме «полное выдвижение + пробуксовка на пределе сцепления».
- В этом случае контроллер ограничивает давление хода до 50 %, если выдвижение ноги больше 1,0 м: «высокая стойка — ползём медленно и без рывков».
- Общее ограничение давления хода — 220 бар.
- Направляющие накладки рассчитывать на 170 кН (по 2 накладки 200×150: $\approx 3\text{--}6 \text{ МПа}$, для РА6-Г и бронзы допустимо).
- Ветер на ногу ($\approx 5 \text{ кН}$ на ногу при 30 м/с) и боковой скат на уклоне 10 % (7 кН) намного меньше тяговой силы.

Узел ноги: телескоп 300/250, гидроцилиндр Ø100/80, слюинг-привод руля, тандем-тележка



Вид изнутри: схема форвардера — 2 шины 710/45-26.5 в линию (зазор 125 мм) на ступицах снаружи, картер-балансир внутри, ось качания в центре тележки; Г-образная стойка от слюинга (на оси ноги) к оси качания; качание $\pm 12^\circ$
Красное — приводы: слюинг поворота, мотор-редуктор на оси качания → цепи 2х28В-2 в картере на обе ступицы

5. Шины и давление на песок

Основная шина — 710/45-26.5 Nokian Forest King F2 SF 24PR 173A8 (лесная, для форвардеров). * Ø1345 мм, ширина 710 мм, статический радиус 621 мм. * По таблице Nokian «Forestry service, 10 км/ч»: 160 кПа → 3350 кг, 200 кПа → 3750 кг, 240 кПа → 4250 кг. * Наша нагрузка 2,73 т ($\times 1,15 = 3,14$ т) укладывается в 160 кПа — нижнюю точку таблицы. **Значит, 1,6 бар подтверждены таблицей.** * **1,4 бар** — экстраполяция ниже таблицы (**не подтверждено**, согласовать с Nokian; на ползучей скорости производители обычно допускают больше). * Камерная шина: проколы на пляже маловероятны, но нужен запас камер.

Среднее давление на грунт $p \approx p_{\text{ш}} + p_{\text{каркаса}}$ (≈ 30 кПа, эмпирика для низконапорных шин):

Вариант	Давление в шине	p на песок	Пятно на колесо
8 x 710/45-26.5 (основной)	1,4 (экстрап.) ... 1,6 бар	$\approx 170\text{--}190$ кПа	$\approx 0,16$ м², длина $\approx 0,28$ м
8 x 600/50-22.5 F2 20PR (легче на 0,85 т, дешевле; для плотного мокрого песка)	$\approx 2,1$ бар (экстрап.)	≈ 240 кПа	0,11 м²
4 x 710/45-26.5 (1 колесо на ногу)	3,6 бар	≈ 390 кПа	0,12 м²

Вариант	Давление в шине	р на песок	Пятно на колесо
Тележки + бортовые гусеницы (опция)	—	≈30-60 кПа (пики под колёсами 1,5-2х)	≈1,5 м² на тележку
Концепт 1: подпятник Ø0,8 / плита Ø2	—	73 / 36 кПа	—

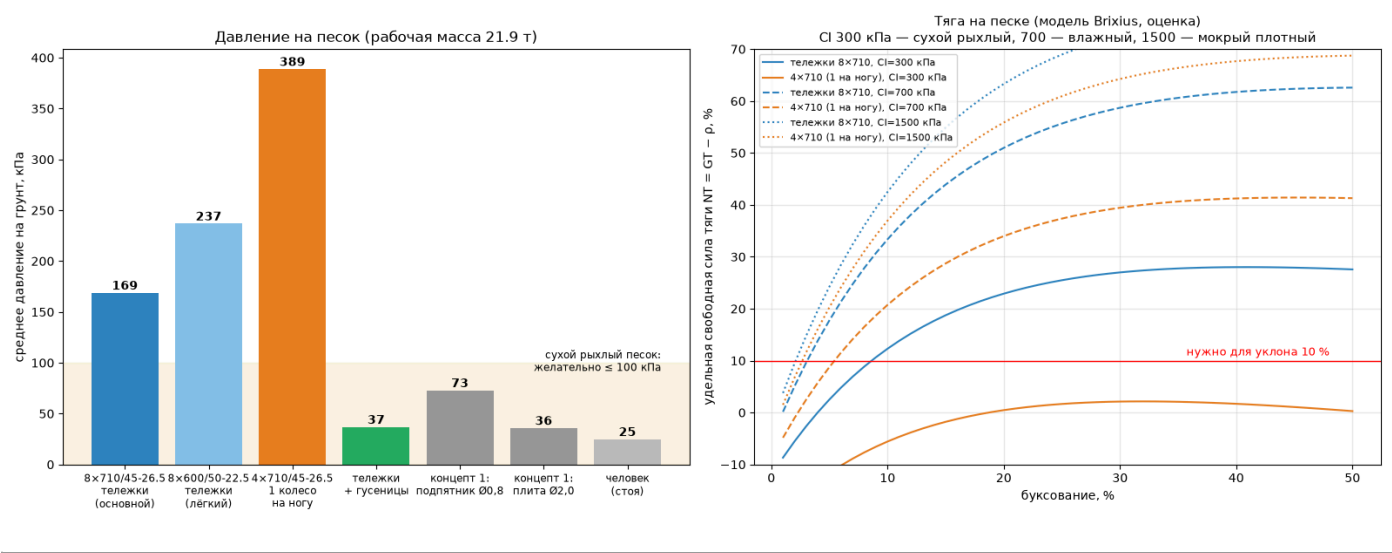
- Требуемая ширина шины.** Чтобы на сухом рыхлом песке получить ≤100 кПа, при длине пятна ≈0,3·D нужна ширина ≈830 мм (Ø1,35) или ≈740 мм (Ø1,5). То есть класс 800/40-26.5...1050/50R32 — это уже очень большие колёса. Реалистичный путь для сыпучего песка — **бортовые гусеницы на тележки** (+0,5-0,65 т на тележку). Их ставят только на сезон работы на сухом песке.
- Тяга (Brixius 1987, оценка; модель сделана для почв, для песка даёт ориентир):**

Грунт	8 × 710: ρ	8 × 710: свободная тяга при буксовании 30 %	4 × 710: ρ	4 × 710: свободная тяга
сухой рыхлый, CI 300	0,16	0,27	0,25	0,03
влажный, CI 700	0,09	0,59	0,13	0,40
мокрый плотный, CI 1500	0,06	0,73	0,08	0,65

- Требуемая тяга** на уклоне 10 % с $f = 0,25$ (заданный «плохой» песок): $F = W \cdot (f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha)$ + ветер = **76 кН** (19 кН на тележку), нужное $\mu \approx 0,36$. По Brixius на CI 300 это на грани: при буксовании 20-30 % тяги хватает, но песок будет «копаться».

