Пояснение к задачам

Основы теории автомобиля

1. При движении автомобиль в общем случае преодолевает силы сопротивления качению и подъему.

1.1. Сила сопротивления качению (P_f) определяется из выражения:

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

где G_a – вес автомобиля (Н); f – коэффициент сопротивления качению (зависит от типа дороги и ее состояния, берется из специальной таблицы, фрагмент которой приведен в таблице 1); α – угол подъема дороги.

1.2. Сила сопротивления подъему (P_α) определяется из выражения:

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

где G_a – вес автомобиля (Н), α – угол подъема дороги.

Таблица 1

Среднее значение коэффициента сопротивления качению

№ п/п	Виды покрытия и его состояния	Коэффициент сопротивления качению f
1	Асфальтобетон в отличном состоянии	0,015
2	Грунтовая сухая дорога в хорошем состоянии	0,023
3	Грунтовая дорога мокрая	0,03
4	Грунтовая мокрая дорога в плохом состоянии	0,1
5	Влажный песок	0,08
6	Сыпучий песок	0,2
7	Хорошо укатанный снег	0,029
8	Ровный лед	0,025

2. Управляемость автомобиля – это способность автомобиля следовать траектории, предписанной положением его управляемых колес.

2.1. Силы, действующие на автомобиль при повороте:

$$P_1 = \frac{M_{a1} \cdot V_a^2}{R};\ P_2 = \frac{M_{a2} \cdot V_a^2}{R},$$

где P_1 – боковая сила, действующая на передние колеса автомобиля при повороте (Н); P_2 – боковая сила, действующая на задние колеса автомобиля при повороте (Н); M_{a1} – масса автомобиля, приходящаяся на передний мост (кг); M_{a2} – масса автомобиля, приходящаяся на задний мост (кг); V_a – скорость автомобиля (м/с); R – радиус поворота автомобиля (м).

2.2. Углы бокового увода передних и задних колес:

$$\delta_1 = \frac{P_1}{K_{\text{ув1}}};\ \delta_2 = \frac{P_2}{K_{\text{ув2}}},$$

где δ_1 – угол бокового увода передних колес (град); δ_2 – угол бокового увода задних колес (град); $K_{\text{ув1}}$ – коэффициент сопротивления боковому уводу передних колес (Н/град), $K_{\text{ув2}}$ – коэффициент сопротивления боковому уводу задних колес (Н/град).

Коэффициент сопротивления боковому уводу *показывает какую по величине поперечную силу нужно приложить к колесу, чтобы оно катилось с углом увода, равным 1 рад.*

Значение $K_{\text{ув}}$ зависит от ряда конструктивных и эксплуатационных факторов. К конструктивным относятся ширина и высота профиля; конструкция каркаса и высота выступов протектора. Основными эксплуатационными факторами, влияющими на величину коэффициента сопротивления боковому уводу, являются: давление воздуха в шине; износ протектора; нормальные и продольные силы, прикладываемые к колесу.

2.3. Виды поворачиваемости автомобиля:

– нейтральная ($\delta_1 = \delta_2$);
– недостаточная ($\delta_1 > \delta_2$);
– избыточная ($\delta_1 < \delta_2$).
3. Трансмиссия автомобиля имеет свои характерные технические характеристики. Одна из них – передаточное отношение. Для определения передаточного числа шестеренчатого механизма нужно знать угловые скорости или числа зубьев на ведомой и ведущей шестернях.
Таким образом, получаем соотношение:

$$i = \frac{w_1}{w_2} = \frac{z_2}{z_1},$$

где i – передаточное число шестеренчатого механизма; w_1 – угловая скорость ведущего вала; w_2 – угловая скорость ведомого вала; z_1 – число зубьев на ведомой шестерне, z_2 – число зубьев на ведущей шестерне.
Трансмиссия автомобиля может состоять из нескольких передач. В этом случае под её передаточным числом понимается общее передаточное число трансмиссии, которое можно определить как:

$$i_{\text{тр}} = \frac{w_1}{w_2},$$

где $i_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии; 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 карданный вал 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. Если угловые скорости ведущего и ведомого элемента равны, то такая передача называется нейтральной.

Внимание! В каждой задаче оценивается именно ее решение (правильная понятная и последовательная логика, использованные для решения формулы и их необходимые преобразования) Наличие просто правильного ответа или неполного (фрагментарного) решения и общих рассуждений приводит к снижению баллов, вплоть до полного незачета.
Просто наличие численного ответа без указания требуемых единиц измерения приводит к снижению баллов.

Задача 1 (10 баллов)
Известно, что грузовой автомобиль движется по горизонтальному участку мокрой грунтовой дороги. При движении он преодолевает силу сопротивления качению, равную 4000 Н. Определите массу автомобиля.
Решение
1. Используя пояснения к задаче, составим выражение для силы сопротивления качению автомобиля:

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

где G_a – вес автомобиля (Н), f – коэффициент сопротивления качению, α – угол подъема дороги.
2. Преобразуем выражение (1) относительно величины веса автомобиля G_a:

$$G_a = \frac{P_f}{f \cos\alpha}. \quad (2)$$

3. Подставим в полученное выражение числовые значения входящих в него величин. Поскольку автомобиль движется по мокрой грунтовой дороге, то, используя таблицу 1 из пояснений к задаче, определим величину коэффициента сопротивления качению f = 0,03. Известно, что автомобиль движется по горизонтальному участку дороги, то есть угол подъема дороги α = 0, а $\cos\alpha$ = 1.

$$G_a = \frac{4000}{0{,}03} = 13\,333{,}3 \text{ (Н)}.$$

4. Определим массу автомобиля (M_a):

$$M_a = \frac{G_a}{g} = \frac{13\,333{,}3}{9{,}8} = 13\,605 \text{ (кг)},$$

где M_a – масса автомобиля (кг), G_a – вес автомобиля (Н); g – ускорение свободного падения ($g = 9{,}8\ \text{м/с}^2$).
Ответ: масса грузового автомобиль 13 600 кг.

