

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра «Автомобили»

Кафедра: «Автомобили»
Специальность: 190201 «Автомобиле- и тракторостроение»
Дисциплина: «Механические колебания в автомобиле»
Составил: канд. техн. наук, доц. Зайцев А.В.

Утверждены на заседании кафедры « 10 » мая 2007 г.

Рекомендованы методическим советом университета

« 14 » июня 2007 г.

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПОДРЕССОРИВАНИЯ
АВТОМОБИЛЯ**

Методические указания к выполнению практических работ
для студентов очной формы обучения и контрольной работы
для студентов заочной формы обучения
специальности 190201

Курган 2007

1 УПРУГАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕРЕДНЕЙ ПОДВЕСКИ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

Упругая характеристика подвески представляет собой график, связывающий вертикальную нагрузку на подвеску и прогиб (ход) подвески. Порядок расчета и построения упругой характеристики приведен ниже.

1 Задаются угловой частотой собственных колебаний передней поддрессоренной части автомобиля. Для легковых автомобилей можно принять $\omega_0 = 7 \dots 10$ рад/с.

2 Рассчитывают приведенную жесткость упругих элементов передней подвески

$$c = \omega_0^2 \cdot M, \text{ Н/м,}$$

где M – поддрессоренная масса, приходящаяся на подвеску (см. таблицу).

3 Рассчитывают статический прогиб подвески

$$f_{ст} = M \cdot g / c, \text{ м,}$$

где $g = 9,8$ м/с² – ускорение силы тяжести.

4 Рассчитывают динамический ход подвески

$$f_d = (0,6 \dots 0,8) \cdot f_{ст}, \text{ м.}$$

5 Рассчитывают ход отбоя

$$f_{от} = (0,8 \dots 0,9) \cdot f_{ст}, \text{ м.}$$

6 Рассчитывают ход подвески, приходящийся на буферы сжатия

$$f_{буф\ сж} = (0,25 \dots 0,4) \cdot f_d, \text{ м.}$$

7 Рассчитывают ход подвески, приходящийся на буферы отбоя

$$f_{буф\ от} = (0,1 \dots 0,2) \cdot f_{ст}, \text{ м.}$$

8 Рассчитывают энергоемкость подвески (максимальную динамическую нагрузку, воспринимаемую подвеской)

$$Q_{max} = M \cdot g \cdot K_d, \text{ Н,}$$

где K_d – коэффициент динамичности ($K_d = 2 \dots 2,5$).

9 Строят упругую характеристику подвески (рисунок 1.1). Размер графика не менее 15х15 см:

- от начала координат (О) откладывают ход отбоя и получают точку 1;
- по вертикальной оси отмечают Mg и Q_{max} ;
- от точки 1 влево откладывают статический прогиб и получают точку 4;
- через точки 4 и 5 проводят тонкую линию, представляющую собой вертикальную упругую характеристику основных упругих элементов подвески (пружин);
- наносят точки 3 и 6;
- строят отрезки 0 – 6 и 2 – 3, представляющие собой совместные упругие характеристики пружин и буферов;
- выделяют участок 0-6-5-3-2.

10 По упругой характеристике определяют усилие $Q_{буф}$, соответствующее началу работы буфера сжатия.

11 Рассчитывают приведенную жесткость буферов сжатия:

а) определяют совместную жесткость буферов сжатия и основных упругих элементов:

$$c'' = (Q_{max} - Q_{буф}) / f_{буф\ сж}, \text{ Н/м;}$$

б) приведенную жесткость буферов сжатия определяют через разность совместной жесткости и жесткости основных упругих элементов:

$$c_{буф} = c'' - c, \text{ Н/м.}$$

Таблица - Варианты заданий на контрольную работу

№ вар	M, кг	m, кг	Cs, Н/м	№ вар.	M, кг	m, кг	Cs, Н/м
1	325	20	150000	11	575	35	250000
2	350	20	150000	12	600	35	300000
3	375	20	150000	13	625	35	300000
4	400	20	150000	14	650	35	300000
5	425	25	200000	15	675	40	350000
6	450	25	200000	16	700	40	350000
7	475	25	200000	17	725	40	350000
8	500	30	200000	18	750	45	350000
9	525	30	250000	19	775	45	380000
10	550	30	250000	20	800	45	380000

