



Пояснения к задаче 1

Во время работы двигателя внутреннего сгорания его поршень перемещается от самого нижнего положения, называемого нижней мертвой точкой (НМТ) до самого верхнего – верхней мертвой точки (ВМТ). Перемещение поршня от НМТ к ВМТ называется рабочим ходом поршня (h_p). Когда поршень находится в НМТ над его поверхностью, называемой днищем поршня, находится полный объем цилиндра ($V_{пц}$), включающий рабочий объем цилиндра ($V_{рц}$) и объем камеры сгорания ($V_{кс}$).

Объем цилиндра двигателя, нижней поверхностью которого является днище поршня в НМТ, а верхней – днище поршня в ВМТ называется **рабочим объемом цилиндра** ($V_{рц}$). Отношение полного объема цилиндра к объему камеры сгорания – это **степень сжатия двигателя** (ε).

Рабочий объем двигателя внутреннего сгорания равен сумме рабочих объемов всех его цилиндров.

Двигатели, в которых диаметр цилиндра больше рабочего хода поршня, называют **короткоходовыми**. Такие двигатели развивают большие обороты коленчатого вала, что дает возможность получения высокой мощности.

Двигатели, в которых рабочий ход поршня превышает диаметр цилиндра, называют **длинноходовыми**. Такие двигатели, как правило, отличаются экономичностью и характеризуются большими значениями крутящего момента.

Задача 1 (40 баллов)

Двигатель внутреннего сгорания имеет четыре цилиндра диаметром 80 мм. Рабочий объем двигателя составляет 1000 см^3 , а его степень сжатия 12.

Определите:

- 1) Объем камеры сгорания цилиндра двигателя (20 баллов);
- 2) Рабочий ход поршня двигателя (15 баллов).
- 3) Сделайте заключение о том, к какому типу двигателей (коротко- или длинноходовым) относится данный силовой агрегат (5 баллов).

Решение:

1) Определим объем камеры сгорания $V_{кс}$

1. Как следует из пояснения к задаче 1, величина степени сжатия (ε) определяется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{V_{пц}}{V_{кс}} = \frac{V_{рц} + V_{кс}}{V_{кс}}, \quad (1)$$

где $V_{пц}$ – полный объем цилиндра двигателя (см^3); $V_{кс}$ – объем камеры сгорания цилиндра двигателя (см^3); $V_{рц}$ – рабочий объем цилиндра двигателя (см^3).

2. Проведем преобразования выражения (1):

$$\begin{aligned} \varepsilon \cdot V_{кс} &= V_{рц} + V_{кс}; \\ \varepsilon \cdot V_{кс} - V_{кс} &= V_{рц}; \\ V_{кс} \cdot (\varepsilon - 1) &= V_{рц}. \end{aligned} \quad (2)$$

3. Проведем преобразование выражения (2) относительно величины объема камеры сгорания:

$$V_{кс} = \frac{V_{рц}}{\varepsilon - 1}. \quad (3)$$

4. Учтем, что рабочий объем цилиндра четырехцилиндрового двигателя можно определить как:

$$V_{рц} = \frac{V_p}{4}, \quad (4)$$

где V_p – рабочий объем двигателя.

5. После подстановки $V_{рц}$ из выражения (4) в формулу (3) получаем выражение для нахождения объема камеры сгорания:

$$V_{кс} = \frac{V_p}{4(\varepsilon - 1)}. \quad (5)$$

6. Подставим в выражение (5) числовые значения входящих в него параметров:

$$V_{\text{кв}} = \frac{1000}{4(12 - 1)} = 22,7 \text{ (см}^3\text{)}. \quad (6)$$

Ответ 1: объем камеры сгорания цилиндра двигателя 22,7 см³.

2) Определим рабочий ход поршня

Из пояснений к задаче 1 следует, что рабочий объем цилиндра можно определить из выражения:

$$V_p = \frac{\pi \cdot d_{\text{ц}}^2 \cdot h_{\text{п}}}{4} = \frac{1000}{4} = 250 \text{ (см}^3\text{)}, \quad (7)$$

где V_p – рабочий объем цилиндра (см³); $\pi = 3,14$; $d_{\text{ц}}$ – диаметр цилиндра (см); $h_{\text{п}}$ – рабочий ход поршня (см).

Проводим преобразования (7) относительно величины $h_{\text{п}}$, в результате получаем выражение:

$$h_{\text{п}} = \frac{4V_p}{\pi \cdot d_{\text{ц}}^2}. \quad (8)$$

Подставляем в выражение (8) числовые значения входящих в него параметров:

$$h_{\text{п}} = \frac{4 \cdot 250}{3,14 \cdot 64} \approx 5,0 \text{ (см)} \approx 50 \text{ (мм)}. \quad (9)$$

Ответ 2: рабочий ход поршня равен 50 мм.

