Инструкция от ТМ KROK
по установке троллея

1. Расчет геометрических параметров троллейного спуска

1.1. Выбрать участок для прокладывания троллейного спуска, определиться с предполагаемыми точками крепления каната троллея (см. Рис.1.1).

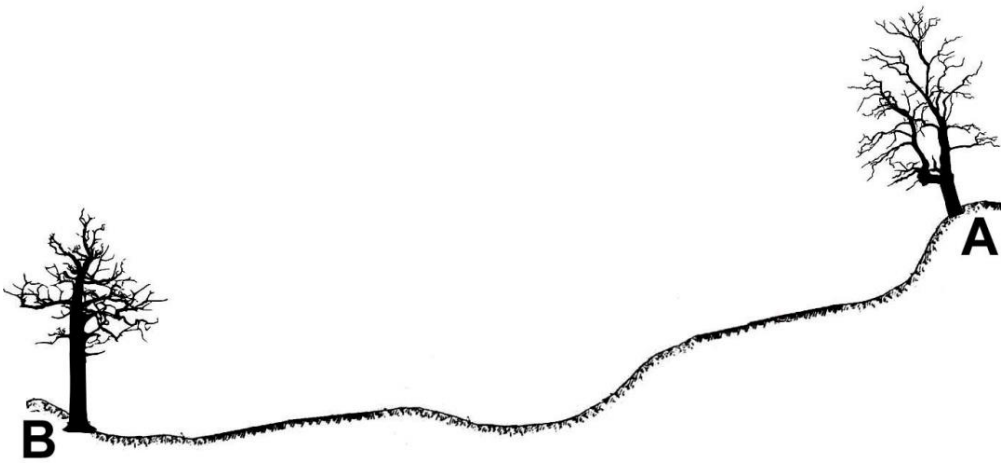

Рис.1.1

1.2. Выбрать стальной трос, который будет использоваться в качестве троллея (рекомендуемые параметры: øø10,0-12,0 мм, разрывное усилие – не менее 57,6-78,55 кН, масса 1 пм – 0,388-0,527 кг).

1.3. В точке A на выбранной высоте h_A прикрепить трос к дереву (или искусственному анкерному узлу крепления – в дальнейшем «анкерный узел») и свободно проложить по поверхности земли трос от точки A к точке B. Далее предварительно закрепить свободный конец троса на анкерном узле B на выбранной высоте h_B. При выборе высот закрепления троса на анкерных опорах руководствуйтесь ростом человека. И тем, что бы пользователь мог свободно сесть на троллей и покинуть его после приезда в конечную точку.

1.4. Замерить длину S проложенного по земле троса от точки A к точке B.

1.5. Свободный конец троса проградуировать (пометить) с ценой деления 1 м на длину предполагаемой выборки при натяжении (обычно 5-10 м). Это необходимо для определения длины натянутого троса (S_1), как разницы между свободно проложенным тросом (S) и величиной выборки троса (ΔS) при его натяжении (см. Рис.1.2):

