

УДК 629.33.027.3

А.Ю. Бажанова, спеціаліст, Одес. нац. політехн.
ун-т

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПОЛУЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ РЕССОРЫ

А.Ю. Бажанова. **Експериментальні дослідження напружено-деформованого стану напівеліптичної ресори.** Наведено методика та основні результати експериментальних досліджень напівеліптичної ресори шляхом електротензометрування. Проведено порівняння напружень і переміщень, отриманих експериментально та розрахованих методом кінцевих елементів.

Ключові слова: напівеліптична ресора, метод кінцевих елементів, напружено-деформований стан.

А.Ю. Бажанова. **Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния полуэллиптической рессоры.** Приведены методика и основные результаты экспериментальных исследований полуэллиптической рессоры путем электротензометрирования. Проведено сравнение напряжений и перемещений, полученных экспериментальным путем и рассчитанных по методу конечных элементов.

Ключевые слова: полуэллиптическая рессора, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние.

A.Yu. Bazhanova. **Experimental investigation of the mode of deformation of a half-elliptic spring.** The method and main results of experimental investigations of a half-elliptic spring by electrotensometry are adduced. A comparison of stresses and displacements obtained by experiment and by the finite element method is made

Keywords: half-elliptic spring, finite element method, mode of deformation.

Наиболее распространенным упругим элементом подвески транспортного средства является листовая рессора. Она передаёт нагрузку с рамы или кузова на ходовую часть и смягчает удары, толчки при прохождении по неровностям пути. Исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов подвески является важной составляющей её оптимальных параметров. Целью работы явилось экспериментальное определение состояния таких конструкций. Приведена методика опытного исследования НДС пятнадцатилистовой полуэллиптической рессоры, изготовленной из легированной стали методом электротензометрирования. Геометрические размеры листов представлены в табл. 1. Все листы имеют одинаковое поперечное сечение 6×45 мм, стрела прогиба рессоры $f = 225$ мм.

Таблиця 1

Длина листов рессоры

| Номер листа | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Длина, мм | 1365 | 1198 | 1185 | 1112 | 985 | 881 | 881 | 826 | 740 | 686 | 550 | 465 | 425 | 328 | 222 |

Установка для испытаний смонтирована на базе гидравлической испытательной машины УГИМ-50 (рис. 1).

Рессора закреплена жестко одним краем, а вторым краем закреплена так, что есть возможность перемещения вдоль продольной оси. Нагружение и разгружение рессоры осуществлялось в пределах от 1 до 5 кН с шагом в 1 кН при помощи гидравлической испытательной машины. Схема нагружения представлена на рис. 2.



Рис. 1. Общий вид испытательной установки

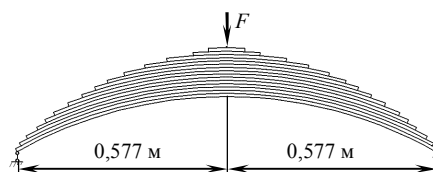


Рис. 2. Схема нагружения

Для измерений использован измеритель деформации цифровой ИДЦ-1, предназначенный для фиксации статических деформаций при помощи тензорезисторов, включаемых по полумостовой схеме.

Для определения деформаций и напряжений в коренном листе рессоры применялись петлевые тензорезисторы. Так как листы рессоры работают только на изгиб и растяжение, т.е. волокно рессоры находится в одноосном напряженном состоянии, десять датчиков были расположены вдоль продольной оси коренного листа (рис. 3). Расстояние между пятым и шестым датчиками, размещенными в центральной части рессоры, составило 80 мм, остальные наклеены с одинаковым шагом 120 мм.