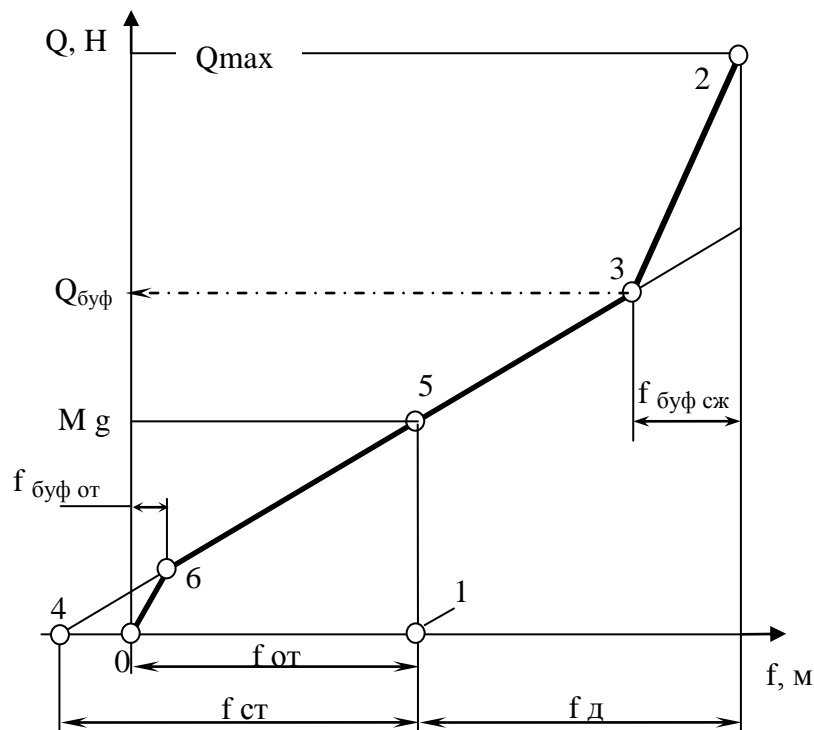


Рисунок 1.1 – Пример построения упругой характеристики

2 РАСЧЕТ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКИХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ УСКОРЕНИЙ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ

Наряду с частотой собственных колебаний поддрессоренной массы критерием плавности хода автомобиля является среднеквадратическая величина вертикальных ускорений на сиденьи водителя. На сегодняшний день существует расчетный метод, позволяющий на стадии проектирования подвески спрогнозировать среднеквадратические ускорения на кузове автомобиля.

При испытаниях автомобиля среднеквадратические вертикальные ускорения определяют следующим образом:

$$S_{az} = \sqrt{D_{az}}, \text{ м/с}^2, \quad (2.1)$$

где D_{az} – дисперсия вертикальных ускорений (среднее значение квадратов ускорений).

$$D_{az} = \frac{1}{N-1} \sum a_{zi}^2, \quad (2.2)$$

где a_{zi} – значение вертикального ускорения при i -м измерении;
 N – число измерений.

Дисперсия вертикальных ускорений зависит от типа дороги, скорости автомобиля и параметров подвески:

$$D_{az} = \frac{Dq \cdot Va}{2} \left(2 \cdot \omega_{OS}^2 \cdot \omega_0 \cdot \psi + \frac{(1+\beta) \cdot \omega_0^3}{2 \cdot \psi} \right), \quad (2.3)$$

где Dq – параметр микропрофиля дороги (дисперсия дорожных неровностей), м^2 ;

Va – скорость автомобиля (в расчетах принять $Va = 25 \text{ м/с}$);

ω_{OS} – частота собственных колебаний за счет упругости шин, рад/с ;

ω_0 – частота собственных колебаний поддрессоренной части автомобиля, рад/с ;

ψ – коэффициент аперидичности колебаний;

β – отношение неподдрессоренной массы к поддрессоренной.