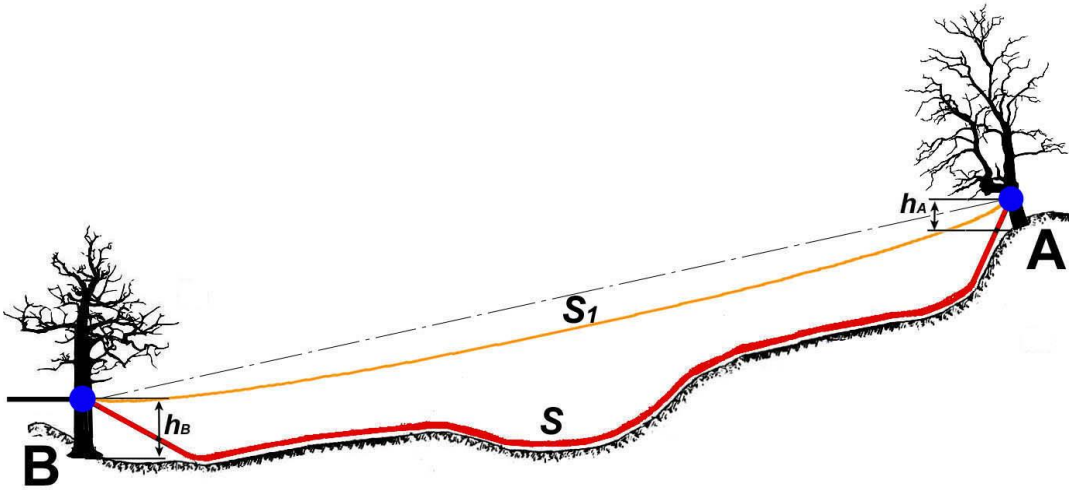

Рис.1.2

1.6. **<u>ВНИМАНИЕ! Для осуществления безопасного натяжения троса, далее необходимо выполнить определенные операции для вычисления возможных перегрузок анкерных узлов, которые включают в себя измерение и расчет ряда параметров создаваемого троллейного спуска. Можно обойтись и без расчётов, но тогда есть вероятность разрушения анкерных опор или натягиваемого троса.</u>**

1.7. Принять длину конечного участка троллея (отрезка BC_1), необходимого, и для создания необходимого провиса натянутого каната троллея, и для создания участка торможения, равной 10 м: $L_{BC1} = 10$ м. Массу спускающегося принять $m = 100$ кг.

1.8. Прикрепить в точке C_1, отложенной на выбранном расстоянии $L_{BC1} = 10$ м от анкерной точки B, груз массой $m = 100$ кг, который должен свободно лежать на поверхности земли. Отметим, что крепление груза должно быть организовано так, чтобы существовала возможность его фиксации на выбранном месте каната по мере натяжения троса и дальнейшего перемещения вдоль троса при необходимости в коррекции первоначальной длины отрезка BC_1 (см. Рис.1.3).

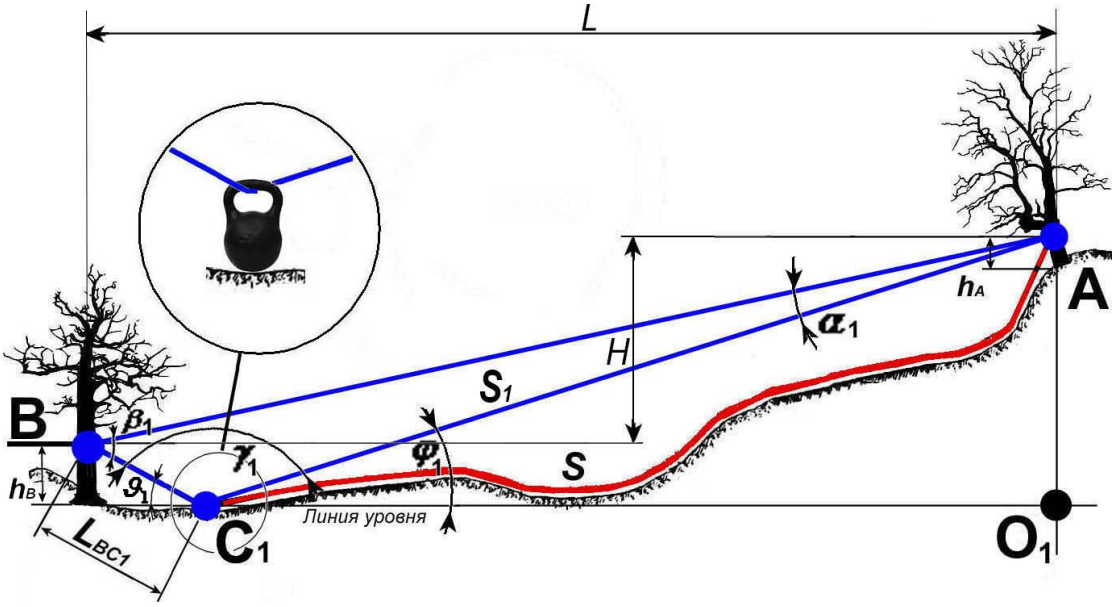

Рис.1.3

1.9. Натянуть трос таким образом, чтобы груз массой $m = 100$ кг, прикрепленный в точке C_1, находился на поверхности земли, но при небольшом дополнительном усилии, был готов от земли оторваться.

