**РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ТОРМОЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРУЖИН**

1. Расчетная система торможения представляет собой блок пружин, последовательно соединенных между собой (см. Рис.1)



Рис.1

2. Возможны два варианта расчетов:

Вариант 1: При наличии стандартных пружин (с известной жесткостью и длиной) подобрать их количество для достижения заданного комфортного уровня перегрузки.

Вариант 2: При отсутствии стандартных пружин, но возможности их изготовления, определить требуемые параметры пружин, с которыми возможно достижение заданного комфортного уровня перегрузки.

Рассмотрим оба варианта.

3. Расчет согласно варианта 1.

Дано: масса спускающегося (*M*), скорость в начальной точке участка торможения (*vT*), параметры пружины (жесткость *k*, рабочая длина срабатывания пружины Δ*L*) и ориентировочная длина участка торможения (*LT*).

Решение:

3.1. Исходя из закона сохранения энергии, согласно которому полная кинетическая энергия движущегося тела поглощается сжимаемой пружиной, определим количество стандартных пружин, набранных в блок.

$$\frac{Mv\_{T}^{2}}{2}=\frac{k∆L^{2}}{2}$$

$$Mv\_{T}^{2}=k∆L^{2}; ∆L=\sqrt{\frac{Mv\_{T}^{2}}{k}}=v\_{T}\sqrt{\frac{M}{k}}$$

3.2. Учитывая, что в качестве тормозящих пружин используется определенный комплект из  одинаковых пружин длиной  (и рабочей длиной ) и жесткостью , имеем:

$$∆L=n∆l=v\_{T}\sqrt{\frac{M}{k}}$$

3.3. Отсюда требуемое количество используемых пружин при их определенном сжатии на длину , должно выдерживать следующее требование:

$$n\geq \frac{v\_{T}}{∆l}\sqrt{\frac{M}{k}}$$

При этом должно выполнятся условие, согласно которого общая длина пружинного блока не должна превышать заранее заданный тормозной путь *LT*, но быть к нему максимально близкой:

$$nl\leq L\_{T}$$

3.4. Проверяем правильность подбора комплекта пружин, исходя из условия комфортности процесса торможения по следующей зависимости:

$$a\_{T}=\frac{v\_{T}^{2}}{2n∆l}\leq 2g$$

3.5. Если все условия выполнены, то можно считать, что процесс подбора количества стандартных пружин выполнен верно. Если же какое-либо из условий не выполняется, необходимо изменять входной параметр тормозного пути и производить расчет заново.

4. Расчет согласно варианта 2.

Дано: масса спускающегося (*M*), скорость в начальной точке участка торможения (*vT*) и ориентировочная длина участка торможения (*LT*).

Решение:

4.1. Исходя из заданного условия комфортности процесса торможения ($a\_{T}\leq 2g$), определяем требуемый тормозной путь и сравниваем его с заданным. При больших различиях корректируем выбор длины и скорости (согласно кинематического расчета). Проводим расчет заново до достижения требуемых результатов.

$$L\_{T}=\frac{v\_{T}^{2}}{4g}$$

4.2. Задаем длину условной пружины неопределенной жесткости равной длине тормозного пути.

$$∆L=L\_{T}$$

4.3. Исходя из закона сохранения энергии, согласно которому полная кинетическая энергия движущегося тела поглощается сжимаемой условной пружиной, определим ее жесткость.

$$k=\sqrt{\frac{Mv\_{T}^{2}}{∆L^{2}}}=\frac{v\_{T}}{∆L}\sqrt{M}$$

4.4. Зная жесткость и длину условной пружины, производим подбор необходимой пружины (или набора пружин) с учетом материала, диаметра проволоки и самой пружины, режимов термообработки и т.д.

5. Для наглядности покажем расчетные соотношения скорости в начале тормозного пути, массы спускающихся и длины тормозного пути при использовании условной пружины жесткостью 100 и 1000 н/м.

