

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ УПРУГОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЕКТИРУЕМОЙ РЕССОРЫ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО АВТОМОБИЛЯ С КОЛЕСНОЙ ФОРМУЛОЙ 4×4

**Вихренко Д.В.**

*Main principles and a technique of matching of parameters of a multileaf spring with the nonlinear characteristic for a perspective truck and development of mathematical model for calculation by a method of finite elements in CAD/CAE systems are described. The numerical model well agreed to experimental data is developed. Several variants of a construction of the spring satisfying put requirements on smoothness of a truck motion and carrying abilities are offered.*

**Введение.** Для грузовых автомобилей наибольшее распространение имеет зависимая подвеска с продольными полуэллиптическими рессорами. Широкое применение подвески с листовыми рессорами объясняется простотой ее конструкции, небольшой стоимостью и малой трудоемкостью обслуживания, а также тем фактом, что рессоры одновременно выполняют функции упругого элемента, а также направляющего и гасящего устройств. Однако листовые рессоры имеют и недостатки: высокая металлоемкость, пониженная долговечность вследствие межлистового трения, линейная характеристика.

Для сохранения оптимальной частоты собственных колебаний подрессоренной массы автомобиля при переменной нагрузке необходимо изменять жесткость подвески, т.к. частота собственных колебаний определяется по формуле:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{C}{m}},$$

где  $C$  – жесткость рессоры;

$m$  – масса, приходящаяся на рессору

Изменение жесткости подвески достигается следующими конструктивными мероприятиями (Рисунок 1) [1,2]:

- введением в подвеску дополнительного упругого элемента – резинового буфера, пружины или дополнительной рессоры;
- выполнением рессоры из нескольких частей, вступающих в работу последовательно;
- уменьшением рабочей длины рессоры благодаря исключению из работы концов рессоры или ее центрального участка.

Введение в подвеску буферов-ограничителей хода также способствует снижению напряжений в листах ввиду ограничения деформации рессоры.

В настоящей работе разрабатывается передняя многолистовая рессора с нелинейной характеристикой для перспективного автомобиля с колесной формулой 4×4. Задача состоит в том, чтобы плавность хода оказалась на уровне серийного автомобиля типа МАЗ-6501, а также такие контрольные точки, как прогиб под нагрузкой в снаряженном и груженом состоянии, оказались близки к таковым для серийной рессоры МАЗ-6501.

Исходными данными являются характеристика серийной 10-листовой рессоры МАЗ-6501, длина и кривизна ее листов (общая длина рессоры 1800 мм), а также их профиль (90×12 мм и 90×14 мм).

Масса, приходящаяся на дорогу со стороны передних колес, составляет 6120 кг в снаряженном состоянии, 8800 кг в груженом состоянии. Масса моста с колесами и половина массы подвески составляет 1300 кг. Следовательно, нагрузка на каждую рессору равна  $(6120-1300)/2=2400$  даН в снаряженном и  $(8800-1300)/2=3750$  даН в груженом состоянии.

Для серийного автомобиля МАЗ-6501 аналогичный расчет дает нагрузку на каждую рессору  $(5900-500)/2=2700$  даН и  $(7300-500)/2=3400$  даН, соответственно.