3) Общая характеристика двигателя

В данном двигателе, как явствует из условия задачи, диаметр цилиндра ($d_{\text{ц}}$) равен 80 мм, а рабочий ход поршня ($h_{\text{п}}$), как было определено в ходе решения задачи, составляет 50 мм.

Таким образом, имеем: $d_{\text{ц}} > h_{\text{п}}$, то есть наш двигатель короткоходовой.

Ответ 3: двигатель короткоходовой.

Задача 2 (20 баллов).

Автомобиль движется по сухой, ровной, горизонтальной дороге. Известно, что частота вращения колес автомобиля составляет 400 об/мин, а радиус качения колеса равен 0,48 м.

Определите, какую скорость покажет спидометр автомобиля.

Решение:

1. Из курса элементарной физики известно, что в общем случае:

$$\text{Скорость} = \frac{\text{путь}}{\text{время}} = \frac{S}{t}. \quad (1)$$

2. В данном случае путь, который проходит автомобиль в единицу времени, можно определить из выражения:

$$S = S_0 \cdot n_{\text{к}}. \quad (2)$$

где S_0 – путь, который проходит колесо автомобиля за один оборот (м); $n_{\text{к}}$ – частота вращения автомобильного колеса (об/мин).

3. Определим путь, который проходит колесо автомобиля за один оборот:

$$S_0 = 2 \cdot \pi \cdot R_{\text{к}}, \quad (3)$$

где S_0 – путь, который проходит колесо автомобиля за один оборот (м); $\pi=3,14$; $R_{\text{к}}$ – радиус качения колеса автомобиля (м).

4. Учитывая, что из условий задачи $R_{\text{к}} = 0,48$ м, подставим в выражение (3) числовые значения. Получаем:

$$S_0 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,48 = 3,01 \text{ (м)}. \quad (4)$$

5. Используя выражение (2) и полученный из выражения (4) результат, определим путь, который проходит автомобиль за одну минуту, учитывая, что из условий задачи $n_{\text{к}}$ равно 400 об/мин.

$$S = 3,01 \cdot 400 = 1200 \text{ (м)}. \quad (5)$$

6. Из выражения (1), используя результат (5), определим скорость автомобиля ($V_{\text{а}}$). Для данного случая это будет:

$$V_{\text{а}} = \frac{1200}{60} = 20 \text{ (м/с)}. \quad (6)$$

7. Учитывая, что спидометры автомобилей, эксплуатируемые в России, показывают скорость в км/ч, осуществляем перевод:

$$V_{\text{а}} = 20 \cdot 3,6 = 72 \text{ (км/ч)}, \quad (7)$$

где $3,6 = 3600 / 1000$ – переводной коэффициент.

Ответ: спидометр автомобиля покажет скорость 72 км/ч.

Пояснения к задаче 3

Трансмиссия автомобиля может состоять из нескольких передач. В этом случае под её передаточным числом понимается общее передаточное число, которое можно определить как $i = w_1 / w_2$, где w_1 – угловая скорость ведущего элемента (т.е. коленчатого вала двигателя) на входе в трансмиссию; w_2 – угловая скорость ведомого элемента, которым в данном случае можно считать ведущее колесо автомобиля.

Если угловая скорость ведущего элемента на входе в трансмиссию автомобиля превышает угловую скорость ведомого элемента, то такая передача называется понижающей, а если угловая скорость ведущего элемента на входе в трансмиссию автомобиля меньше угловой скорости ведомого элемента, то такая передача называется повышающей.

Задача 3 (20 баллов)

Автомобиль движется по сухой, ровной, горизонтальной дороге. Стрелка спидометра на панели приборов показывает 100 км/ч, а расположенный рядом с ним тахометр – 4000 об/мин. Известно, что колеса, установленные на автомобиле, имеют радиус вращения 0,38 м.

Определите передаточное число трансмиссии автомобиля.

Решение:

1. Используя пояснения к задаче, передаточное число трансмиссии автомобиля можно найти из выражения:

$$i_a = \frac{w_1}{w_2}; \quad (1)$$

где i_a – передаточное число трансмиссии автомобиля; w_1 – частота вращения коленчатого вала двигателя, которую показывает тахометр; w_2 – частота вращения ведущих колес автомобиля.

2. Частоту вращения колес автомобиля в данном случае можно определить из выражения:

$$w_2 = \frac{n_k}{60}, \quad (2)$$

где w_2 – частота вращения ведущих колес автомобиля (об/мин); n_k – количество оборотов автомобильного колеса за один час (об); 60 – количество минут.