1.10. Рассчитать длину троса S_1 как разницу между длиной изначально проложенного по земле троса S и длиной выборки ΔS, для чего наносились метки на трос (п.1.5). Это - длина ломаной линии AC_1B как сумма двух сторон треугольника AC_1B (см. Рис.1.3).

$$S_1 = L_{AC1} + L_{BC1} = S - \Delta S$$

1.11. Измерить величину угла γ_1 в точке C_1 между направлениями ветвей троллея C_1A и C_1B. Это можно сделать с помощью обычного транспортира, совместив его основание с одним из указанных направлений (C_1A или C_1B).

1.12. Определить величину угла φ_1 в точке C_1 между направлением ветви троллея C_1A и условной линией горизонта C_1O_1.

$$\varphi_1 = \pi - (\gamma_1 + \vartheta_1) = \pi - \left(\gamma_1 + \arcsin\frac{h_B}{L_{BC1}}\right)$$

1.13. Определить длины сторон AC_1 и AB из треугольника ΔABC_1. Расчет проводить в следующей последовательности:

$$L_{AC1} = S_1 - L_{BC1}; \qquad L_{C1O1} = L_{AC1}\cos\varphi_1; \qquad L_{AO1} = L_{AC1}\sin\varphi_1$$

$$L = L_{BC1}\cos(\pi - (\varphi_1 + \gamma_1)) + L_{C1O1}; \qquad H = L_{AO1} - h_B; \qquad L_{AB} = \sqrt{L^2 + H^2};$$

1.14. Зная все параметры полученного треугольника ΔAC_1B, **<u>можем проверить, какие нагрузки будут испытывать опоры (анкерные узлы) A и B, если натянуть троллей до желаемого состояния, когда участок BC_2 станет горизонтальным</u>**, т.е. совпадет с линией уровня (см. Рис.1.4).

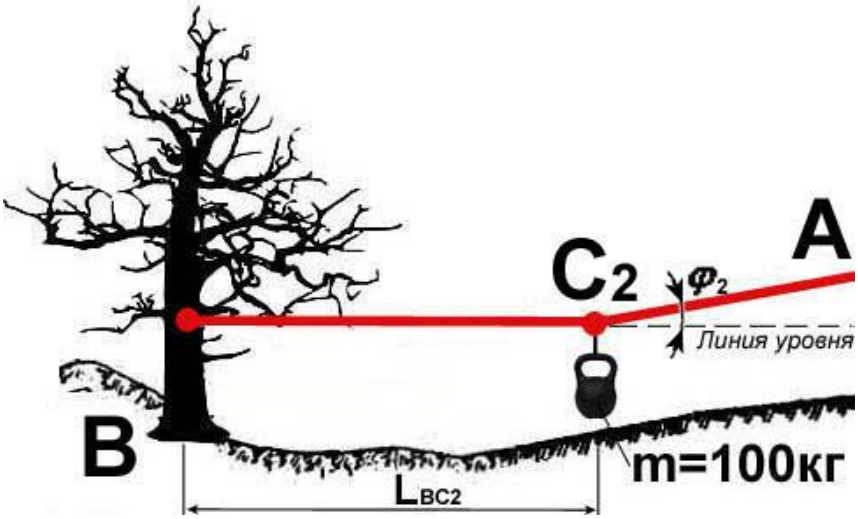

Рис.1.4

1.15. Порядок построения такого треугольника (поворот отрезка BC_1 до его совпадения с участком BC_2, лежащим на линии уровня BO_2) и его параметры продемонстрированы на рисунке (см. Рис.1.5).