Задача 2 (30 баллов)

У разрабатываемого грузового автомобиля необходимо обеспечить недостаточную поворачиваемость. Развесовка автомобиля проведена таким образом, что масса, приходящаяся на задний мост, в два раза превышает массу, приходящуюся на передний мост. Известно, что коэффициент сопротивления боковому уводу передних колес автомобилей равен 40 кН/рад.

Каким должно быть значение коэффициента сопротивления боковому уводу задних колес (минимальное)?

Решение

1. Пользуясь пояснениями к задачам, запишем условие недостаточной поворачиваемости автомобиля.

$$\delta_1 > \delta_2, \tag{1}$$

где δ_1 – угол бокового увода передних колес автомобиля (град); δ_2 – угол бокового увода задних колес автомобиля (град).

2. Учитывая пояснения к задачам, составим выражения для определения углов увода передних и задних колес:

$$\delta_1 = \frac{P_1}{K_{\text{ув1}}}; \tag{2}$$

$$\delta_2 = \frac{P_2}{K_{\text{ув2}}}, \tag{3}$$

где P_1 – боковая сила, действующая на передние колеса автомобиля при повороте (Н); P_2 – боковая сила, действующая на задние колеса автомобиля при повороте (Н); $K_{\text{ув1}}$ – коэффициент сопротивления боковому уводу передних колес автомобиля (Н/град); $K_{\text{ув2}}$ – коэффициент сопротивления боковому уводу задних колес автомобиля (Н/град).

3. Пользуясь пояснениями к задачам, определим боковые силы, действующие на передние и задние колеса автомобиля при повороте

$$P_1 = \frac{M_{a1} \cdot V_a^2}{R}; \tag{4}$$

$$P_2 = \frac{M_{a2} \cdot V_a^2}{R}, \tag{5}$$

где M_{a1} – масса автомобиля, приходящаяся на передний мост (кг); M_{a2} – масса автомобиля, приходящаяся на задний мост (кг); V_a – скорость автомобиля (м/с); R – радиус поворота автомобиля (м).

4. Согласно условиям задачи, $M_{a2} = 2M_{a1}$. Учитывая это обстоятельство, можно записать:

$$P_2 = \frac{2M_{a1} \cdot V_a^2}{R}. \tag{6}$$

5. Подставим выражения (4) и (6) в выражения (2) и (3). Получим:

$$\delta_1 = \frac{M_{a1}.V_a^2}{R \cdot K_{\text{ув1}}}; \tag{7}$$

$$\delta_2 = \frac{2M_{a1}.V_a^2}{R \cdot K_{\text{ув2}}}. \tag{8}$$

6. Подставим выражения (7) и (8) в выражение (1), получим:

$$\frac{M_{a1}.V_a^2}{R \cdot K_{\text{ув1}}} > \frac{2M_{a1}.V_a^2}{R \cdot K_{\text{ув2}}}. \tag{9}$$

7. Преобразуем выражение (9), получим:

$$\frac{1}{K_{\text{ув1}}} > \frac{2}{K_{\text{ув2}}} \Rightarrow K_{\text{ув2}} > 2K_{\text{ув1}}. \tag{10}$$

8. Учитывая условия задачи, получаем:

$$K_{\text{ув2}} > 2 \cdot 40 = 80 \text{ (кН/рад)}.$$

Ответ: минимальное значение коэффициента сопротивления боковому уводу задних колес, при котором обеспечивается недостаточная поворачиваемость разрабатываемого автомобиля, составляет 80 кН/рад.

Задача 3 (35 баллов)

Ведется разработка перспективного автомобиля. В техническом задании дана масса автомобиля – 2000 кг. Необходимо обеспечить недостаточную поворачиваемость автомобиля.

При разработке платформы машины было заложено, что угол бокового увода передних колес на 15% больше, чем угол бокового увода задних. Коэффициенты сопротивления боковому уводу передних и задних колес равны, соответственно, 16 кН/рад и 20 кН/рад.

Как нужно распределить массу автомобиля между передним и задним мостом?

Решение

1. Пользуясь пояснениями к задачам, запишем условие недостаточной поворачиваемости автомобиля:

$$\delta_1 > \delta_2, \tag{1}$$

где δ_1 – угол бокового увода передних колес автомобиля (град); δ_2 – угол бокового увода задних колес автомобиля (град).

2. Пользуясь пояснениями к задаче, запишем выражения для определения углов бокового увода передних и задних колес автомобиля при повороте:

$$\delta_1 = \frac{P_1}{K_{\text{ув1}}}; \tag{2}$$

$$\delta_2 = \frac{P_2}{K_{\text{ув2}}}, \tag{3}$$

где P_1 – боковая сила, действующая на передние колеса автомобиля при повороте (Н); P_2 – боковая сила, действующая на задние колеса автомобиля при повороте (Н); $K_{\text{ув1}}$ – коэффициент сопротивления боковому уводу передних колес автомобиля (Н/град); $K_{\text{ув2}}$ – коэффициент сопротивления боковому уводу задних колес автомобиля (Н/град).