Частоту собственных колебаний за счет упругости шин определяют по формуле:

$$\omega_{OS} = \sqrt{Cs/M}, \quad (2.4)$$

где Cs – вертикальная жесткость шин, Н/м ; M – поддрессоренная масса части автомобиля, кг .

$$\beta = \frac{m}{M}, \quad (2.5)$$

где m – неподдрессоренная масса (колеса, мост, элементы подвески), м/с .

Относительно коэффициента аперидичности ψ уравнение (2.3) имеет экстремум (рисунок 2.1). На рисунке 2.1 ψ_0 – оптимальное значение коэффициента аперидичности. Если $\psi = \psi_0$, то при движении автомобиля на кузов передаются наименьшие вертикальные ускорения.

Оптимальный коэффициент аперидичности определяется путем приравнивания к нулю производной уравнения (2.3) и подчиняется зависимости:

$$\psi_0 = \frac{1}{2} \left(\frac{\omega_0}{\omega_{OS}} \right) \cdot \sqrt{1+\beta}. \quad (2.6)$$

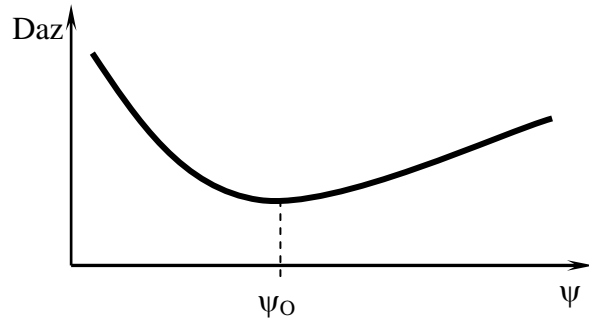


Рисунок 2.1 – Зависимость D_{az} от ψ

Коэффициент аperiodичности задается гасящими устройствами подвески (сопротивлением амортизаторов). Если подбором амортизаторов обеспечивается условие $\psi = \psi_0$, то дисперсия вертикальных ускорений подчиняется зависимости:

$$D_{az} = \frac{Dq \cdot Va}{2} \left(\omega_{OS} \cdot \omega_0^2 \cdot (1 + \sqrt{1 + \beta}) \right). \quad (2.7)$$

Расчет среднеквадратических вертикальных ускорений на кузове автомобиля последовательно проводится по формулам (2.4), (2.5), (2.6), (2.7), (2.1). Исходные данные приведены в таблице.

3 ДЕМПИРУЮЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДВЕСКИ

Демпфирующая характеристика подвески представляет собой график зависимости силы трения в подвеске от скорости прогиба подвески в вертикальной плоскости. Иногда демпфирующую характеристику называют гасящей.

Исходными данными для построения демпфирующей характеристики являются коэффициенты сопротивления подвески при ходе сжатия и отбоя.

Общий коэффициент сопротивления подвески связан с коэффициентом аperiodичности, подрессоренной массой и жесткостью подвески следующей зависимостью:

$$K = 2 \cdot \psi \cdot \sqrt{c \cdot M}, \text{ Н} \cdot \text{с/м}. \quad (3.1)$$

Коэффициент сопротивления подвески при ходе сжатия K_C составляет 0,1...0,25 от сопротивления при ходе отбоя K_O :

$$K_C = (0,1 \dots 0,25) \cdot K_O. \quad (3.2)$$

Общий коэффициент сопротивления подвески:

$$K = (K_C + K_O) / 2. \quad (3.3)$$

Из формул (3.2) и (3.3):

$$K_C = \frac{(0,1 \dots 0,25) \cdot 2 \cdot K}{(1,1 \dots 1,25)}; \quad (3.4)$$

$$K_O = 2 \cdot K - K_C. \quad (3.5)$$

Демпфирующая характеристика подвески в общем виде представлена на рисунке 3.1. Первый квадрант характеристики соответствует ходу сжатия, третий – ходу отбоя подвески.