3. Количество оборотов автомобильного колеса за один час в данном случае можно определить из выражения:

$$n_k = \frac{S_a}{S_o}, \quad (3)$$

где S_a – путь, проходимый автомобилем за один час (м); S_o – путь, проходимый колесом автомобиля за один оборот (м);

4. При скорости 100 км/ч автомобиль проезжает за час 100 км, поэтому $S_a = 100000$ м.

5. Путь, который проходит колесо автомобиля при совершении одного оборота, определяется из выражения:

$$S_o = 2 \cdot \pi \cdot R_k, \quad (4)$$

где S_o – путь, который проходит колесо автомобиля за один оборот (м); $\pi=3,14$; R_k – радиус качения колеса автомобиля (м).

6 Подставим в выражение (4) числовые значения. При этом учтем, что из условий задачи $R_k = 0,38$ м, а число $\pi = 3,14$. После подстановки получаем:

$$S_o = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,38 = 2,4 \text{ (м)}. \quad (5)$$

7. Определим количество оборотов автомобильного колеса за один час (n_k), учитывая, что при скорости 100 км/ч автомобиль проезжает за час 100 км:

$$n_k = \frac{100000}{2,4} = 41667 \text{ (об/час)}. \quad (6)$$

8. Подставим выражение (6) в выражение (2). Определим частоту вращения колеса автомобиля за одну минуту:

$$w_2 = \frac{41667}{60} = 695 \text{ (об/мин)}. \quad (7)$$

9. Подставляем выражение (7) в выражение (1), определим передаточное число трансмиссии автомобиля:

$$i_a = \frac{4000}{695} = 5,76. \quad (8)$$

Ответ: передаточное число трансмиссии автомобиля 5,76.

Пояснения к задаче 4

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_{φ} – сила дорожного сопротивления (Н); P_f – сила сопротивления качению (Н); P_{α} – 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); α – 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).

Таблица 1. Средние значения коэффициента сопротивления качению

№ п/п	Виды покрытия дороги	Коэффициент, f
1	Асфальт	0,015
2	Мокрая грунтовая дорога	0,1
3	Сыпучий песок	0,2
4	Хорошо укатанный снег	0,029
5	Лед ровный	0,025

Задача 4 (20 баллов)

Груженный грузовой автомобиль массой 15 000 кг движется равномерно по горизонтальному участку мокрой грунтовой дороги. Затем, не меняя режима работы двигателя, он выезжает на горизонтальный участок асфальтовой дороги.

Как будет двигаться автомобиль (равномерно, ускоренно или замедленно) на участке асфальтовой дороги? Силой сопротивления воздуха можно пренебречь.

Решение:

1. Из пояснений к задаче видно, что условие равномерного движения автомобиля по мокрой грунтовой дороге в данном случае (горизонтальный участок дороги, силой сопротивления воздуха можно пренебречь) будет определяться из выражения:

$$P_{A1} = P_{\varphi 1} = P_{f1}, \quad (1)$$

где P_{A1} – сила тяги на колесах автомобиля при движении по мокрой грунтовой дороге (Н); $P_{\varphi 1}$ – сила дорожного сопротивления на мокрой грунтовой дороге (Н); P_{f1} – сила сопротивления качению на мокрой грунтовой дороге (Н).

2. Сила сопротивления качению при движении по грунтовой дороге определяется из выражения:

$$P_{f1} = G_A f_1 \cos \alpha, \quad (2)$$

где P_{f1} – сила сопротивления качению при движении по мокрой грунтовой дороге (Н); G_A – вес автомобиля (Н); f_1 – коэффициент сопротивления качению мокрой грунтовой дороги (определяем из таблицы 1); α – угол подъема дороги, при этом учтем, что автомобиль движется по горизонтальному участку дороги, то есть $\alpha=0$.

3. Определим вес автомобиля:

$$G_A = m_A \cdot g, \quad (3)$$

где m_A – масса автомобиля (кг); g – ускорение свободного падения, (м/с²).

4. Подставим выражения (2) и (3) в выражение (1) и найдем силу тяги на колесах автомобиля при его движении по мокрой грунтовой дороге.

$$P_{A1} = G_A f_1 \cos \alpha = m_A \cdot g \cdot f_1 \quad (4)$$

5. Подставим в выражение (4) числовые значения входящих в него величин. Учтем, что $f_1 = 0,1$, $g = 9,8$ м/с².

$$P_{A1} = 15\,000 \cdot 9,8 \cdot 0,1 = 14700 \text{ (Н)}. \quad (5)$$

6. Найдем силу дорожного сопротивления при движении автомобиля по асфальтированному участку дороги:

$$P_{\phi 2} = P_{f2} = G_A f_2 \cos \alpha, \quad (6)$$

где $P_{\phi 2}$ – сила дорожного сопротивления при движении автомобиля по асфальтированному участку дороги (Н); P_{f2} – сила сопротивления качению при движении автомобиля по асфальтированному участку дороги (Н); G_A – вес автомобиля (Н); f_2 – коэффициент сопротивления качению асфальтовой дороги (определяем из таблицы 1); α – угол подъема дороги, при этом учтем, что автомобиль движется по горизонтальному участку дороги, то есть $\alpha=0$.