3. Преобразуем выражения (2) и (3):

$$P_1 = K_{\text{ув1}} \cdot \delta_1; \tag{4}$$

$$P_2 = K_{\text{ув2}} \cdot \delta_2. \tag{5}$$

4. Используя условия задачи, преобразуем выражения (4) и (5), получаем:

$$P_1 = 16\delta_1; \tag{6}$$

$$P_2 = 20\delta_2. \tag{7}$$

5. Воспользовавшись пояснениями к задаче, запишем выражения для определения сил, действующих на передний и задний мосты автомобиля при повороте:

$$P_1 = \frac{M_{a1} \cdot V_a^2}{R}; \tag{8}$$

$$P_2 = \frac{M_{a2} \cdot V_a^2}{R}, \tag{9}$$

где M_{a1} – масса автомобиля, приходящаяся на передний мост (кг); M_{a2} – масса автомобиля, приходящаяся на задний мост (кг); V_a – скорость автомобиля (м/с); R – радиус поворота автомобиля (м).

6. Запишем отношение сил бокового увода, действующих на передние и задние колеса автомобиля при повороте:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{M_{a1} \cdot V_a^2 \cdot R}{R \cdot M_{a2} \cdot V_a^2} = \frac{M_{a1}}{M_{a2}}. \tag{10}$$

7. Используя условия задачи и выражения (6) и (7), можно записать:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{16\delta_1}{20\delta_2}. \tag{11}$$

8. Приравняем выражения (10) и (11), получаем:

$$\frac{M_{a1}}{M_{a2}} = \frac{16\delta_1}{20\delta_2}. \tag{12}$$

9. Из условия задачи известно, что $\delta_1 = 1{,}15\delta_2$, тогда выражение (12) можно преобразовать:

$$\frac{M_{a1}}{M_{a2}} = \frac{18{,}4\delta_2}{20\delta_2}. \quad (13)$$

10. Проведя преобразование выражения (13), получаем:

$$M_{a1} = 0{,}92M_{a2}. \quad (14)$$

11. Учтем, что:

$$M_a = M_{a1} + M_{a2}, \quad (15)$$

где M_a – масса автомобиля.

12. Учитывая выражение (15), выражение (14) можно преобразовать:

$$0{,}92M_{a2} + M_{a2} = M_a;$$
$$1{,}92M_{a2} = M_a. \quad (16)$$

13. Подставим в выражение (16) числовые значения входящих в него параметров:

$$M_{a2} = \frac{M_a}{1{,}92} = \frac{2000}{1{,}92} = 1042\ (\text{кг}). \quad (17)$$

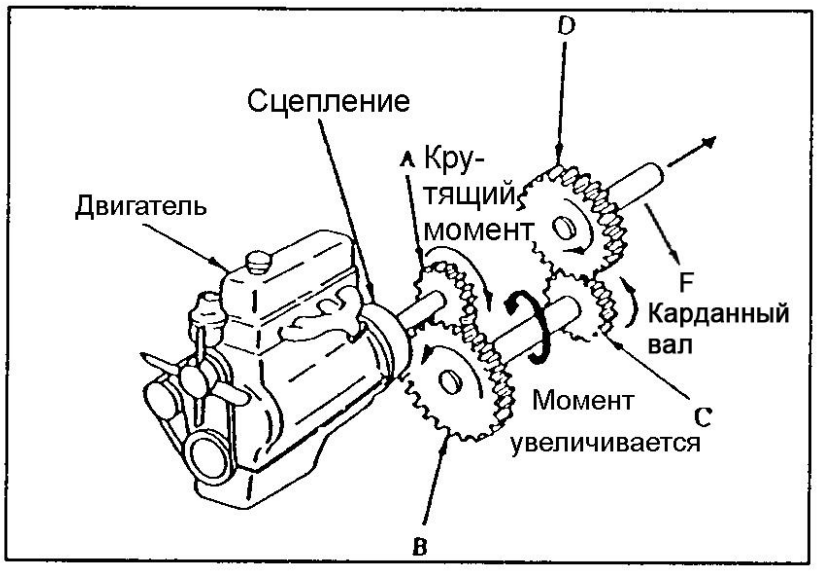
14. Преобразуем выражение (15) относительно величины M_{a1} и подставим числовые значения входящих в него параметров

$$M_{a1} = M_a - M_{a2} \Rightarrow 2000 - 1042 = 958\ (\text{кг}). \quad (18)$$

Ответ: масса автомобиля, приходящаяся на передний мост автомобиля – 958 кг; масса автомобиля, приходящаяся на задний мост автомобиля – 1042 кг.

Задача 4 (25 баллов)

На рисунке изображен фрагмент кинематической схемы привода разрабатываемого транспортного средства специального назначения. Оно предназначено для передвижения по бездорожью. Привод должен обеспечивать равномерное движение транспортного средства с максимально возможной скоростью при движении по горизонтальной поверхности пустыни. При этом сопротивлением воздуха можно пренебречь.



Известны следующие технические характеристики разрабатываемого транспортного средства:

• масса транспортного средства – 2150 кг;

• радиус ведущего колеса – 0,285 м;

• максимальная мощность двигателя – 44 кВт при 4200 об/мин;

При этом связь карданного вала привода (вал F на рисунке) с ведущими колесами транспортного средства осуществляется без изменения общего передаточного числа.

Привод транспортного средства представляет собой 2-ступенчатый шестеренчатый редуктор, причем, вторая передача привода по компоновочным соображениям оснащается шестернями с числами зубьев: шестерня D – 30, шестерня C – 15.

По производственно-технологическим возможностям завода-изготовителя, в редукторе привода могут использоваться только шестерни с числами зубьев 10,15, 30, 40, 50, 60.

Необходимо:

– завершить проектирование привода, для чего требуется подобрать числа зубьев для шестерен первой передачи привода – А и В (20 баллов);

– определить максимальную скорость транспортного средства с разработанным приводом при движении по пустыне (5 баллов).

