

Концепция 2: шагающий дом-модуль в духе OSU ASV-84 (пантографные ноги)

Редакция v2 (10.10.2026): - корпус переделан в «капсулу»: скруглённый план, сводчатая кровля, панорамное остекление, обтекатели; - добавлена выдвижная ножничная лестница с электроприводом; - масса и нагрузки пересчитаны.

Что изменилось по сравнению с прямоугольным корпусом v1 — в разделе 1А. Файлы v1 сохранены без изменений.

Стадия: концепт. Все цифры — оценки по упрощённым формулам. Они нужны, чтобы выбрать схему и класс приводов. Это не рабочий расчёт: каркас, ноги, направляющие и узлы нужно потом проверить в FEM.

Расчёт воспроизводится скриптом `calc/calc_asv.py`. Массы и ЦТ скрипт берёт из модели (`cad/mass_*.json`), рисунки пишет в `renders/`. - Для v2 запуск: `ASV_VARIANT=v2 python3 calc_asv.py`, результаты — в `calc/results_asv_v2.json`. - Для v1 — `calc/results_asv.json`.

Прототип — OSU Adaptive Suspension Vehicle (1980-е): 6 ног, каждая — плоский пантограф, походки «треножник» и «волна», 3 гидропривода на ногу. Мы берём от него главное — **пантограф**. Он развязывает оси: один линейный привод двигает стопу только по вертикали, другой только по горизонтали. Гидравлику заменяем электроприводами, а приводов оставляем 2 на ногу.

1. Итог

Параметр	Значение
Корпус (v2)	капсула 7,9 × 4,0 × 3,1 м: план — скруглённый прямоугольник R1500, кровля сводчатая (нос и корма — заход 1,6 м, борта — 0,42 м)
Площадь и объём	чистая площадь пола 27,1 м² (26,7 м² при высоте ≥1,9 м), объём ≈72 м³
Конструкция корпуса	каркас из вальцованных труб (арки, рёбра, кольца); сэндвич 100 мм: Пеноплэкс с надрезами на пологих участках, PIR/ППУ на крутых
Отметки	пол +1,16 м, общая высота 4,0 м; просвет под юбкой 0,84 м, под кассетой лестницы 0,54 м
Ноги	6 пантографных ног , по 3 на борт (x = −2,9 / 0 / +2,9 м), колея стоп 4,5 м
Приводы	12: по 2 на ногу . Подъём — трапецеидальный винт, самотормозящийся. Шаг — ШВП с тормозом
Походка	«треножник» (всегда 3 стопы на грунте). На неровном грунте — «волна» (5 стоп)
Масса	при ходьбе 11,7 т (W = 115 кН); на стоянке со снегом 16,2 т (в v1 — 10,3 и 14,9 т)
Скорость	0,95 м/мин (цикл 76 с = 2 шага по 600 мм); 0,86 м/мин с выбранными приводами LW63-RV1 и ПЧ
Запас устойчивости на треножнике	≥0,92 м номинально; ≥0,72 м с учётом уклона 3° и смещения людей

Параметр	Значение
Нагрузка на ногу	худшая реакция одной ноги 63 кН (в v1 — 55 кН)
Привод подъёма (пантограф $\lambda = 1,5$)	$0,5 \times 63 \times 1,2 = 38$ кН, ход 700 мм. LW63-RV1 (45 кН) проходит; RV2 (33 кН) — уже нет
Привод шага	5,9 кН, ход 400 мм
Подпятник	Ø800 мм, давление на грунт 76 / 125 кПа (номинал / худший случай)
Поворот	дифференциальным шагом с «плавающими» стопами ± 75 мм: $\approx 1,5^\circ$ за полушаг, $R \geq 23$ м



Важно про Lishuan / Лишуань. Производителя линейных актуаторов с таким названием я **не нашёл** (поиск на английском, китайском и русском, B2B-площадки): - «Lishuan Technology» (砺算) — это производитель GPU; - ближайшее созвучие — **Shenzhen Lichuan** (立川, «Личуань»). Это сервомоторы, драйверы и небольшие «ШВП-моторы» 20-57 мм, тяжёлых электроцилиндров у них в каталоге нет (<https://en.xlichuan.com/product-hq/23.html>).

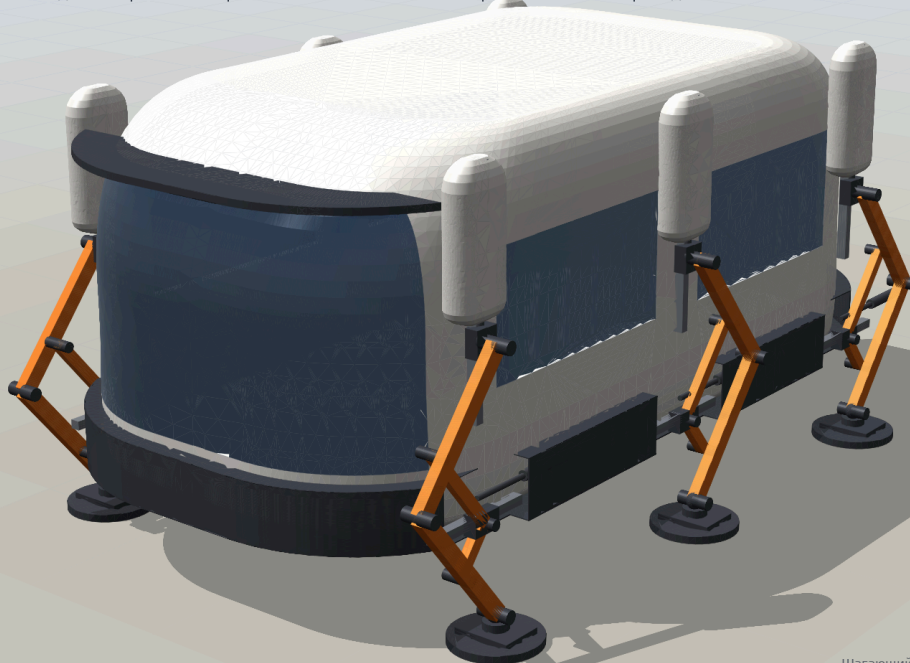
Поэтому ниже приводы подобраны по **проверенному каталогу китайского производителя того же класса — Wuxi Shenli (无锡神力), серия LW**. В этом каталоге есть и трапецеидальные (самотормозящиеся), и шариковые исполнения: <http://www.sliddtg.com/productshow.asp?bid=160<=1151>. Плюс сформировано ТЗ для запроса к любому поставщику (раздел 6). **Если у вас есть ссылка или каталог Lishuan — пришлите, подставлю их модели.**

1А. Корпус v2: «капсула» (дизайн для презентации)

Задача. Простой прямоугольный короб инвесторам скучен. Нужен образ «капсулы / Airstream / яхты», но строить его надо в своём цехе, из тех же материалов. Площадь и ноги не меняются: 6 пантографов, $x = 0 / \pm 2,9$ м, колея 4,5 м, кинематика как в v1.

Концепт v2: капсульный корпус

Скруглённый план R1500, сводчатая кровля, панорамное остекление носа, козырёк, обтекатели приводов



Шагающий дом-модуль · концепт v2 · 2026

Форма и параметры модели

Форма корпуса задаётся горизонтальными «срезами». На высоте z план — скруглённый прямоугольник (или суперэллипс) с полуосями $A - dx(z)$, $B - dy(z)$. Профиль захода кровли:

$$d(t) = RH \cdot (1 - (1 - t^n)^{1/n}), \quad t = (z - (ZTOP - RV)) / RV, \quad n = R00F_N$$

Кривая получается гладкой, с горизонтальной касательной на коньке. Поэтому кровля «перетекает» в стены без излома.