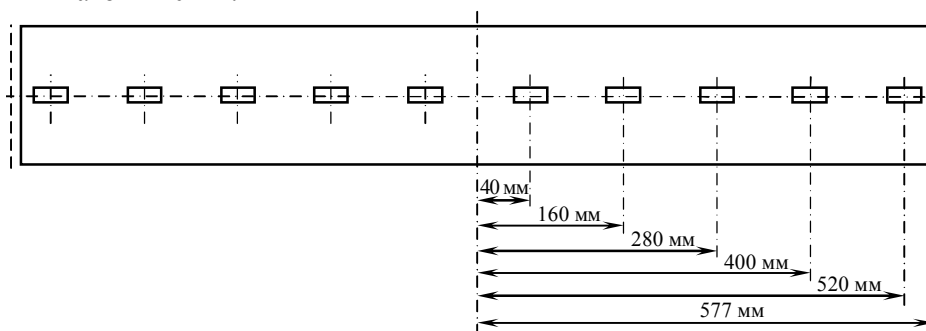


Рис. 3. Схема расположения тензодатчиков

В процессе испытаний нагрузка увеличивалась ступенчато. Всего осуществлено пять ступеней нагружения, в процессе которых были сняты показания с десяти тензорезисторов. Первая ступень нагружения служит точкой отсчета, т.к. при этом внешняя нагрузка не прикладывалась. В последующих ступенях нагружения приращения нагрузок были равными и составили

$F = 1000$ Н. Показания ИДЦ-1 в единицах относительной деформации (ЕОД) и соответствующие напряжения приведены в табл. 2.

Таблица 2

Напряжения, определенные тензометрированием, МПа

| Ступени нагружения | Единицы измерения | №№ точек | | | | | | | | | |
|--------------------|-------------------|----------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | ЕОД | 1010 | 1063 | 1001 | 1033 | 1068 | 1070 | 1020 | 1100 | 1102 | 1008 |
| | σ , МПа | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 2 | ЕОД | 1067 | 1119 | 1031 | 1045 | 1075 | 1077 | 1031 | 1113 | 1120 | 1029 |
| | σ , МПа | 85,5 | 84,0 | 45,0 | 18,0 | 10,5 | 10,5 | 16,5 | 19,5 | 27,0 | 31,5 |
| 3 | ЕОД | 1125 | 1177 | 1061 | 1058 | 1083 | 1085 | 1042 | 1127 | 1136 | 1047 |
| | σ , МПа | 172,5 | 171,0 | 90,0 | 37,5 | 22,5 | 22,5 | 33,0 | 40,5 | 51,0 | 58,5 |
| 4 | ЕОД | 1183 | 1235 | 1090 | 1071 | 1090 | 1092 | 1054 | 1140 | 1152 | 1066 |
| | σ , МПа | 259,5 | 258,0 | 133,5 | 57,0 | 33,0 | 33,0 | 51,0 | 60,0 | 75,0 | 87,0 |
| 5 | ЕОД | 1238 | 1290 | 1120 | 1083 | 1097 | 1100 | 1066 | 1153 | 1167 | 1085 |
| | σ , МПа | 342,0 | 340,5 | 178,5 | 75,0 | 43,5 | 45,0 | 69,0 | 79,5 | 97,5 | 115,5 |
| 6 | ЕОД | 1297 | 1347 | 1149 | 1095 | 1104 | 1107 | 1077 | 1166 | 1184 | 1103 |
| | σ , МПа | 430,5 | 426,0 | 222,0 | 93,0 | 54,0 | 55,5 | 85,5 | 99,0 | 123,0 | 142,5 |

В табл. 3 приводятся сравнительные значения перемещений и напряжений, определенных расчетным путем по методу конечных элементов (МКЭ), и экспериментальные результаты.