Расчет ведем по следующим формулам:

Длина тормозного пути: $L\_{T}=v\_{T}\sqrt{\frac{M}{k}}$

Время прохождения участка торможения: $t\_{T}=\frac{2L\_{T}}{v\_{T}}$

Среднее ускорение на участке торможения: $a\_{T}=\frac{v\_{T}^{2}}{2L\_{T}}$

Отметим, что длина тормозного пути определяется как длина участка, на котором постоянно действует сопротивление пружины, вплоть до полной остановки тела.

Сведем полученные данные в таблицу (Табл.1).

Таблица 1.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Скорость в начале тормозного пути ($v\_{T}$) | Масса спускающегося ($M$), кг | Среднее ускорение торможения при определенной массе, жесткости и длине участка($a\_{T}$), м/с2 |
| 50,0 | 100,0 |
| Жесткость пружины ($k$), Н/м |
| 100 | 1000 | 100 | 1000 |
| Длина тормозного пути ($L\_{T}$), м |
| м/с | км/ч |
| 50,0 | 100,0 |
| 100 | 1000 | 100 | 1000 |
| 1,0 | 3,60 | 0,71 | 0,22 | 1,00 | 0,32 | 0,70 | 2,27 | 0,50 | 1,56 |
| 2,0 | 7,20 | 1,41 | 0,45 | 2,00 | 0,63 | 1,42 | 4,44 | 1,00 | 3,17 |
| 3,0 | 10,80 | 2,12 | 0,67 | 3,00 | 0,95 | 2,12 | 6,72 | 1,50 | 4,74 |
| 4,0 | 14,40 | 2,83 | 0,89 | 4,00 | 1,26 | 2,83 | 8,99 | 2,00 | 6,35 |
| 5,0 | 18,00 | 3,54 | 1,12 | 5,00 | 1,58 | 3,53 | 11,16 | 2,50 | 7,91 |
| 6,0 | 21,60 | 4,24 | 1,34 | 6,00 | 1,90 | 4,25 | 13,43 | 3,00 | 9,47 |
| 7,0 | 25,20 | 4,95 | 1,57 | 7,00 | 2,21 | 4,95 | 15,61 | 3,50 | 11,09 |
| 8,0 | 28,80 | 5,66 | 1,79 | 8,00 | 2,53 | 5,65 | 17,88 | 4,00 | 12,65 |
| 9,0 | 32,40 | 6,36 | 2,01 | 9,00 | 2,85 | 6,37 | 20,15 | 4,50 | 14,21 |
| 10,0 | 36,00 | 7,07 | 2,24 | 10,00 | 3,16 | 7,07 | 22,32 | 5,00 | 15,82 |

Анализ представленной таблицы позволяет видеть, что условием комфортности не соответствую только два положения, по причине того, что даже при меньшей массе спускающегося, жесткость выбранной пружины позволяет остановить тело за слишком короткое время. Все остальные варианты удовлетворяют условие комфортности.

6. Рассчитаем реальный тормозной блок. Для этого используем демпферные пружины для тормозной пружинной системы троллея от ТМ КРОК с параметрами, приведенными на рисунке (Рис.2).



Рис.2

Расчетное количество используемых указанных демпферных пружин определим из следующего соотношения:

$$n\_{P}\geq \frac{v\_{T}}{∆l}\sqrt{\frac{M}{k}}$$

где для заданной пружины в пределах рабочего диапазона имеем:

$∆l=$600-278=322мм = 0,322м;

 $k=\frac{44.4∙10}{0.322}=$1378,9 Н/м.