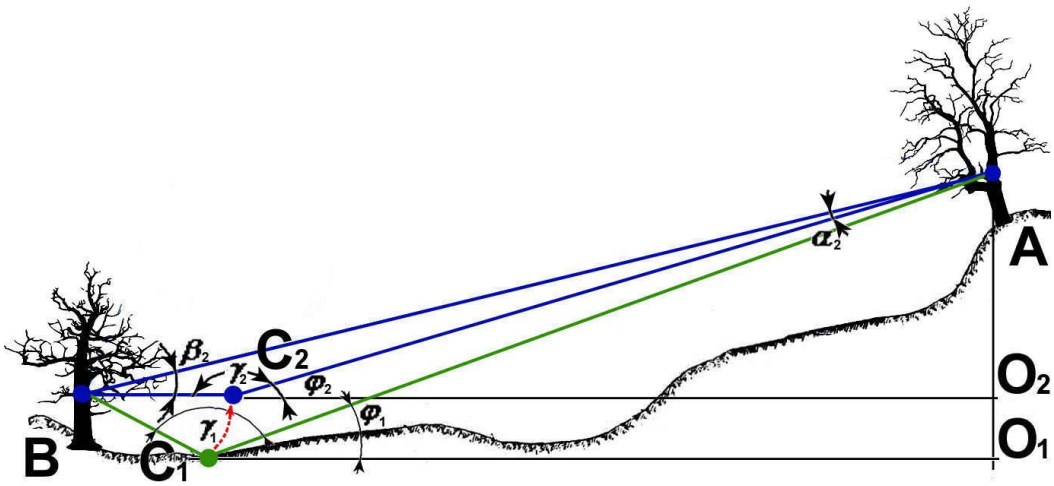

Рис.1.5

1.16. Рассчитаем длину отрезка AC_2, учитывая, что длина отрезка BC (для всех положений) - неизменна, т.е. $L_{BC1} = L_{BC2} = L_T$. Расчет вести в следующем порядке:

$$L_{C2O2} = L - L_{BC2}; \qquad L_{AC2} = \sqrt{L_{C2O2}^2 + H^2}; \qquad S_2 = L_{BC2} + L_{AC2}$$

1.17. Расчет геометрических параметров проектируемого троллейного спуска закончен, и можно перейти к силовому расчету, направленному на определение силы натяжения троллея в местах его крепления (анкерные точки A и B). Для этого необходимо использовать следующие расчетные данные, определенные в данном разделе: L_{AB}, S_2

Для наглядности приведем пример с определением геометрических параметров троллейного спуска

Исходные данные:

Измеренные: $S = 111{,}55$м; $\Delta S = 8{,}47$м; $\gamma_1 = 151{,}5°$; $h_B = 2{,}5$м.

Принятые: $L_{BC1} = L_T = 10$м;

Расчеты.

$S_1 = S - \Delta S$ =111,55-8,47=103,08м;

$$\varphi_1 = \pi - \left(\gamma_1 + \arcsin\frac{h_B}{L_{BC1}}\right) = 180^0 - \left(151{,}5 + \arcsin\frac{2{,}5}{10}\right) = 14°;$$

$L_{AC1} = S_1 - L_{BC1}$ =103,08-10=93,08м;

$L_{C1O1} = L_{AC1}\cos\varphi_1 = 93{,}08 \cdot \cos 14^0$ =90,32м;

$L_{AO1} = L_{AC1}\sin\varphi_1 = 93{,}08 \cdot \sin 14^0$ =22,52м;

$L = L_{BC1}\cos(\pi - (\varphi_1 + \gamma_1)) + L_{C1O1} = 10 \cdot \cos(180 - (14 + 151{,}5)) + 90{,}32 = 100$м;

$H = L_{AO1} - h_B$ =22,52-2,50=20,02м.

$L_{AB} = \sqrt{L^2 + H^2} = \sqrt{100^2 + 20{,}02^2} = 101{,}98$м;

$L_{C2O2} = L - L_T = 100$-10=90,00м;

$L_{AC2} = \sqrt{L_{C2O2}^2 + H^2} = \sqrt{90^2 + 20{,}02^2} = 92{,}20$м;

$S_2 = L_T + L_{AC2}$ =10+92,20=102,20м.

Переходящие к разделу 2 расчетные данные: $L_{AB} = 101{,}98$м; $S_2 = 102{,}20$м.

2. Силовой расчет троллейного спуска

2.1. Далее проведем силовой расчет троллейного спуска и определим силу натяжения троллея, приложенную к анкерным точкам.

2.2. **Определим значение угла γ_{2CP} при центральном положении подвеса груза** (полезной нагрузки F как суммы сосредоточенной нагрузки веса груза и распределенного веса самого троллея), т.е. в случае, когда $L_{AC2} = L_{BC2}$ (см. Рис.2.1), по следующей формуле:

$$\gamma_{2CP} = 2\arcsin\frac{L_{AB}}{S_2}$$

Необходимость определения центрального угла связана с тем, что именно в срединном положении созданного треугольника силы на анкерные точки действуют максимальные нагрузки! (см. Рис.2.2)

