

Расчетная записка выполнена по схеме с верхней стальной рамой 2 х 2 м, подвесом к алюминиевой ферме через сертифицированный такелаж с WLL, четырьмя рабочими ветвями и отдельной страховкой. Общий фактический вес подвешиваемого узла ограничен значением 250 кг. По уточнению пользователя все металлические профильные трубы принимаются с толщиной стенки 2 мм вместо ранее принятой толщины 3 мм.

1. Задача

Задать расчетную схему подвеса декоративной композиции и требования к:

- 1. нижней металлической конструкции шара;
- 2. сквозному силовому элементу;
- 3. узлу руки с опорной пластиной;
- 4. верхней раме 2 х 2 м из трубы 40х40х2 мм;
- 5. креплению верхней рамы к алюминиевой ферме;
- 6. рабочим и страховочным ветвям такелажа;
- 7. проушинам, пластинам, косынкам и сварным узлам.

Основная цель документа - зафиксировать расчетную схему, нагрузки, ограничения по массе, требования к такелажу и состав КМ.

2. Принятые исходные данные

Параметр	Принято в расчете
Диаметр шара	2300 мм
Толщина стенки шара	200 мм
Вес шара	90 кг
Вес руки с фермой	50 кг
Вес покрытия	около 45 кг
Суммарный известный вес композиции	около 185 кг
Верхняя рама	2 х 2 м
Профиль верхней рамы	квадратная труба 40х40х2 мм
Профили ферменных элементов и решетки	все профильные металлические трубы со стенкой 2 мм
Общий максимальный вес подвешиваемого узла	250 кг
Остаток на верхнюю раму, проушины, пластины и такелаж	около 65 кг
Такелажная схема	4 рабочие ветви плюс отдельная страховочная ветвь
Крепление сверху	к алюминиевой ферме по подтвержденному лимиту площадки 250 кг

Подтверждение 250 кг принимается как исходное эксплуатационное ограничение по общему фактическому весу подвешиваемого узла.

Клиентская масса композиции 185 кг оставлена без автоматического уменьшения, потому что она зафиксирована как исходная масса шара, руки с фермой и покрытия. Уменьшение толщины профильных труб влияет на расчетную массу верхней рамы, решетки и ведомость металлических элементов; фактическую массу композиции следует заменить только после взвешивания или отдельной ведомости.

3. Расчетная схема

Расчетная схема принята в виде непрерывного силового пути через нижнюю металлическую конструкцию шара, основной сквозной силовой элемент, узел руки с опорной пластиной, верхнюю раму, рабочие ветви подвеса к алюминиевой ферме и отдельную страховочную ветвь. Нагрузка от шара и руки передается по металлическим расчетным узлам без включения декоративной оболочки шара как несущего элемента.

							Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		
							2

Узел	Функция	Расчетное требование
Нижняя металлическая конструкция шара	собирает нагрузку от шара и передает ее в основной силовой элемент	работает как часть пространственной системы; требуются косынки и накладки в местах ввода усилий
Основной сквозной силовой элемент	передает нагрузку вверх через конструкцию	работает в составе пространственной системы; ввод в верхнюю раму выполняется через усиленный узел
Рука и опорная пластина	рука опирается на металлическую пластину, а не на декоративную оболочку шара	пластина, косая ферма/стержень и швы проверяются по фактическим размерам
Верхняя рама 2 х 2 м	распределяет нагрузку между ветвями такелажа	труба 40х40х2 мм, масса верхнего блока не более 65 кг
Такелаж к алюминиевой ферме	передает общий вес подвешиваемого узла на ферму	4 рабочие ветви с WLL плюс отдельная страховка

Проушины верхней рамы должны находиться в узлах пересечения труб или в местах, усиленных пластинами/косынками. Не допускается передавать рабочее усилие в середину свободного пролета одиночной трубы без узлового усиления.