Рекомендации: * на сухом песке ездить по уклону ≤5-7 %; * снижать давление в шинах до 1,2-1,4 бар: подкачка компрессором дома, опция — централизованная подкачка (CTIS) 4 контура; * ставить гусеницы; * иметь **гидравлическую лебёдку 5-8 т с винтовым анкером** для самовытаскивания (питается от той же гидростанции).

По мокрой плотной полосе прилива дом едет легко: $\rho \approx 0,06$.



6. Привод хода

Величина	Значение
Динамический радиус	0,64 м (Nokian: 0,650 м при 8 т / 600 кПа)

Величина	Значение
Тяга на тележку, расчётная (уклон 10 %, $f = 0,25$, неравномерность 1,3)	24,7 кН → момент 15,8 кН·м
Предел по сцеплению ($\mu = 0,6$)	26,7 кН·м → ограничиваем давлением 220 бар: 21 кН·м , 33 кН на тележку
Редуктор	планетарный колёсный, $i = 80$, stall 22 кН·м, встроенный пружинный многодисковый тормоз с гидроразблокировкой. Класс Bonfiglioli 607W (ряд 600: 3–85 кН·м, $i = 4,3$ –153, допускает орбитальные моторы)
Мотор	орбитальный (героторный) 100 см³ , класс Danfoss OMS 100 / Eaton 6000 (не проверено). Момент 224 Н·м, $\Delta p \approx 166$ бар расчётно
Цепи	2 × 28В-2 (на каждое колесо), звёздочки ≈ 310 мм, натяжители, масляная ванна; ≤ 86 кН на цепь при пробуксовке (запас по разрыву ~ 4 — проверить по ISO 606)

Скорость	Колесо, об/мин	Мотор, об/мин	Расход на 4 мотора
0,5 м/мин — позиционирование, «стыковка»	0,12	10	4,3 л/мин
3 м/мин — рабочая по песку	0,75	60	26 л/мин
6 м/мин — по плотному грунту, без подъёма	1,49	119	52 л/мин

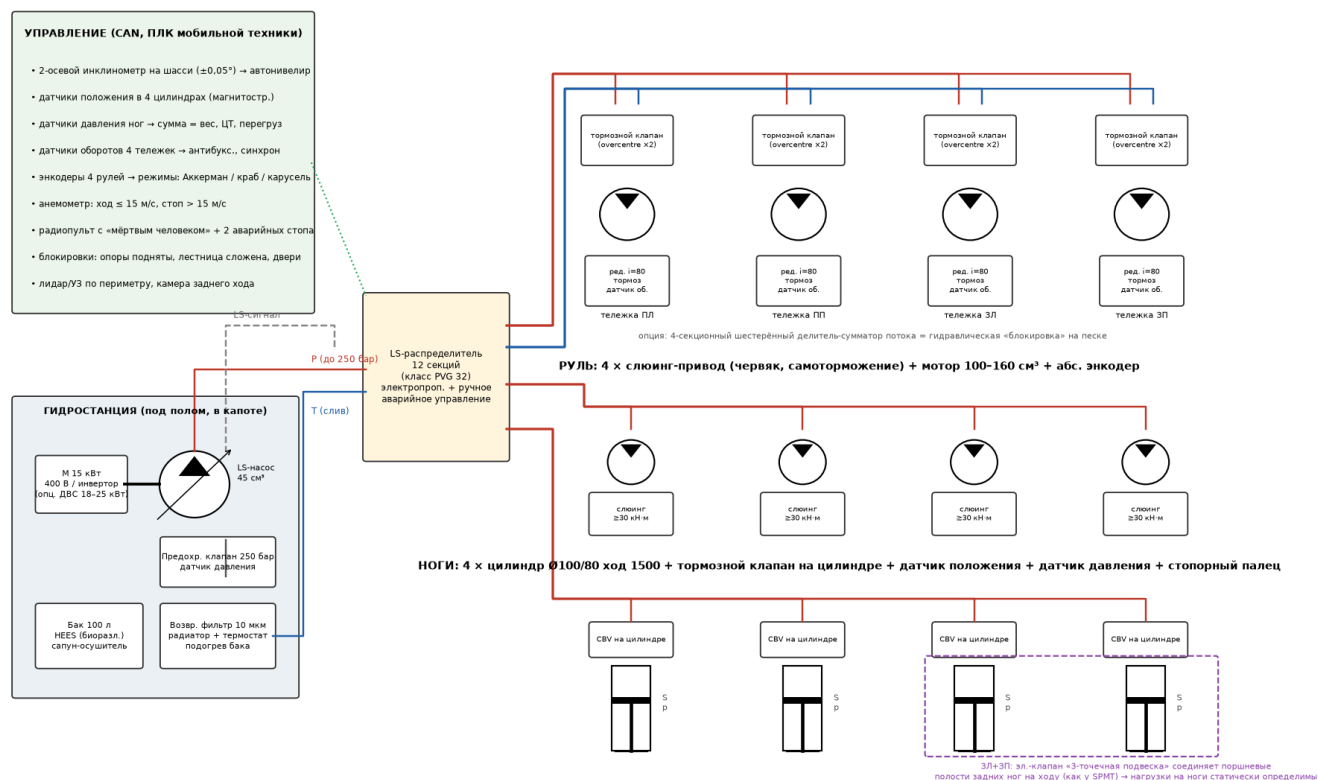
Механическая мощность при 3 м/мин в самом тяжёлом случае 3,8 кВт, гидравлическая на ход — 7,8 кВт.

Прямой привод (альтернатива). * По моменту на колесо 7,9 кН·м при 8 моторах подходит Posclain MS18 (до 2812 см³, 17,9 кН·м) или MS11 1687 см³ (на пределе). * Но 2 об/мин (≈ 8 м/мин) — нижняя граница устойчивой скорости радиально-поршневых моторов. С опцией slow-speed у Black Bruin — 0,5 об/мин, то есть 2 м/мин. * Для нашего диапазона 0,5–3 м/мин прямой привод не подходит, поэтому выбран редуктор.