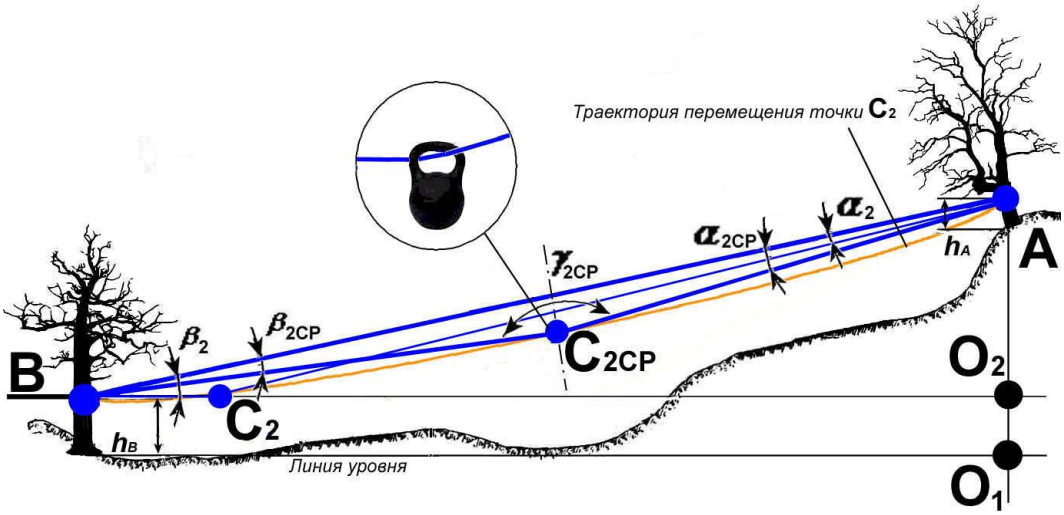

Рис.2.1

2.3. Воспользовавшись доработанной нами таблицей из «Правил по охране труда при работе на высоте» (Приложение №13, табл.4) , определим соотношение ς нагрузки в ветвях троллея и рабочей нагрузки табличным способом (см. Табл.2.1).

Таблица 2.1

Параметр	Центральный угол γ_{2CP}, °													
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	166	167
Соотношение анкерной нагрузки к основной F_A/F, %	50	50	52	54	58	63	71	82	100	131	193	383	410	442
	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	179,5	179,9
	478	522	574	637	717	819	955	1146	1433	1910	2865	5730	11459	57296

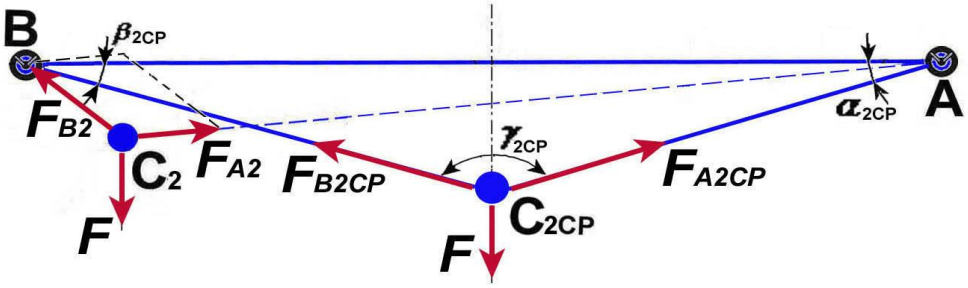

Рис.2.2

Если требуется более точная градация угла γ_{2CP} (до долей градуса), то можно воспользоваться аналитическим способом определения соотношения нагрузок:

$$\frac{F_{A2CP}}{F} = \frac{F_{B2CP}}{F} = \frac{1}{2\cos\frac{\gamma_{2CP}}{2}} \times 100\%$$

где: $F = g(m + \rho S_2)$ - полезная нагрузка, Н;

ρ - линейная удельная масса используемого троса, кг/пм.

2.4. **<u>Проверяем стальной трос и анкерные точки и узлы крепления на условие статической прочности</u>** (трос – на не превышение разрывного усилия, анкерную точку – на допустимый разрушающий момент).

$$F_{\max} = F_A = F_B \le [F_{ДОП}]$$

$$F_A h_A \le [M_{ДОП}];\ F_B h_B \le [M_{ДОП}]$$

где: h_A, h_B - плечи сил, т.е. длины перпендикуляров, опущенных из точек, где дерево выходит из поверхности земли, к линии действия силы. При сравнительно малых (относительно длины пролета) перепадах высот (до 20-25%) можно выбирать высоту от земли до места нахождения анкерной точки.