7. Подставим в выражение (6) численные значения входящих в него параметров. Учтем, что $f_2 = 0,015$.

$$P_{\phi 2} = G_A f_2 = m_A \cdot g \cdot f_2 = 15\,000 \cdot 9,8 \cdot 0,015 = 2205 \text{ (Н)}. \quad (7)$$

8. Из условий задачи известно, что при переходе на асфальтированный участок дороги, режим работы двигателя не изменился, то есть сила тяги на колесах осталась равной P_{A1} . Таким образом, при движении автомобиля на асфальтированном участке дороги имеем:

$$P_{A1} > P_{\phi 2} \quad (8)$$

Значит, автомобиль на асфальтированном участке дороги будет двигаться с ускорением.

Ответ: автомобиль на асфальтированном участке дороги будет двигаться с ускорением



Задания, ответы и критерии оценивания

Пояснения к задачам 1 и 2

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_{φ} – сила дорожного сопротивления (Н); P_f – сила сопротивления качению (Н); P_{α} – 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); α – 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 ($\frac{\text{Н} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4}$), берется из специальных таблиц; F_A – площадь поперечного сечения автомобиля (м^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.

Таблица 1

Средние значения коэффициента сопротивления качению

№ п/п	Виды покрытия дороги	Коэффициент, f
1	Асфальт	0,015
2	Мокрая грунтовая дорога	0,1
3	Сыпучий песок	0,2
4	Хорошо укатанный снег	0,029
5	Лед ровный	0,025

Задача 1 (25 баллов)

Грузовой автомобиль массой 10000 кг движется по подъему по мокрой грунтовой дороге. Известно, что сила сопротивления качению автомобиля составляет 1450 Н. Определите угол подъема дороги.

Решение

1. Из пояснений к задаче известно, что сила сопротивления качению автомобиля определяется по формуле:

$$P_{\kappa} = G_a f \cos \alpha, \quad (1)$$

где G_a – вес автомобиля (Н); f – коэффициент сопротивления качению для заданных дорожных условий (фрагмент представлен в таблице 1); α – угол подъема дороги.

2. Определим вес автомобиля из выражения:

$$G_a = m_A \cdot g \quad (2)$$

где m_A – масса автомобиля (кг); g – ускорение свободного падения, принимаем равным $9,8 \text{ м/с}^2$.

3. Преобразуем выражение (1) относительно величины $\cos \alpha$ и подставим в него значение величины G_a из выражения (2):

$$\cos \alpha = \frac{P_k}{m_A \cdot f \cdot g}, \quad (3)$$

4. Подставим в выражение (3) числовые значения входящих в него параметров. Учтем, что по данным таблицы 1 коэффициент f для условий мокрой грунтовой дороги равен 0,1:

$$\cos \alpha = \frac{1450}{10000 \cdot 9,8 \cdot 0,015} = 0,986, \quad (4)$$

Отсюда: $\alpha = 10^\circ$

Ответ: угол подъема дороги равен 10° .

Задача 2 (25 баллов)

Грузовой автомобиль массой 15 000 кг движется по горизонтальной асфальтированной дороге, находящейся в отличном состоянии. Известно, что сила тяги на ведущих колесах автомобиля равна 2000 Н. Определите, как движется автомобиль (равномерно, с ускорением или с замедлением). Силой сопротивления воздуха можно пренебречь.

Решение:

1. Из пояснений к задачам понятно, что в данном случае (движение автомобиля осуществляется по горизонтальному участку дороги, а его сопротивлением воздуху можно пренебречь) сила дорожного сопротивления будет определяться выражением:

$$P_\phi = P_f = G_A f \cos \alpha, \quad (1)$$

где P_ϕ – сила дорожного сопротивления (Н); P_f – сила сопротивления качению (Н); G_A – вес автомобиля (Н); f – коэффициент сопротивления качению; α – угол подъема дороги. Так как дорога горизонтальная, то $\alpha = 0$.

2. Определяем вес автомобиля:

$$G_A = m_A \cdot g = 15\,000 \cdot 9,8 = 147\,000 \text{ (Н)} \quad (2)$$

где m_A – масса автомобиля (кг); g – ускорение свободного падения, принимаем его равным $9,8 \text{ м/с}^2$.