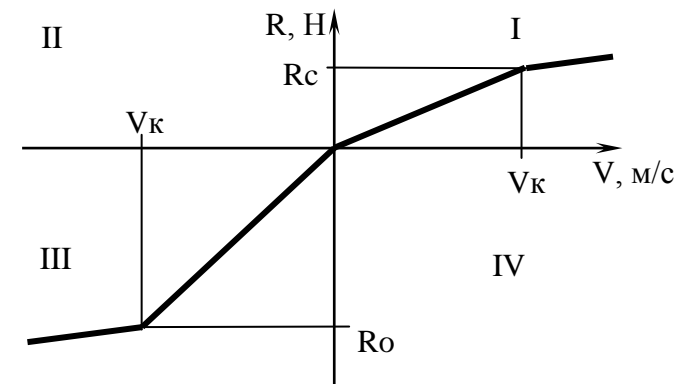


Рисунок 3.1 – Демпфирующая характеристика подвески

На рисунке 3.1 V_K – скорость срабатывания разгрузочных клапанов амортизаторов. $V_K = 0,25 \dots 0,30$ м/с.

Силы трения в подвеске при ходе сжатия и отбоя в точках срабатывания разгрузочных клапанов определяются по формулам:

$$R_C = V_K \cdot K_C, \text{ Н}; \quad (3.6)$$

$$R_O = V_K \cdot K_O, \text{ Н}. \quad (3.7)$$

Следует отметить, что при передаточном числе направляющего аппарата подвески, существенно отличающемся от единицы, точку срабатывания

разгрузочных клапанов на демпфирующей характеристике необходимо корректировать с учетом передаточного числа.

Демпфирующая характеристика на рисунке 3.1 представляет собой теоретическую зависимость. На практике, из-за гистерезисных явлений в подвеске, демпфирующая характеристика представляет собой зону из множества кривых (рисунок 3.2).

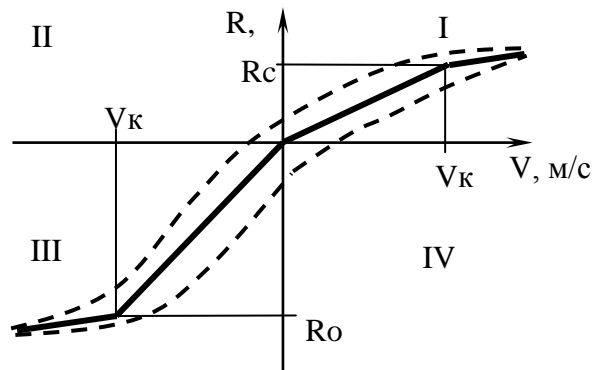


Рисунок 3.2 – Реальная демпфирующая характеристика

4 РАБОЧАЯ ДИАГРАММА АМОРТИЗАТОРА

Рабочая диаграмма амортизатора представляет собой график зависимости силы сопротивления непосредственно амортизатора от перемещения штока при постоянной частоте n растяжения-сжатия и при определенном максимальном ходе штока (обычно $S_{max} = 0,1$ м). Для построения требуемой рабочей диаграммы амортизатора необходимо знать коэффициенты сопротивления непосредственно амортизаторов при сжатии и отбое (K_{ac} и K_{ao}), определенные через коэффициенты сопротивления подвески K_c и K_o с учетом передаточного числа направляющего аппарата.

Пример рабочей диаграммы амортизатора приведен на рисунке 4.1. Силы сопротивления амортизатора при $S = 0$ определяются по формулам:

$$R_c = K_{ac} \cdot \pi \cdot n \cdot S_{max} / 30, \text{ Н}; \quad (4.1)$$

$$R_o = K_{ao} \cdot \pi \cdot n \cdot S_{max} / 30, \text{ Н}. \quad (4.2)$$

При $S = S_{max}$ силы сопротивления амортизаторов равны нулю. При промежуточных положениях штока точки на диаграмме определяются графоаналитически, как показано на рисунке 4.1.