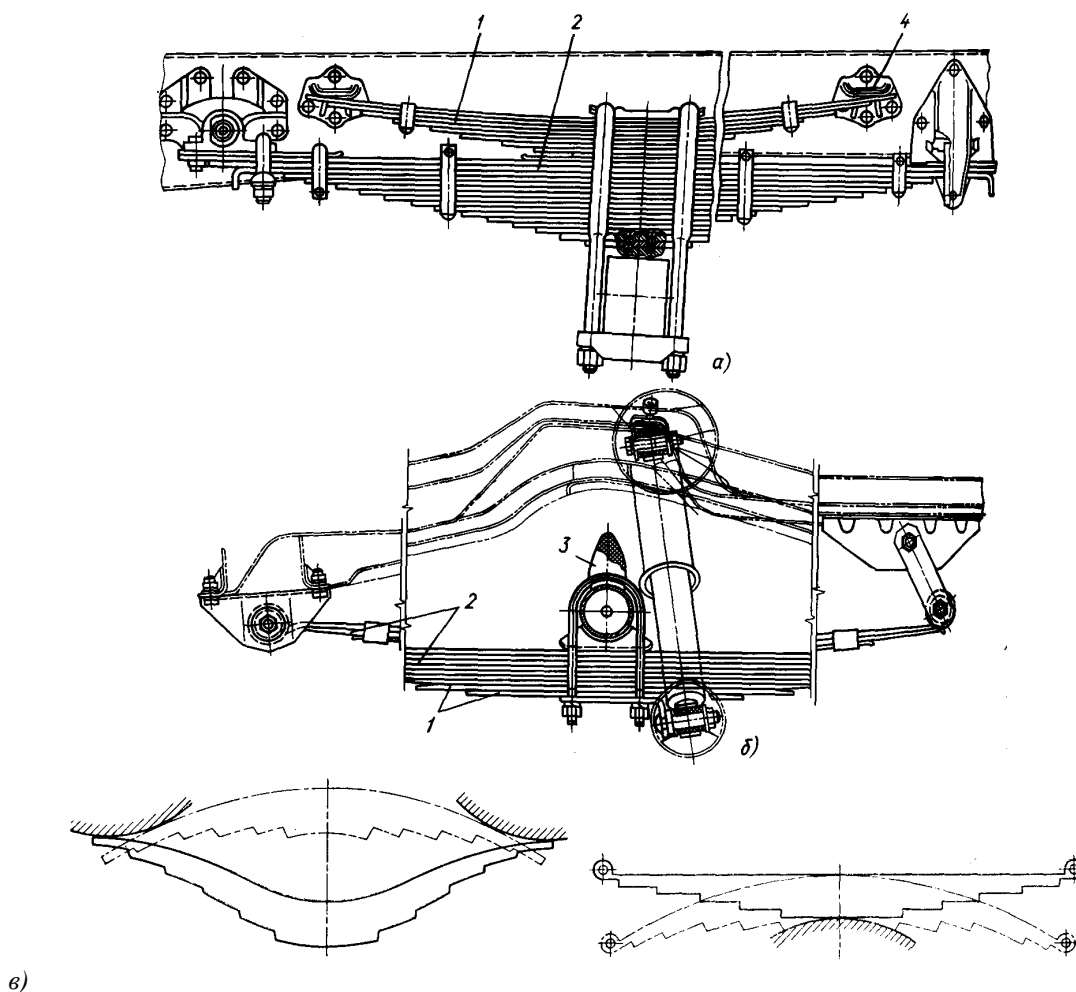


Рисунок 1 - Способы получения нелинейной характеристики рессоры:

- а) с дополнительной рессорой 1;
- б) с нижними листами 1, вступающими в работу последовательно, и резиновым буфером 3;
- в) уменьшением рабочей длины рессоры.

Таким образом, необходимо разработать конструкцию рессоры, жесткость которой между точками снаряженной массы и полной нагрузки была бы в 1,66 раза больше серийной в то время, как жесткость в точке снаряженной массы в 1,13 раза меньше, т.к. нагрузка, приходящаяся на рессору в снаряженном состоянии уменьшилась с 2700 даН до 2400 даН, а в груженом увеличилась с 3400 даН до 3750 даН. Следовательно, рессора должна иметь явно выраженную нелинейную характеристику, а также большее количество листов. Принимаем для дальнейшей разработки варианты с 14 и 12 листами.