Параметр asv_castle_v2.py	По умолчанию	Смысл
PLAN	rrect	rrect — прямоугольник со скруглениями; superellipse — суперэллипс $ x/a ^n + y/b ^n = 1$ (SE_N=4)
CORNER_R	1500	радиус углов в плане
R00F_N	2,2	«полнота» профиля кровли (2 — эллипс)
RHX, RVX	1600 / 1500	заход носа и кормы: по горизонтали / по высоте (образ Airstream)
RHY, RVY	420 / 650	заход над бортами (у бортов стена почти вертикальна — там стоят ноги и пилоны)
RB	150	скругление днища
GL_*	—	боковая полоса остекления: подоконник +0,84 м от пола, высота 1,15 м; нос остеклён целиком впереди $x = 3,2$ м, от +0,3 м над полом до отметки 3,55 м
VISOR	150	вынос козырька над носовым остеклением (0 — без козырька)
FAIRINGS, SKIRT_OFF	True / 170	пилоны-обтекатели приводов подъёма и цоколь-юбка
STAIR	auto	лестница: deployed / stowed; auto — развёрнута в позе stand, сложена в позе tripod

Ключевые размеры: - корпус 7,9 × 4,0 × 3,1 м, план брутто 29,4 м²; - **пол нетто 27,1 м²** (26,7 м² при высоте ≥1,9 м); - объём ≈72 м³.

Как это строить в цеху

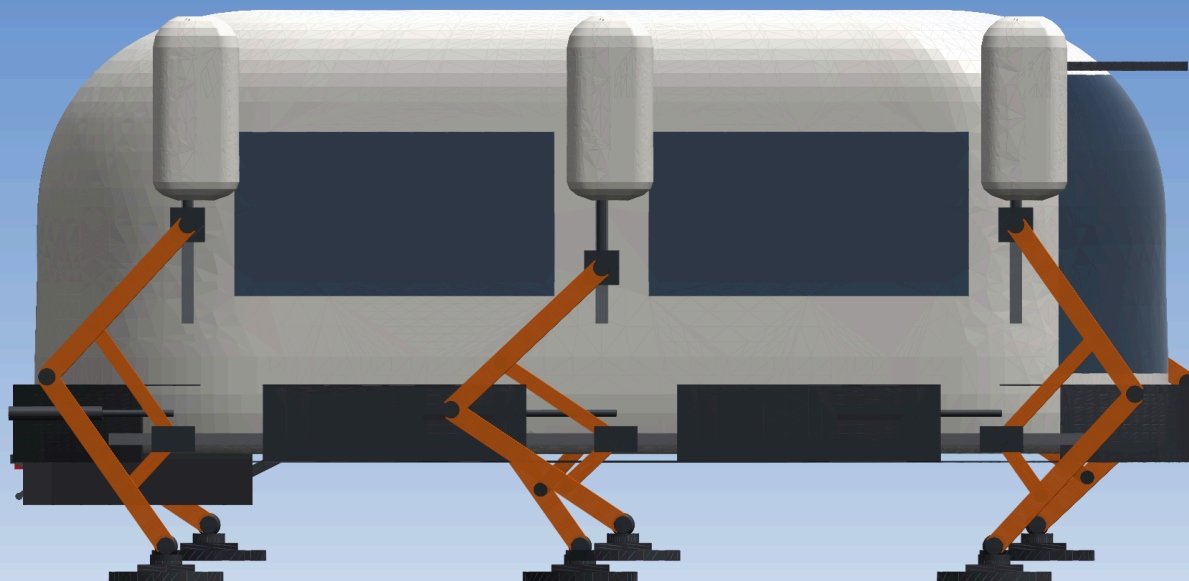
- **Каркас — гнутые (вальцованные) трубы** (рис. v2_05):
- 8 поперечных арок 100×100×4. Они стоят в створах ног (±260 мм от оси ноги) и посередине между ногами;
- 10 рёбер носа и кормы 100×80×4;
- 3 горизонтальных кольца 100×80×4: подоконное, карнизное и верхнее;
- рама основания 200×100×6, вальцованная по плану R1350;
- поперечные балки в створах ног и продольные лонжероны под направляющими.

Арки одинаковые по радиусам: гнутся на одном трёхвалковом станке по шаблону. Если гибка недоступна, кривые заменяются гранёными сегментами по 5–7° (сварка на стапеле, кондуктор с ЧПУ-резкой). * **Ограждение — сэндвич 100 мм.** * На борта, нос и корму с радиусами ≥1,5 м идут **плиты Пеноплэкс** с надрезами (керфами) 2/3 толщины через 50–80 мм. Плиты гнутся по месту и вспениваются в стыках. * Крутые места (переход кровли над бортами R ≈0,4–0,65 м, обвод проёмов) делаются **сегментами PIR** с фрезеровкой по шаблону или **напыляемым ППУ** в опалубке. * Наружная обшивка — алюминиевый композит или лист 0,7–1,0 мм, вальцованный по одному радиусу. Шов-стрингеры по аркам (стиль Airstream) — вариант стеклопластик + гелькоут. * Внутри — фанера 6–8 мм на рейке или гнутый ГВЛ. * **Остекление (≈19,5 м²):** * нос — гнутый или гранёный триплекс / закалённый стеклопакет. Гранёный (5–7 прямых панелей) заметно дешевле, а на расстоянии выглядит так же; * боковая полоса — плоские стеклопакеты.

Тонировка тёмная, солнцезащитная. * **Козырёк** над носом: гнутый лист 4 мм по каркасу, графит. Затеняет панорамное стекло. * **Пилоны** закрывают привод подъёма и верхнюю опору. * Обтекатели — стеклопластик или алюминий 3 мм, съёмные. * Верхняя опора: привод висит на консоли верхнего кольца каркаса (2 косынки + проушина, усилие 30–38 кН вниз). * Привод подъёма вертикальный, работает на растяжение — как в v1. * **Цоколюбка** (графит): * прячет горизонтальные направляющие и приводы шага; * в юбке вырезаны «арки» под ход ползуна В и короткие звенья пантографа, со щёточными уплотнениями; * юбка не мешает ногам: бедро и голень проходят снаружи, в плоскости у = ±2,25 м. * **Цвета презентации:** * корпус — белый перламутр; * стекло — тёмное тонированное; * юбка, козырёк, стопы — графит; * звенья ног — оранжевые.

Вид сбоку (вперёд — вправо)

Правый борт. Треножник 1 (ПЛ, СП, ЭЛ) поднят на 150 мм и переносится; длина 7,9 м, высота 4,0 м, пол +1,16 м



Шагающий дом-модуль · концепт v2 · 2026

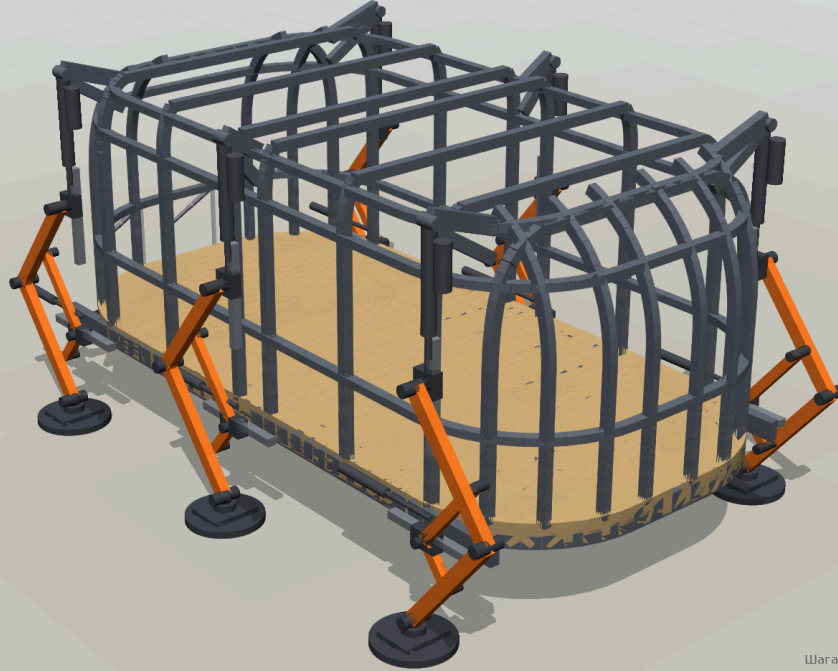
Вид спереди: обзорное остекление носа



Шагающий дом-модуль · концепт v2 · 2026

Каркас из гнутых труб

Арки 100×100×4 (вальцовка), рёбра носа/кормы 100×80×4, кольца, рама основания 200×100×6