3. Подставляем величину G_A из выражения (2) в выражение (1). Значение коэффициента сопротивления качению выбираем из таблицы 1 из пояснений к задачам. Имеем $f = 0,015$.

$$P_\phi = 147\,000 \cdot 0,015 = 2205 \text{ (Н)}. \quad (3)$$

4. Используем условия движения автомобиля из пояснений к задачам. В нашем случае:

$$P_A = 2000 \text{ (Н)},$$

то есть $P_A < P_\phi$, следовательно, автомобиль будет двигаться с замедлением.

Ответ: автомобиль будет двигаться с замедлением.

Пояснения к задачам 3 и 4

Из теории ДВС известно, что **степень сжатия двигателя** – это отношение полного объема цилиндра (надпоршневое пространство цилиндра двигателя при положении поршня в нижней мертвой точке, НМТ) к объему камеры сгорания цилиндра.

Полный объем цилиндра, в свою очередь, можно определить как сумму рабочего объема цилиндра и объема его камеры сгорания.

Рабочий объем цилиндра определяется как произведение площади сечения цилиндра на длину хода поршня (расстояние от нижней мертвой точки (НМТ) до верхней мертвой точки (ВМТ)).

Рабочий объем двигателя внутреннего сгорания равен сумме рабочих объемов всех его цилиндров.

Задача 3 (25 баллов)

Известно, что на легковом автомобиле установлен 4-цилиндровый бензиновый двигатель. Известны технические характеристики этого силового агрегата:

– ход поршня: $h_{\text{п}} = 75,6 \text{ мм}$;

– диаметр цилиндра: $d_{\text{ц}} = 82,0 \text{ мм}$.

Определите рабочий объем двигателя легкового автомобиля.

Решение:

1. Используя пояснения к задачам, составим уравнение для величины рабочего объема двигателя легкового автомобиля:

$$V_{\text{рд}} = n \cdot V_{\text{рц}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{рд}}$ – рабочий объем двигателя автомобиля (см^3); n – число цилиндров двигателя легкового автомобиля; $V_{\text{рц}}$ – рабочий объем одного цилиндра двигателя легкового автомобиля (см^3).

2. Используя пояснения к задаче, найдем величину рабочего объема цилиндра двигателя легкового автомобиля:

$$V_{рц} = S_{ц} \cdot h_{п} = \frac{\pi d_{ц}^2}{4} h_{п}, \quad (2)$$

где $V_{рц}$ – рабочий объем цилиндра двигателя (см^3); $S_{ц}$ – площадь сечения цилиндра (см^2);

$h_{п}$ – ход поршня (см); $d_{ц}$ – диаметр цилиндра (см); $\pi = 3,14$.

3. Подставим в выражение (2) числовые значения входящих в него величин и найдем величину рабочего объема цилиндра двигателя $V_{рц}$:

$$V_{рц} = \frac{3,14 \cdot 8,2^2}{4} 7,56 = 399 \text{ (см}^3\text{)}. \quad (3)$$

4. Подставим полученное числовое значение $V_{рц}$ из выражения (3) в выражение (1) и найдем величину рабочего объема двигателя легкового автомобиля:

$$V_{рд} = 4 \cdot 399 = 1596 \text{ (см}^3\text{)}. \quad (4)$$

Ответ: величина рабочего объема двигателя легкового автомобиля = 1596 см^3 .

Задача 4 (25 баллов)

На легковом автомобиле установлен двигатель внутреннего сгорания. Известно, следующие технические характеристики этого двигателя:

– ход поршня: $h_{п} = 50,0 \text{ мм}$;

– диаметр цилиндра: $d_{ц} = 80,0 \text{ мм}$.

– степень сжатия: $\varepsilon = 12$.

Определите объем камеры сгорания цилиндра двигателя.

Решение:

1. Используя пояснения к задачам, запишем выражение для определения величины степени сжатия двигателя:

$$\varepsilon = \frac{V_{п}}{V_{кс}} = \frac{V_{р} + V_{кс}}{V_{кс}}, \quad (1)$$

где ε – степень сжатия; $V_{п}$ – полный объем цилиндра двигателя (см^3); $V_{р}$ – рабочий объем цилиндра двигателя (см^3); $V_{кс}$ – объем камеры сгорания цилиндра двигателя (см^3).

2. Преобразуем выражение (1) относительно величины объема камеры сгорания двигателя:

$$\begin{aligned} V_{кс} \cdot \varepsilon &= V_{р} + V_{кс}, \\ V_{кс} \cdot \varepsilon - V_{кс} &= V_{р}, \\ V_{кс}(\varepsilon - 1) &= V_{р}, \\ V_{кс} &= \frac{V_{р}}{(\varepsilon - 1)}. \end{aligned} \quad (2)$$

3. Используя пояснения к задачам, составим уравнение для величины рабочего объема двигателя легкового автомобиля:

$$V_{р} = \frac{\pi d_{ц}^2}{4} h_{п}, \quad (3)$$

где $V_{р}$ – рабочий объем цилиндра двигателя (см^3); $d_{ц}$ – диаметр цилиндра (мм); $h_{п}$ – ход поршня (мм); $\pi = 3,14$.