**Методика расчета и ее верификация.** Для проверки правильности выбранной методики расчета производим расчет упругой характеристики рессоры МА3-6501. Расчет производим методом конечных элементов. Модель для расчета строим на основе комплекта чертежей 6501-2902012. Предполагаем, что в собранной рессоре все листы прилегают друг к другу по всей поверхности и имеют радиусы скругления, соответствующие радиусу первого листа для свободной стрелы 192 мм. Сначала строится геометрическая модель рессоры в виде пакета листов в системе трехмерного моделирования EDS/Unigraphics. Затем геометрическая модель передается в препроцессор MSC/Patran, где на ее основе готовится конечноэлементная модель, которая передается в систему конечноэлементного моделирования и расчета MSC/MARC, специально предназначенную для расчета

высоконелинейных задач, к которым относится и рассматриваемая рессора, имеющая 10 листов, контактирующих друг с другом. При расчете используется плоская модель рессоры. Так как рессора является симметричной, то правомерно моделировать и анализировать только половину рессоры. Физически конечные элементы характеризуются свойствами материала, т.е. модулем Юнга  $E=210$  ГПа и коэффициентом Пуассона  $\nu=0,3$ . При расчете также накладываются граничные условия симметрии. Пакет листов сначала стягивается стремянками, а затем производится расчет упругой характеристики затянутой рессоры. Размер элементов выбран так, чтобы по толщине листа располагалось 2 элемента, и их форма была как можно ближе к квадратной. Ранее было показано, что такой размер элементов для подобных задач является оптимальным [3].

На рисунке 2 приводится сравнение характеристик, полученных при расчете и снятой на стенде. Так как при расчете не учитывается трение между листами (это значительно увеличивает время расчета), нагрузочная и разгрузочная ветви совпадают. Как видно, погрешность по прогибу составляет около 11%. Расчетная жесткость в интересующем диапазоне составляет 270...280 даН/см, средняя по экспериментальным данным – 274 даН/см. Таким образом, расчет упругой характеристики рессоры с достаточной степенью достоверности можно производить методом конечных элементов с использованием пакета MARC.

В дальнейшем будем проводить сравнение именно с расчетной характеристикой рессоры МА3-6501.