Шагающий дом-модуль · концепт v2 · 2026

Что изменилось в цифрах (v1 → v2)

	v1 (короб)	v2 (капсула)	Комментарий
Каркас, кг	2 625	3 472	арки, рёбра, кольца, консоли пилонов. Резерв оптимизации ≈0,5 т: арки 100×60×4, шаг арок 900 мм
Ограждение, остекление, дверь, козырёк, кг	2 115	2 348	площадь сэндвича 70,5 м², стекло 19,5 м² (было 11 м²)
Обтекатели (пилоны, юбка), кг	—	187	23 м² стеклопластика/алюминия
Лестница, кг	90	195	ножничная с приводами
Масса при ходьбе	10,3 т	11,7 т (+13%)	W = 115 кН, ЦТ на высоте 1,86 м (было 2,03 м)
Стоянка со снегом	14,9 т	16,2 т	снег 1,5 кПа на план 29,4 м²
Запас устойчивости на треножнике (мин. / худший)	0,92 / 0,71 м	0,92 / 0,72 м	ЦТ ниже
Худшая реакция ноги	55,4 кН	62,6 кН	
Привод подъёма, расчётное усилие	33,2 кН	37,6 кН	LW63-RV1 (45 кН) — да; RV2 (33 кН) — нет
Привод шага	5,3 кН	5,9 кН	LW40 с ШВП — с запасом
Направляющая В (вверх)	83 кН	94 кН	профильная рельсовая направляющая типоразмера 55 или роликовая каретка
Стопа Ø800: давление ном. / макс.	67 / 110 кПа	76 / 125 кПа	на слабом грунте — Ø900
Ветер: C _f ·A, К на треножнике (10 м/с), К на стоянке (30 м/с)	32,9 м²; 14,5; 5,0	28,7 м²; 19,3; 6,5	обтекаемая форма + бóльшая масса

	v1 (короб)	v2 (капсула)	Комментарий
Пиковая мощность / энергия	5,1 кВт; 2,1 кВт·ч на 100 м	5,6 кВт; 2,3 кВт·ч на 100 м	

Вывод: масса выросла на 13%, но ни одно решение не меняется. Кинематика, приводы (LW63-RV1 + LW40 ШВП), походка и скорость 0,86–0,95 м/мин остаются прежними. Запас устойчивости и ветровой запас даже немного выросли.

1Б. Выдвижная ножничная лестница с электроприводом



Устройство: * **Кассета под полом у кормы:** 1,6 × 1,2 м, высота 0,36 м, лист 3 мм. Внутри — каретка на роликах с осью верхнего шарнира. * **Ножничный механизм («ленивые клещи»):** * два боковых пояса из 4 ячеек; рычаги 400 мм, 30×50; * ступени (4 шт., 940 × 280, рифлёный алюминий) стоят на узлах верхнего пояса.

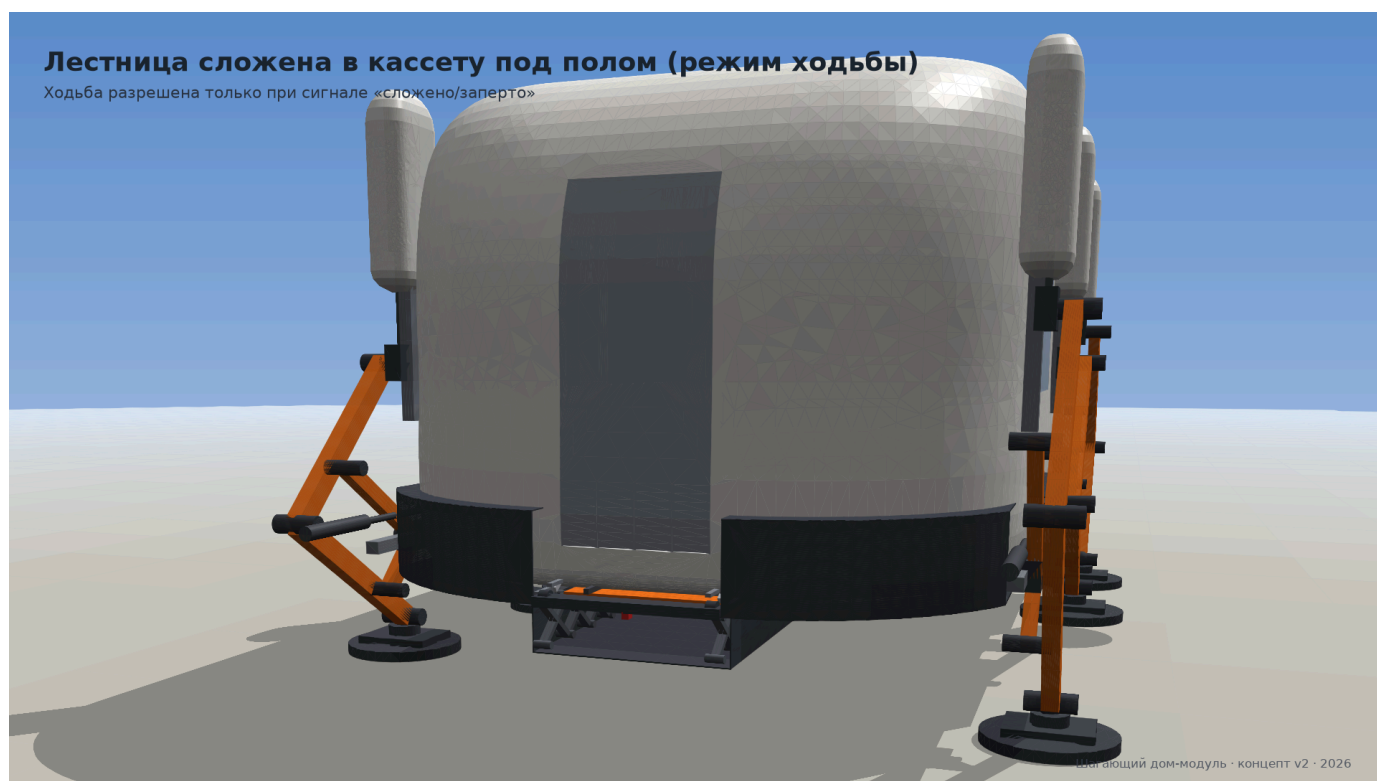
Раскрытие одной ячейки задаёт угол всех остальных, поэтому для раскрытия достаточно одного привода. * **Горизонтальность ступеней.** Второй, «выравнивающий» пояс смещён вверх на 110 мм. Вместе с основным он образует параллелограммы, поэтому ступени горизонтальны при любом наклоне и раскрытии. * **Подъём ступеней.** От порога (+1,16 м) — ступени на 0,88 / 0,66 / 0,44 / 0,22 м, затем грунт. Подступенок 220 мм, первый от порога — 280 мм. Проступь 280 мм, вылет 1,1 м за корму. * **Поручни:** * телескопические, с двух сторон, высота 0,9 м; * стойки откидные — в сложенном положении ложатся вдоль пояса. * **Пята:** опорная балка с роликами. Компенсирует неровность грунта и малое смещение корпуса.

Приводы (24 В DC, питание от АКБ дома):

	Назначение	Тип	Оценка
M1	выдвижение каретки из кассеты, ход 1,3 м	сервомотор 24 В 200 Вт + рейка, энкодер	≈0,5 кН, 0,1 м/с
M2	наклон пакета вниз на ≈40°	электроцилиндр 24 В, ход 150–200 мм, самоторможение	≈2–3 кН
M3	раскрытие и сжатие ножниц (поперёк 1-й ячейки)	электроцилиндр 24 В с ШВП и тормозом, ход ≈250 мм	≈2 кН

Цикл развёртывания — 25–40 с: M1 → M2 → M3 до касания. Складывание — в обратном порядке. Ход M3 ограничен силой: пята опускается до касания (по току или по концевiku), а не по координате.

Концевики и блокировки (ПЛК): * **S1 «сложено / заперто»:** каретка в кассете, механический фиксатор закрыт. **Только при S1 разрешено включение приводов ног.** Это блокировка «нет ходьбы при развёрнутой лестнице» — аппаратная, через цепь разрешения ПЧ (safe torque off), плюс программная. * **S2 «каретка выдвинута».** Разрешает M2 и M3. * **S3 «пята на грунте».** Датчик в пяте: разрешает открыть дверь наружу и снять индикацию «опасно». * **Дверь открыта → ходьба запрещена.** Отдельный датчик двери в той же цепи разрешения. * Кнопка «стоп» у двери и снаружи на корме. * При пропадании питания лестница остаётся в текущем положении: M2 и M3 самотормозящиеся или с тормозом.



