



### Пояснения к задачам

Из теории автомобиля известно:

1. Сила дорожного сопротивления, которую преодолевает автомобиль при движении, определяется по формуле:

$$P_{\varphi} = P_f + P_{\alpha}, \quad (1)$$

где  $P_{\varphi}$  – сила дорожного сопротивления, Н;  $P_f$  – сила сопротивления качению, Н;

$P_{\alpha}$  – сила сопротивления подъему, Н.

При этом:

$$P_f = G_A f \cos \alpha, \quad (2)$$

где  $G_A$  – вес автомобиля, Н;  $f$  – коэффициент сопротивления качению, зависит от типа и состояния дороги, в общем случае берется из специальных таблиц (фрагмент представлен в таблице 1);  $\alpha$  – угол подъема дороги.

$$P_{\alpha} = \pm G_A \sin \alpha, \quad (3)$$

Знак «+» берется в том случае, когда автомобиль движется на подъем, знак «-» – при движении автомобиля на спуске.

2. Сила сопротивления воздуха определяется из выражения:

$$P_w = k \cdot F_A \cdot V_A^2, \quad (4)$$

где  $P_w$  – сила сопротивления воздуха, Н;  $k$  – коэффициент обтекаемости автомобиля,  $\frac{H \cdot c^2}{M^4}$ , берется из специальных таблиц;  $F_A$  – площадь поперечного сечения автомобиля,  $M^2$ ;

$V_A$  – скорость движения автомобиля, м/с.

3. Условия движения автомобиля:

– равномерное движение  $P_A = P_{\varphi} + P_w$ ;

– движение с ускорением  $P_A > P_{\varphi} + P_w$ ;

– движение с замедлением (без буксования)  $P_A < P_{\varphi} + P_w$ ,

где  $P_A$  – сила тяги на колесах автомобиля, Н.

4. Удельное давление автомобиля на грунт рассчитывается по формуле: масса машины, деленная на контактную площадь грунта. Измеряется в  $кг/см^2$ .

Оно означает то, с какой силой давит автомобиль на 1 квадратный сантиметр дорожного полотна. Из формулы следует, что давление на грунт зависит не только от массы автомобиля, но и от общей площади соприкосновения колес автомобиля с дорогой, или, как говорят, – общей площади «пятен контакта» колес.

Для справки: удельное давление пешехода –  $0,6 кг/см^2$ ; лыжника –  $0,04 кг/см^2$ .

5. Предельная несущая способность грунта – это максимальное давление, которое он может выдерживать без разрушения.

Для справки: предельная несущая способность снежного наста –  $0,3 кг/см^2$ .

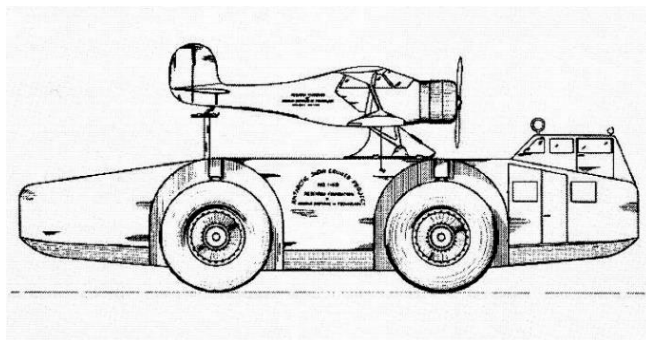
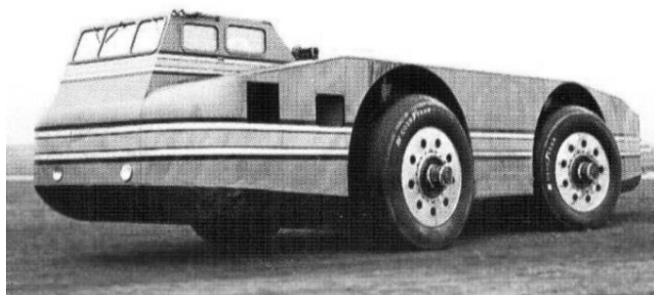
Таблица 1

### Средние значения коэффициента сопротивления качению

№	Виды покрытия дороги	Коэффициент, f
1	Асфальтовая дорога в отличном состоянии	0,015
2	Гравийная дорога в хорошем состоянии	0,022
3	Грунтовая дорога в хорошем состоянии	0,023

4	Ровный лед	0,025
5	Сыпучий песок	0,2
6	Снежный надув (слабо укатанный снег)	0,08

## Описание проблемы



На иллюстрациях представлены чертеж и фотография Snow Cruiser («Снежный крейсер») – автомобиля, разработанного и построенного в США в конце 30-х годов прошлого века специально для покорения Антарктиды. Предполагалось, что, пройдя во время экспедиции 8000 километров, «Снежный крейсер» крест-накрест пересечет Ледовый континент, проедет всю его береговую линию и дважды побывает на Южном полюсе.