7. Гидросхема и управление

Принципиальная гидросхема (упрощённо): одна LS-гидростанция, 12 пропорциональных секций, 4 тележки / 4 руля / 4 ноги

ХОД: 4 × (мотор 100 см³ → планетарный редуктор $i=80$ с пружинным тормозом → 2 цепи → 2 колеса)



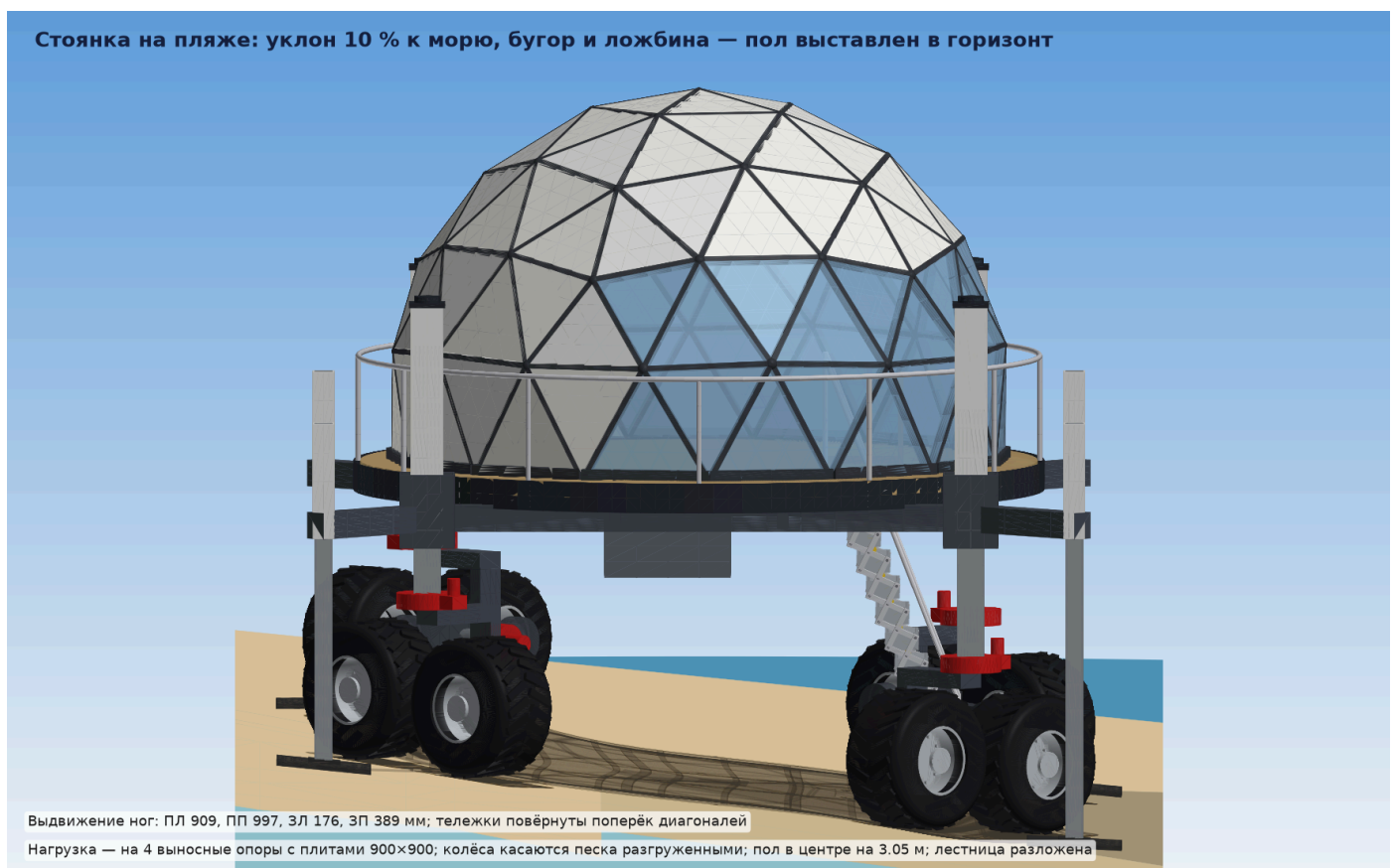
- **Гидростанция под полом:** электродвигатель 15 кВт (400 В, плавный пуск или инвертор) + регулируемый LS-насос 45 см³ (класс Rexroth A10VO45 DFR, 67 л/мин при 1500 об/мин).
- Бак 100 л, возвратный фильтр 10 мкм, радиатор, подогрев бака, сапун-осушитель (морской воздух).
- Масло HEES — биоразлагаемое, синтетический эфир: работаем на пляже, утечка не должна стать экологической проблемой.
- Пиковый расход 47 л/мин (ход 3 м/мин + половина рулей + половина ног), пиковая мощность 11,5 кВт.
- Опция — дизель 18-25 кВт на насосе или генератор.
- **Распределитель:** секционный пропорциональный LS, 12 секций (класс Danfoss PVG 32): 4 хода, 4 руля, 4 ноги. Электропропорциональное управление по CAN плюс ручное аварийное.
- **Ход:**
 - на каждом моторе двойной тормозной (overcentre) клапан — удержание на спуске и при обрыве РВД;
 - тормоз редуктора нормально закрыт и открывается давлением хода;
 - датчик оборотов на каждой тележке → электронная антипробуксовка (выравнивание скоростей 4 тележек);
 - опция — 4-секционный шестерённый делитель-сумматор потока как «гидравлическая блокировка» на сыпучем песке.
- **Ноги:**
 - на каждом цилиндре прямо на корпусе тормозной клапан (counterbalance, защита от обрыва РВД), магнитоотриксционный датчик положения, датчик давления, механический стопорный палец;
 - **3-точечная подвеска, как у SPMT.** На ходу электроклапан соединяет поршневые полости задних ног (ЗЛ + ЗП). Опора становится статически определимой: 3 «точки». Нагрузки на ноги не зависят от неровностей, нет «диагонального» висения;

- нивелирование: 2-осевой инклинометр ($\pm 0,05^\circ$) на шасси. Контроллер держит горизонт пола $\pm 1^\circ$ на ходу и $\pm 0,3^\circ$ на стоянке, а по сумме давлений в ногах вычисляет вес и ЦТ.
- **Руль:** гидромотор слюинг-привода + абсолютный энкодер. Режимы: Аккерман, краб, карусель, «стоянка» (тележки поперёк диагоналей, освобождают место под опорами).
- **Безопасность:**
 - радиопульт с кнопкой «мёртвого человека» и 2 аварийных стопа;
 - анемометр: ход ≤ 15 м/с;
 - блокировки: опоры подняты, лестница сложена (концевик + защёлка), двери закрыты;
 - лидар или УЗ по периметру.

При пропадании питания тормоза закрываются, клапаны на цилиндрах держат ноги. * **Энергия:**
 * по плотному ровному песку — 0,9 кВт·ч на 100 м; * по рыхлому в гору 10 % — 5 кВт·ч на 100 м;
 * подъём дома на 1,5 м — 0,15 кВт·ч.

Бытовой АКБ дома на 15 кВт·ч (инвертор 15–20 кВА) хватает на ~1 км по плотному или ~250 м по тяжёлому песку. Это стыкуется с автономной энергетикой дома (солнечные панели).

