

ТРАНСПОРТ

УДК 629.083: 62-272.22

DOI: 10.25198/2077-7175-2020-2-100

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА ВОССТАНОВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ПРУЖИН

Н. А. Землянушнов¹, Н. Ю. Землянушнова²

Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

¹e-mail: nikita3535@mail.ru

²e-mail: zemlyanushnova@rambler.ru

Аннотация. Исследования в области совершенствования методов ремонта деталей и агрегатов направлены на решение актуальной научной задачи повышения эффективности эксплуатации автомобильного транспорта. Значимыми деталями в устройстве автотранспортных средств являются винтовые цилиндрические пружины. Пружины входят в устройство газораспределительных механизмов, форсунок, топливных насосов высокого давления, тормозных систем, коробок перемены передач, сцеплений, передней и задней подвесок и др. В процессе технической эксплуатации автомобилей пружины подвергаются значительным температурным, статическим и циклическим (в том числе контактными) нагрузкам и другим неблагоприятным факторам. В пружинах развиваются скрытые дефекты металла, возникают недопустимые остаточные деформации и потеря рабочей нагрузки. Известные способы восстановления пружин имеют недостатки, являются трудоемкими и требуют значительных материальных ресурсов, поэтому не нашли широкого применения в ремонтной практике. Повышение качества восстанавливаемых пружин предприятиями ремонтного производства позволит повысить эксплуатационную надежность узлов и агрегатов автомобилей и эффективность их ремонта. При восстановлении пружин рекомендуется использовать методы термомеханической обработки в сочетании с контактными заневоливанием и дробеструйной обработкой.

Целью исследования является повышение эффективности эксплуатации автомобильной техники за счет совершенствования существующих способов восстановления эксплуатационных свойств пружин. Предложен новый способ восстановления пружин из предварительно упрочненной проволоки, преимущество которого относительно известных способов заключается в расширении технологических возможностей и повышении качества восстановленных пружин. Научная новизна способа заключается в том, что после дробеструйной обработки производят отпуск пружины при температуре меньше или равной 220 °С в течение 30 минут, а последующую пресовку пружины выполняют при температуре 200...250 °С осевой нагрузкой для пружин, работающих без контакта витков $10F_3$ (F_3 – сила пружины при соприкосновении витков), для пружин, работающих с контактом витков нагрузкой на 5% превышающей нагрузку на пружину в изделии, но не меньше, чем $10F_3$. Предложенный способ может быть использован при восстановлении пружин автотранспортных средств. Направлениями дальнейших исследований являются теоретическое и экспериментальное обоснование предложенного способа.

Ключевые слова: пружины автомобиля, восстановление, отпуск, пластическое упрочнение, дробеструйная обработка, контактное заневоливание.

Для цитирования: Землянушнов Н. А., Землянушнова Н. Ю. Совершенствование способа восстановления автомобильных пружин // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2020. – № 2. – С. 100–106. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-2-100.

IMPROVEMENT OF THE METHOD OF AUTOMOBILE SPRINGS RECOVERING

N. A. Zemlyanushnov¹, N. Y. Zemlyanushnova²

North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

¹e-mail: nikita3535@mail.ru

²e-mail: zemlyanushnova @rambler.ru

Abstract. Research in the field of improvement of methods of repair of details and units aimed at solving the actual scientific problem of efficiency upgrading of automobile transport exploitation. Significant details in the device of modern motor vehicles are helical cylindrical springs. Springs are included in gas distribution mechanisms, atomizing nozzles, high-pressure fuel pumps, brake systems, speed-change gearboxes, clutches, front and rear suspension and others. Springs are subjected to significant thermal, static and cyclic (including contact) loads and other adverse factors in the process of technical operation of cars. In springs hidden defects of metal are developed, unacceptable residual deformations and loss of workload are arise. Known methods for recovering springs have disadvantages, are labor-intensive and require significant material resources, so they have not been widely used in repair practice. Improving the quality of recovering springs by repair production companies will improve the operational reliability of vehicle components and assemblies and the efficiency of their repair. Methods of thermomechanical treatment in combination with contact predeformation and peen hardening are recommended to use when recovering of springs.