4. Подставляем выражение (3) в выражение (2), получаем:

$$V_{кс} = \frac{\pi d_{ц}^2 \cdot h_{п}}{4(\varepsilon - 1)}, \quad (4)$$

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

$$V_{кс} = \frac{3,14 \cdot 64 \cdot 5}{4(\varepsilon - 1)} = 22,8 \text{ (см}^3\text{)},$$

Ответ: объем камеры сгорания цилиндра двигателя = $22,8 \text{ см}^3$.



Многопрофильная инженерная олимпиада «Звезда» «Техника и технологии наземного транспорта»

7-8 класс

Заключительный этап

2024-2025

Задания, ответы и критерии оценивания

Пояснение к задаче 1

Из теории автомобиля известно, что автомобиль, во время движения, преодолевает силы сопротивления качению, воздуху и подъему. Сила сопротивления качению определяется из выражения:

$$P_f = G_A f \cos \alpha, \quad (1)$$

где P_f – сила сопротивления качению (Н); G_A – вес автомобиля (Н); f – коэффициент сопротивления качению (зависит от типа и состояния дороги, берется из таблицы 1); α – угол подъема дороги.

Сила сопротивления подъему определяется из выражения:

$$P_\alpha = G_A \sin \alpha, \quad (2)$$

где P_α – сила сопротивления подъему (Н); G_A – вес автомобиля (Н); α – угол подъема дороги.

Силой сопротивления воздуха в общем случае (если речь не идет об автомобилях, движущихся с высокими скоростями) можно пренебречь.

Таблица 1. Среднее значение коэффициента сопротивления качению

№ п/п	Виды покрытия и его состояния	Коэффициент сопротивления качению f
1	Цементобетон в отличном состоянии	0,015
2	То же самое в удовлетворительном состоянии	0,02
3	Асфальтобетон в отличном состоянии	0,015
4	То же самое в удовлетворительном состоянии	0,02
5	Брусчатая мастерская	0,017
6	Грунтовая сухая дорога в хорошем состоянии	0,023
7	Грунтовая дорога мокрая (влажная) в хорошем состоянии	0,03
8	Грунтовая мокрая (влажная) дорога в плохом состоянии	0,1
9	Влажный песок	0,08
10	Сыпучий песок	0,2
11	Хорошо укатанный снег	0,029
12	Ровный лед	0,025

Задача 1 (25 баллов)

Полностью груженный грузовой автомобиль массой 12000 кг движется по влажной горизонтальной грунтовой дороге, находящейся в плохом состоянии, со скоростью 30 км/ч. Определите потери мощности двигателя машины, затрачиваемые на преодоление автомобилем силы сопротивления качению. (25 баллов)

Решение:

1. Определим мощность, затрачиваемую на преодоление силы сопротивления качению.

Из курса элементарной физики известно, что в общем случае:

$$\text{Мощность} = \text{Сила} \times \text{Скорость}. \quad (1)$$

Для данного случая мощность, затрачиваемая автомобилем на преодоление силы сопротивления качению, определяется из выражения:

$$N_f = P_f \cdot V_A \quad (2)$$

где N_f – мощность, затрачиваемая на преодоление силы сопротивления качению; P_f – сила сопротивления качению; V_A – скорость грузового автомобиля.

2. Определим величину силы сопротивления качению. Из Пояснения к задаче 1 известно, что сила сопротивления качению определяется по формуле:

$$P_f = G_A f \cos \alpha, \quad (3)$$

где P_f – сила сопротивления качению (Н); G_A – вес автомобиля (Н); f – коэффициент сопротивления для условий влажной грунтовой дороги, находящейся в плохом состоянии. Из таблицы 1 в Пояснениях к задаче 1 определим, что $f = 0,1$. Поскольку грузовой автомобиль движется по горизонтальной дороге, то $\alpha = 0$, тогда и $\cos \alpha = 1$.

3. Определим вес автомобиля G_A :

$$G_A = m_A \cdot g = 12\,000 \cdot 9,8 = 117\,600 \text{ (Н)}, \quad (4)$$

где m_A – масса автомобиля (кг), g – ускорение свободного падения, принимаем $9,8 \text{ м/с}^2$.