Решение

1. Используя известные из условия задачи технические характеристики транспортного средства, запишем выражение для определения его скорости:

$$V_{\text{т}} = 2\pi R_{\text{к}} \cdot \frac{n}{i_{\text{пр}}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{т}}$ – скорость транспортного средства (м/с); $R_{\text{к}}$ – радиус ведущего колеса транспортного средства (м); n – количество оборотов двигателя транспортного средства на режиме максимальной мощности (об/с); π = 3,14; $i_{\text{пр}}$ – передаточное число привода транспортного средства.

2. Преобразуем выражение (8) относительно величины $i_{\text{пр}}$:

$$i_{\text{пр}} = \frac{2\pi R_{\text{к}} \cdot n}{V_{\text{т}}}. \quad (2)$$

3. Для определения скорости транспортного средства $V_{\text{т}}$ воспользуемся известным выражением из курса элементарной физики:

$$\text{Мощность} = \text{Сила} \cdot \text{Скорость}. \quad (3)$$

4. Так как в нашем случае при передвижении по бездорожью транспортное средство должно двигаться с максимально возможной скоростью, вся мощность двигателя будет затрачиваться на преодоление сил дорожного сопротивления. При этом предполагается, что движение транспортного средства будет осуществляться по горизонтальной поверхности. Учитывая это, выражение (3) можно представить в следующем виде:

$$N_{\text{т}} = N_f = P_f \cdot V_{\text{т}}, \quad (4)$$

где $N_{\text{т}}$ – максимальная мощность двигателя транспортного средства (Вт), N_f - мощность, затрачиваемая транспортным средством на преодоление силы сопротивления качению (Вт), P_f - сила сопротивления качению (Н). $V_{\text{т}}$ – максимальная скорость транспортного средства (м/с).

5. Преобразуем выражение (4) относительно величины $V_{\text{т}}$:

$$V_{\text{т}} = \frac{N_{\text{т}}}{P_f}. \quad (5)$$

6. Используя пояснения к задачам, запишем выражение для определения сила дорожного сопротивления:

$$P_\varphi = P_f = G_{\text{т}} f \cos\alpha, \quad (6)$$

где $G_{\text{т}}$ – вес транспортного средства (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, $\alpha = 0$.

7. Подставим в выражение (2) выражения (5) и (6):

$$i_{\text{пр}} = \frac{2\pi R_{\text{к}} \cdot n \cdot G_{\text{т}} \cdot f}{N_{\text{т}}}. \quad (7)$$

Из условия задачи известно, что транспортное средство будет передвигаться по пустыне (сыпучему песку). Из таблицы 1 в пояснениях к заданию выбираем значение коэффициента f для сыпучего песка, f = 0,2.

8. Определим вес транспортного средства:

$$G_{\text{т}} = m_{\text{т}} \cdot g = 2150 \cdot 9.8 = 21070\ (H), \quad (8)$$

где $m_{\text{т}}$ – масса транспортного средства (кг); g – ускорение свободного падения (g= 9,8 м/с^2).

9. Подставим в выражение (7) числовые значения входящих в него параметров, учтем, что $n = 4200$ об/мин = 70 об/с:

$$i_{\text{пр}} = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}285 \cdot 70 \cdot 21070 \cdot 0{,}2}{44000} = 12{,}0. \quad (9)$$

10. Используя информацию из пояснений к заданию, запишем выражение для определения передаточного отношения привода транспортного средства, исходя из эскиза его кинематической схемы, представленной на рисунке:

$$i_{\text{пр}} = i_1 \cdot i_2 = \frac{z_B}{z_A} \cdot \frac{z_D}{z_C}, \quad (10)$$

где $i_{\text{пр}}$ – передаточное отношение привода транспортного средства; i_1 – передаточное отношение 1-й передачи (шестерни A и B); i_2 – передаточное отношение 2-й передачи (шестерни D и C); z_A – число зубьев шестерни A; z_B – число зубьев шестерни B; z_C – число зубьев шестерни C; z_D – число зубьев шестерни D.

11. Используя исходные данные к заданию, определим передаточное число 2-й передачи:

$$i_2 = \frac{z_B}{z_C} = \frac{30}{15} = 2{,}0. \quad (11)$$

12. Преобразуем выражение (10) относительно величины i_2:

$$i_2 = \frac{i_{\text{пр}}}{i_1}. \quad (12)$$

13. Подставим числовые значения величин, входящих в выражение (12), из выражений (9) и (11):

$$i_2 = \frac{12{,}0}{2{,}0} = 6{,}0. \quad (13)$$

14. Используя данные об имеющейся номенклатуре шестерен подберем шестерни D и C таким образом, чтобы выполнялось условие (13), то есть:

$$\frac{z_B}{z_A} = 6{,}0. \quad (14)$$

15. Из представленной в условиях задачи номенклатуры шестерен выбираем шестерни, удовлетворяющие условию (14): z_B = 60 и z_A = 10.

16. Для определения максимальной скорости транспортного средства подставим в выражение (1) числовые значения входящих в него параметров:

$$V_{\text{т}} = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}285 \cdot \frac{70}{12} = 10{,}4\ (\text{м/с}) = 37{,}6\ (\text{км/ч}).$$

Ответ: а) выбираем шестерни со следующими числами зубьев: A (z_A = 10) и B (z_B = 60);
б) максимальная скорость транспортного средства при движении по пустыне – 37,6 км/ч.

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_φ – сила дорожного сопротивления (Н); P_f – сила сопротивления качению (Н); P_α – сила сопротивления подъему (Н).