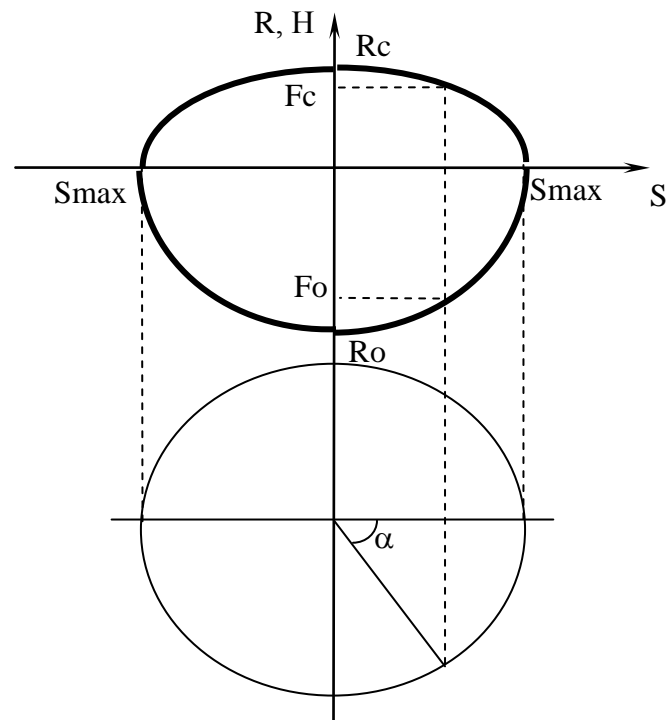


Рисунок 4.1 – Рабочая диаграмма амортизатора

Промежуточные значения сил сопротивления амортизатора рассчитываются по формулам для различных значений угла α :

$$F_c = (K_{ac} \cdot \pi \cdot n \cdot S_{max} \cdot \sin \alpha) / 30; \quad (4.3)$$

$$F_o = (K_{ao} \cdot \pi \cdot n \cdot S_{max} \cdot \sin \alpha) / 30. \quad (4.4)$$

Площадь внутри рабочей диаграммы амортизатора пропорциональна работе сил вязкого трения (тепловыделению) за цикл сжатия-отбоя.

Рабочую диаграмму приводят на сборочном чертеже амортизатора с указанием параметров n и S_{max} . Для проверки амортизаторов существуют специальные стенды. Если при проверке амортизатора площадь рабочей диаграммы оказывается меньше требуемой, значит амортизатор имеет меньшее сопротивление, его на автомобиль не устанавливают. Скачки на рабочей диаграмме при проверке свидетельствуют о заедании или наличии воздуха.

5 ПЕРЕХОД ОТ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДВЕСКИ К ХАРАКТЕРИСТИКАМ УПРУГИХ И ГАСЯЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В большинстве конструкций подвесок вертикальные перемещения колес, деформации упругих элементов и перемещения поршней амортизаторов не совпадают. Поэтому для перехода к характеристикам непосредственно упругих элементов и амортизаторов необходимо знать передаточное число направляющего аппарата подвески.

Для подвески «Макферсон» (рисунок 5.1) передаточное число по ходу определяется по формуле:

$$i_x = 1 / \cos \delta_0, \quad (5.1)$$

а передаточное число по силе:

$$i_y = \cos \delta_0 + [(R_0 + d \operatorname{tg} \delta) / (c + O) + \sin \delta_0] \operatorname{tg}(\beta + \delta_0). \quad (5.2)$$

Тогда жесткость упругого элемента (одной пружины) определяется по формуле:

$$C_{\text{ПРУЖ}} = C \cdot i_x \cdot i_y / 2. \quad (5.3)$$

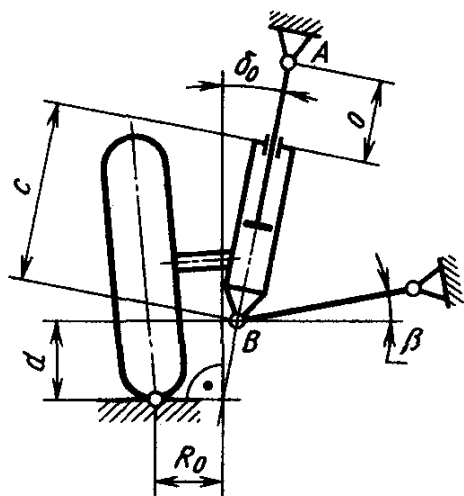


Рисунок 5.1 – Схема подвески «Макферсон»

Коэффициенты сопротивления одного амортизатора и подвески связаны только через передаточное число по ходу:

$$K_a = K \cdot i_x^2 / 2. \quad (5.4)$$

Формула (5.4) справедлива как для сопротивления амортизатора при ходе сжатия, так и при ходе отбоя.