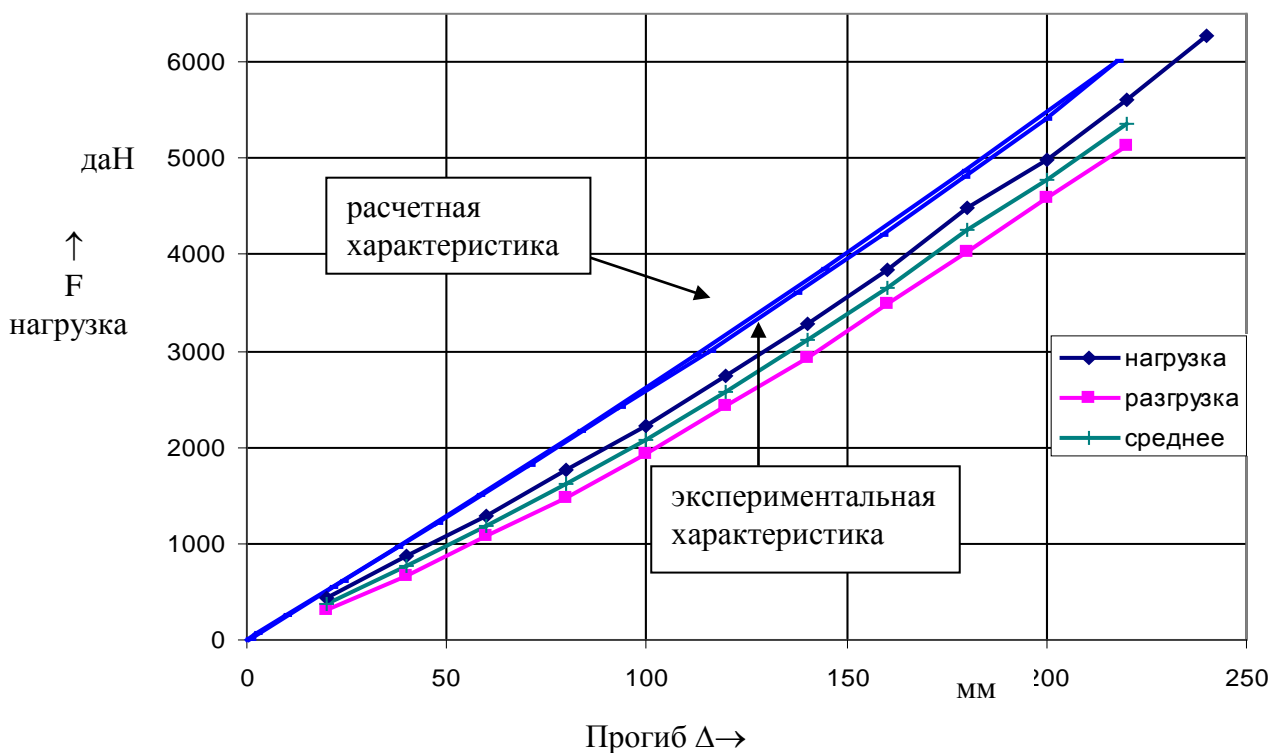


Рисунок 2 – Сравнение расчетной и экспериментальной характеристик рессоры МА3-6501

**Разработка вариантов рессор и расчет их упругих характеристик.** Рассмотрим вариант с 14 листами. Параметры листов приведены в таблице 1. Отметим, что первые три листа такие же, как и у рессоры МА3-6501.

Таблица 1. – Параметры листов 14-листовой рессоры

Номер листа	Длина листа, мм	Примечание
1	1850	основной пакет
2	1850	основной пакет
3	1750	основной пакет
4	1580	основной пакет
5	1460	основной пакет
6	1310	основной пакет
7	1180	основной пакет
8	1040	подрессорник
9	910	подрессорник
10	770	подрессорник
11	630	подрессорник
12	500	подрессорник
13	360	подрессорник
14	240	подрессорник

Стрела прогиба свободной рессоры в собранном состоянии принята 182 мм, как и для МАЗ-6501.

Нелинейность характеристики предполагается достичь использованием подрессорника. Предлагается к рассмотрению два варианта подрессорника, отличающихся радиусом кривизны листов:

1. с радиусом кривизны 4500 мм (рисунок 3а).
2. с прямыми листами (рисунок 3б).

Это изменяет точку включения подрессорника в работу.