Ограничения: * В сложенном положении кассета висит ниже днища: **просвет под кормой 0,54 м** (по бортам — 0,84 м). Если этого мало, кассету можно утопить в подиум прихожей на 150–200 мм. * Подступенок 220–280 мм — крутизна «трапа», а не бытовой лестницы. Для пожилых гостей нужен 5-й марш: ещё одна ячейка, вылет +0,28 м.

Корма: вход и выдвижная ножничная лестница

Лестница с электроприводом развёрнута: ступени горизонтальны (параллелограмм), поручни, концевики, блокировка ходьбы

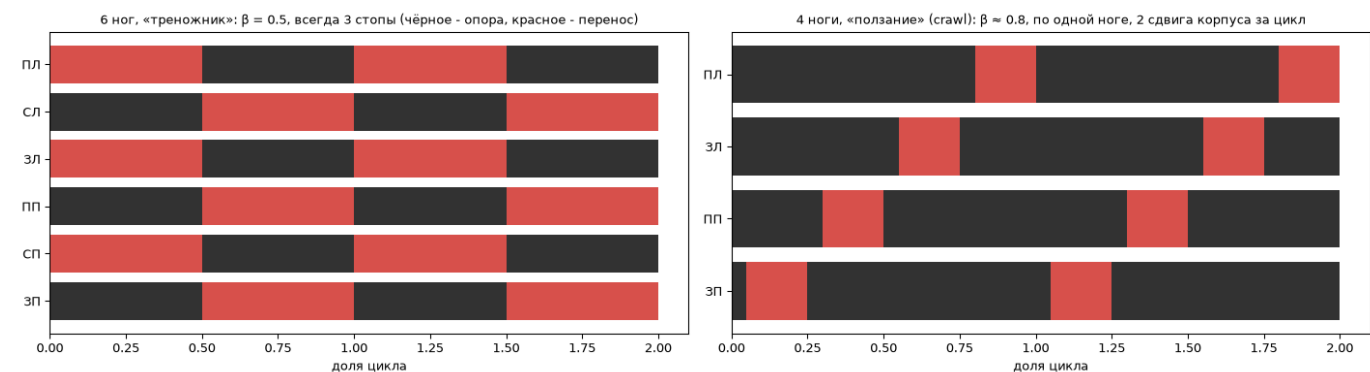


Шагающий дом-модуль · концепт v2 · 2026

2. Почему 6 ног, а не 4

	4 ноги (8 приводов)	6 ног (12 приводов)
Походка	crawl (ползание): по одной ноге, корпус двигается отдельно	треножник: 3 ноги в опоре, 3 в переносе, корпус двигается одновременно с переносом
Запас устойчивости	$\approx 95 \text{ мм}$ (формула $(S/4) \cdot 2b / \sqrt{((2a-S/2)^2 + (2b)^2)}$)	$\geq 920 \text{ мм}$ номинально, $\geq 710 \text{ мм}$ в худшем случае
Чувствительность	уклон 2° или ветер уже опасны	работает на уклоне 3° с ветром до $\sim 15 \text{ м/с}$ (по ветру запас $K \geq 14$ при 10 м/с)
Скорость при тех же приводах	$\approx 0,26 \text{ м/мин}$: 4 переноса + 2 сдвига корпуса = 136 с на 600 мм	$0,95 \text{ м/мин}$: 38 с на 600 мм
Реакция одной ноги	до $W/2 \approx 56 \text{ кН}$	до $W/2 \approx 55 \text{ кН}$ (средняя нога одиночной стороны)
Статика	при опоре на 4 ноги задача неопределима, нужен контроль сил	треножник статически определим, реакции известны
Стоимость приводов	8 шт.	12 шт., но это дешёвые каталожные толкатели

Вывод: **6 ног**. Устойчивость больше на порядок, скорость в 3-4 раза выше, а приводы стоят дешевле, чем выигрыш от устойчивости. Нагрузка на одну ногу такая же, как у 4-ногой схемы.



3. Пантографная нога

$$F = A + \lambda \cdot (B - A), \quad \lambda = AF/AB = 1,5$$

$$x_F = (1-\lambda) \cdot x_{A0} + \lambda \cdot x_B \rightarrow \text{зависит только от ползуна B (привод шага)}$$

$$z_F = (1-\lambda) \cdot z_A + \lambda \cdot z_{B0} \rightarrow \text{зависит только от ползуна A (привод подъёма)}$$

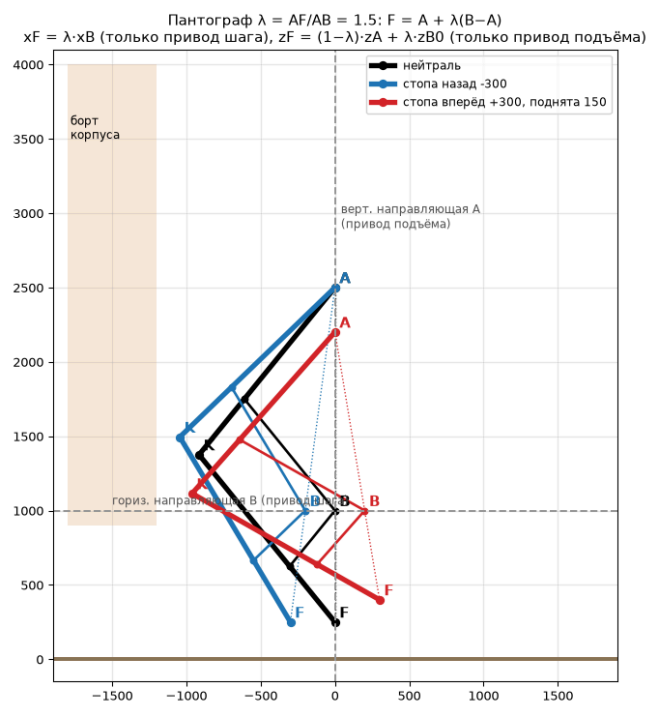
- **A** — ползун на вертикальной направляющей на борту, отметка 2,0–2,7 м. Привод подъёма висит над ним на верхней обвязке и работает **на растяжение**, поэтому продольного изгиба штока нет.
- **B** — ползун на горизонтальной направляющей у рамы основания, отметка 1,0 м. Привод шага лежит вдоль борта.
- Звенья: бедро А-К и голень К-Ф (по 1450 мм, труба 140×100×6) плюс короткие звенья N-B и B-M (100×80×5). Параллелограмм N-K-M-B держит точки А, В, F на одной прямой.
- **Стопа:** шаровая опора, под ней поперечный «плавающий» ползун ±75 мм с центрирующими пружинами (нужен для поворота) и подпятник Ø800.

Выбор λ . Сила и ход приводов зависят от λ так:

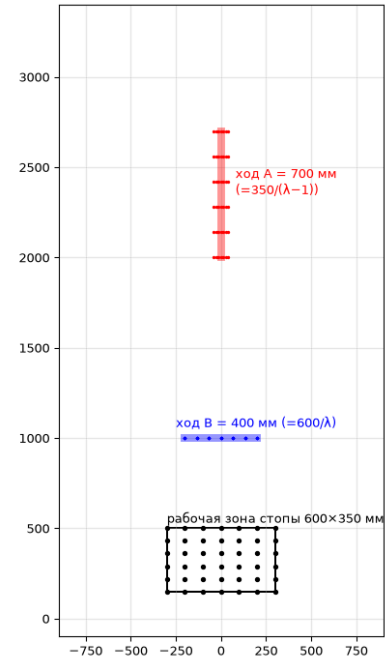
	Формула	$\lambda = 1,5$	$\lambda = 2$
Сила привода подъёма	$(\lambda-1) \cdot F_z$	$0,5 \cdot F_z$	$1,0 \cdot F_z$
Ход привода подъёма	$\Delta z_{\text{стопы}} / (\lambda-1)$	$2 \cdot \Delta z$	$1 \cdot \Delta z$
Сила привода шага	$\lambda \cdot F_x$	$1,5 \cdot F_x$	$2 \cdot F_x$
Ход привода шага	S / λ	$S / 1,5$	$S / 2$
Вертикальная нагрузка на направляющую В (пассивная)	$\lambda \cdot F_z$	$1,5 \cdot F_z$	$2 \cdot F_z$

Для дома нужна маленькая амплитуда стопы, а сила большая. Поэтому взят $\lambda = 1,5$: сила подъёма вдвое меньше нагрузки на стопу (33 кН вместо 66 кН при $\lambda = 2$), а ход удлиняется до 700 мм — для толкателя это нормально.