Формулу (5.4) можно использовать, если трение в шарнирах подвески пренебрежимо мало по сравнению с сопротивлением амортизатора. Если в подвеске в качестве упругих элементов применены листовые рессоры, то при переходе от сопротивления подвески к сопротивлению амортизаторов необходимо учитывать гасящие свойства рессор.

Расчет передаточных чисел для различных типов подвесок подробно изложен в книге: Раймпель Й. Шасси автомобиля: Элементы подвески. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.

6 УПРУГАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМБИНИРОВАННОЙ (ПНЕВМО-РЕССОРНОЙ) ПОДВЕСКИ

6.1 Исходные данные для расчета:

- Статический прогиб в снаряженном состоянии $f_{ст}$, м;
- Жесткость подвески в снаряженном состоянии C_0 , Н/м;
- Номинальное давление в пневмобаллоне P_B , Па;
- Номинальная нагрузка на пневмобаллон F , Н;
- Активная длина пневмобаллона Δ , м;
- Статическая нагрузка на подвеску в снаряженном состоянии Q_0 , Н.

6.2 Предварительные расчеты

1 Рассчитывают жесткость пневмобаллонов в снаряженном состоянии:

$$C_{б0} = 0,1 \cdot C_0, \text{ Н/м.}$$

2 Рассчитывают жесткость рессоры в снаряженном состоянии:

$$C_{р0} = 0,9 \cdot C_0, \text{ Н/м.}$$

3 Рассчитывают эффективную площадь баллона:

$$F_{БЭ} = F / P_B, \text{ м}^2.$$

4 Рассчитывают номинальный объем двух баллонов в снаряженном состоянии:

$$V_{60} = 2 \cdot F_{БЭ} \cdot \Delta, \text{ м}^3.$$

5 Рассчитывают статическую нагрузку на баллоны в снаряженном состоянии:

$$Q_{60} = 0,1 \cdot Q_0, \text{ Н.}$$

6 Рассчитывают избыточное давление в баллонах в снаряженном состоянии:

$$p_{и0} = \frac{Q_{60}}{2 \cdot F_{БЭ}}, \text{ Па.}$$

7 Рассчитывают объем воздуха в баллонах и дополнительных резервуарах в снаряженном состоянии

$$V_0 = \frac{n \cdot (p_{и0} + p_a)}{C_{60}} \cdot 4 \cdot F_{БЭ}^2, \text{ м}^3,$$

где $p_a = 0,1 \cdot 10^6$ Па – атмосферное давление;

$n = 1$ – показатель политропы.

Для баллонов, существенно меняющих активную площадь при прогибе, расчет V_0 необходимо проводить из формулы:

$$C_{60} = \frac{\pi \cdot (p_{и0} + p_a)}{V_0} \cdot 4 \cdot F_{БЭ0}^2 + p_{и0} \cdot \left(\frac{dF_{БЭ}}{dS_6} \right)_0.$$

8 Рассчитывают объем дополнительных резервуаров:

$$V_{\text{доп.рез.}} = V_0 - V_{60}, \text{ м}^3.$$

6.3 Расчет упругой характеристики

Весь диапазон прогибов подвески разбивается на равные отрезки. Например, при $f_{ст} = 0,12$ м и $f_{\max} = 0,18$ м расчетные точки можно назначить при прогибах f , равных 0, 0,03, 0,06, 0,09, 0,12, 0,15 и 0,18 м.

Для каждой расчетной точки расчет выполняется в следующей последовательности.