8. Стоянка на опорах, выравнивание, высота пола



- **Можно ли стоять на опорах с разгруженными колёсами? Да, и это рекомендуемый режим долгой стоянки.**
- На каждом углу есть консоль 250×220×10 с выносом 1,4 м по диагонали. На ней ручная телескопическая стойка 200/160 с отверстиями под палец, винтовой доводкой и плитой 900×900 на шарнире (садится на склон).
- Порядок: тележки ставятся поперёк диагоналей → стойки опускаются до песка и затягиваются винтом → ноги втягиваются, пока нагрузка на колёса не станет ≈ 0 (шины касаются песка без нагрузки, так и показано в модели) → давление сбрасывается, пальцы ног вставлены.
- Шины не стоят месяцами под нагрузкой на солёном песке, гидравлика без давления. Опорный квадрат вырастает с 5,2 до 7,2 м.

- Давление под плитой — 85 кПа, со снегом 105 кПа. Для штормовых мест — винтовые анкеры с растяжками на консоли (размыв песка прибором!).
- Опция — гидравлические опоры (+4 цилиндра) с кнопки.
- **Выравнивание на склоне.** Пример в модели: уклон 10 %, бугор +0,3 м, ложбина −0,15 м. Выдвижение ног: ПЛ 909, ПП 997, ЗЛ 176, ЗП 389 мм. Пол горизонтален, в центре на 3,05 м над песком, над самой высокой точкой грунта под домом ≈2,5 м. Ход 1,5 м на базе 5,2 м в теории выбирает уклон до 29 %. Практически ограничение — тяга (п. 5): ≈10–15 %.
- **Пол ≥ 2,0 м — выполнено:**
 - на ходу 2,38 м (ноги втянуты);
 - на стоянке 2,4–3,9 м.

Ехать можно и с выдвинутыми ногами: опрокидывания нет даже при 3,9 м (п. 9). Но при выдвигении больше 1,0 м тяга ограничивается 50 % из-за изгиба ноги.

Рекомендованная транспортная высота пола — 2,4–2,9 м (выдвижение 0–0,5 м).

Минимум по устойчивости ниже, чем позволяет конструкция. Более жёсткий предел — изгиб ног при пробуксовке.

8.1 Подъём в дом: ножничная лестница с электроприводом

Заменяла складную двухмаршевую лестницу.

Кинематика. Две боковые «ленивые клещи» (пантограф) по 12 ячеек, звенья Al 6082-T6 50×10 мм, 382 мм между осями; оси нерж. Ø20 во втулках PTFE. Верхние шарниры: А — неподвижный, В — ползун в направляющей, наклонённой на 20°. Пантограф раскрывается перпендикулярно линии АВ, поэтому ось пакета наклонена на 20° от вертикали и **угол лестницы 70°** (крутая лестница-трап, как чердачные ножничные лестницы, но с поручнями). Пары шарниров на каждой границе ячеек всегда параллельны АВ. Ступень (решётка Al 740×250, 30 мм) закреплена на паре: один шарнир во втулке, второй в пазу щеки. Это и есть параллельная связь — **ступени горизонтальны при любом раскрытии**, ничего подкручивать не нужно.

Параметр	Значение
Подъём (от пола до грунта)	2,0–3,9 м ($\alpha = 25...55^\circ$); в позе <code>park_slope</code> — 3,30 м , $\alpha = 43,6^\circ$
Ступени	неподвижная верхняя в колодце люка (−225 мм) + 12 подвижных; подступёнок 248 мм на стоянке-примере (при 2,4 м ≈170 мм)
Сложена	$\alpha = 6^\circ$, пакет 479 мм по оси; низ на 0,83 м ниже пола, ≈1,55 м над грунтом на ходу (на 0,3 м ниже рамы шасси)
Масса	215 кг всего: подвижная часть 95 кг, верхняя рама 38, привод с барабаном 40, люк 28, поручни 22

Привод. Мотор-редуктор 48 В, 400 Вт (BLDC/серво, планетарный $i \approx 80$, пружинный тормоз, энкодер) под полом за люком. Он крутит барабан Ø120 с двумя ремнями Дупеета 25 мм к нижней опоре. Вниз пакет раскрывается **собственным весом с контролем скорости** (мотор в режиме торможения), вверх — намоткой ремней.

- Приведённая к опоре масса ≈58 кг, усилие в ремнях с трением ≈0,85 кН, момент на барабане ≈51 Н·м, 32 об/мин.
- Ход опоры 2,7 м при **0,2 м/с — раскладка ≈13 с**, мощность ≈170 Вт (запас мотора ≈2,3×).
- Мягкий старт и стоп по энкодеру: последние 0,3 м — на 0,05 м/с.

Винт или линейный актуатор на ползун В не годится: у ножниц в сложенном положении ($\alpha = 6^\circ$) усилие на В ≈50 кН. Барабан с ремнями тянет за нижний конец, и усилие постоянно по всему ходу. Вариант с винтом возможен, только если винт тянет трос к нижней опоре через полиспаст.

Поручни. Телескопические, нерж., 3 секции Ø42/36/30, по обеим сторонам внутри проёма люка (проём расширен до 1000 мм).

- Верх — стойки на стенках колодца, 1 м над полом.
- Низ — откидные стойки на нижней опоре.
- Сложенный поручень (1,18 м) лежит вдоль пакета под шасси; верхние стойки укорачиваются до 560 мм и ложатся в колодец под крышку люка.

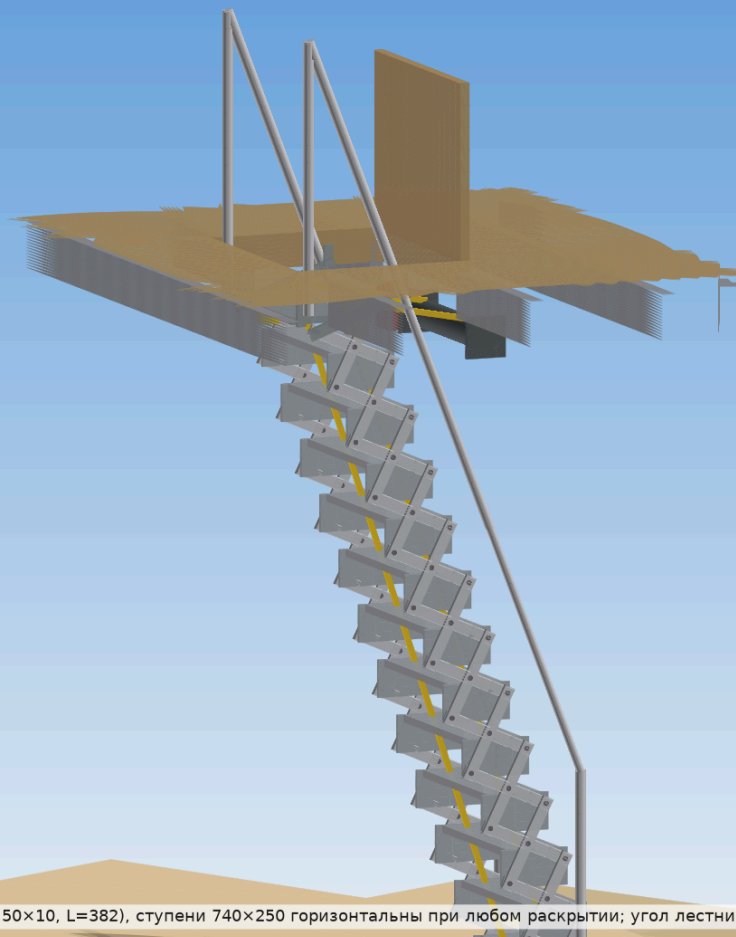
Нижняя опора. Рама 400×820 на шарнире с резиновой подошвой и датчиком касания. Она садится на склон или бугор, а ножницы сами берут разницу.

