

УДК 629.083

DOI 10.25198/2077-7175-2018-10-81

Никита Андреевич Землянушов, инженер, аспирант, направление подготовки 23.06.01 Техника и техно-логии наземного транспорта, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»
e-mail: nikita3535@mail.ru

К АНАЛИЗУ ОТКАЗОВ АГРЕГАТОВ И СИСТЕМ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, ВЫЗВАННЫХ РЕЛАКСАЦИЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПРУЖИН

Цель работы состоит в постановке задач исследования по обеспечению ресурсосбережения и повышению эксплуатационной надежности агрегатов и систем автотранспортных средств путём совершенствования технологии восстановления автомобильных пружин.

Актуальность исследования обусловлена тем, что на автомобильные пружины приходится до 18,2% отказов агрегатов и систем, в устройство которых они входят.

Методы исследования: сбор и анализ статистических данных распределения отказов по агрегатам и системам автотранспортных средств на основании литературного обзора и изученной технической документации ООО КПК «Автокрансервис» города Ставрополя.

Результаты: выполнен анализ отказов агрегатов и систем автотранспортных средств, вызванных потерей силовых и геометрических параметров автомобильных пружин либо их поломкой, сформулированы цель и задачи исследования.

Ключевые слова: автомобильные пружины, релаксация пружин, силовые и геометрические параметры пружин, дефект, отказ.

Согласно экспериментальным исследованиям, причины проявления отказов автомобилей распределяются следующим образом: на долю изнашивания приходится 40%, пластической деформации – 26%, усталостного разрушения – 18%, температурного разрушения – 12%, прочих – 4% [1]. При эксплуатации автомобилей изменяется техническое состояние агрегатов узлов и механизмов, которое, во многом определяется ресурсом их пружин. В процессе работы автомобильные пружины подвергаются значительным циклическим (в том числе контактными) и статическим нагрузкам, нагреву и другим неблагоприятным факторам. В пружинах возникают значительные остаточные деформации, скрытые дефекты металла, чрезмерные осадки, поломки.

Основная неисправность автомобильных пружин – релаксация (потеря их первоначально заданной жёсткости, высоты и рабочей нагрузки F_2). Потеря нагрузки может превысить допуск на нагрузку, тем самым вызвав отказ агрегата или системы автомобиля. Примером отказа может являться недопустимая потеря нагрузки клапанных пружин (рисунок 1) газораспределительного механизма (ГРМ), которая приводит к снижению качества газообмена ДВС, вследствие чего снижается его мощность. Уменьшение рабочей нагрузки или поломка пружины (пружина кручения) ролика натяжителя ремня ГРМ приводит к биению ремня, что в свою очередь может спровоцировать его обрыв. Потеря упругости пружины бензонасоса прерывает подачу топлива в топливной системе. Снижение рабочей нагрузки пружин форсунок дизельных двигателей нарушает давление и момент впрыска. Потеря рабочей нагрузки пружины регулятора опережения зажигания приводит к неправильной его работе или к отказу системы зажигания. Причинами непол-

ного включения сцепления могут являться потеря нагрузки пружины муфты выключения, нажимных периферийных пружин нажимного диска либо полная их поломка. Самопроизвольное выключение передач вызывается потерей упругости пружин фиксаторов коробки переменных передач (КПП), а также поломкой пружины синхронизатора [7]. Потеря нагрузки пружины перепускного клапана вызывает неудовлетворительную работу амортизатора. В автомобилях оборудованных системой гидроусилителя уменьшение упругости или поломка пружины предохранительного клапана служит причиной снижения давления в системе. Поломка или снижение нагрузки ограничительной пружины тормозной системы вызывают неполное растормаживание колес и перегрев тормозных дисков.

Особое внимание следует уделять пружинам подвески легковых автомобилей, так как они являются дорогостоящими [2]. Потерявшие упругость пружины задней и передней подвесок автомобиля являются причиной преждевременного разрушения лонжеронов и кузова [3]. В процессе эксплуатации на поверхностях опорных и рабочих витков пружин подвески образуются полосы в результате контакта витков, в том числе возникают повышенные трение и нагрев, что ускоряет износ пружин. Неравномерная осадка пружин подвески является причиной крена кузова или увода автомобиля в сторону при прямолинейном движении. Превышение допуска на нагрузку пружин подвески вызывает ускоренный износ амортизаторов, нарушение параметров установки управляемых колес (развал, сходжение, угол продольного наклона шкворня, угол поперечного наклона шкворня), снижает плавность хода автомобиля, его устойчивость при движении и управляемость.