При этом:

$$P_f = G_\text{A} f \cos\alpha, \quad (2)$$

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.

$$P_\alpha = \pm G_\text{A} \sin\alpha, \quad (3)$$

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

2. Сила сопротивления воздуха определяется из выражения:

$$P_w = k \cdot F_\text{A} \cdot {V_\text{A}}^2, \quad (4)$$

где P_w – сила сопротивления воздуха (Н); k – коэффициент обтекаемости автомобиля ($\frac{Н \cdot с^2}{м^4}$), 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 $P_\text{A} = P_\varphi + P_w$;

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

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

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

2. Трансмиссия автомобиля имеет свои характерные технические характеристики. Одно из них – передаточное отношение. Для определения передаточного числа шестеренчатого механизма нужно знать угловые скорости или числа зубьев на ведомой и ведущей шестернях. Таким образом, получаем соотношение:

$$i = \frac{w_1}{w_2} = \frac{Z_2}{Z_1},$$

где i – передаточное число шестеренчатого механизма; w_1 – угловая скорость ведущего вала; w_2 – угловая скорость ведомого вала; Z_1 – число зубьев на ведомой шестерне, Z_2 – число зубьев на ведущей шестерне.

Трансмиссия автомобиля может состоять из нескольких передач. В этом случае под её передаточным числом понимается общее передаточное число, которое можно определить как $i = \frac{w_1}{w_2}$, 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 карданный вал автомобиля.

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

Внимание! В каждой задаче оценивается именно ее решение (правильная понятная и последовательная логика, использованные для решения формулы и их необходимые преобразования) Наличие просто правильного ответа или неполного (фрагментарного) решения и общих рассуждений приводит к снижению баллов, вплоть до полного незачета.
Просто наличие численного ответа без указания требуемых единиц измерения приводит к снижению баллов.

Задача 1 (15 баллов)
Грузовой пикап массой 1550 кг преодолевает подъем, угол которого составляет 12° со скоростью 36 км/ч. Определите мощность, затрачиваемую автомобилем на преодоление силы сопротивления подъему
Решение:
1. Определим вес пикапа ($G_П$):

$$G_П = M_П \cdot g = 1550 \cdot 9{,}8 = 15\,190\ (H), \quad (1)$$

где $M_П$ – масса пикапа (кг); g – ускорение свободного падения, g = 9,8 (м/с^2).
2. Определим силу сопротивления подъему пикапа. Используем выражение для силы сопротивления подъему автомобиля, приведенное в пояснении к задачам:

$$P_\alpha = G_П \cdot \sin\alpha, \quad (2)$$

где $G_П$ – вес пикапа (Н); α – угол подъема дороги.
3. Подставим в выражение (2) числовые значения входящих в него параметров, учтем что $\sin 12 = 0.208$:

$$P_\alpha = 15\,190 \cdot 0{,}208 = 3160\ (H). \quad (3)$$

4. Определяем мощность, затрачиваемую автомобилем на преодоление силы сопротивления подъему. Из курса элементарной физики известно, что в общем случае:

$$\text{Мощность} = \text{Сила} \cdot \text{Скорость}. \quad (4)$$

5. Для данного случая мощность, затрачиваемая пикапом на преодоление силы сопротивления подъему (N_α), определяется как:

$$N_\alpha = P_\alpha \cdot V, \quad (5)$$

где N_α – мощность, затрачиваемая пикапом на преодоление силы сопротивления подъему, (Вт); V – скорость пикапа в системе СИ, $V = 36\ (км/ч) = 10\ (м/с)$.
6. Подставим в выражение (5) числовые значения входящих в него параметров, получаем:

$$N_\alpha = 3160 \cdot 10 = 31\,600\ (Вт) = 31{,}6\ (кВт). \quad (6)$$

Ответ: мощность, затрачиваемая автомобилем на преодоление силы сопротивления подъему, составляет 31,6 кВт.

Задача 2 (25 баллов)
По горизонтальной асфальтовой дороге равномерно движется грузовой автомобиль. Известно, что сила тяги на его ведущих колесах равна 1800 Н. Силой сопротивления воздуха можно пренебречь.
Определите массу грузового автомобиля.
Решение:
1. Из пояснений к задачам имеем условие равномерного движения автомобиля:

$$P_А = P_\varphi + P_w, \quad (1)$$

где $P_А$ – сила тяги на колесах автомобиля (Н); P_φ – сила дорожного сопротивления (Н); P_w – сила сопротивления воздуху (Н).
2. В данном случае (горизонтальный участок дороги, сопротивлением воздуха можно пренебречь) имеем:

$$P_\varphi = P_f = G_А f \cos\alpha, \quad (2)$$

где P_φ – сила дорожного сопротивления (Н); P_f – сила сопротивления качению (Н); $G_А$ – вес автомобиля (Н); f – коэффициент сопротивления качению; α – угол подъема дороги.
3. Подставляем выражением (2) в (1). Получаем:

$$P_{\text{А}} = G_{\text{А}} f \cos\alpha. \quad (3)$$

4. Преобразуем выражение (3) относительно величины $G_{\text{А}}$ и учтем, что поскольку автомобиль движется по горизонтальному участку дороги, то $\alpha = 0$.

$$G_{\text{А}} = \frac{P_{\text{А}}}{f\cos\alpha} = \frac{P_{\text{А}}}{f}. \quad (4)$$

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

$$G_{\text{А}} = \frac{1800}{0{,}015} = 120\,000\ (H). \quad (5)$$

Величину f для соответствующего типа дорожного покрытия определяем из таблицы 1 из пояснений к задачам. Имеем f = 0,015 – асфальт.

6. Массу автомобиля определим из соотношения:

$$m_{\text{А}} = \frac{G_{\text{А}}}{g}, \quad (6)$$

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

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

$$m_{\text{А}} = \frac{120\,000}{9{,}8} = 12\,245\ (\text{кг}), \quad (7)$$

Ответ: масса автомобиля 12 245 кг.