4. Из выражения (3), определим величину силы сопротивления качению:

$$P_f = G_A f \cos \alpha = 117\,600 \cdot 0,1 \cdot 1 = 11\,760 \text{ (Н)}. \quad (5)$$

5. Из выражения (2) определим мощность, затрачиваемую на преодоление силы сопротивления качению, для чего подставим в него полученные числовые значения входящих в него величин. При этом учтем, что в системе СИ $V_A = 30\,000 / 3600 = 8,3 \text{ м/с}$.

$$N_f = 11\,760 \cdot 8,3 = 97\,608 \text{ (В)} = 97,6 \text{ (кВт)}. \quad (6)$$

Ответ: мощность, затрачиваемая автомобилем на преодоление силы сопротивления качению, составляет 97,6 кВт.

Пояснения к задаче 2

Из курса физики известно, что коэффициент полезного действия (КПД) — это величина, определяющая эффективность устройства или процесса, выраженная в процентах или в долях. Формула для расчета КПД:

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{зат}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где η — коэффициент полезного действия (%); $A_{\text{пол}}$ – полезная работа (Дж); $A_{\text{зат}}$ – затраченная работа (Дж).

В транспортной отрасли КПД используется для оценки эффективности двигателей и механизмов транспортных средств. Отношение мощности на ведомом валу передачи к мощности на ведущем валу называется механическим коэффициентом полезного действия (КПД) и определяется:

$$\eta = \frac{N_2}{N_1}, \quad (2)$$

где η — коэффициент полезного действия (%); N_2 – мощность на выходном валу передачи (кВт); N_1 – мощность на входном валу передачи (кВт).

Механический КПД характеризует механические потери в передачах. Для различных типов передач КПД находится в пределах от 0,25 до 0,98.

В многоступенчатых передачах (при последовательном соединении ступеней) общий КПД определяется как произведение КПД каждой ступени в отдельности.

Задача 2

На автомобиле установлен двигатель мощностью 100 кВт. Известно, что при движении автомобиля потери мощности в трансмиссии составляют 11,5 кВт.

Определите:

- 1) КПД трансмиссии (20 баллов);
- 2) величину мощности, передаваемую на колеса автомобиля (5 баллов).

Решение:

1. Запишем уравнение общего мощностного баланса для автомобиля:

$$N_d = N_{\text{тр}} + N_k, \quad (1)$$

где N_d – мощность двигателя (Вт); $N_{\text{тр}}$ – мощность потерь в трансмиссии (Вт); N_k – мощность на ведущих колесах автомобиля (Вт).

Для величины $N_{\text{тр}}$ это уравнение можно представить в следующем виде:

$$N_{\text{тр}} = N_d - N_k = N_d - N_d \eta_{\text{тр}} = N_d (1 - \eta_{\text{тр}}), \quad (2)$$

где $\eta_{\text{тр}}$ – КПД трансмиссии.

2. Выражение (2), можно преобразовать в следующий вид:

$$\eta_{\text{тр}} = 1 - \frac{N_{\text{тр}}}{N_{\text{д}}} = 1 - \frac{11,5}{100} = 0,885. \quad (3)$$

3. Преобразуем выражение (1) относительно искомой величины $N_{\text{к}}$:

$$N_{\text{к}} = N_{\text{д}} - N_{\text{тр}}. \quad (4)$$

4. Подставим в выражение (4) числовые значения из условий задачи:

$$N_{\text{к}} = 100 - 11,5 = 88,5 \text{ (кВт)}. \quad (5)$$

Ответ: 1) $\eta_{\text{тр}} = 0,885 = 88,5 \%$; 2) мощность, передаваемая на колеса автомобиля, равна 88,5 кВт.

Пояснения к задаче 3

Известно, что автомобиль связан с дорогой только шинами. Даже не шиной целиком, а небольшой ее частью. Эта часть шины, которая соприкасается с дорожным полотном, называется пятном контакта. Таким образом, пятно контакта – это небольшая часть шины, которая касается дорожного покрытия.

Снаряженная масса автомобиля – это масса автомобиля, когда он пуст, то есть в нем нет водителя, пассажиров и груза, но при этом залиты все эксплуатационные жидкости, необходимые для нормальной работы.

Снежная целина представляет большие трудности для движения автомобилей. Возможность движения по снегу определяется его несущей способностью. Основными характеристиками несущей способности снега являются плотность и твердость.

Из практики известно, что снег выдерживает удельное давление 0,35–0,45 кГ/см² (34,5–41,1 кПа). Практикой эксплуатации установлено, что устоявшийся снежный наст толщиной 70–100 мм, уплотненный колесами автомобилей, создает на автомобильной дороге ровное плотное покрытие, обеспечивающее устойчивое движение машин.

Задача 3 (25 баллов)

Легковой автомобиль, снаряженная масса которого составляет 1280 кг, с водителем и тремя взрослыми пассажирами движется по дороге. Чтобы попасть к месту назначения, ему нужно съехать на проселок, занесенный свежеснежившим снегом. Известно, что площадь пятна контакта шины, которыми оснащен автомобиль, равна 125 см².