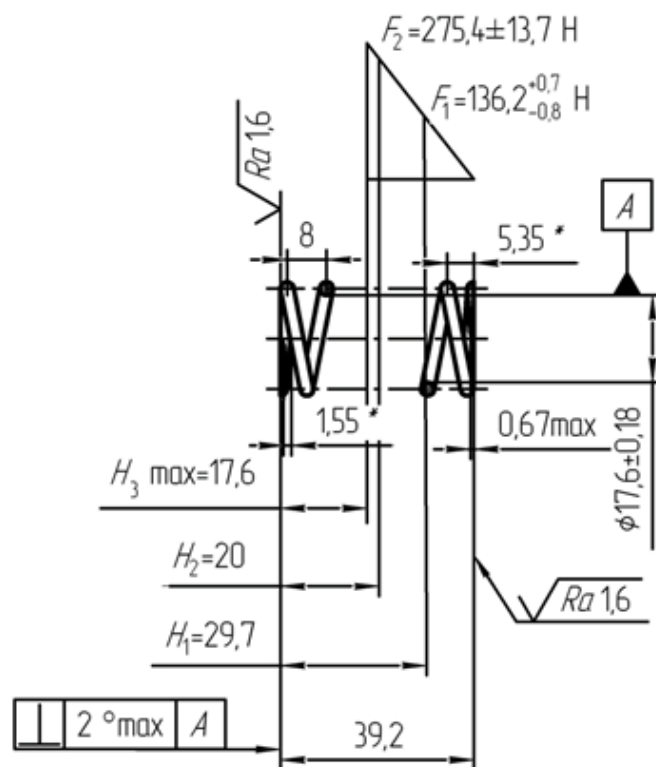


Рисунок 1. Пружина клапана внутренняя 2101-1007021 (Примечание: F_1 и F_2 – нагрузка соответственно предварительного поджатия и рабочая, H , H_1 , H_2 , H_3 – высота пружины соответственно при предварительном поджатии, при рабочей нагрузке и при сжатии до соприкосновения витков, мм)

По данным [9] ОАО «СУРА-ЛАДА» удельный вес отказов передней и задней подвесок легковых автомобилей составляет 46,6%. Основные дефекты элементов подвесок автотранспортных средств по данным ОАО «СУРА-ЛАДА» представлены в таблице 1 [9].

Таблица 1. Основные дефекты элементов подвесок автотранспортных средств по данным ОАО «СУРА-ЛАДА»

Наименование элементов	Характерные дефекты элементов подвесок	Среднее количество отказов на один автомобиль, шт.	Удельный вес, %
Пружина передней подвески и задние пружины	Осадка в свободном ненагруженном состоянии	6,0	10,36
	Искажение геометрических размеров	3,3	5,70
	Трещины	1,6	2,76
	Усталостное разрушение	1,3	2,25
Передние амортизаторы	Ослабление соединений	4,7	8,12
	Течь жидкости	15,3	26,42
Шаровые опоры	Разрушение полимерного элемента	20,0	34,54
	Усталостное разрушение в зоне крепления шарнира к рычагу	1,1	1,90
Сайлентблоки	Усталостное разрушение	3,0	5,18
Трибосопряжения задней подвески – втулки резиновые и из композиционного материала	Усталостное разрушение	1,6	2,76
Итого:		57,9	100

Согласно данным таблицы 1 на дефекты пружин передней и задней подвески приходится 21,07% отказов подвесок легковых автомобилей.

Гоночные автомобили фирмы Rockwell International испытывают значительные ударные нагрузки во время гонок, ввиду чего пружины подвески требуют частой замены [3, 12]. Так, на гоночных соревнованиях в г. Индианаполисе, США, пружины заменяли каждый раз одновременно с шинами.

Работы многих авторов посвящены изменению эксплуатационных характеристик клапанных пружин ГРМ [4, 8, 11].