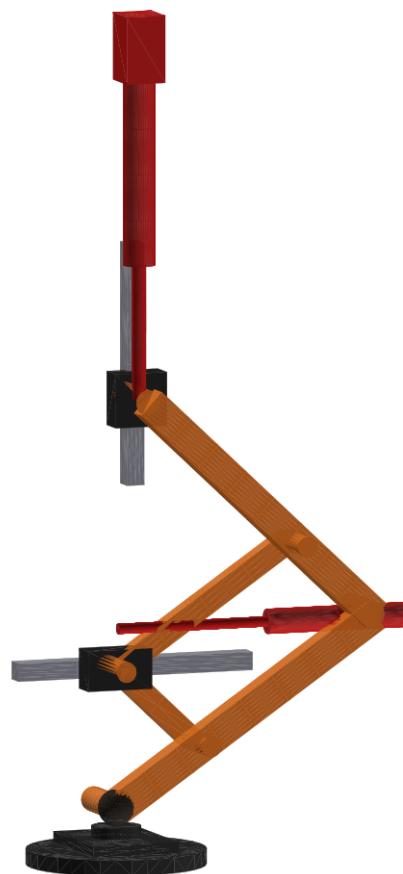
Важное свойство: **в фазе опоры привод подъёма неподвижен**. Корпус переносится только приводом шага, а вертикальную нагрузку держит самоторможение трапецеидального винта. Ток и нагрев в опоре нулевые. Ровно поэтому трапецеидальный винт здесь уместен.



Развязка осей: прямоугольная сетка положений стопы
 ↔ независимые ходы приводов. Сила подъёма $= (\lambda-1) \cdot F_z = 0.5 \cdot F_z$,
 сила шага $= \lambda \cdot F_x = 1.5 \cdot F_x$, направляющая B несёт $\lambda \cdot F_z$



Крупно: пантографная нога ЗЛ в переносе - A вертикальный ползун, B горизонтальный, F стопа



Красное - приводы: подъём (над A, тянет), шаг (вдоль борта, двигает B)

4. Масса и нагрузки

Группа	кг
Каркас корпуса: рама основания 200×100×6, стойки 100×100×4, обвязка, стропила, лаги	2 625
Стены, кровля (сэндвич 100 мм, 18–22 кг/м²), остекление 11 м² (35 кг/м²), дверь	2 115
Пол: XPS 100 + фанера 2×18 + обшивка (39 кг/м²)	1 442
6 ног: пантографы, направляющие, ползуны, стопы	1 558
12 приводов	480
Лестница-крыльцо	90
Сварка, крепёж, окраска (+5% стали)	209
Интерьер и инженерия	1 500
Собственный вес	10 019
Люди (4 × 80)	320
При ходьбе, W	10 339 кг = 101 кН , ЦТ на высоте 2,03 м
Снег (1,5 кПа × 30 м², $\mu = 1$) — только стоянка	4 587
Стоянка со снегом	14 926 кг = 146 кН

Реакции на треножнике. Задача статически определяемая, реакции считаются из 3 уравнений равновесия. - Одиночная средняя нога (СП или СЛ) всегда несёт $\approx W/2 = 50,7$ кН. Две крайние ноги несут 19–32 кН. - С учётом смещения ЦТ на 0,21 м (уклон 3°: $2,03 \cdot \tan 3^\circ = 0,11$ м, плюс 0,10 м от людей) **худшая реакция 55,4 кН.**

Нагрузки на элементы ноги ($\lambda = 1,5$):

Элемент	Расчёт	Нагрузка
Привод подъёма	$0,5 \times 55,4 \times k_{\text{дин}} 1,2$	33,2 кН , ход 700 мм
То же, стоянка со снегом на 6 ногах	$0,5 \times 146/6 \times 1,3$	15,9 кН
Привод шага	$F_x = W \cdot (0,01 + 0,05)/3 \times 1,5 + 0,5 = 3,5$ кН на ногу, затем $\lambda \cdot F_x$	5,3 кН , ход 400 мм
Горизонтальная направляющая В (пассивная)	$\lambda \cdot F_z$	83 кН вверх. Тяжёлая профильная рельсовая направляющая типоразмера 45–55 или роликовая каретка в швеллере
Верхняя обвязка и стойки у ног	реакция привода подъёма	28–33 кН вниз на каждую ногу

Каркас нужно проверить на эти сосредоточенные силы.

Грунт. Подпятник Ø800 (0,50 м²):

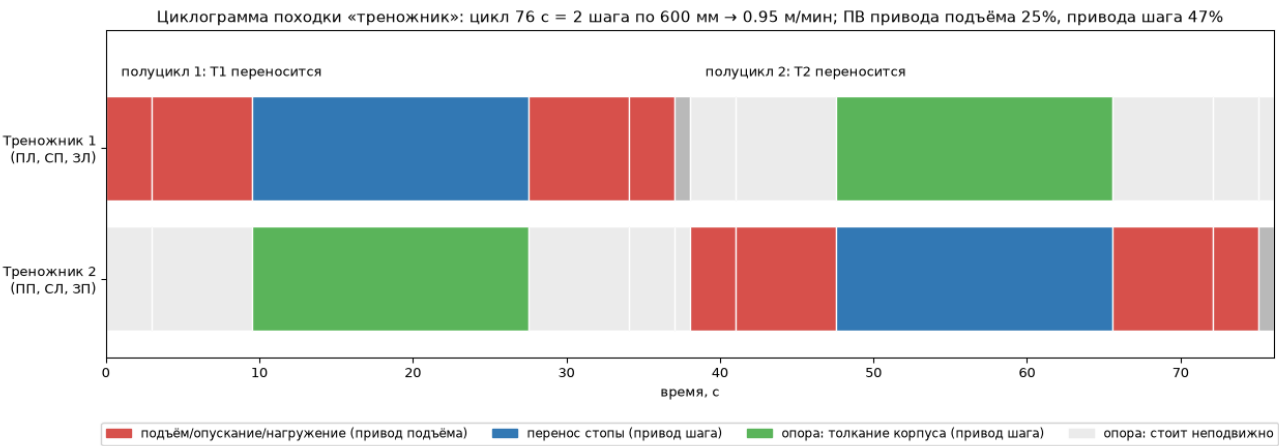
Режим	Давление
Номинально, W/3 на ногу	67 кПа
Худший случай	110 кПа
Стоянка на 6 ногах	63 кПа

Для грунта 150 кПа достаточно Ø690, для 100 кПа нужен Ø840. На слабом грунте — накладные «лыжи».