Задача 3 (35 баллов)

Автомобиль движется по сухой ровной дороге. Стрелка спидометра на панели приборов показывает 90 км/ч, а расположенный рядом тахометр – 4000 об/мин. Известно, что колеса, установленные на автомобиле, имеют радиус вращения 0,38 м. Определите передаточное число трансмиссии автомобиля.

Решение:

1. Из пояснения к задачам очевидно, что для определения передаточного числа трансмиссии автомобиля может быть использовано выражение:

$$i_{\text{А}} = \frac{w_1}{w_2}, \quad (1)$$

где $i_{\text{А}}$ – передаточное число трансмиссии автомобиля; w_1 – угловая скорость на входе в трансмиссию (ведущий элемент); w_2 – угловая скорость на выходе из трансмиссии (ведомый элемент).

В данном случае в качестве ведущего элемента выступает двигатель автомобиля и его угловая скорость (частота вращения коленчатого вала) известна – ее показывает тахометр автомобиля – 4000 об/мин.

В качестве ведомого элемента в данном случае выступают колеса автомобиля. Необходимо определить их частоту вращения.

2. Определим путь, который проходит колесо автомобиля при совершении одного оборота:

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

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

3. Подставим в выражение (2) числовые значения входящих в него параметров, получаем:

$$S_0 = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}38 = 2{,}4\ (\text{м}). \quad (3)$$

4. Учитывая, что при скорости 90 км/ч автомобиль проезжает за час 90 000 м, определим частоту вращения колеса автомобиля за один час:

$$n_{\text{ч}} = \frac{90\,000}{2{,}4} = 37\,500\ (\text{об/ч}). \quad (4)$$

где $n_{\text{ч}}$ – частота вращения колеса автомобиля за один час (об/ч).

5. Определим частоту вращения колеса автомобиля за одну минуту:

$$n = \frac{n_{\text{ч}}}{60} = \frac{37\,500}{60} = 625\ (\text{об/мин}), \quad (5)$$

где n – частота вращения колеса автомобиля в минуту (об/мин).

6. Подставим в выражение (1) величину w_2. В данном случае $w_2 = n$, поскольку, как уже отмечалось, в качестве ведомого элемента выступают колеса автомобиля. В результате определим передаточное число трансмиссии автомобиля:

$$i_{\text{А}} = \frac{4000}{625} = 6{,}4. \quad (6)$$

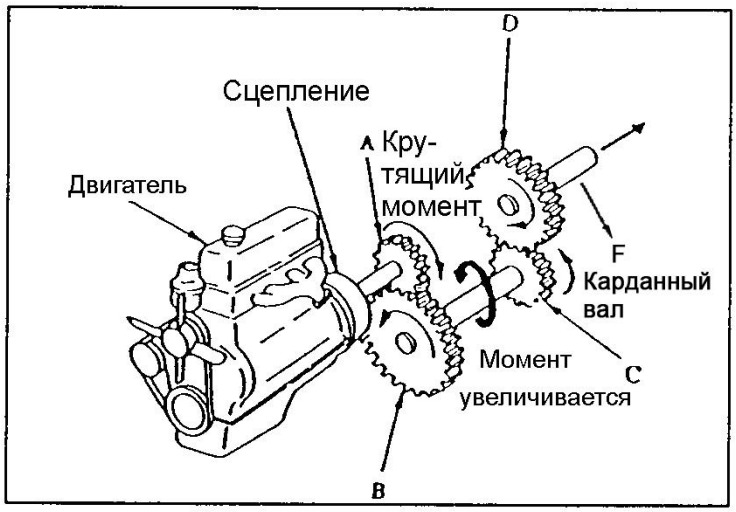
Ответ: передаточное число трансмиссии автомобиля 6,4.

Задача 4 (25 баллов)

На рисунке изображена схема привода экспериментального транспортного средства, состоящего из двигателя, сцепления, коробки передач, представленной двумя парами шестерен, и карданным валом.
Известны следующие технические характеристики привода:

- частота вращения коленчатого вала двигателя – 4000 об/мин;
- частота вращения карданного вала привода – 500 об/мин;
- число зубьев шестерни A – 20;
- число зубьев шестерня B – 40;
- число зубьев шестерни C – 10.

Необходимо завершить проектирование привода, для чего необходимо определить число зубьев у шестерни D.



Решение

1. Используя пояснения к задачам, запишем выражение для определения передаточного числа привода экспериментального транспортного средства:

$$i_{\text{пр}} = \frac{w_1}{w_2} = \frac{n_{\text{кв}}}{n_F}. \quad (1)$$

где $i_{\text{пр}}$ – общее передаточное число привода экспериментального транспортного средства; $n_{\text{кв}}$ – частота вращения коленчатого вала (об/мин); n_F – частота вращения карданного вала F (об/мин).

2. Подставим в выражение (2) числовые значения входящих в него параметров:

$$i_{\text{пр}} = \frac{4000}{500} = 8. \quad (3)$$

3. Используя информацию из пояснения к задачам, запишем выражение для определения общего передаточного числа привода:

$$i_{\text{пр}} = i_1 \cdot i_2 = \frac{Z_B}{Z_A} \cdot \frac{Z_D}{Z_C}, \quad (4)$$

где i_1 – передаточное отношение 1-й передачи (шестерни A и B); i_2 – передаточное отношение 2-й передачи (шестерни D и C); Z_A – число зубьев шестерни A; Z_B – число зубьев шестерни B; Z_C – число зубьев шестерни C; Z_D – число зубьев шестерни D.

4. Преобразуем выражение (4) относительно величины Z_D.

$$Z_D = \frac{i_{\text{пр}} \cdot Z_A \cdot Z_C}{Z_B}. \quad (5)$$

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

$$Z_D = \frac{8 \cdot 20 \cdot 10}{40} = 40.$$

Ответ: число зубьев шестерни D – 40.