Принятое количество используемых пружин определим путем округления полученного расчетного значения до ближайшего целого большего:

$$n\_{П}=ОКРВВЕРХ.МАТ(n\_{P})$$

Длину тормозного пути определяем из соотношения:

$$L\_{T}=n\_{П}∙∆l$$

где: $∆l$ = 322мм = 0,322м – рабочая длина пружины, м

Далее расчет ведем табличным способом в соответствии с формулой, представленной в п.5:

Среднее ускорение на участке торможения: $a\_{T}=\frac{v\_{T}^{2}}{2L\_{T}}$

Заносим полученные результаты в таблицу (Табл.2)

Таблица 2.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Скорость в начале тормозного пути ($v\_{T}$) | Масса спускающегося ($M$), кг | Среднее ускорение торможения при определенной массе и длине участка торможения ($a\_{T}$), м/с2 |
| 50,0 | 100,0 |
| $n\_{P}$, шт. | $n\_{П}$, шт. | $L\_{T}$, м | $n\_{P}$, шт. | $n\_{П}$, шт. | $L\_{T}$, м |
| м/с | км/ч |
| 50,0 | 100,0 |
| 1,0 | 3,60 | 0,59 | 1 | 0,322 | 0,84 | 1 | 0,322 | 1,55 | 1,55 |
| 2,0 | 7,20 | 1,18 | 2 | 0,644 | 1,67 | 2 | 0,644 | 3,11 | 3,11 |
| 3,0 | 10,80 | 1,77 | 2 | 0,644 | 2,51 | 3 | 0,966 | 6,99 | 4,66 |
| 4,0 | 14,40 | 2,37 | 3 | 0,966 | 3,35 | 4 | 1,288 | 8,28 | 6,21 |
| 5,0 | 18,00 | 2,96 | 3 | 0,966 | 4,18 | 5 | 1,610 | 12,94 | 7,76 |
| 6,0 | 21,60 | 3,55 | 4 | 1,288 | 5,02 | 6 | 1,932 | 13,98 | 9,32 |
| 7,0 | 25,20 | 4,14 | 5 | 1,610 | 5,85 | 6 | 1,932 | 15,22 | 12,68 |
| 8,0 | 28,80 | 4,73 | 5 | 6 | 1,610 | 1,932 | 6,69 | 7 | 2,254 | 19,88 | 16,56 | 14,20 |
| 9,0 | 32,40 | 5,32 | 6 | 7 | 1,932 | 2,254 | 7,53 | 8 | 2,576 | 20,96 | 17,97 | 15,72 |
| 10,0 | 36,00 | 5,91 | 6 | 9 | 1,932 | 2,898 | 8,36 | 9 | 2,898 | 25,88 | 17,25 | 17,25 |

Как видно из таблицы, в трех случаях (при скорости 8,0; 9,0 и 10,0 м/с для спускающегося массой до 50 кг) требования комфортности торможения не соблюдаются (выделено красным). В этом случае необходимо увеличить длину тормозного пути путем добавления дополнительных пружин, и произвести расчет заново (выделено зеленым) до достижения требуемого результата.

7. Окончательный результат подбора количества пружин в тормозном блоке в зависимости от скорости в начале участка торможения и массы спускающегося, примет следующий вид (Табл.3).

Таблица 3

|  |  |
| --- | --- |
| Масса спускающегося | Скорость в начале тормозного пути, (м/с)/(км/ч) |
| 1,0/3,6 | 2,0/7,2 | 3,0/10,8 | 4,0/14,4 | 5,0/18,0 | 6,0/21,6 | 7,0/25,2 | 8,0/28,8 | 9,0/32,4 | 10,0/36,0 |
| Не более 50 кг | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 |
| Не более 100 кг | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 6 | 7 | 8 | 9 |

**Выводы**:

1. Соблюдение условий комфортности торможения при заданных параметрах пружинных блоков легче соблюсти для спускающихся взрослых со стандартной массой (до 100 кг), нежели небольшой массы (детей или женщин) до 50 кг, по причине того, что меньшую кинетическую энергию (соотношение масы спускающихся 2:1) пружины имеющейся жесткости гасят быстрее, и поэтому растет ускорение.
2. Поэтому при конструировании пружинного блока системы торможения спускающихся на троллее, для спускающихся с меньшеой массы (детей, женщин) целесообразно увеличивать размеры тормозного блока путем добавления дополнительных стандартных пружин указанных параметров от ТМ КРОК.