Концевики и блокировки (PLC ходовой):

- «**сложена» (индуктивный) + механическая защёлка с датчиком** — без обоих сигналов ход, руль и выдвижение ног запрещены;
- «макс. раскрытие» ($\alpha = 55^\circ$) и программный предел по энкодеру;
- датчик касания опоры — стоп раскладки, затем натяг ремней до минимума;
- датчик слабину ремня — режим слежения: при нивелировании ног лестница стоит на грунте, привод выбирает или отдаёт ремень;
- раскладка разрешена только при стоянке: скорость 0, тормоза закрыты, руль в «стоянке», двери закрыты, ветер < 20 м/с;
- кнопка удержания (hold-to-run) у люка и на пульте; при отпуске — стоп и тормоз;
- при пропадании питания тормоз держит лестницу. Аварийно — ручной вороток на валу барабана.

Вертикальный подъёмник у ноги (300 кг, 1,1×1,4 м) остаётся опцией для маломобильных гостей.

Ножничная лестница с электроприводом: разложена до песка (уклон 10 %)

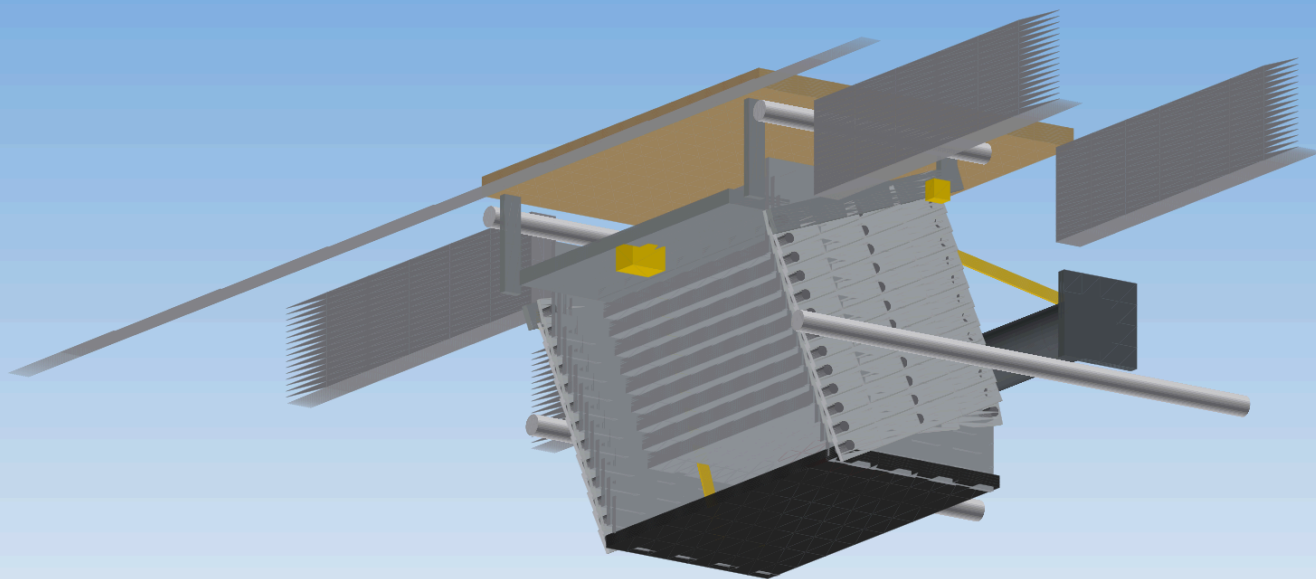


2×12 ячеек пантографа (звенья Al 50×10, L=382), ступени 740×250 горизонтальны при любом раскрытии; угол лестницы 70°

Подъём 3.30 м: верхняя ступень -0,225 м + 12 подступёнков по 248 мм; раскрытие $\alpha=44^\circ$ (макс. $55^\circ \rightarrow$ до ~3,9 м)

Красное — мотор-редуктор 48 В 400 Вт с тормозом и энкодером (барабан + 2 ремня к нижней опоре); жёлтое — концевики и датчики

Ножничная лестница сложена под полом (ход): вид снизу



Пакет 12 ячеек при $\alpha=6^\circ$ — 479 мм по оси; низ на 0.83 м ниже пола (≈ 1.55 м над грунтом на ходу)

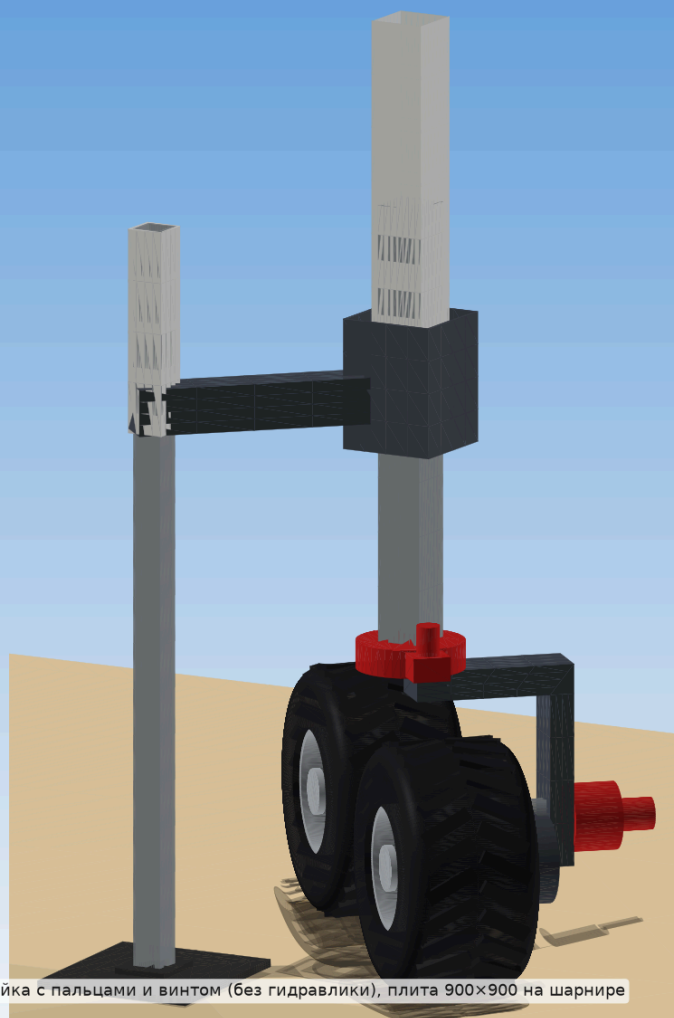
Крышка люка закрыта, стойки поручней опущены в колодец; концевик «сложена» + механическая защёлка разрешают движение