Задания, ответы и критерии оценивания

Пояснения к задачам

Двигатель является основой транспортного средства. Поэтому при проектировании любого автомобиля – как легкового, так и грузового – разработке силового агрегата уделяется первостепенное значение, и прежде всего – расчету его конструктивных параметров.

Из теории ДВС известно:

1. Рабочий объем цилиндра двигателя внутреннего сгорания определяется как произведение площади сечения цилиндра на длину хода поршня – расстояние от нижней мертвой точки (НМТ) до верхней мертвой точки (ВМТ), которое он проходит при вращении коленчатого вала.
2. Рабочий объем двигателя внутреннего сгорания равен сумме рабочих объемов всех его цилиндров.
3. Степень сжатия двигателя – отношение полного объема цилиндра (надпоршневое пространство цилиндра двигателя при положении поршня в нижней мертвой точке, НМТ) к объему камеры сгорания цилиндра.
4. Объем камеры сгорания цилиндра – объем цилиндра двигателя над поршнем, находящимся в верхней мертвой точке – крайнем положении на наибольшем удалении от коленчатого вала.
5. Полный объем цилиндра, в свою очередь, можно определить как сумму рабочего объема цилиндра и объема его камеры сгорания.

Внимание! В каждой задаче оценивается именно ее решение (правильная понятная и последовательная логика, использованные для решения формулы и их необходимые преобразования) Наличие просто правильного ответа или неполного (фрагментарного) решения и общих рассуждений приводит к снижению баллов, вплоть до полного незачета.
Просто наличие численного ответа без указания требуемых единиц измерения приводит к снижению баллов.

Задача 1 (15 баллов)

В конструкторском бюро идет подготовка к производству нового автомобиля. На машину будет установлен новый 4-цилиндровый бензиновый двигатель. Известны следующие технические характеристики двигателя:

• ход поршня двигателя ($h_{\text{п}}$) – 77,5 мм;
• диаметр цилиндра ($D_{\text{ц}}$) – 84,0 мм.

Найдите рабочий объем двигателя нового автомобиля.

Решение

1. Используя пояснения к задаче, найдем величину рабочего объема цилиндра двигателя:

$$V_{\text{рц}} = S_{\text{ц}} \cdot h_{\text{п}} = \frac{\pi {D_{\text{ц}}}^2}{4} h_{\text{п}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{рц}}$ – рабочий объем цилиндра двигателя (см^3); $S_{\text{ц}}$ – площадь сечения цилиндра (см^2); $h_{\text{п}}$ – ход поршня (см); $D_{\text{ц}}$ – диаметр цилиндра (см); $\pi = 3{,}14$.

2. Подставим в выражение (1) числовые значения входящих в него величин и найдем величину рабочего объема цилиндра:

$$V_{\text{рц}} = \frac{3{,}14 \cdot 8{,}4^2}{4} \cdot 7{,}75 = 429{,}3 \text{ (см}^3\text{)}. \quad (2)$$

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

$$V_{\text{рд}} = n \cdot V_{\text{рц}}, \quad (3)$$

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

4. Подставим полученное числовое значение $V_{\text{рц}}$ из выражения (2) в выражение (3) и найдем величину рабочего объема двигателя автомобиля:

$$V_{\text{рд}} = 429{,}3 \cdot 4 = 1717 \text{ (см}^3\text{)}. \quad (4)$$

Ответ: величина рабочего объема двигателя автомобиля 1717 см^3.

Задача 2 (25 баллов)

На легковой автомобиль установлен новый 4-цилиндровый бензиновый двигатель. Этот силовой агрегат имеет следующие технические характеристики:

• объем камеры сгорания ($V_{кс}$) – 39,9 см^3;

• диаметр цилиндра – 85,6 мм;

• степень сжатия – 10,5.

Определите:

• рабочий объем двигателя (10 баллов);

• величину хода поршня двигателя (15 баллов).

Решение

1. Используя пояснения к задачам, составим уравнение для определения величины степени сжатия двигателя легкового автомобиля:

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

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

2. Преобразуем выражение (1) относительно величины $V_{рц}$ – рабочего объема цилиндра двигателя:

$$V_{кс} \cdot \varepsilon = V_{рц} + V_{кс}; \quad (2)$$

$$V_{рц} = V_{кс} \cdot \varepsilon - V_{кс};$$

$$V_{рц} = V_{кс}(\varepsilon - 1).$$

3. Подставим в выражение (2) числовые значения входящих в него параметров:

$$V_{рц} = 39{,}9 \cdot (10{,}5 - 1) = 379\ (\text{см}^3). \quad (3)$$

4. Используя пояснения к задачам, составим уравнение для величины рабочего объема двигателя автомобиля и подставим в него числовые значения входящих в него величин:

$$V_{рд} = n \cdot V_{рц}, \quad (4)$$

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

$$V_{рд} = 379 \cdot 4 = 1516\ (\text{см}^3).$$

5. Используя пояснения к задаче, запишем выражение для нахождения величины рабочего объема цилиндра двигателя:

$$V_{рц} = S_{ц} \cdot h_{п} = \frac{\pi {D_{ц}}^2}{4} h_{п}, \quad (5)$$

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); $\pi = 3{,}14$.

6. Преобразуем выражение (5) относительно величины $h_{п}$ – хода поршня двигателя:

$$h_{п} = \frac{4V_{рц}}{\pi {D_{ц}}^2}. \quad (6)$$

7. Подставим в выражение (5) числовые значения входящих в него величин:

$$h_{п} = \frac{4 \cdot 379}{3{,}14 \cdot 8{,}05^2} = 7{,}45\ (\text{см}) = 74{,}5\ (\text{мм}).$$

Ответ: рабочий объем двигателя – 1516 см^3; ход поршня двигателя –74,5 мм.