Выясните, сможет ли данный автомобиль продолжить поездку по проселочной дороге.

Решение:

1. Используя пояснения к задаче выражение для определения удельного давления автомобиля по заснеженной проселочной дороге:

$$p = \frac{G_{\text{А}}}{4S_{\text{ПК}}}, \quad (1)$$

где p – величина удельного давления автомобиля на поверхность заснеженной проселочной дороги (Па); $G_{\text{А}}$ – полный вес автомобиля (Н); $S_{\text{ПК}}$ – площадь пятна контакта автомобильной шины (м²); 4 – количество автомобильных шин.

2. Полный вес автомобиля, в данном случае, определяется из выражения:

$$G_{\text{А}} = (m_{\text{сн}} + 4m_{\text{п}}) \cdot g, \quad (2)$$

где $m_{\text{сн}}$ – снаряженная масса автомобиля; $m_{\text{п}}$ – масса человека (водителя или пассажира) (кг); g – ускорение свободного падения, принимаем равным 9,8 м/с².

3. Подставим в выражение (1) выражение (2):

$$p = \frac{(m_{\text{сн}} + 4m_{\text{п}}) \cdot g}{4S_{\text{ПК}}}, \quad (3)$$

4. Подставим в выражение (3) числовые значения входящих в него параметров:

$$p = \frac{(1280 + 4 \cdot 75) \cdot 9,8}{4 \cdot 0,0125} = 309680 \text{ (Па)} = 309,68 \text{ (кПа)}. \quad (4)$$

5. Используя пояснения к задаче, запишем условие проходимости автомобиля при движении по снегу:

$$p < P_{\text{сн}},$$

где p – удельное давление, создаваемое автомобилем при движении; $P_{\text{сн}}$ – предельно допустимое удельное давление, которое выдерживает без разрушения снежный наст, образованный свежеснегавшим снегом.

Из пояснений к задаче известно, что снег выдерживает давление ($P_{\text{сн}}$) от 34,5 до 41,1 кПа.

Поскольку в данном случае имеем $p = 309,68$ кПа, то имеем $p > P_{\text{сн}}$, значит автомобиль не сможет проехать по заснеженной проселочной дороге.

Ответ: автомобиль не сможет проехать по заснеженной проселочной дороге.

Задача 4 (25 баллов)

Грузовой автомобиль полной массой 9800 кг движется по горизонтальному участку дороги. Известно, что на преодоление силы сопротивления качению затрачивается 33,8 кВт. Скорость автомобиля составляет 54 км/ч.

Определите, по дороге с каким покрытием движется автомобиль.

Решение

1. Определим мощность, затрачиваемую автомобилем на преодоление силы сопротивления качению. Из курса элементарной физики известно, что в общем случае:

$$\text{Мощность} = \text{Сила} \times \text{Скорость}. \quad (1)$$

2. Для данного случая мощность, затрачиваемая автомобилем на преодоление силы сопротивления качению, определяется из выражения:

$$N_f = P_f \cdot V_A \quad (2)$$

где N_f – мощность, затрачиваемая на преодоление силы сопротивления качению (Вт); P_f – сила сопротивления качению (Н); V_A – скорость грузового автомобиля (м/с).

3. Используя пояснение к задаче 1, запишем выражение силы сопротивления качению автомобиля:

$$P_f = G_A f \cos \alpha, \quad (3)$$

где P_f – сила сопротивления качению (Н); 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 из пояснений к задаче 1); α – угол подъема.

4. Определим вес автомобиля по формуле:

$$G_A = m_A \cdot g, \quad (4)$$

где G_A – вес автомобиля (Н); m_A – масса автомобиля (кг); g – ускорение свободного падения, принимаем равным $9,8 \text{ м/с}^2$.

5. Подставим выражения (3) и (4) в выражение (2):

$$N_f = m_A \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha \cdot V_A, \quad (5)$$

6. Перестроим выражение (5) относительно величины f :

$$f = \frac{N_f}{m_A \cdot g \cdot \cos \alpha \cdot V_A}. \quad (6)$$

7. Подставим в выражение (6) числовые значения входящих в него параметров. При этом учтем, что $V_A = 54 \text{ км/ч} = 15,0 \text{ м/с}$. Из условий задачи известно, что автомобиль движется по горизонтальной дороге, то есть $\alpha = 0$ град, значит, $\cos \alpha = 1$.

$$f = \frac{33\,800}{9800 \cdot 9,8 \cdot 15,0} = 0,023. \quad (7)$$

Согласно данным таблицы 1 из пояснений к задаче 1, $f = 0,023$ означает, что автомобиль движется по сухой грунтовой дороге, находящейся в хорошем состоянии.

Ответ: автомобиль движется по сухой грунтовой дороге, находящейся в хорошем состоянии.