Стоянка на склоне: вид со стороны моря



Ноги разной длины, корпус по уровню (инклинометр), опоры на плитах, колёса разгружены

Узел на стоянке: выносная опора на плите, обе шины тележки стоят на грунте разгруженными

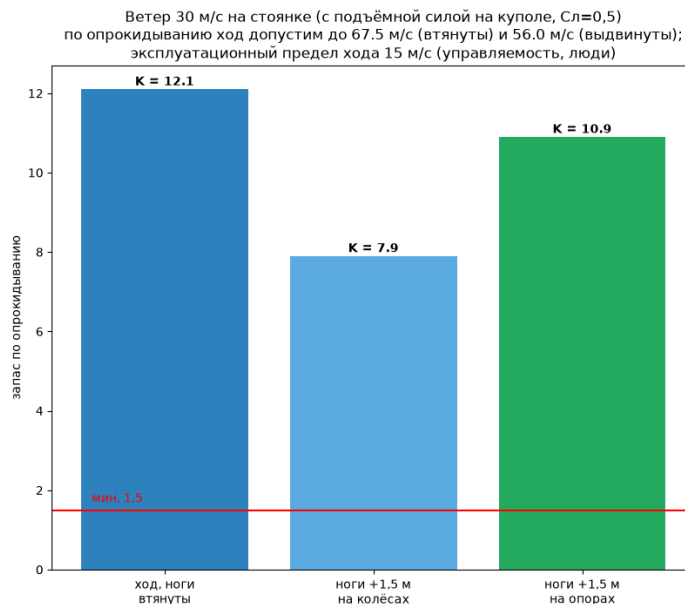
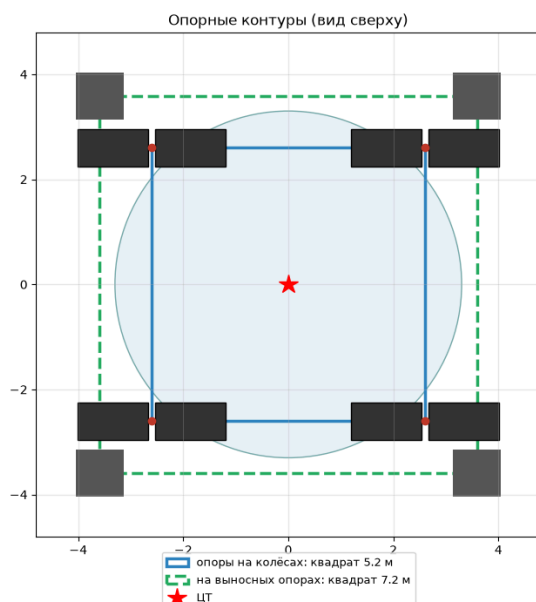


Опора — ручная телескопическая стойка с пальцами и винтом (без гидравлики), плита 900×900 на шарнире

9. Устойчивость и ветер

Случай	Высота ЦТ	$C_f \cdot A$ / плечо	Ветер 30 м/с: F / М	Запас К
Ход, ноги втянуты, на колёсах (опорный квадрат 5,2 м)	2,10 м	34,2 м ² / 2,3 м	18,9 кН / 43 кН·м	12,1
Ноги +1,5 м, на колёсах	2,93 м	37,8 м ² / 3,2 м	20,8 кН / 67 кН·м	7,9
Ноги +1,5 м, на выносных опорах (квадрат 7,2 м)	2,93 м	←	←	10,8

- Подъёмная сила на куполе учтена ($C_L = 0,5$, 9,4 кН при 30 м/с).
- Сдвиг на опорах: $\mu = 0,4$, запас 3,9; плюс тормоза и анкеры.
- **Статический угол опрокидывания:** 51° на ходу, 42° при выдвинутых ногах.
- **Ход на уклоне 10 % без выравнивания** (авария инклинометра), ветер 15 м/с: К = 47 (втянуты) и 29 (выдвинуты). По опрокидыванию ехать можно даже при ветре >50 м/с. **Эксплуатационный предел хода 15 м/с** задают управляемость, люди рядом и точность выравнивания.
- Тяжёлое низкое шасси (13 т ходовой ниже пола) делает дом очень устойчивым. Высокий пол (2,4–3,9 м) запас не съедает.
- На ходу ЦТ лежит внутри квадрата 5,2 м с запасом $\geq 2,6$ м. Если поднять одну тележку на препятствие, остаётся треугольник с запасом 1,8 м. Поэтому в аварийной ситуации ногу можно поднять и «перешагнуть» бревно или яму.



10. Защита от коррозии (пляж, соль, прибой)