Задача 3 (30 баллов)

На легковом автомобиле установлен 4-цилиндровый бензиновый двигатель. Этот силовой агрегат имеет следующие технические характеристики:

• ход поршня ($h_{п}$) – 73,5 мм;

• диаметр цилиндра ($D_{ц}$) – 80,5 мм;

• полный объем двигателя ($V_{п}$) – 1708,0 см^3.

Определите степень сжатия двигателя (ε).

Решение:

1. Используя пояснения к задачам, составим уравнение для величины степени сжатия двигателя:

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

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

2. Используя пояснения к задачам, составим уравнение для полного объема цилиндра двигателя:

$$V_{\text{пц}} = \frac{V_{\text{пд}}}{n}, \quad (2)$$

где $V_{\text{пц}}$ – полный объем цилиндра двигателя (см^3); $V_{\text{пд}}$ – полный объем двигателя (см^3); n – число цилиндров двигателя.

3. Подставим в выражение (2) числовые значения входящих в него величин и найдем полный объем цилиндра двигателя:

$$V_{\text{пц}} = \frac{1708}{4} = 427\ (\text{см}^3). \quad (3)$$

4. Используя пояснения к задачам, составим уравнение для величины объема камеры сгорания цилиндра двигателя легкового автомобиля:

$$V_{\text{кс}} = V_{\text{пц}} - V_{\text{рц}}, \quad (4)$$

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

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

$$V_{\text{рц}} = S_{\text{ц}} \cdot h_{\text{п}} = \frac{\pi {D_{\text{ц}}}^2}{4} h_{\text{п}}, \quad (5)$$

где $V_{\text{рц}}$ – рабочий объем цилиндра двигателя (см^3); $S_{\text{ц}}$ – площадь сечения цилиндра (см^2); $h_{\text{п}}$ – ход поршня (см); $D_{\text{ц}}$ – диаметр цилиндра (см); $\pi = 3{,}14$.

6. Подставим в выражение (5) числовые значения входящих в него величин и найдем рабочий объем цилиндра:

$$V_{\text{рц}} = \frac{3{,}14 \cdot 8{,}05^2}{4} \cdot 7{,}35 = 373{,}9\ (\text{см}^3). \quad (6)$$

7. Подставим в выражение (4) числовые значения входящих в него величин из выражений (3) и (6) и найдем объем камеры сгорания цилиндра:

$$V_{\text{кс}} = 427 - 373{,}9 = 53{,}1\ (\text{см}^3). \quad (7)$$

8. Подставим в выражение (1) числовые значения входящих в него величин из выражений (3) и (7) и найдем степень сжатия двигателя ε.

$$\varepsilon = \frac{427}{53{,}1} = 8{,}0. \quad (8)$$

Ответ: степень сжатия двигателя равна 8,0.

Задача 4 (30 баллов)

Вы работаете в конструкторском бюро автомобильной компании. Ваш отдел ведет разработку двигателя автомобиля, а вам поручено подобрать параметры для конструирования коленчатого вала двигателя, в частности, высоту шатунной шейки коленчатого вала (параметр R на рисунке).

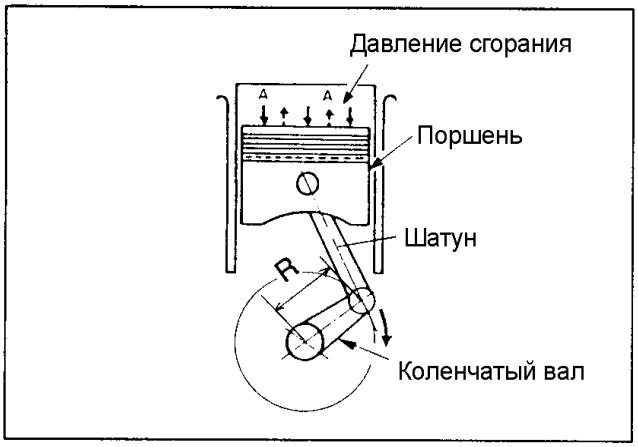
Согласно техническому заданию, двигатель должен иметь следующие характеристики:

• рабочий объем двигателя – 1526 см^3;

• количество цилиндров – 4;

• диаметр цилиндра – 90 мм.

Определите высоту шатунной шейки коленчатого вала.



1. Используя пояснения к задачам, запишем выражение для определения рабочиго объема двигателя легкового автомобиля:

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

где $V_{рд}$ – рабочий объем двигателя автомобиля (см^3), n – число цилиндров двигателя автомобиля, $V_{рц}$– рабочий объем цилиндра двигателя автомобиля (см^3).

2. Используя пояснения к задаче, найдем величину рабочего объема цилиндра двигателя 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. Из пояснений к задачам и представленного рисунка видно, что ход поршня (перемещение поршня от верхней мертвой точки к нижней мертвой точке, совершаемое при вращении коленчатого вала) можно определить из выражения:

$$h_{п} = 2R, \quad (3)$$

где $h_{п}$ – ход поршня (см); R – высота шейки коленчатого вала (см).

4. Подставим в выражение (1) выражения (2) и (3):

$$V_{рд} = n \cdot \frac{\pi D_{ц}^2}{4} \cdot 2R. \quad (4)$$

5. Преобразуем выражение (4) относительно величины R:

$$R = \frac{4V_{рд}}{2\pi n D_{ц}^2} = \frac{V_{рд}}{2\pi D_{ц}^2}. \quad (5)$$

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

$$R = \frac{1526}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 9{,}0^2} = 3{,}0 \text{ (см)} = 30 \text{ (мм)}. \quad (6)$$

Ответ: высота шатунной шейки коленчатого вала 3,0 см (30,0 мм).