M_A, M_B - опрокидывающие моменты, возникающие в анкерных конструкциях (деревьях) A и B, в момент движения по троллейному спуску.

Отметим, что величины M_A и M_B в значительной мере зависят, прежде всего, от таких факторов как: порода дерева (физическая плотность), структура его корневой системы (горизонтальная или вертикальная), геометрические размеры (размер и форма поперечного сечения ствола) и состояние древесины (влажность, трухлявость и т.д.), а также типа почвы (суглинок, чернозем, лесные, пойменные и т.д.) и состояния грунта (влажность, наличие подлеска, однородность почвы и т.д.).

Оценка указанных параметров дерева производится согласно Правил «Отрытые физкультурно-спортивные сооружения. Часть 4. Экстремальные виды спорта» (СП 31-115-2008) с целью определения физического (внешний вид, показатели макроструктуры, влажность, плотность и т.д.) и механического (прочность, твердость, жесткость, ударная вязкость и другие) состояния деревьев, используемых как опора для элементов.

В целях безопасности предлагаем выбрать в качестве допустимого значения:

$$[M_{ДОП}] = 50\text{кН}\cdot\text{м}$$

2.5. Если полученное соотношение превышает допустимые пределы, то троллейным спуск с принятыми параметрами небезопасен, ибо возможен разрыв троса, разрушение анкерной точки или узла и т.д. Поэтому следует изменить исходные параметры (изменить геометрические размеры троллейного спуска; выбрать трос с большим разрывным усилием; использовать более мощный анкерный узел или укрепить ранее выбранный с помощью оттяжек, стоек; увеличить длину тормозного пути и т.д.) и произвести указанные расчеты с самого начала (пп.1.1-2.5).

2.6. Если силовые расчёты удовлетворяют заданные требования, то произведем кинематический расчет проектируемого троллейного спуска.

<u>Для наглядности приведем пример силового расчета троллейного спуска</u>.

<u>Исходные данные</u>:

$L_{AB} = 101{,}98$м; $S_2 = 102{,}20$м; $h_A = h_B = 2{,}5$м; $m = 100$кг; $\rho = 0{,}388$кг/пм.

Расчеты.

$$\gamma_{2CP} = 2\arcsin\frac{L_{AB}}{S_2} = 2\cdot\arcsin\frac{101{,}98}{102{,}20} = 172{,}5°.$$

$$F = g(m+\rho S_2) = 9{,}81\cdot(100+0{,}388\cdot 102{,}20) = 1370\text{Н}=1{,}37\text{кН}.$$

$$F_{\max}^{(T)} = F_A = F_B = \frac{\varsigma}{100}\cdot F = \frac{768}{100}\cdot 1{,}37 = 10{,}52\text{кН}$$ (расчет табличным способом).

$$F_{\max}^{(A)} = \frac{F}{2\cos\frac{\gamma_{2CP}}{2}} = \frac{1{,}37}{2\cos\frac{172{,}5^0}{2}} = 10{,}47\text{кН}$$ (расчет аналитическим способом).

$F_{\max} = F_A = F_B \le F_{ДОП}$; $10{,}52\text{кН} \le 57{,}6\text{кН}$ (условие на прочность выбранного троса выполняется).

$F_A h_A \le M_A$; $F_B h_B \le M_B$; $F_{\max} h = 10{,}52\cdot 2{,}5 = 26{,}3 \le 50$ кН·м (условие на не превышение опрокидывающего момента анкерной точки выполняется).

3. Кинематический расчет троллейного спуска

3.1. Далее проведем кинематический расчет спускающегося по троллейному спуску объекта. Основная цель кинематического расчета троллейного спуска заключается в определении скорости и ускорения замедления в точке начала тормозного пути.

3.2. Определим скорость спускающегося объекта в точке начала тормозного пути.

$$v_{CT} = \sqrt{gH - \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{k-1} v_i^2}\Bigg|_{k \ge i}$$

где: H - перепад высот начала и конца троллейного спуска, м;

v_i - скорость спускаемого объекта в конце i-го участка, м/с;

k - общее количество участков (до начала тормозного пути) траектории.