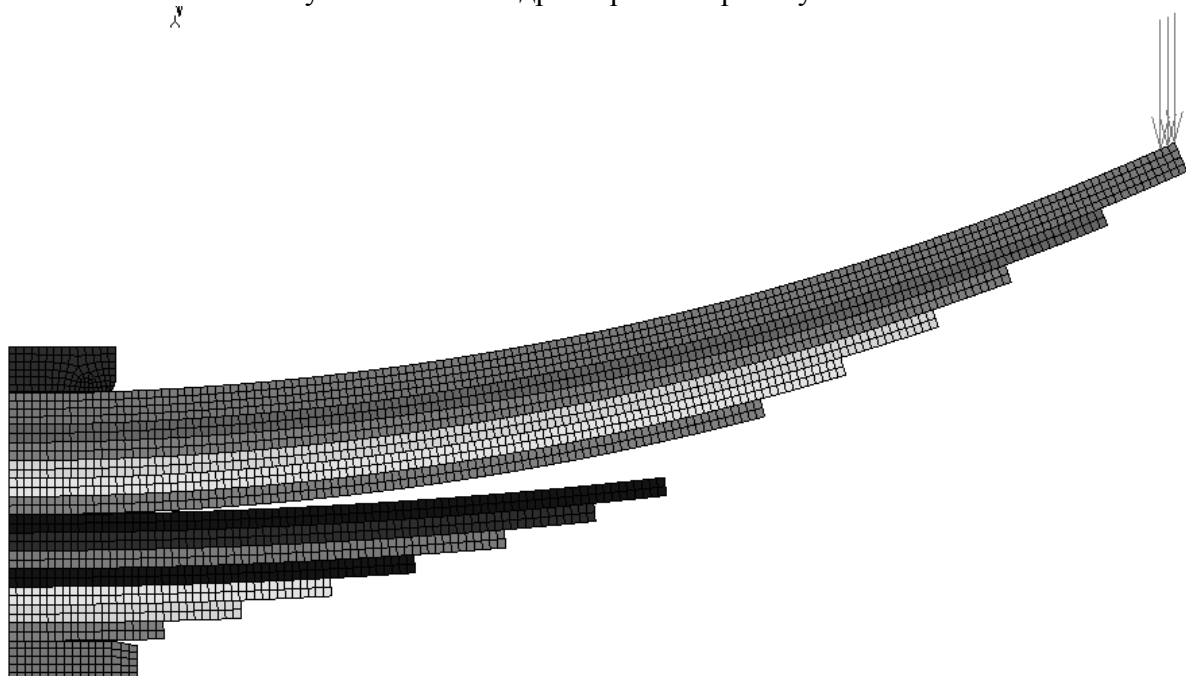


Рис. 3а. 14-листовая рессора а) Вариант 1

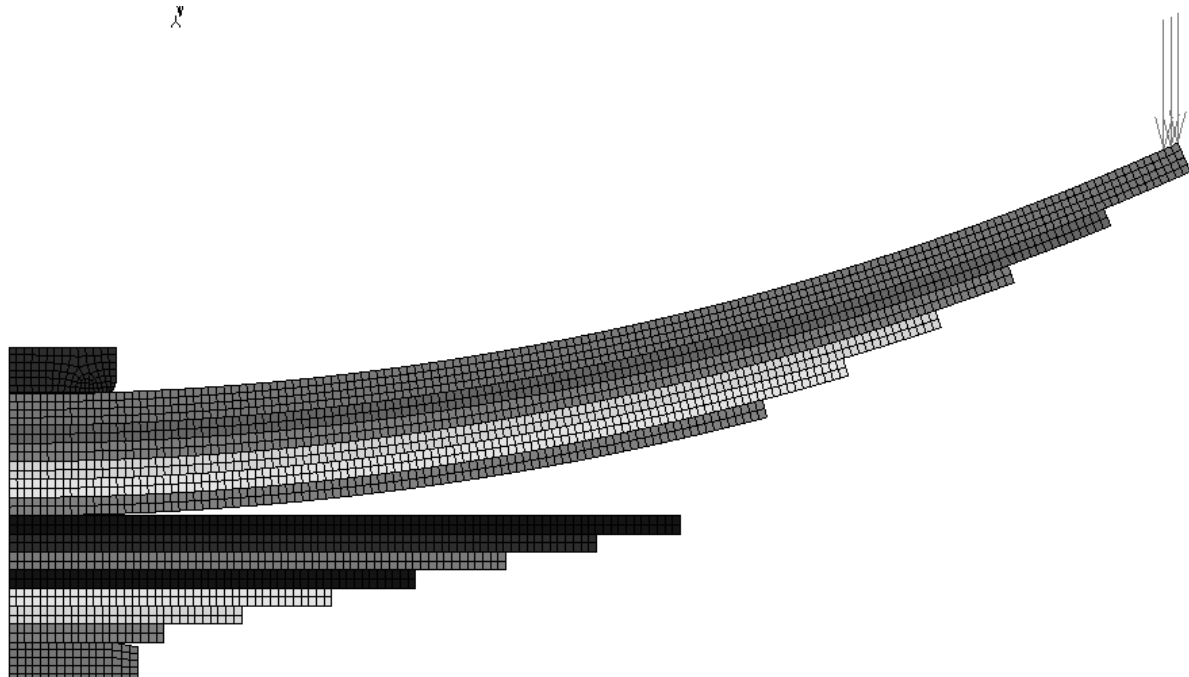


Рисунок 4а. 14-листовая рессора. Вариант 2

Рассмотрим также характеристики 12-листовой рессоры. Эта рессора дает увеличение прогибов в рабочем диапазоне, однако количество листов, а, соответственно, стоимость и масса несколько меньше, чем в варианте с 14 листами. Параметры листов приведены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры листов 12-листовой рессоры