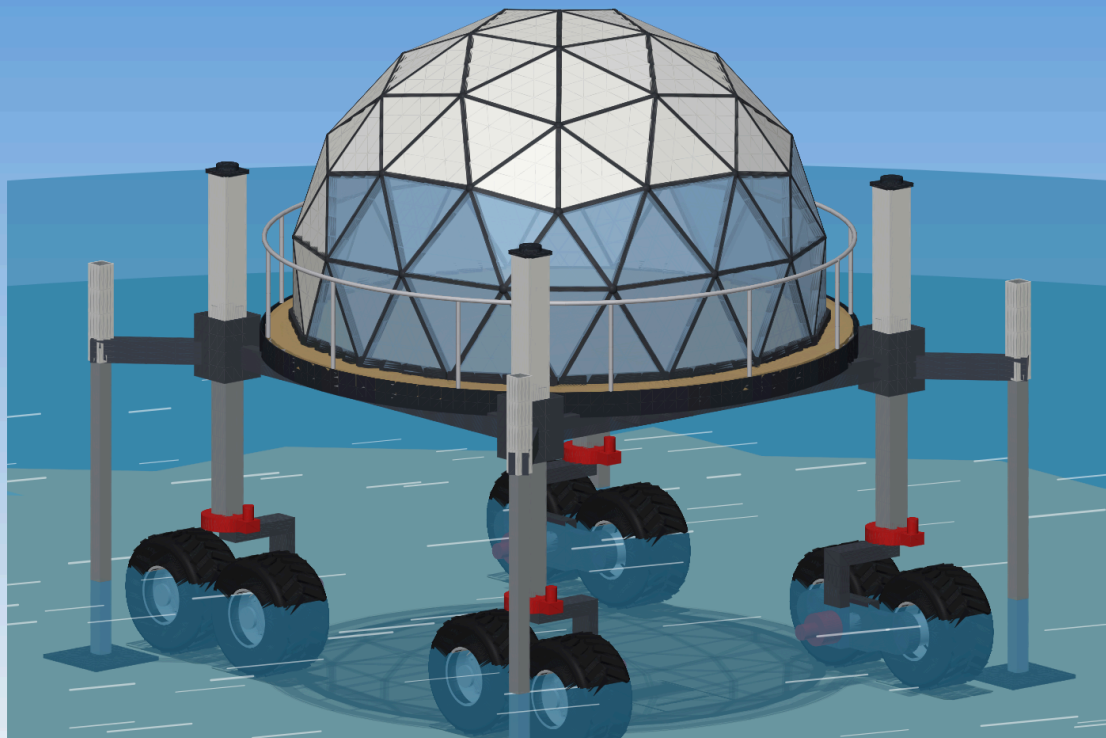
- **Сталь:**
 - горячее цинкование всех сварных узлов: шасси, ноги, консоли, тележки — ГОСТ 9.307 / ISO 1461, 85–100 мкм;
 - поверхность — дуплекс-покрытие по ISO 12944 C5 / CX: эпокси-праймер + эпокси-мастика + полиуретан, ≥ 240 мкм;
 - узлы проектировать под цинкование: технологические отверстия, без закрытых полостей;
 - внутренние полости труб ног — цинк плюс консервант.
- **Штоки цилиндров:** хром по никелю ($Ni + Cr \geq 50$ мкм) или керамика / лазерная наплавка из нержавеющей стали. Гофрочехлы штоков. Цилиндры внутри труб ног закрыты от брызг.
- **Скользящие накладки** — бронза или PA6-G. Не пара «сталь по стали» (иначе фреттинг-коррозия).
- **Тележки и редукторы.**
 - Цепной картер и редуктор герметичны: двойные манжеты, торцовые уплотнения «duo-cone» на ступицах.
 - Сапуны выведены вверх по ноге (погружение в воду допустимо).
 - Протекторные цинковые аноды на картерах.
 - Ступицы и диски оцинкованы.
- **Гидравлика:**
 - фитинги с покрытием Zn-Ni, хомуты и крепёж из нержавеющей стали А4;
 - РВД в защитной спирали, разъёмы IP69K;
 - распределитель в боксе под полом.
- **Электрика:** IP67, кабели в гофре, датчики в нержавеющих корпусах.
- **Регламент:**
 - после работы в приборе — пресная мойка ходовой (насос из бака дома);
 - осмотр покрытия раз в сезон;
 - смазка ступиц;
 - анализ масла (вода).

11. Сравнение с концептом 1 (схема В: шагающий «экскаватор» с плитой)

Критерий	Концепт 1, схема В (купол + 4 ноги + плита)	Концепт 3 (колёсные ноги, 8 × 710 на тележках)
Рабочая масса	11,6 т	21,8 т
Скорость	0,92 м/мин	3 м/мин (0,5–6)
Приводы	6 электромеханических (4 подъёма + челнок + ОПУ)	12 гидравлических (4 ноги + 4 руля + 4 хода) + гидростанция + электропривод лестницы
Давление на грунт	73–113 кПа (подпятник), 36 кПа (плита)	170–190 кПа (шины), 30–60 кПа (гусеницы), 85 кПа на опорах
Высота пола	2,76 м (почти фиксированная, ход 0,3 м)	2,38–3,88 м (ход ног 1,5 м)
Выравнивание	±0,3 м	до 1,5 м (уклон до ~29 % теоретически)
Уклон при движении	≤5 %	≤10 % по влажному песку, ≤5–7 % по сухому (больше — с гусеницами или лебёдкой)
Поворот	разворот на ОПУ на месте	Аккерман / краб 90° / карусель
Плавность	шаг, толчки, пауза каждые 39 с	непрерывное движение
Шум	тихо (электро)	гидростанция ~70–75 дБ(А) на ходу (только при движении)
Песок, прибой	подпятники вязнут, плита — «якорь» в песке	рассчитан на песок; ходовая герметична, погружение допустимо
Сложность для цеха	винтовые домкраты, рама, ОПУ — просто	цепные картеры тележек, слюинг-узлы, гидросхема — средне; основные комплектующие покупные (шины, редукторы, моторы, слюинги, цилиндры, PVG)
Стоимость ходовой (очень грубо, не проверено)	1×	≈2–3× (8 лесных шин, 4 колёсных редуктора, 4 слюинга, PVG, гидростанция)
Эффект на публику	«шагающий замок» — вау-эффект	«луноход-вилла» — футуристично, понятно инвестору, реально ездит по пляжу

Итог: для пляжа концепт 3 практичнее. Он в 3 раза быстрее, выравнивается на склоне, поднимает дом над приливом и не вязнет так, как подпятники. Цена — почти двойная масса и гидравлика.

Ноги выдвинуты полностью (+1,5 м): дом над приливом и волной



Пол на 3.88 м над грунтом; вода условно на +0.9 м; тележки и мотор-редукторы — герметичные, погружение допустимо
Шторм-режим: + выносные опоры на плитах (на рендере опущены), винтовые анкеры с растяжками