5. Походка, устойчивость, скорость

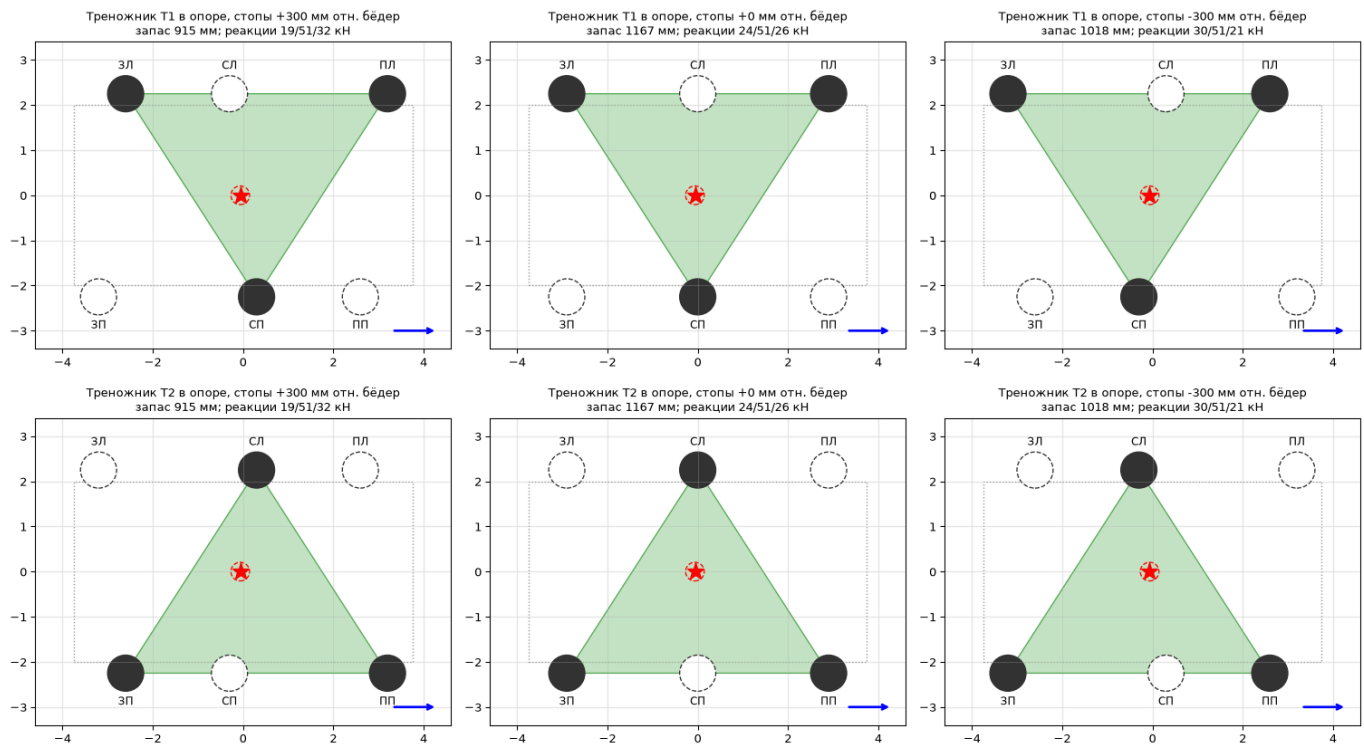
Тренажник Т1 = ПЛ, СП, ЗЛ; тренажник Т2 = ПП, СЛ, ЗП. Пока один тренажник переносится, второй толкает корпус вперёд приводами шага.

Фаза (полуцикл)	Что происходит	t, с
1	Разгрузка Т1: нагрузка уходит на Т2 (15 мм по стопе при 5 мм/с)	3,0
2	Подъём стоп Т1 на 150 мм (А: 300 мм при 46 мм/с, стопа 23 мм/с)	6,5
3	Перенос Т1 на +600 мм; Т2 одновременно толкает корпус на 600 мм (В: 400 мм при 22 мм/с)	18,0
4	Опускание Т1 до касания	6,5
5	Нагружение Т1, выравнивание крена	3,0
6	Контроль сил и крена	1,0
	Полуцикл (шаг 600 мм)	38 с → 0,95 м/мин

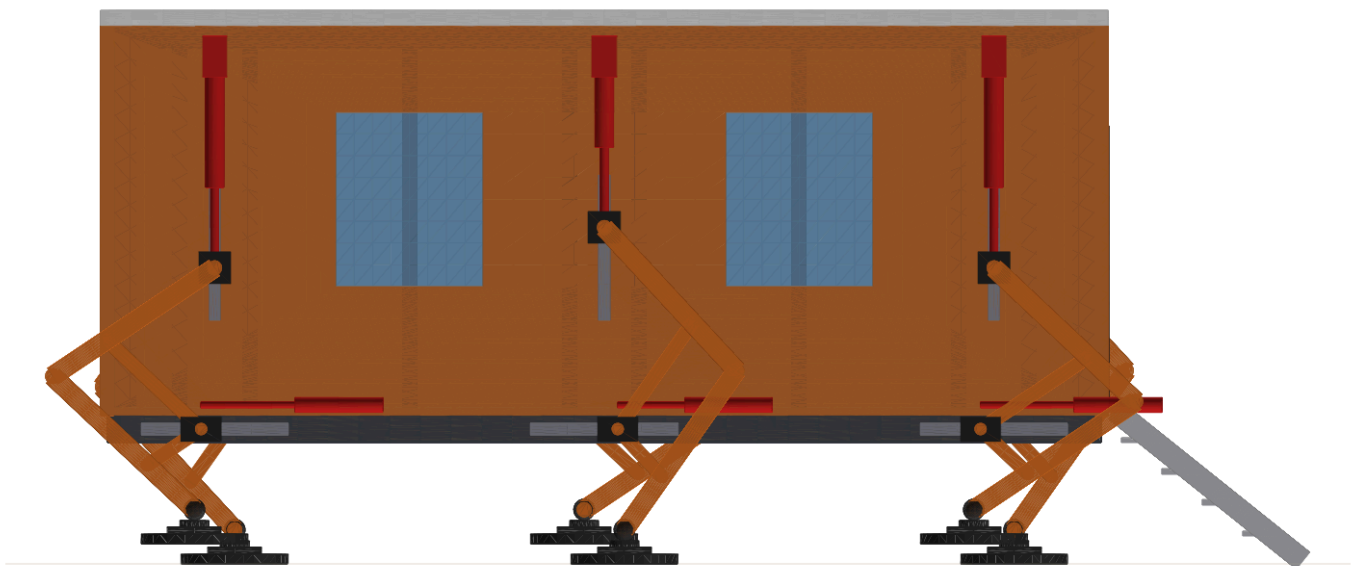


- **Запас устойчивости по фазам** (рис. 05): 915 → 1167 → 1018 мм при положении стоп +300 / 0 / -300 мм относительно бёдер. В худшем случае (уклон 3° и люди) — **≥709 мм**.
- **Ветер:** $C_f \cdot A \approx 33 \text{ м}^2$, плечо 2,45 м.
- на тренажерке при 10 м/с запас $K = 14,5$. Ходьбу ограничиваем 15 м/с — это вопрос комфорта и датчиков, а не опрокидывания;
- на стоянке при 30 м/с $K = 5,0$. Отсос на кровле не учтён, анкеры желательны.
- **Нивелирование:** ±100 мм по каждой стопе (входит в ход 700 мм). Корпус стоит горизонтально на уклоне до ≈2,5°, а с учётом выноса стоп — на неровностях ±100 мм.
- **Походка «волна»** (переносится по одной ноге, 5 на грунте): запас больше 2 м, скорость примерно в 3 раза ниже. Режим для плохого грунта.
- **Поворот:** разными шагами бортов. Ограничение — ход плавающей стопы ±75 мм на плече 2,9 м: $\Delta\theta \approx 1,5^\circ$ за полушаг, $R \geq 23 \text{ м}$, разворот на 90° за ~38 мин.