The purpose of the study is to increase the efficiency of automotive equipment operation by improving existing methods for recovering the operational properties of springs. A new method of spring recovering from previously hardened wire is offered. The advantage of new method, in relation to the known ones, is in the extension of technological capability and improving quality of recovering springs. The scientific novelty of the method is that after peen hardening of spring tempering perform at a temperature less than or equal to 220 °C within 30 minutes, after that the spring is pressed at 200...250 °C by axial compression $10F_3$ (F_3 – spring force at the time coils contact) load for the springs operating without coils contact and by 5 per cent exceeding the spring load in the workpiece but not less than $10F_3$ for the springs operating with coils contact. The proposed method can be used to restore the springs of motor vehicles. The directions of further research are the theoretical and experimental justification of the proposed method.

Keywords: automobile springs, recovery, tempering, plastic hardening, peen hardening, contact predeformation.

Cite as: Zemlyanushnov, N. A., Zemlyanushnova, N. Yu. (2020) [Improvement of the method of automobile springs recovering]. *Intellect. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 2, pp. 100–106. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-2-100.

Введение

Актуальной научной задачей является повышение эффективности эксплуатации и обеспечение работоспособности автомобильного транспорта, на решение которой направлены исследования в области совершенствования методов ремонта деталей, агрегатов и систем.

Существует два направления ремонта машин и механизмов: замена отказавших крупных сборочных единиц и организация восстановительного ремонта отдельных деталей [8]. Второе направление является более предпочтительным, так как при использовании восстановленных деталей, стоимость их установки с учетом восстановления не превысит 40% цены новых деталей, тогда как установка новых деталей с учетом их себестоимости обойдется в 110...150% [8].

В конструкции современных транспортных средств широко применяются пружины. Пружина – упругая деталь, как правило, изготавливаемая из упрочненной проволоки, используемая для накопления и хранения механической энергии [16]. Одним из главных потребителей этой продукции является автомобильный транспорт, и улучшение эксплуатационных характеристик пружин в небольшой степени стимулируется требованиями именно этого вида транспорта по повышению надежности и точности пружин [9]. Большое внимание уделяется высоконагруженным пружинам автомобильного транспорта, например, клапанов двигателей вну-

тренного сгорания (ДВС), топливной аппаратуры дизелей, подвесок и др., работающим при больших скоростях нагружения с соударениями витков или при статической малоцикловой контактной нагрузке между витками, превышающей силу сжатия пружины [14, 15, 17].

Основной неисправностью винтовых цилиндрических пружин является релаксация, т.е. потеря их первоначально заданных силовых и геометрических параметров. Уменьшение рабочей нагрузки пружин может превысить допустимые отклонения, тем самым вызвав потерю работоспособности узлов, агрегатов и систем автомобилей.

Особое внимание следует уделять дорогостоящим пружинам подвески легковых автомобилей [3, 7]. Пружины подвески играют первостепенную роль предотвращения разрушения автомобильных конструкций, так как выдерживают большую часть вибраций от дорожных покрытий, что способствует их усталостному разрушению. Осадка пружин передней и задней подвесок в результате соударения витков сопровождается изменением положения кузова автомобиля относительно опорной поверхности. Потерявшие упругость пружины подвески могут служить причиной кратковременного снижения силы реакции опоры либо отрыва колеса от опорной поверхности при движении по дороге с неровностями профиля. В результате в режимах торможения и поворота, либо в самом экстремальном режиме торможения в повороте произойдет ухуд-

шение траекторной и курсовой устойчивости, увеличится тормозной путь автомобиля. Так же осевшие пружины служат причиной нарушения углов установки управляющих колёс, что ведет к ускоренному износу шин. Указанные факторы служат причинами разрушения лонжеронов и кузова, а так же снижают плавность хода и активную безопасность транспортных средств, в экстремальном случае может произойти заклинивание амортизатора.

Пружины клапанов ДВС работают в условиях высоких температур при больших скоростях нагружения с соударением витков. Потеря упругости клапанных пружин приводит к нарушениям следующих основных требований в работе газораспределительного механизма (ГРМ):

- 1) в период закрытия клапана должен быть обеспечен плотный контакт сопряжения клапан-седло;
- 2) не допускается разрыв сопряжения клапан-толкатель;
- 3) не допускается разрыв сопряжения кулачок-толкатель;
- 4) не допускаются вибрации пружин.