Знаменским Д.В. [4] установлено, что около 33% клапанных пружин, отработавших в двух разных дизельных двигателях Д-240 в течение 3000 моточасов эксплуатации ($15,3 \times 10^7$ циклов срабатывания пружины) развивают недостаточную рабочую нагрузку F_2 . Ни одна исследованная пружина не развивает достаточной силы F_3 при сжатии до соприкосновения витков [4]. При использовании таких пружин нормальная работа газораспределительного механизма будет нарушена [4, 11], что в свою очередь ведёт к снижению мощности и экономических показателей двигателя, ускоренному износу. Поэтому во время капитального ремонта двигателя следует произвести восстановление силовых параметров отработавших пружин или заменить их новыми.

Поповым В.Я. установлено, что примерно 40,4% пружин после эксплуатации имеют упругость на 26% ниже регламентированной техническими требованиями, у 40,2% пружин снижается упругость на 35% и у 8% пружин более чем на 50% [11].

В процессе работы потерявшие упругость клапанные пружины увеличивают износ клапанного механизма, в частности, сопряжения клапан – седло [8, 11]. При такте впуска выпускные клапана, прижимаемые к седлу под действием потерявших рабочую нагрузку пружин, открываются, в цилиндр частично попадают отработавшие газы, ухудшающие процесс наполнения цилиндра свежим зарядом рабочей смеси. Помимо этого возникает несвоевременное воспламенение рабочей смеси, возврат клапана в исходное положение происходит с ударом.

В работе Лянденбургского В.В. [6] приведены экспериментальные исследования по сбору статистического материала отказов элементов грузовых автомобилей КАМАЗ в городах Пенза и Рязань. Так, на пружину толкателя топливного насоса высокого давления (ТНВД) приходится до 2,9% отказов КАМАЗ, на пружину нагнетательного клапана ТНВД – до 2,3%, на пружину форсунки – до 11,2%. В таблице 2 представлена характеристика первых отказов винтовых цилиндрических пружин топливной системы автомобилей КАМАЗ [6].

Таблица 2. Характеристика первых отказов пружин топливной системы автомобилей КАМАЗ

№ п.п.	Детали топливной системы	Пробеги, на которых произошли отказы, тыс. км	Средняя наработка на отказ, \bar{x} , тыс. км	Среднеквадратичное отклонение, σ , тыс. км	Коэффициент вариации, V
1	Пружина толкателя ТНВД	81, 150, 156	135	42,45	0,31
2	Пружина нагнетательного клапана ТНВД	86, 152, 154, 204			
3	Пружина форсунки	83, 153			

На предприятии ООО КПК «Автокрансервис», г. Ставрополь, при проведении ремонтных работ установлено [3, 10] что в условиях эксплуатации «Подъемника автомобильного гидравлического» В-28 возникает аварийная ситуация по причине разрушения или чрезмерной осадки пружин гидрозамков подъемника (рисунок 2).

Для получения информации по исследуемой теме на основании заказ-нарядов и дефектных ведомостей по ремонту транспортных средств проведено изучение обращений в ООО КПК «Автокран-

сервис» (г. Ставрополь) с целью ремонта. В течение 2016 и 2017 годов на предприятие поступило 219 грузовых автомобилей (ГАЗ, ЗИЛ, КамАЗ, УРАЛ, Daewoo и др.), 181 легковых автомобилей (ВАЗ, ИЖ, ГАЗ, Nissan, Chevrolet и др.) и 36 пассажирских автомобилей (ГАЗ, ЛАЗ, ПАЗ и др.). Выполнен сбор статистических данных отказов агрегатов и систем грузовых (таблица 3), легковых (таблица 4) и пассажирских (таблица 5) автомобилей, вызванных релаксацией пружин, поступивших на данное предприятие.



Рисунок 2. Дефектные пружины гидрозамков подъемника

Таблица 3. Статистика отказов агрегатов и систем грузовых автомобилей, содержащих пружины по данным ООО КПК «Автокрансервис» в течение 2016–2017 гг.