Походка «треножник»: опорные треугольники (чёрные стопы - в опоре, пунктир - в переносе). ★ - ЦТ, красный круг - смещение ЦТ от уклона 3° и людей (206 мм). Минимальный запас 915 мм, в худшем случае 709 мм. Для 4 ног (crawl) запас был бы ~95 мм

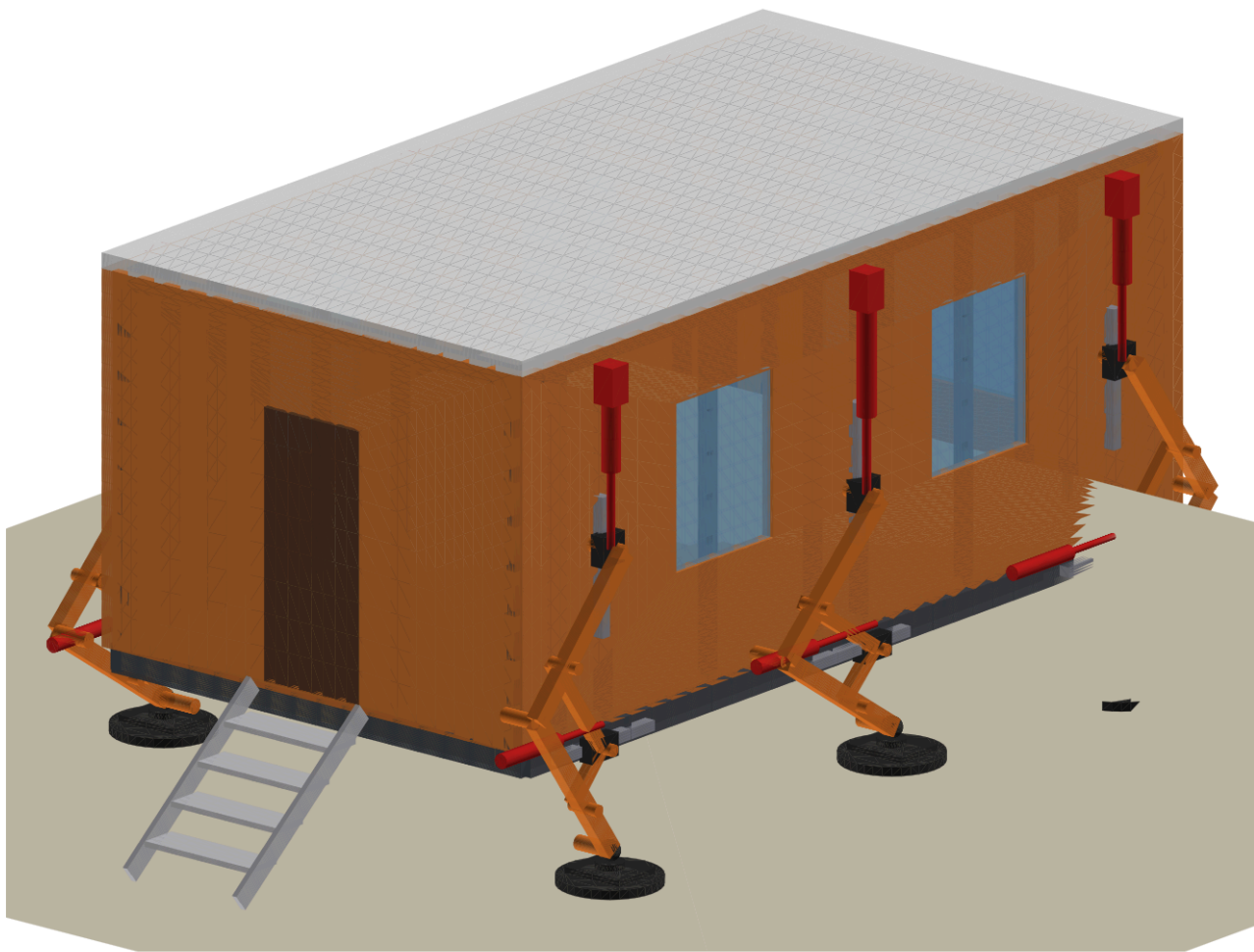


Вид слева (вперёд = влево): треножник 1 (ПЛ, ЗЛ, СП) поднят на 150 мм и переносится



Ближний борт - левый: ПЛ и ЗЛ подняты, СЛ (треножник 2) в опоре и толкает корпус

Середина шага: треножник 1 в переносе, треножник 2 в опоре



6. Приводы: трапецеидальный винт или ШВП, конкретные модели

6.1 Трапецеидальный (АСМЕ) против шарикового

	Трапецеидальный (самотормозящийся)	ШВП
Удержание без питания	да: самоторможение. Но при вибрации и ударах оно может пропасть (Tsubaki: https://en.tt-net.tsubakimoto.co.jp/tecs/pdct/sad/pdct_sad_2sjc.asp), поэтому тормоз всё равно ставим	нет, нужен тормоз
КПД	≈25-40%. Каталог Shenli даёт «коэффициент самоторможения» 0,13-0,34	≈85-90%
ПВ (продолжительность включения)	30% за 10 мин (Shenli LW). Нагрев гайки	60% (Shenli LW)
Ресурс	износ бронзовой гайки	высокий
Где применяем	подъём: движется только 25% цикла, в опоре стоит и держит груз	шаг: движется 47% цикла (перенос +

	Трапецеидальный (самотормозящийся)	ШВП
		толкание), это больше 30%

6.2 Выбор (каталог Wuxi Shenli, серия LW, привод от 3-фазного асинхронного двигателя)

Ось	Требование	Модель	Данные каталога
Подъём ×6	33 кН дин., ход 700 мм, 46 мм/с без нагрузки и 10 мм/с под нагрузкой, удержание	LW63, редуктор RV1, 3 кВт 4р , трапецеидальный винт; мотор с тормозом, ПЧ, энкодер	45 кН при 23 мм/с; статика 50 кН (толкание и тяга); коэф. самоторможения 0,21; ПВ 30%/10 мин
Подъём (альтернатива)	быстрее, без запаса по силе	LW63 RV2 3 кВт 4р	33 кН при 46 мм/с; коэф. 0,32 (хуже держит)
Шаг ×6	5,3 кН, ход 400 мм, 22 мм/с, ПВ ~50%	LW40, исполнение с ШВП , RN2 0,55 кВт; мотор с тормозом, ПЧ, энкодер	трапецеидальная версия: 10,5 кН при 23 мм/с, статика 15 кН; ШВП-версия ПВ 60%, её точные параметры — у производителя

Режим LW63-RV1: - под нагрузкой: ≤50 Гц, до 45 кН при 23 мм/с; - без нагрузки (подъём и опускание ноги): ПЧ в ослаблении поля до ~75 Гц, около 35 мм/с при силе ~30 кН. Это **нужно согласовать с производителем**.

Итог: полуцикл 42 с, **0,86 м/мин**. Если нужна точно 1 м/мин — LW63-RV2 (33 кН при 46 мм/с), но тогда запаса по силе нет.

Мощность:

Показатель	Значение
Установленная	$6 \times 3 + 6 \times 0,55 \approx 21$ кВт
Одновременно работают	3 подъёма + 6 шагов
Реальный пик	≈5 кВт (нагружение $1,1 \text{ кВт} \times 3 + \text{шаг}$)
Ввод	380 В, 15–20 кВА (с запасом на пусковые токи) или АКБ + инвертор
Энергия	≈2,1 кВт·ч на 100 м (низкий КПД трапеции)

Рабочий режим. ПВ подъёма 25% укладывается в лимит 30%. Для ходьбы дольше ~10–15 минут подряд нужен контроль температуры (датчик в моторе). Альтернатива — подъём тоже на ШВП с тормозом: ПВ 60%, мотор ~1 кВт вместо 3.

ТЗ поставщику (Lishuan или любому другому): - Подъём: толкатель, тяга/толкание 35–45 кН динамика, 50 кН статика; ход 700 мм; 10–40 мм/с; трапецеидальный самотормозящийся винт + мотор с тормозом; энкодер; IP65; –30...+40 °С; ПВ ≥30%; проушины с шаровыми шарнирами. - Шаг: ШВП, 10 кН, ход 400 мм, 25 мм/с, ПВ 60%, тормоз, энкодер, IP65.

Проверенные аналоги класса (для сравнения цены): Jstactuator S9, ШВП 18–350 кН, ход до 3000 мм (<https://www.jstactuator.com>).

7. Варианты с меньшим или большим числом приводов

Вариант	Приводов	Устойчивость	Скорость	Поворот	Комментарий
V1: 6 пантографных ног × 2 (рекомендую)	12	треножник ≥0,71 м	0,86–0,95 м/мин	$R \geq 23$ м (1,5° за шаг), плавающие стопы	Настоящая ходьба, каждая стопа ставится независимо, нивелирование ±100 мм
V2: V1 + привод отведения (abduction) на каждой ноге, как у ASV	18	то же	то же	на месте, боком (crab)	+6 приводов и шарнир плоскости ноги. Брать, только если нужен разворот на месте
V2-лайт: abduction только на 4 крайних ногах	16	то же	то же	на месте (медленно)	компромисс
V3: две рамы-треножника: 6 подъёмов + 1 челнок (+1 ОПУ для поворота)	7–8	треножник ≥0,7 м	~1 м/мин	±10–15° за шаг (ОПУ между рамами)	Минимум приводов. Но это уже не пантограф: стопы треножника двигаются вместе, привод подъёма прямой (≈55 кН), челнок с большими направляющими. Фактически «схема В на треножниках» без колонны
V4: 4 пантографные ноги × 2	8	≈95 мм	≈0,3–0,5 м/мин	$R \geq 23$ м	Не рекомендую: мал запас устойчивости

Рекомендация: V1. Это суть ASV — независимые ноги, адаптация к рельефу, 2 дешёвых каталожных толкателя на ногу. Если важен минимум приводов и бюджет, а рельеф ровный, — V3. Если нужен разворот на месте — V2-лайт.