Учитывая, что аналитический расчет приведенной формулы трудноосуществим, предлагаем воспользоваться для определения скорости «Калькулятором проектирования троллейного спуска», размещенного на сайте компании «KROK».

3.3. Но, определить требуемую скорость можно и практическим путём.
Для этого необходимо на достаточно небольшом расстоянии от начала участка торможения (приблизительно около 5-7 м) установить метку на направляющей троллея (закрасить участок троса в 200 мм белой краской, например). На начало участка торможения повесить тормозную каретку или тормозной блок, который от продольного смещения должен быть чуть закреплён. Например, узелком на тросе тонким шнуром. Самому встать напротив белой метки. По троллею на каретке, которая будет использоваться и в дальнейшем, спустить груз массой 100 кг. При пересечении кареткой белой метки – включить секундомер. При щелчке каретки о тормозной блок – выключить секундомер. Скорость каретки в конце троллея определим, как расстояние (в метрах) от белой метки до щелчка, деленное на показанное время секундомера за вычетом времени, необходимого для его перемещения от источника (щелчка) к приемнику (уху), т.е. по формуле:

$$v_{CT} = \frac{L_T'}{t - \frac{L_T'}{v_{ЗВ}}}$$

где: L'_T - длина участка траектории, выбранного для измерения скорости, м;
t - время, зафиксированное секундомером, сек.;
$v_{ЗВ}$ - скорость звука в воздушной среде (≈340 м/с), м/с.

Для тех, кто захочет перевести в километры в час следует полученное значение умножить на 0,28 (или умножить на 1000 и разделить на 3600).

3.4. Определим общее время, необходимое для преодоления всего троллейного спуска.

$$T = \sum_{i=1}^{N} t_i$$

где: t_i - время прохождения i-го участка троллейного спуска, сек.;
N - общее количество участков, на которые при расчетах был разбит спуск.

3.5. Проверим проектируемый троллейный спуск на условие комфортности процесса торможения, согласно которому модуль величины ускорения торможения ограничивается $2g$:

$$|a_T| = \left| -\frac{v_{CT}^2}{2L_T} \right| \le 2g$$

3.6. Если условие не выполняется, то увеличивают длину тормозного пути L_T, и производят расчет сначала (пп.1.7-3.5) до тех пор, пока последнее условие будет выполнено.

Если условие выполняется, то длина тормозного пути L_T остается неизменной, и можно перейти к расчету системы торможения. Для этого необходимо использовать следующие расчетные данные, определенные в разделе 3: v_{CT}

Для наглядности приведем пример кинематического расчета троллейного спуска.

Расчеты.

$v_{CT} = \sqrt{gH - \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{k-1} v_i^2}\Big|_{k \ge i}$ =5,21м/с (определено с помощью калькулятора).

$T = \sum_{i=1}^{N} t_i$ =15,35сек. (определено с помощью калькулятора).

$|a_T| = \left| -\frac{v_{CT}^2}{2L_T} \right| = \left| -\frac{5{,}21^2}{2 \cdot 10} \right| = 1{,}36 \le 2g = 19{,}62$ м/с^2 (условие на комфортность процесса торможения выполняется).

Переходящие к разделу 4 расчетные данные: $v_{CT} = 5{,}21$м/с.

4. Расчет параметров тормозной системы троллейного спуска

4.1. Определим параметры тормозной системы в зависимости от типа ее конструктивного исполнения (с помощью пружин или противовеса).

4.2. <u>Система торможения с помощью пружин</u> (см. Рис.4.1).

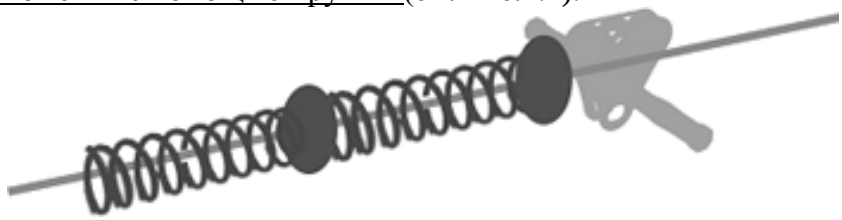

Рис.4.1

Для системы торможения с помощью гасящих кинетическую энергию пружин (диаметр проволоки 4 мм, диаметр пружины 40 мм, длина 0,4мм), параметры которых равны $k \approx 820$ н/м, $\Delta l = 0{,}36$ м, их количество определяется как:

$$n \geq \frac{v_{CT}}{\Delta l}\sqrt{\frac{M}{k}}$$

При этом должно выполняться условие, согласно которого общая длина пружинного блока не должна превышать тормозной путь, т.е.:

$$nl \leq L'_T$$

где: L'_T - длина участка торможения, обусловленная высотой крепления анкерной точки B над поверхностью земли ($L'_T = h_B$), м.