Номер листа	Длина листа, мм	Примечание
1	1850	основной пакет
2	1850	основной пакет
3	1750	основной пакет
4	1590	основной пакет
5	1350	основной пакет
6	1170	основной пакет
7	990	основной пакет
8	990	подрессорник
9	800	подрессорник
10	620	подрессорник
11	440	подрессорник
12	250	подрессорник

Стрела прогиба свободной рессоры в собранном состоянии принята 182 мм, как и для МАЗ-6501.

Предлагается к рассмотрению два варианта подрессорника (рисунки не показаны, поскольку они похожи на 14-листовую рессору), отличающихся радиусом кривизны листов:

1. с радиусом кривизны 4000 мм .
2. с прямыми листами.

На рисунке 4 приведены расчетные упругие характеристики рассматриваемых вариантов, а основные их параметры приведены в табл. 3.

Таблица 3. Параметры расчетных упругих характеристик

Рессора	Прогиб в снаряженном состоянии, мм	Прогиб в груженом состоянии, мм	Прогиб от снаряженного состояния до груженого, мм	Частота собственных колебаний в снар./груженом состоянии, Гц
МАЗ-6501	102	129	27	1,59/1,44
14 листов, вариант 1	92	129	37	1,89/1,59
14 листов, вариант 2	102	151	49	1,62/1,42
12 листов, вариант 1	98	141	43	1,79/1,45
12 листов, вариант 2	106	154	48	1,64/1,42