8. Сравнение: схема В (купол + плита) и концепция 2 (ASV, V1)

Критерий	Схема В: купол + центральная плита	Концепция 2: ASV, 6 пантографов
Корпус	геодезический купол 3V Ø6 м	прямоугольный модуль 7,5×4,0×3,1 м, сэндвич 100 мм
Пол	≈27 м² (кольцевая платформа Ø6,6 м)	27,7 м²
Объём	≈72 м³	≈73 м³
Пол / общая высота	+2,76 / 6,3 м	+1,16 / 4,0 м
Масса при ходьбе	11,6 т	10,3 т
ЦТ	2,76 м	2,03 м

Критерий	Схема В: купол + центральная плита	Концепция 2: ASV, 6 пантографов
Приводов	6 (4 подъёма 60 кН + челнок + ОПУ)	12 (6×LW63 + 6×LW40)
Класс приводов	тяжёлые ПРВП/ШВП или домкраты 10 т	каталожные толкатели 45 кН и 10 кН
Устойчивость	4 ноги или плита, $\geq 0,69$ м	треножник $\geq 0,71$ м (0,92 номинально)
Скорость	0,92 м/мин	0,86–0,95 м/мин
Поворот	на месте, любой угол	$R \geq 23$ м (V2 — на месте, +6 приводов)
Рельеф	нужна ровная трасса под плитой ($\leq 3\%$)	неровности ± 100 мм по каждой стопе, уклон до $\sim 2,5^\circ$
Давление на грунт	ноги 73–113 кПа, плита 36 кПа	67–110 кПа
Под домом	колонна, просвет 2,1 м	свободно, просвет 0,9 м
Управление	проще: 4 синхронные оси + 2	сложнее: 12 осей, логика треножников
Изготовление	купол-геодезика, колонна, ОПУ	модульный каркас (ваш профиль), 6 одинаковых ног из листа и трубы (ЧПУ-резка)
Энергия	$\approx 0,9$ кВт·ч на 100 м	$\approx 2,1$ кВт·ч на 100 м (трапеция)
Эффект «шагающего замка»	купол высоко на ногах, как на фото	«шагающий вагончик», зато похож на настоящего робота

9. Управление (кратко)

- **Оси.** 12 осей:
- Z1–Z6 — подъёмы, ПЧ или сервопривод с энкодером;
- X1–X6 — шаг.

Контроллер: ПЛК (CODESYS + EtherCAT/Modbus) или LinuxCNC. Внутри треножника три оси X двигаются синхронно, как оси портала ЧПУ. * **Датчики:** * в каждой стопе тензодатчик 10 т и концевик касания; * 2-осевой инклинометр; * абсолютные энкодеры, концевики на всех осях; * анемометр; * датчики «лестница поднята» и «дверь закрыта»; * лидар или УЗ-датчики по периметру. * **Логика перед подъёмом треножника:** * сумма сил на другом треножнике $\approx W$; * ЦТ (по распределению сил) внутри треугольника с запасом $\geq 0,5$ м; * крен $< 1^\circ$.

При касании стопа опускается до заданной силы, а не до заданной позиции. Так дом адаптируется к рельефу. * **Безопасность.** При пропадании питания тормоза и самоторможение держат текущую позу. Обе фазы походки устойчивы.

10. FreeCAD-модель

cad/asv_castle.py — параметрическая модель, FreeCAD 1.0. * Запуск: freecadcmd asv_castle.py POSE=stand или POSE=tripod. Можно также N_LEGS=4 (вариант V4 для сравнения). * Параметры: BODY_L/W/H, WALL, Z_BODY, LEG_X, LEG_OFF, LAMBDA, R_THIGH, R_SHANK, STRIDE, FOOT_LIFT, FOOT_D и др. Их можно задать в начале файла, в params.json или в командной строке. Копия пишется в таблицу «Параметры». * Состав модели: * группы «Корпус» (каркас, ограждение XPS 100, остекление, дверь, лестница) и

«Ноги_пантограф»; * в каждой ноге — звенья, направляющие, ползуны А и В, привод подъёма, привод шага, стопа.

Названия по-русски, у каждого объекта есть свойство `Massa_kg`. * Файлы:

`asv_castle_6L_stand.FCStd/.step`, `asv_castle_6L_tripod.FCStd/.step`, `mass_*.json`, `mesh_*/(STL)`. Рендер — `render_asv.py`.

v2: `cad/asv_castle_v2.py`. * Запуск: `freecadcmd asv_castle_v2.py POSE=stand` или `POSE=tripod`. Параметры формы — в разделе 1А, переопределения — в `params_v2.json`. * Файлы: `asv_castle_v2_6L_stand.FCStd/.step`, `asv_castle_v2_6L_tripod.FCStd/.step`, `mass_v2_*.json`, `mesh_v2_*`. * Состав модели: группы «Корпус» (оболочка, каркас из гнутых труб, обтекатели, лестница) и «Ноги_пантограф». * Презентационные рендеры — `render_v2.py` → `renders/v2_*.png`: перспектива, небо, грунт, тени, блики.

Модель концептуальная: шарниры и оси упрощены, тела в узлах пересекаются, сварка и крепёж не прорисованы.

11. Открытые вопросы

1. **Lishuan:** пришлите ссылку, каталог или контакт. Найти такого производителя линейных приводов я не смог. Может быть, имеется в виду другой бренд (Lichuan/立川? Shenli? Jiechang/JC35?).
2. Корпус: 7,5×4,0 м — негабарит для перевозки (по дороге без спецразрешения ≤2,55 м). Делать 2 модуля по 2,0 м, стыкуемых на месте? Или корпус-«эллипс» под заказ?
3. Нужен ли разворот на месте (V2 / V2-лайт, +4...6 приводов) или хватит R ≈25 м?
4. Какой рельеф: газон, щебень, уклоны? Это определяет ход нивелирования и диаметр стоп.
5. Люди внутри при ходьбе? Допустимый крен и ускорения?
6. Питание: сеть 380 В / 15–20 кВА или автономия?
7. Нагрев трапецеидальных приводов: устраивают ли ограничения «≈10–15 минут ходьбы, затем пауза»? Или сразу ставить ШВП на подъём (ПВ 60%, мотор ~1 кВт, но обязательно тормоз)?
8. Бюджет: 12 каталожных толкателей + 12 ПЧ/драйверов против 6 тяжёлых приводов схемы В. Нужно запросить цены (ТЗ в п. 6).
9. Внешний вид v2: какой оставить вариант? - нос — гнутое или гранёное стекло; - обшивка — гладкая или Airstream-стрингеры; - цвет акцентов — оранжевый или графит.
10. Лестница: 4 ступени (вылет 1,1 м) или 5 ступеней (более пологая)? Устраивает ли просвет 0,54 м под кассетой?

12. Оговорки

- Все расчёты — концептуальные оценки:
- динамика в расчёте не учитывалась;
- усталость не проверялась;
- каркас, звенья и направляющие на сосредоточенные силы 28–83 кН ещё не считались в FEM.
- Данные приводов взяты из каталога Shenli LW. Для исполнения LW40 с ШВП, режима ПЧ выше 50 Гц и хода 700 мм нужно подтверждение производителя.
- Модели **Lishuan не проверены** — бренд не найден.
- Массы v2:

- сэндвич гнутых панелей считался по 20 кг/м², остекление — по 40 кг/м²;
- каркас посчитан по длинам труб без оптимизации.
- Приводы лестницы — оценки класса, не подбор.
- Снег и ветер приняты упрощённо по СП 20.13330. Для площадки нужен расчёт по нормам.