4.3. <u>Система торможения с помощью противовеса</u> (см. Рис.4.2).

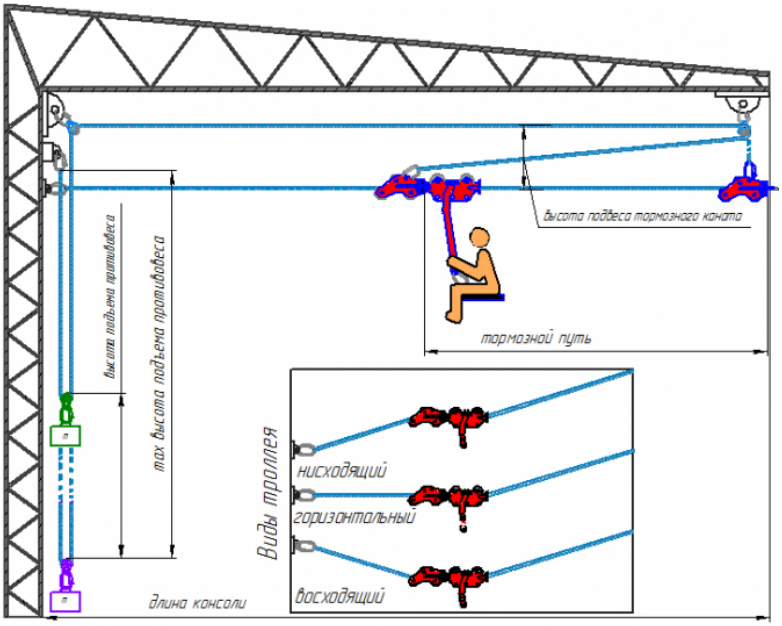

Рис.4.2

Для системы торможения с помощью противовеса, конструктивно состоящей из полиспаста, двух блоков, троса и груза-противовеса, масса последнего определяется по следующей формуле:

$$m_G = \frac{\lambda \eta^z M v_{CT}^2}{2gh}$$

где: λ - передаточное отношение используемого в системе полиспаста;

η - кпд подшипников, используемых в блоках системы торможения и полиспасте (0,99);

z - количество подшипников, используемых в системе, шт.;
h - высота подъема груза-противовеса, определяемая геометрическими параметрами реализуемой системы торможения, м.

Для наглядности приведем пример расчета параметров системы торможения троллейного спуска.

Расчеты.

При использовании пружин в системе торможения, параметры которых равны: диаметр проволоки 4 мм, диаметр пружины 40 мм, длина 0,4мм, удельная жесткость $k \approx 820$ н/м, рабочая (эффективная) длина $\Delta l = 0{,}36$ м, их количество определяется как:

$n \geq \frac{v_{CT}}{\Delta l}\sqrt{\frac{M}{k}} = \frac{5{,}21}{0{,}36}\sqrt{\frac{100}{820}} = 5{,}05$. Принимаем n =6 шт.

$nl = 6 \cdot 0{,}4 = 2{,}4 \leq L'_T = 2{,}5$ м (условие выполняется).

При использовании противовеса в системе торможения, параметры которой составляют: λ =2; η =0,99; z =3; $h = 2{,}5$ м, имеем:

$$m_G \geq \frac{\lambda \eta^z M v_{CT}^2}{2gh} = \frac{2 \cdot 0{,}99^3 \cdot 100 \cdot 5{,}21^2}{2 \cdot 9{,}81 \cdot 2{,}5} = 107{,}4\text{кг.}$$

Принимаем массу груза-противовеса m_G =107,4кг.

5. Заключение

5.1. Троллейный спуск готов к эксплуатации.
5.2. Если всё же у Вас возникли сложности с расчётами, то за консультациями Вы можете обратиться к специалистам ТМ КРОК.