В результате размыкания клапанного механизма (разрыва сопряжений кулачок-толкатель, клапан-толкатель) происходит соударение деталей ГРМ, повышается уровень шума и ускоряется износ соударяющихся поверхностей. Нарушение указанных требований влечет за собой изменение фаз газораспределения, повышение расхода топлива и ухудшение мощностных характеристик ДВС [5].

Во время капитального ремонта автомобиля следует произвести восстановление силовых параметров отработавших пружин, что в ряде случаев окажется экономически более эффективным, чем замена пружин на новые. Актуальной проблемой при восстановлении пружин является повышение их эксплуатационных характеристик – предела упругости, сопротивления релаксации и ползучести, в т.ч. при повышенных температурах, усталостной прочности.

Качество восстанавливаемых пружин влияет на эксплуатационные параметры автомобилей. Поэтому способ восстановления пружин должен гарантировать стабилизацию силовых параметров пружин. Это может быть достигнуто применением упрочняющих операций при восстановлении пружин, таких как дробеструйная обработка и контактное заневоливание. Изучение влияния параметров упрочнения пружин при восстановлении на эксплуатационные свойства автомобилей является научной задачей, которую можно решить путем совершенствования, экспериментального и теоретического обоснования

известных способов восстановления автомобильных пружин.

Краткий анализ известных способов восстановления пружин

Для восстановления упругих свойств винтовых цилиндрических пружин сжатия известны следующие способы [1, 2, 11, 12].

Известен способ восстановления параметров пружин отстукиванием молотком¹. Способ рекомендуется применять только в аварийных ситуациях.

Известен способ восстановления параметров пружин подкладкой шайб¹. Однако при данном способе уменьшается шаг пружины, что может привести к избыточному соударению витков, к разрушению самих пружин и других деталей. Уменьшение высоты пружины приводит к потере запаса прочности и к сокращению времени её работоспособного состояния.

Способ восстановления пружин контактным нагревом¹ включает растяжение пружины в специальном приспособлении, нагрев её пропуском электрического тока в течение 5...20 секунд, охлаждение в масле с последующим отпуском. При исследовании данного способа Кагнером Ю.А.² подробно рассмотрены вопросы влияния клапанных пружин на параметры ДВС, получена зависимость мощности двигателя от упругости пружин, разработан технологический процесс восстановления широкой номенклатуры пружин, выполнен анализ качественных и количественных характеристик пружин ремонтного фонда.

Известен электроконтактный способ восстановления пружин [1]. Данный способ не исправляет перпендикулярность торцов пружины к её оси или разный шаг между витками. Во время эксплуатации это приводит к неравномерному распределению нагрузки между витками и вызывает в наиболее нагруженных витках превышающие допустимые напряжения и деформации, что, как и низкая производительность способа, являются недостатком [2].

Способ восстановления упругости пружины [2] включает растяжение пружины, нагрев и охлаждение. Недостатками этого способа являются его длительность, невозможность исправить перпендикулярность торцов, неравномерный нагрев пружины при закаливании, отсутствие отпуска и дробеструйной обработки после закалки, отсутствие заневоливания, отсутствие защиты поверхности пружины от обезуглероживания.

Предварительно упрочненная (закаленная и отпущенная) пружинная проволока применяется при

¹ Элькин, С. Ю. Разработка технологии восстановления клапанных пружин двигателей мобильной сельскохозяйственной техники с использованием электрохимической обработки: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Элькин Сергей Юрьевич. – Саратов, 1984. – 196 с.

² Кагнер, Ю. А. Исследование и разработка способа восстановления пружин тракторов, автомобилей и сельхозмашин: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Кагнер Юрий Авиодорович. – Москва, 1981. – 185 с.

изготовлении пружин клапанов, подвесок и топливной аппаратуры автомобилей [9]. Рассмотрим способ восстановления пружин из упрочненной обычно патентированной или закаленной и отпущенной пружинной проволоки [12]. Пружину растягивают на оправке с шагом витков (рисунок 1), превышающем шаг готовой пружины, нагревают до температуры отпуска 400...420 °С и производят отпуск на оправке в растянутом состоянии. Затем

производят дробеструйный наклеп, повторный отпуск при температуре 230...250 °С и прессовку пружины (рисунок 2) осевой нагрузкой, составляющей 10...300 F_3 (F_3 – сила пружины при соприкосновении витков). Возможно после дробеструйного наклепа пластически упрочнить (прессовать) нагретую до температуры 230...250 °С пружину, исключив повторный отпуск. Нагрузку можно прилагать вибрационно.