№ п.п.	Агрегаты и системы	Суммарное количество отказов, шт.	Количество отказов системы, вызванных релаксацией пружин, шт.	Доля отказов, вызванных релаксацией пружин, %
1	Двигатель:			
1.1	ГРМ	3	–	–
1.2	Топливная система	30	5	16,7
1.3	Система зажигания	9	2	22,2
1.4	Система охлаждения	6	1	16,7
2	Сцепление	14	3	21,4
3	КПП	6	1	16,7
4	Передняя подвеска	–	–	–
5	Задняя подвеска	–	–	–
6	Рулевое управление	1	–	–
7	Тормозная система	6	1	16,7
Всего:		75	13	17,3

Таблица 4. Статистика отказов агрегатов и систем легковых автомобилей, содержащих пружины по данным ООО КПК «Автокрансервис» в течение 2016–2017 гг.

№ п.п.	Агрегаты и системы	Суммарное количество отказов, шт.	Количество отказов системы, вызванных релаксацией пружин, шт.	Доля отказов, вызванных релаксацией пружин, %
1	Двигатель:			
1.1	ГРМ	6	1	16,7
1.2	Топливная система	4	1	25,0
1.3	Система зажигания	4	–	–
1.4	Система охлаждения	1	–	–
2	Сцепление	7	1	14,3

ТРАНСПОРТ

№ п.п.	Агрегаты и системы	Суммарное количество отказов, шт.	Количество отказов системы, вызванных релаксацией пружин, шт.	Доля отказов, вызванных релаксацией пружин, %
3	КПП	10	2	20,0
4	Передняя подвеска	12	2	16,7
5	Задняя подвеска	8	2	25,0
6	Рулевое управление	–	–	–
7	Тормозная система	–	–	–
Всего:		52	9	17,3

Таблица 5. Статистика отказов агрегатов и систем пассажирских автомобилей, содержащих пружины по данным ООО КПК «Автокрансервис» в течение 2016-2017 гг.

№ п.п.	Агрегаты и системы	Суммарное количество отказов, шт.	Количество отказов системы, вызванных релаксацией пружин, шт.	Доля отказов, вызванных релаксацией пружин, %
1	Двигатель:			
1.1	ГРМ	2	1	50,0
1.2	Топливная система	3	1	33,3
1.3	Система зажигания	–	–	–
1.4	Система охлаждения	–	–	–
2	Сцепление	3	1	33,3
3	КПП	1	–	–
4	Передняя подвеска	3	1	33,3
5	Задняя подвеска	–	–	–
6	Рулевое управление	–	–	–
7	Тормозная система	4	–	–
Всего:		16	4	25,0

Из таблиц 3, 4, 5 видно, что на релаксацию автомобильных пружин приходится до 18,2% отказов агрегатов и систем, в устройство которых они входят.

Изношенные пружины следует заменять новыми или восстановленными. При использовании деталей (пружины), требующих восстановления, стоимость их установки с учетом восстановления не превысит 40% цены новых деталей, тогда как установка новых деталей обойдется в 110...150% собственной стоимости деталей [5].

Стоимость большинства автомобильных пружин относительно невелика (например, пружины клапанов автомобилей ВАЗ от 800 до 950 рублей за комплект). Дорогостоящими автомобильными пружинами являются пружины дорожной и строительной техники (стоимостью до 5000 рублей и выше), а также пружины подвесок легковых автомобилей

(стоимостью от 2000 до 3630 рублей за комплект) [2]. Стоимость комплекта усиленных пружин клапана Opel доходит до 7500 рублей.

Целью исследования является ресурсосбережение и повышение эксплуатационной надежности агрегатов и систем автотранспортных средств путём совершенствования технологии восстановления автомобильных пружин.

Задачами исследования являются:

- теоретическое обоснование и усовершенствование способа восстановления пружин, используемых в автомобильном транспорте;
- разработка технологии восстановления автомобильных пружин из предварительно упрочненной пружинной проволоки с применением низкотемпературного термомеханического упрочнения, дробеметной обработки и контактного заневоливания;

– экспериментальное обоснование предлагаемого способа восстановления пружин (в качестве макета использовать клапанные пружины автомобилей ВАЗ);

– обоснование экономической целесообразности восстановления пружин, используемых в автомобильном транспорте применением разработанной технологии.