4. Ограничение по массе верхнего блока

Общий лимит:

Gmax = 250 кг

Известная масса композиции:

Gcomp = 185 кг

Остаток:

Gremain = 250 - 185 = 65 кг

Сечение трубы 40х40х2:

A = 40 х 40 - 36 х 36 = 304 мм2

Удельная масса:

m = 0,000304 х 7850 = 2,39 кг/м

Для профильной трубы 25х25х2:

A = 25 х 25 - 21 х 21 = 184 мм2

m = 0,000184 х 7850 = 1,44 кг/м

Длина трубы 40х40х2	Масса трубы
10 м	23,9 кг
12 м	28,6 кг
14 м	33,4 кг
16 м	38,2 кг
18 м	43,0 кг
20 м	47,7 кг

Дополнительная масса проушин, пластин, крепежа и такелажа	Максимальная длина трубы 40х40х2 при лимите 65 кг
10 кг	23,0 м
15 кг	21,0 м
20 кг	18,9 м
25 кг	16,8 м

Наружный контур рамы 2 х 2 м дает 8 м трубы, то есть около 19,1 кг. Если добавить две главные внутренние перемычки по 2 м, общая длина трубы составит около 12 м, масса трубы - около 28,6 кг. С компактными проушинами, пластинами и такелажом такой вариант может быть удержан в диапазоне 45-55 кг и оставляет запас до предельных 65 кг.

							Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		3

Плотная решетка 16-20 м из трубы 40х40х2 дает по трубе около 38,2-47,7 кг. Такой вариант уже не является автоматическим превышением по массе, но оставляет только около 17-27 кг на проушины, пластины, крепеж и такелаж. Поэтому плотную решетку допустимо оставлять только после ведомости массы и проверки, что верхний блок не превышает 65 кг.

Рабочее решение: целевой вес верхнего блока - до 55 кг, предельный вес - до 65 кг. Если ведомость массы показывает превышение 65 кг, конструкцию нужно облегчать.

5. Нагрузки для верхнего подвеса

Фактический вес по лимиту:

Gk = 250 x 9,81 / 1000 = 2,45 кН

Для верхнего крепления к алюминиевой ферме принимать:

Параметр	Значение
Фактическая вертикальная нагрузка от лимита 250 кг	2,45 кН
Расчетная вертикальная нагрузка на весь подвес	4,5 кН
Контрольная нагрузка на весь подвес	6,3 кН

Расчетная нагрузка 4,5 кН учитывает запас к фактическому весу, возможную неравномерность работы ветвей, массу такелажа и монтажные отклонения. Контрольная нагрузка 6,3 кН используется как проверочный уровень для узлов и страховки.

6. Распределение усилий по четырем рабочим ветвям

При четырех рабочих ветвях усилие в одной ветви зависит от угла ветви к вертикали.

Угол ветви от вертикали	Фактическая нагрузка	Расчетная нагрузка	Контрольная нагрузка
0 град.	0,61 кН	1,13 кН	1,58 кН
15 град.	0,64 кН	1,17 кН	1,63 кН
30 град.	0,71 кН	1,30 кН	1,82 кН
45 град.	0,87 кН	1,59 кН	2,23 кН

Для рабочей схемы принимать:

- 1. 4 независимые рабочие ветви к алюминиевой ферме;
- 2. угол ветвей от вертикали желательно не более 30 град.;
- 3. WLL каждого рабочего элемента цепочки не ниже 3 кН, практично применять стандартный такелаж не ниже 0,5 т;
- 4. отдельную страховочную ветвь выполнять независимой от рабочих ветвей;
- 5. WLL страховочной ветви принимать не ниже 1,0 т, если это допускается по месту монтажа и массе комплектующих.

WLL проверяется по самому слабому элементу цепочки: строп, скоба, зажим/кронштейн, талреп, рым, проушина на раме и точка крепления на алюминиевой ферме.

7. Требования к креплению на алюминиевой ферме

Крепление к алюминиевой ферме выполнять только штатными или сертифицированными элементами с паспортной WLL. По присланным правилам крепления к алюминиевым фермам применимы стропы, цепные стропы, скобы, рым-болты/рым-гайки, талрепы и специализированные кронштейны/зажимы для ферм.

Для рабочей ветви не применять:

- 1. карабины как рабочее крепление;
- 2. стальные канаты, закрепленные тросовыми зажимами;
- 3. непаспортные элементы без WLL;
- 4. крепление за декоративные или нерасчетные элементы фермы.

							Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		

Паспорт алюминиевой фермы остается желательным исходным документом. Если паспорт не предоставлен, подтверждение площадки по общему лимиту 250 кг нужно хранить как исходное условие, а в КМ указать, что общий фактический вес подвешиваемого узла не должен превышать 250 кг.

8. Горизонтальные усилия и наклон ветвей

Подвесная композиция может получить горизонтальную составляющую от качания, монтажа или наклонных ветвей. Если качание не исключено конструктивно, горизонтальные усилия нельзя игнорировать.

Оценка горизонтальной составляющей при отклонении:

Угол отклонения	N при F = 4,5 кН	N при F = 6,3 кН
10 град.	0,79 кН	1,11 кН
15 град.	1,21 кН	1,69 кН
20 град.	1,64 кН	2,29 кН

Поэтому рабочие ветви следует вести максимально близко к вертикали, а верхнюю раму и проушины проверять не только на вертикальную нагрузку, но и на возможную горизонтальную составляющую.

9. Узлы проушин и сварка

Проушину нельзя приваривать одной линией к одной стенке трубы, если через нее идет рабочая нагрузка подвеса.

Расчетные требования:

- 1. проушина через пластину/косынку, а не одиночным тонким ушком к стенке трубы;
- 2. пластина должна передавать усилие минимум на две трубы узла или на трубу плюс косынку;
- 3. швы выполнять с двух сторон, где есть доступ;
- 4. в узлах с моментом добавлять боковые косынки/накладки;
- 5. отверстие в одной стенке трубы не считать основным несущим элементом.

Для верхней рамы 40х40х2 проушины размещать в узлах. Ведомость массы проушин и пластин включать в общий весовой лимит 65 кг для верхнего блока.

10. Состав раздела КМ

Рекомендуемый состав КМ - 3 листа; при необходимости блок крепления к алюминиевой ферме можно вынести отдельным листом.

Лист	Содержание	Что обязательно показать
КМ-01	Общая схема силового пути и нагрузки	шар, рука, нижняя металлическая конструкция, сквозной элемент, верхняя рама, 4 рабочие ветви, страховка, лимит 250 кг
КМ-02	Верхняя рама 2 x 2 м	контур 40х40х2, главные перемычки, узлы проушин, ведомость массы верхнего блока, условие до 65 кг
КМ-03	Узел шара и руки	нижняя рама, косая ферма/стержень руки, опорная пластина под руку, косынки, зоны двусторонней сварки
КМ-04 при необходимости	Такелаж к алюминиевой ферме	WLL ветвей, скоб, талрепов, зажимов/кронштейнов, отдельная страховка, запреты по карабинам и тросовым зажимам

В листах КМ показываются узлы, сечения, пластины, косынки, зоны швов, рабочие/страховочные подвесы, расчетные усилия, WLL и короткие технические примечания.

11. Выводы

- 1. Общий фактический вес подвешиваемого узла ограничен значением 250 кг.
- 2. Известная масса декоративной композиции составляет около 185 кг.
- 3. На верхнюю раму, проушины, пластины и такелаж остается около 65 кг.

Расчетная записка

Лист 5

							Лист
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		5

4. Труба 40х40х2 имеет массу около 2,39 кг/м; труба 25х25х2 имеет массу около 1,44 кг/м.
5. Плотная решетка 16-20 м из трубы 40х40х2 дает 38,2-47,7 кг по трубе; применять только после ведомости массы проушин, пластин и такелажа.
6. Рабочее решение - наружный контур 2 х 2 м плюс необходимые главные перемычки, с целевой массой верхнего блока до 55 кг и предельной массой до 65 кг.
7. Верхний подвес считать по уровню 4,5 кН расчетно и 6,3 кН контроль.
8. К алюминиевой ферме принимать 4 рабочие ветви плюс отдельную страховочную ветвь.
9. WLL рабочих элементов принимать не ниже 3 кН на ветвь, практически - стандартный такелаж не ниже 0,5 т; страховочную ветвь - не ниже 1,0 т при возможности применения.
10. Все рабочие усилия передавать через узлы рамы, проушины, пластины и косынки, а не через декоративную оболочку или середину свободного пролета трубы.
11. Карабины как рабочее крепление и тросовые зажимы для закрепления стального каната в рабочей схеме не применять.

Согласовано

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	

Расчетная записка

Лист 6

							Лист
							6
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		