1 Рассчитывается объем баллона:

$$V_6 = V_{60} + (f_{ст} - f) \cdot 2 \cdot F_{БЭ}, \text{ м}^3.$$

2 Рассчитывается общий объем газа (воздуха) в баллонах и дополнительных резервуарах:

$$V_1 = V_6 + V_{\text{доп.рез.}}, \text{ м}^3.$$

3 Рассчитывается абсолютное давление газа:

$$p_r = (p_{и0} + p_a) \cdot \left(\frac{V_0}{V_1} \right)^n, \text{ Па.}$$

4 Рассчитывается жесткость баллонов:

$$C_6 = \frac{n \cdot p_r}{V_r} \cdot 4 \cdot F_{БЭ}^2 + (p_r - p_a) \frac{dF_{БЭ}}{dS_6}, \text{ Н/м.}$$

5 Рассчитывается нагрузка на баллоны:

$$Q_6 = C_6 \cdot f, \text{ Н.}$$

Для $f = 0$ нагрузку, воспринимаемую баллонами, следует рассчитывать с учетом остаточного давления:

$$Q_6 = (p_r - p_a) \cdot 2 \cdot F_{БЭ}, \text{ Н.}$$

6 Рассчитывается нагрузка на рессору:

$$Q_p = C_p \cdot f, \text{ Н.}$$

7 Рассчитывается общая нагрузка, воспринимаемая упругими элементами:

$$Q = Q_6 + Q_p, \text{ Н.}$$

Расчет повторяют для всех значений f . По результатам расчетов строят упругую характеристику комбинированной подвески, на которой отмечают упругие характеристики рессор, пневмобаллонов и характеристику совместной работы рессор и пневмобаллонов.

Пример упругой характеристики комбинированной подвески приведен на рисунке 6.1.

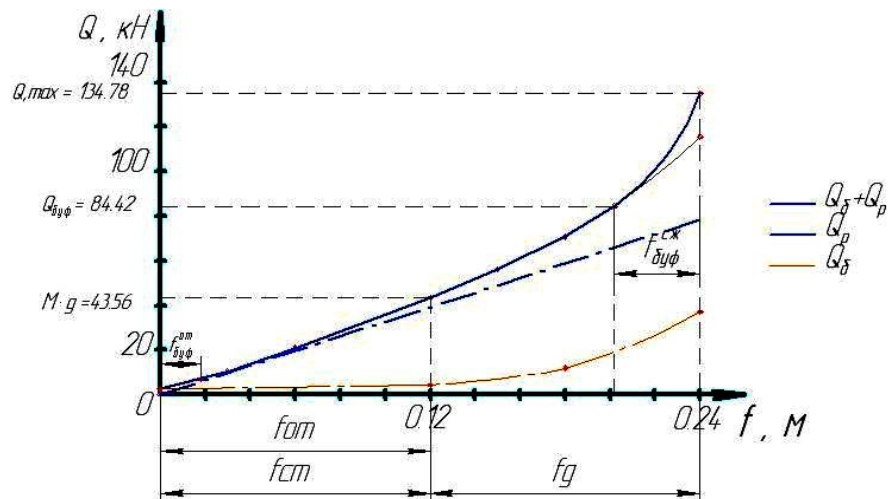


Рисунок 6.1 – Упругая характеристика комбинированной подвески

Приведенная методика позволяет рассчитать упругую характеристику для порожнего автомобиля. Для автомобиля с другой степенью загрузки упругая характеристика рассчитывается аналогично после коррекции исходных данных. Так, например, доля нагрузки, воспринимаемой рессорами и пневмобаллонами, рассчитывается следующим образом.

При статическом прогибе через жесткость рессор определяется усилие, воспринимаемое рессорами. Если вычесть полученное усилие из подрессоренного веса, получится усилие, воспринимаемое пневмобаллонами.

На графике упругой характеристики рекомендуется приводить кривые для снаряженной массы и для полной нагрузки автомобиля.

Зайцев Алексей Викторович

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПОДРЕССОРИВАНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Методические указания к выполнению практических работ
для студентов очной формы обучения и контрольной работы
для студентов заочной формы обучения
специальности 190201

Редактор Н.М. Кокина

Подписано к печати	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. №1
Печать трафаретная	Усл. печ. л. 1,0	Уч-изд. л.
Заказ	Тираж 50 экз.	Цена свободная

Редакционно-издательский центр КГУ.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.