В настоящее время предлагается методика определения параметров пружины при восстановлении с учетом совместных операций пластического упрочнения – дробеметной обработки и контактного заневоливания, учтено увеличение предела текучести материала пружинной проволоки в упрочненной зоне [2]. Следует установить взаимосвязь между параметрами пружин при восстановлении с использованием только контактного заневоливания

и с использованием дробеметной обработки и контактного заневоливания.

Кроме того, операции пластического упрочнения применяют при производстве пружин. Из обзора иностранных источников известно, что снижение массы клапанной пружины на 1 г (т.е. примерно на 2%) дает возможность снизить расход горючего на 0,2% за счет уменьшения потерь на трение в кулачках и увеличить число оборотов двигателя на 100–200 оборотов в минуту [13]. Миниатюризация пружин клапана позволяет уменьшить высоту и массу двигателя. В связи с этим, теоретическое обоснование дробеметной обработки и контактного заневоливания являются актуальными и для совершенствования технологии производства автомобильных пружин.

Литература

1. Бондаренко, Е.В. Обеспечение безопасности автотранспортных средств с учетом технического состояния элементов электрооборудования / Е.С. Сидорин, Е.В. Бондаренко, Р.Х. Хасанов, В.С. Голованов // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – № 2 (37). – С. 100-107.
2. Землянушнов, Н.А. К теоретическому обоснованию восстановления автомобильных пружин из упрочненной проволоки / Н.А. Землянушнов, Н.Ю. Землянушнова // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2018. – № 5. – С. 68-79.
3. Землянушнова, Н.Ю. Расчёт винтовых цилиндрических пружин сжатия при контактном заневоливания: монография / Н.Ю. Землянушнова. – Ставрополь: АГРУС, 2008. – 136 с.
4. Знаменский, Д.В. Исследование изменения характеристик клапанных пружин при эксплуатации / Д.В. Знаменский, Н.Ю. Землянушнова, В.В. Фадеев // Вестник АПК Ставрополья. – Ставрополь. – 2014. – № 2 (14). – С. 43-47.
5. Катаргин, В.Н. Анализ применимости и целесообразности восстановительного ремонта агрегатов автомобилей в современных условиях / В.Н. Катаргин, И.С. Писарев, С.В. Хмельницкий // Грузовик. – 2013. – № 6. – С. 20-23.
6. Лянденбургский, В.В. Анализ первичных неисправностей топливной аппаратуры дизелей / В.В. Лянденбургский, С.А. Кривобок, И.В. Кучин // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – № 4 (43). – С. 13-18.
7. Лянденбургский, В.В. Определение неисправностей коробки передач автомобилей встроенными средствами диагностирования / В.В. Лянденбургский, М.В. Нефёдов, В.Н. Боровков // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Международной научно-технической конференции 16 апреля 2017 г., Тюмень / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Тюменский индустриальный университет». – Тюмень, 2015. – С. 190-193.
8. Мкртумян, В.С. Исследование работы клапанных пружин и разработка рационального способа их восстановления: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Мкртумян Ваган Семенович. – Москва, 1958. – 196 с.
9. Родионов, Ю.В. Анализ причин отказов шаровых опор легковых автомобилей / Ю.В. Родионов, А.А. Войнов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2017. – № 4. – С. 79-83.
10. Хальфин, М.Н. Повышение ресурса пружины гидрозамка подъемника автомобильного / М.Н. Хальфин, Н.Ю. Землянушнова // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: материалы. Международной науч.-практ. конф. 15 мая 2006 г., Ставрополь / М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования «Ставропольский гос. аграрный ун-т.». – Ставрополь, 2006. – Ч. 2. – С. 143-147.
11. Элькин, С.Ю. Разработка технологии восстановления клапанных пружин двигателей мобильной сельскохозяйственной техники с использованием электромеханической обработки: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03. – Саратов, 1984. – 198 с.
12. Mincer, J. Rockwell springs / J. Mincer // Automotive Industries. – 1988. – Vol. 1. – pp. 9-10.
13. Tomokazu Masudra. High Tensile Valve Spring Steel in Kobe Steel // 8-th international congress of spring industry (ESF 8), September 2015, Prague, Czech.