Таблица 3

Прогибы Δ и напряжения σ , определенные экспериментальным путем и МКЭ

| Показатели | | №№ точек | | | | | | | | | |
|----------------|-------------|----------|-------|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Δ , мм | Эксперимент | 0,04 | 0,92 | 3,5 | 5,05 | 5,28 | 5,28 | 3,81 | 2,32 | 5,10 | 6,65 |
| | МКЭ | 0,04 | 0,9 | 3,4 | 4,9 | 5,07 | 5,08 | 3,66 | 2,24 | 4,88 | 6,33 |
| | Расхожд., % | 4,76 | 4,35 | 3,5 | 2,75 | 3,96 | 3,79 | 3,91 | 3,36 | 4,31 | 4,77 |
| σ , МПа | МКЭ | 432,7 | 429,8 | 216 | 88,9 | 52,1 | 54,2 | 85,4 | 100 | 122 | 140,4 |
| | Эксперимент | 430,5 | 426,0 | 222 | 93,0 | 54,0 | 55,5 | 85,5 | 99,0 | 123 | 142,5 |
| | Расхожд., % | 0,51 | 0,88 | 2,7 | 4,41 | 3,52 | 2,34 | 0,12 | 1,49 | 0,73 | 1,47 |

Анализ таблицы 3 показывает, что максимальное расхождение перемещений между расчетными и экспериментальными данными составляет 4,77 %, причем расхождение нарастает по мере приближения к опорным закреплениям. Это объясняется тем, что граничные условия, наложенные на рессору при выполнении компьютерного расчета, являются “идеальными”, и несколько отличаются от реального закрепления рессоры при экспериментальных исследованиях. Максимальное расхождение в величинах напряжений при компьютерном расчете МКЭ и данными эксперимента составляет 4,41 %. При этом наибольшее расхождение сконцентрировано в точках, расположенных в непосредственной близости от места приложения внешней нагрузки. Это объясняется различием между характером нагрузки при компьютерном расчете (“идеальная” сосредоточенная сила) и в эксперименте, где нагрузка прикладывалась к некоторой поверхности вследствие конструктивных особенностей испытательной машины УГИМ-50.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что принятая в настоящее время модель контактного взаимодействия между листами рессоры является некорректной; поля распределения напряжений и перемещений, полученные в результате эксперимента, существенно отличаются от результатов решения контактной задачи.

Литература

1. Беляев, В.Н. Детали машин: Сб. материалов по расчету и конструированию / В.Н. Беляев, В.Л. Бидерман, Л. С. Борович и др.; под ред. Н. С. Ачеркана. В 2 кн. — 2-е изд., перераб. и доп. — Кн. 2: — М.: Машгиз, 1954. — 560 с.
2. Пархиловский, И.Г. Автомобильные листовые рессоры. Теория, расчет и испытания / И.Г. Пархиловский. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1978. — 227 с.
3. Дашенко, А.Ф. ANSYS в задачах инженерной механики / А.Ф. Дашенко, Д.В. Лазарева, Н.Г. Сурьянинов; под ред. Н.Г. Сурьянинова. — Одесса: Астропринт, 2007. — 484 с.

References

1. Belyaev, V.N. Detali mashin: Sb. materialov po raschetu i konstruirovaniyu [Machine Parts: Collected materials on calculation and design] / V.N. Belyaev, V.L. Biderman, L.S. Borovich and others; edited by N.S. Acherkan. In 2 books — 2nd edition, revised and enlarged. — Kn.2 [Book 2]: — Moscow, 1954. — 560 p.
2. Parkhilovskiy, I.G. Avtomobilnye listovye resory. Teoriya, raschet i ispytaniya [Automobile Leaf Springs. Theory, Calculation and Testing] / I.G. Parkhilovskiy. — 2nd edition, revised and enlarged. — Moscow, 1978. — 227 p.
3. Dashchenko, A.F.: ANSYS v zadachakh inzhenernoy mekhaniki [ANSYS in Engineering Mechanics Problems] / A.F. Dashenko, D.V. Lazareva, N.G. Suryaninov; edited by N.G. Suryaninov. — Odessa, 2007. — 484 p.

Рецензент д-р техн. наук., проф. Одес. нац. политехн. ун-та Оробей В.Ф.

Поступила в редакцию 15 марта 2012 г.