Для своего времени конструкция Snow Cruiser была верхом инженерной мысли. Основой огромной машины была пространственная трубчатая рама, обшитая металлическими листами с двухслойным утеплением. По периметру кузова проходили трубы системы охлаждения двигателей, одновременно игравшие роль своеобразного «центрального отопления» салона, а горячий воздух от работающих моторов отводился в колесные арки и обдувал шины, предотвращая тем самым их обледенение. Система отопления вездехода была настолько эффективной, что внутри машины, даже при самых сильных морозах, экипажу требовалась только легкая одежда и тонкие одеяла для сна.

Автомобиль имел длину 17 метров, ширину – 6 метров и высоту – почти 5 метров. Такие гигантские размеры стали следствием того, что машина использовалась в качестве передвижной исследовательской станции. Внутри ее кузова размещались и двигательный отсек, и 3-местная рубка управления, вынесенная наверх, и каюты экипажа со спальными местами, и кают-компания с мягкими креслами, и кухня с мойкой и плитой, и мастерская со сварочным аппаратом и токарным станком, и фотолаборатория. Кроме этого, в кузове еще были склад провизии и бак, вмещавший почти девять с половиной тысяч литров дизельного топлива.

Экипаж машины состоял из пяти человек, в том числе и пилота самолета. На крыше «Снежного крейсера» размещался 5-местный биплан Beechcraft Model 17, который предназначался для ведения воздушной разведки и аэрофотосъемки, а в случае возникновения какой-то критической ситуации все члены экипажа должны были сесть в него и улететь. И автомобиль, и самолет были выкрашены в ярко-красный цвет, чтобы их было легко обнаружить в ледяной пустыне Антарктиды.

У «Снежного крейсера» был колесный движитель. Огромные, гладкие (без протектора) покрышки диаметром 120 дюймов (больше 3 м) и шириной 33 дюйма (0,86 метра) были изготовлены из морозостойкой резины. Автомобиль имел гибридный привод. Перед передней осью стояли два 11-литровых 6-цилиндровых дизельных двигателя мощностью по 150 л.с., которые раскручивали два генератора, запитывавших четыре электромотора мощностью по 50 л.с. каждый, располагавшиеся в ступицах колес. Все колеса были не только ведущими, но и управляемыми. «Снежный крейсер» на шоссе мог разогнаться до вполне приличных 48 км/ч — неплохой показатель для машины полной массой в 38 тонн (без самолета).

Однако после прибытия в начале 1940 года «Снежного крейсера» в Антарктиду выяснилась грубейшая ошибка его разработчиков – оказалось, что ходовая часть машины могла работать только на твердой и ровной поверхности. В реальности же, из-за высокого удельного давления, колеса разрушали снежный наст, и автомобиль проваливался в снег, после чего машина

буксовала, зарываясь в снег и не могла сдвинуться с места. К тому же, у нее была отвратительная геометрическая проходимость: из-за своих огромных свесов она просто не могла преодолеть ледяные торосы и снежные надувы даже метровой высоты, которые для Антарктиды были стандартными «дорожными условиями».

В итоге, за две недели «Снежный крейсер» проехал в Антарктиде всего 148 километров по ровному льду. Дальше плато закончилось, и машина встала. Было решено движение остановить и превратить автомобиль в стационарную научно-исследовательскую станцию. В таком виде он проработал до 1941 года, когда экипаж был вынужден законсервировать Snow Cruiser и покинуть его.

В конце 1946 года во время очередной американской антарктической экспедиции брошенный вездеход был обнаружен. Выяснилось, что транспортное средство хорошо сохранилось и нуждается только в техническом обслуживании. Во второй раз снегоход нашли в 1958 году. На сей раз для того, чтобы откопать машину из-под снега, использовали бульдозер. В более поздних экспедициях найти автомобиль уже не смогли.

### Задача 1 (15 баллов)

Определите, какая сила тяги должна быть на колесах «Снежного крейсера», чтобы обеспечить его движение в Антарктике. Учитывая низкую скорость машины, сопротивлением воздуха можно пренебречь.

#### Решение:

1. Из пояснений к задаче, очевидно, что для движения «Снежного крейсера» в Антарктиде должно выполняться условие:

$$P_A \geq P_\varphi + P_w, \quad (1)$$

где  $P_A$  – сила тяги, необходимая для обеспечения движения машины в Антарктиде, Н;  $P_\varphi$  – сила дорожного сопротивления, Н;  $P_w$  – сила сопротивления воздуха, Н.

Учитывая, что по условиям задачи, сопротивлением воздуха можно пренебречь (т.е.  $P_w = 0$ ), условие (1) можно записать в виде:

$$P_A \geq P_\varphi \quad (2)$$

При этом

$$P_\varphi = P_f + P_\alpha, \quad (3)$$

где  $P_f$  – сила сопротивления качению, Н;  $P_\alpha$  – сила сопротивления подъему, Н.