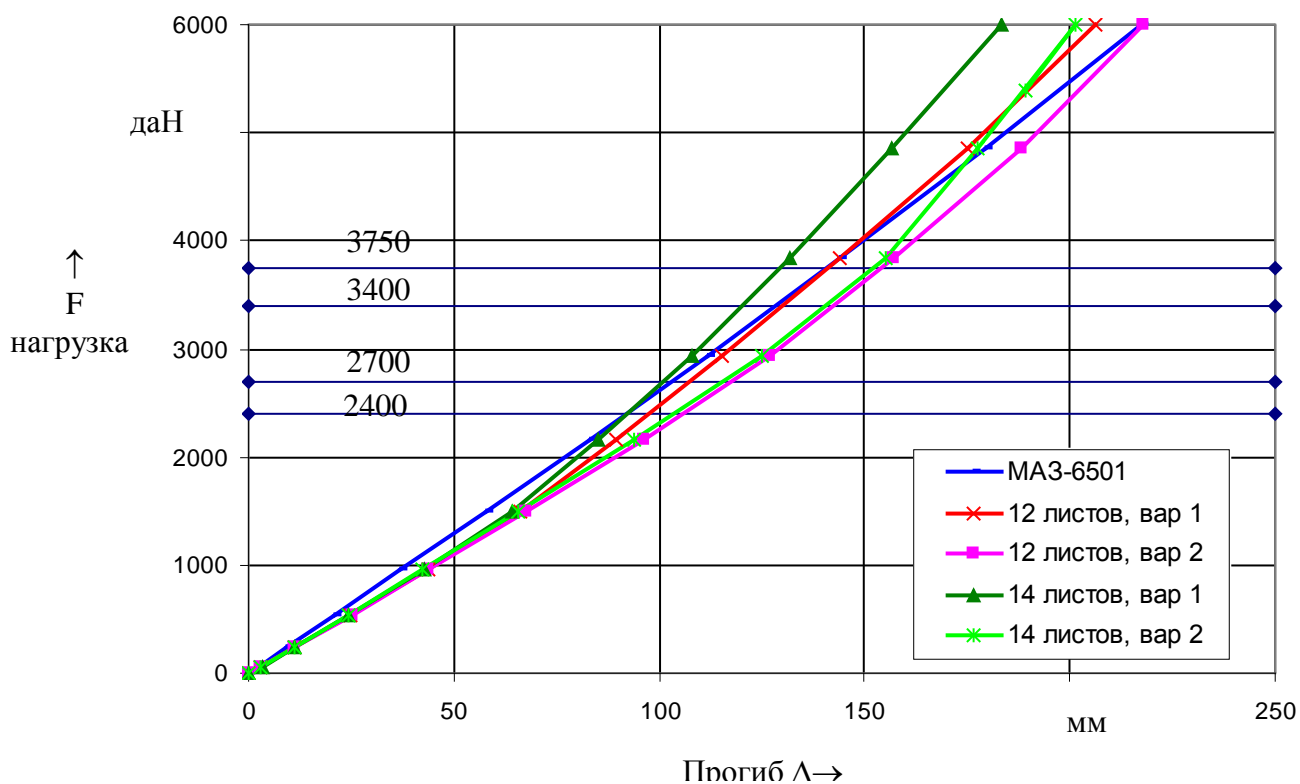


Рисунок 5 – Расчетные упругие характеристики сравниваемых рессор

Из таблицы 3 видим, что наиболее близкими прогибами к варианту МАЗ-6501 обладает 14-листовая рессора (вариант 1), однако плавность хода будет заметно хуже ввиду возрастания собственных частот. Как известно, при проектировании подвески следует стремиться к собственным частотам 1,2...1,8 Гц (чем меньше, тем лучше). Лучшей плавностью хода будут обладать 14-листовая рессора (вариант 2) и 12-листовая рессора (вариант 2). Однако на 12-листовой рессоре (вариант 2), очевидно, будут наблюдаться более частые пробои подвески с передачей больших усилий на раму через ограничительный буфер. Так, если буфер включается в работу на прогибе в 200 мм, нагрузка на рессору в этом случае составляет 5300 даН, что даже менее, чем в рессоре МАЗ-6501 (на том же прогибе 5500 даН).

К тому же, как показывает практика, жесткость расчетной модели выше, чем реальной. Следовательно, в действительности ситуация будет еще менее приемлемой. Таким образом, данный вариант рессоры не рекомендуется. Вариант 1 12-листовой рессоры обладает лучшей характеристикой по пробою подвески, однако по плавности хода несколько уступает.

Таким образом, можно рекомендовать 14-листовую рессору (вариант 2) (лучший по плавности хода и характеристикам пробоа) и 12-листовую рессору (вариант 1) (лучший по массе и стоимости).

Отметим также, что при увеличении радиуса кривизны подрессорника либо при уменьшении радиуса кривизны основного пакета характеристики будут лежать в диапазоне от варианта 1 до варианта 2 соответствующей рессоры. В случае 13-листовой рессоры ее характеристика будет в диапазоне от 12-листовой до 14-листовой соответствующего варианта.

Заметим, что, поскольку напряжения в листах зависят от прогиба, то напряжения, возникающие в листах рессоры от воздействия нагрузки, не будут превышать напряжения в рессоре МАЗ-6501, так как общий прогиб рессоры не увеличивается.

После конструктивного оформления окончательного варианта рессоры необходимо будет провести дополнительные уточняющие расчеты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Автомобили: Конструкция, конструирование расчёт. Системы и управления и ходовая часть: Учеб. Пособие для ВУЗов/ А.И. Гришкевич, Д.М. Ломако, В.П. Автушко и др. Под ред. А.И. Гришкевича. – Мн.: Выш. шк., 1987.
2. Пархиловский И.Г. Автомобильные листовые рессоры. – М: Машиностроение, 1978.
3. Капуста П.П., Вихренко Д.В., Цвирко П.П. Проектная оценка нагруженности многолистных рессор с использованием имитационного моделирования. // Грузовик. – 2002. – №8. – С. 28-29.