12. FreeCAD-модель и файлы

- `cad/wheeled_house.py` — параметрическая модель FreeCAD 1.0.
- Запуск: `freecadcmd wheeled_house.py POSE=travel | park_slope | extended [WHEELS_PER_LEG=1] [TIRE_SIZE=600] [KEY=VALUE...]`.
- Параметры записываются в таблицу «Параметры» внутри `.FCStd` вместе с массой, ЦТ, высотой пола и выдвигением ног.
- Все объекты подписаны по-русски, у каждого есть свойство `Massa_kg`.
- Грунт (пляж) — отдельный объект `Грунт_пляж...`, в массу не входит.
- Позы (каждая — `.FCStd` + `.step`):
- `travel` — ход, ноги втянуты, пол +2,38 м;
- `park_slope` — стоянка на уклоне 10 % с бугром и ложбиной, ноги разной длины, опоры на плитах, обе шины каждой тележки касаются грунта разгруженными, ножничная лестница разложена до грунта;
- `extended` — ноги выдвинуты на 1,5 м, пол +3,88 м, опоры опущены;
- `travel_1wheel` — вариант сравнения с одним колесом на ногу;
- `travel_600` — тележки с шинами 600/50-22.5.
- Проверка: все 5 `.FCStd` открываются, все объекты не пустые. Все `.step` читаются (`isValid = True`, ≈1190 тел; ≈910 у варианта с одним колесом). Каждый грунтозацеп — отдельное тело.
- Проверка колёс (скрипт по `.FCStd`): в основных позах 8 шин, по 2 на тележку; зазор между шинами 125 мм; касание грунта от −3 до +5 мм во всех позах, включая склон; пересечений шин с картером, стойкой, осью, опорами и лестницей нет.
- `cad/render_mpl.py` — рендеры 01-07 и 12-13 (ножничная лестница). Презентационный рендер по STL (`cad/mesh_*`): `matplotlib`, тени, небо, песок, вода. GUI-рендер FreeCAD на сервере даёт пустые кадры.
- `calc/calc.py` → `calc/results.json`, рисунки 08-11.

Модель концептуальная: тела в узлах пересекаются; сварные швы, крепёж, РВД, уплотнения и цепи не прорисованы. Цилиндр показан внутри трубы ноги.

Источники данных (проверены онлайн 10.10.2026): * Nokian Forest King F2 600/50-22.5 — https://www.nokiantyres.com/static/studio/pub/PIH/certificates/heavy/if-3411-f2/tire-certificate_600-50-22-5-20-159a8-167a2-nokian-tyres-forest-king-f2-sf-tt_en_SI.pdf * Nokian Forest King F2 710/45-26.5 24PR — https://ditopony.pl/certyfikaty/nokian/nokian%20forest%20king%20F2%20710_45-26.5%2024PR%20173A8.pdf * Alliance 328 600/50-22.5 (5150 кг @ 2,6 бар, 40 км/ч) — <https://liamevanstyres-catalogue.co.uk/products/product/600-50-22-5-16-pr-alliance-328-165a8-161b--fr-153a8-149b--dw-i-3-tl-120-3047> * Poclain MS11 / MS18 — <https://poclain.com/products/hydraulic-motors/ms-multipurpose/ms11-mse11-motor-max-1687cc-50-kw>, <https://poclain.com/products/hydraulic-motors/ms-multipurpose/ms18-mse18-motor-max-2812cc-70-kw> * Black Bruin, минимальная скорость (2 / 0,5 об/мин, «ниже 1 об/мин сложно») — <https://www.blackbruin.com/media/x-series-product-manual-black-bruin.pdf> * Bonfiglioli 600W, колёсные редукторы 3–85 кН·м, $i = 4,3-153$, орбитальные моторы — https://www.bonfiglioli.com/usa/en/product/600-series_travel-drives_wheel-drives * NAF, бортовые мосты форвардеров (база 1300–1890 мм, ориентир по классу тележек) — https://www.nafaxles.com/wp-content/uploads/2026/07/Portal_Bogie_Axles_2026.pdf

Не проверено по каталогу: орбитальный мотор 100 см³, сляинг-привод ≥ 30 кН·м, цепи 28В-2, масса колёс и узлов, нагрузка шин ниже 160 кПа, стоимость.

13. Открытые вопросы к вам

1. **Грунт и трасса.** Какой пляж: сухой рыхлый, влажный или плотный? Какие уклоны и протяжённость перемещений (десятки метров за сезон или регулярно)? От этого зависит, нужны ли гусеницы и лебёдка.
 2. **Масса 21,8 т** приемлема? Или облегчаем (алюминиевый купол, шины 600, съёмные опоры) и миримся с худшей проходимостью?
 3. **Шины 710/45-26.5 (основной) или 600/50-22.5** (дешевле и легче, но ≈ 240 кПа на песок)? Нужен ли комплект бортовых гусениц?
 4. **Привод:** один мотор на тележку с цепным картером собственного изготовления (рекомендую) или 8 колёсных мотор-редукторов на простом балансира (больше покупного, меньше своего)?
 5. **Энергия:** только от АКБ и солнца дома (тихо, ~ 1 км хода по плотному песку) или ставим дизель на гидростанцию (неограниченно, шумно)?
 6. **Опоры на стоянке:** ручные стойки (рекомендую, дёшево, без отказов) или гидравлические (+4 цилиндра, кнопка)?
 7. **Доступ:** ножничная лестница 70° с электроприводом (в модели) — достаточно, или нужна более пологая ($\leq 45^\circ$, тогда пакет длиннее и не помещается под полом) и/или подъёмник для маломобильных?
 8. **Внешний вид:** купол (как сейчас) или эллиптическая капсула со скруглённой крышей (удобнее мебель, тяжелее и парусней)?
 9. **Прибой:** заходит ли дом в воду (ходовая под водой регулярно)? Это влияет на уплотнения, аноды и биомасло.
 10. **Правовой статус и перевозка:** габарит 8,1 м в плане не помещается на трал без разборки. Нужна ли транспортная разборка (съёмные консоли опор, ноги)? Регистрация — как самоходная машина или как некапитальное сооружение?
 11. **Климат:** зима, снег, лёд в прибое (гидравлика: зимнее масло, подогрев; шины: морозостойкость камер).
-

14. Оговорки

- Все расчёты концептуальные: упрощённые схемы, без FEM, без динамики и усталости. Модель тяги Brixius сделана для почв, для песка даёт только ориентир. Тягу нужно проверить пробным заездом тележки с грузом на конкретном пляже.
- Классы комплектующих (Bonfiglioli 607W, Danfoss OMS, Rexroth A10VO, Danfoss PVG 32, Nokian F2) указаны как ориентир. Подбор — с инженерами производителей: нагрузка шин при <160 кПа на ползучей скорости, радиальные нагрузки на редуктор от цепи, ресурс.
- Главные риски концепта:
- (1) масса и связанная с ней проходимость по сухому песку;
- (2) изгиб ног при полной высоте и пробуксовке — решается программным ограничением тяги;
- (3) коррозия ходовой и соль в уплотнениях.
- Ножничная лестница — кинематическая модель. Сечения звеньев 50×10, осей Ø20 и ступеней не проверены FEM, нужна проверка на 150 кг на ступень и боковую жёсткость пакета на ветру. Угол 70° — это лестница-трап (нормы как для чердачных и судовых лестниц: EN 14975, ISO 14122-3), а не маршевая лестница. Подходить нужно лицом к ступеням, держась за оба поручня. Песок в 76 шарнирах: втулки PTFE, грязесъёмники, промывка пресной водой.