Учитывая, что движение машины осуществляется по горизонтальной поверхности ( $P_\alpha = 0$ ), выражение (2) можно записать:

$$P_A \geq P_f \quad (4)$$

2. Сила дорожного сопротивления, как следует из пояснений к задаче, определяется из выражения:

$$P_f = G_A f \cos \alpha, \quad (5)$$

где  $P_f$  – сила дорожного сопротивления, Н;  $G_A$  – вес машины, Н;  $f$  – коэффициент сопротивления качению, зависит от типа и состояния дороги, выбирается из специальных таблиц (фрагмент представлен в таблице в пояснениях к задаче);  $\alpha$  – угол подъема дороги, в данном случае  $\alpha = 0$ .

3. Определяем вес автомобиля из выражения:

$$G_A = m_A \cdot g, \quad (6)$$

где  $m_A$  – масса автомобиля, кг;  $g$  – ускорение свободного падения, м/сек<sup>2</sup>.

4. Подставляем в выражение (6) численные значения входящих в него параметров:

$$G_A = 38000 \cdot 9.8 = 372400 \text{ Н}, \quad (7)$$

5. Подставляем в выражение (5) численные значения входящих в него параметров. Учтем, что параметр  $f$  по данным таблицы 1 имеет величину 0,08:

$$P_f = 372400 \cdot 0,08 = 29792 \text{ Н} \quad (8)$$

Таким образом, для обеспечения движения «Снежного крейсера» в Антарктиде на колесах машины должна быть сила тяги не менее 29792 Н.

**Ответ:** сила тяги не менее 29792 Н.

### Задача 2 (10 баллов)

Определите примерное удельное давление на грунт «Снежного крейсера». Учтем, что ориентировочная длина пятна контакта колеса автомобиля при его движении по снежному надуву составляет 0,25 м. Сделайте заключение о возможности движения Snow Cruiser по снежному надуву.

#### Решение:

1. Как видно из пояснений к задаче, в общем случае, удельное давление автомобиля на грунт можно определить из выражения:

$$F_A = \frac{G_A}{S_A}, \quad (1)$$

где  $F_A$  – удельное давление автомобиля на грунт, кг/см<sup>2</sup>;  $G_A$  – вес автомобиля, кг;  $S_A$  – общая площадь контакта колес автомобиля с грунтом, см<sup>2</sup>.

В данном случае используем размерность величины удельного давления кг/см<sup>2</sup>.

2. Величина  $S_A$  определяется из выражения:

$$S_A = n \cdot S_{\text{пк}}, \quad (2)$$

где  $n$  – число колес автомобиля;  $S_{\text{пк}}$  – площадь пятна контакта колеса автомобиля, см<sup>2</sup>.

В данном случае:

$$S_{\text{пк}} = l_{\text{пк}} \cdot B, \quad (3)$$

где  $l_{\text{пк}}$  – длина пятна контакта, см;  $B$  – ширина покрышки автомобиля, см.

3. Подставим выражения 2 и 3 в выражение 1:

$$F_A = \frac{G_A}{n \cdot l_{\text{пк}} \cdot B} \quad (4)$$

4. Подставим в выражение (4) числовые значения входящих в него параметров:

$$F_A = \frac{38000}{4 \cdot 25 \cdot 86} = 4,41 \text{ кг/см}^2 \quad (5)$$

5. Из пояснений к задаче известно, что предельная величина несущей способности снежного наста составляет  $0,3 \text{ кг/см}^2$ .

Учитывая, что

$$F_A = 4,41 \text{ кг/см}^2 > 0,3 \text{ кг/см}^2,$$

можно сделать вывод, что «Снежный крейсер» не мог передвигаться по снежному надуву, поскольку его колеса разрушали снежный наст, и автомобиль проваливался в снег. Обратим внимание на такой факт. Даже снижение давления в шинах автомобиля не решало проблему. Например, в случае увеличения длины пятна контакта даже до 1 метра (что происходит в случае снижения давления воздуха в шинах) величина удельного давления составляло  $1,1 \text{ кг/см}^2$ , что также намного больше величины несущей способности снежного наста.

**Ответ:** автомобиль не мог передвигаться по снежному надуву.

### **Задача 3 (75 баллов)**

Представьте, что вы являетесь членом международной антарктической экспедиции, которая разыскала Snow Cruiser, извлекла его из-под снега и провела необходимое техническое обслуживание. Нужно провести эвакуацию машины в порт, откуда на корабле она будет доставлена на Большую землю в музей.

Вашей задачей является сделать так, чтобы «Снежный крейсер» смог самостоятельно преодолеть этот маршрут. Обоснуйте, какие изменения в его конструкции необходимо для этого провести. Сделайте эскиз предлагаемых вами конструктивных изменений и опишите их. Пользуясь имеющимися данными, подтвердите расчетами реальность ваших предложений.

### **Решение:**

Задание является проектной задачей и имеет множество вариантов решения. Каждый из участников предлагает свой вариант решения с использованием эскизов, описаний и расчетов.