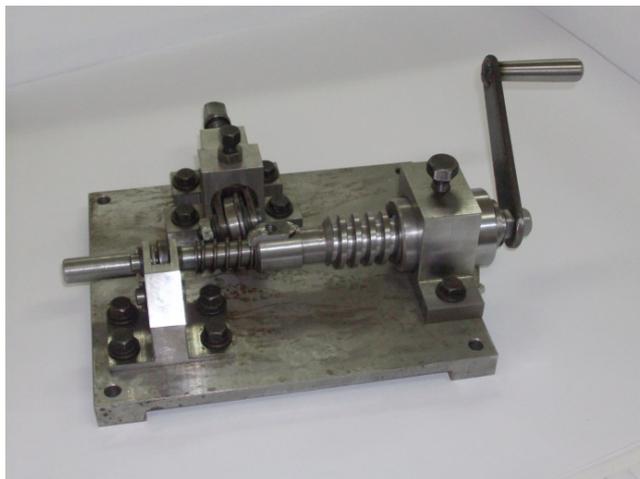


Рисунок 1. Растяжение пружины на оправке

Недостатком способа является то, что повторный отпуск после дробеструйного наклепа проводят при температуре 230...250 °С. Это предельная температура, при которой можно проводить отпуск после дробеструйного наклепа [10], после чего при повышении температуры произойдет снижение эф-

фекта от дробеструйного наклепа. Для предотвращения разупрочнения после дробеструйного наклепа рекомендовано проводить низкотемпературный отпуск при температуре 180...220 °С в течение 30 минут [10] для искусственного ускоренного старения наклепанного слоя.



а)



б)

Рисунок 2. Пружина, установленная в устройство для заневоливания: а) до прессовки; б) в процессе прессовки

Недостатком является и то, что пружину затем или прессуют нагрузкой $10...300F_3$ не нагретую, или прессуют нагретую пружину до температуры $230...250\text{ }^\circ\text{C}$, исключив повторный отпуск. Для обеспечения стабилизации силовых параметров пружины следует проводить повторный отпуск после дробеструйного наклепа при температуре меньше или равной $220\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 30 минут, а для последующего пластического упрочнения (прессовки) рекомендовано нагревать пружину до температуры $200...250\text{ }^\circ\text{C}$ [10]. Время прессовки $1,5...2$ секунды.

Кроме того для пружин, работающих без контакта витков, рекомендуется выполнять прессовку нагрузкой $10F_3$ [6]. Для пружин, работающих с контактом витков, нагрузка прессовки должна на 5% превышать нагрузку на пружину в изделии [4, 6].

Известные способы имеют недостатки, снижающие качество восстанавливаемых пружин, являются трудоёмкими и требуют значительных материальных ресурсов.

Усовершенствованный способ восстановления пружин

Эффективными операциями упрочнения пружин являются: контактное заневоливание, заключающееся в дополнительном сжатии витков пружины после их соприкосновения и дробеструйная обработка, производимая на механических дробемётных установках стальной или чугуновой дробью. При восстановлении пружин рекомендуется использовать методы термомеханической обработки в сочетании с контактным заневоливанием и дробеструйной обработкой [6].

Для устранения указанных недостатков предлагаем усовершенствовать способ восстановления пружин из упрочнённой проволоки. Прошедшую промывку и контроль силовых и геометрических параметров осевшую и потерявшую упругость пружину необходимо растянуть на оправке с шагом, превышающим шаг готовой пружины, нагреть до температуры $400...420\text{ }^\circ\text{C}$ и произвести отпуск растянутой на оправке пружины, дробеструйную обработку, повторный отпуск при температуре $180...220\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 30 минут, после чего произвести прессовку пружины при температуре $200...250\text{ }^\circ\text{C}$ осевой нагрузкой для пружин, работающих без контакта витков $10F_3$, а для пружин, работающих с контактом витков нагрузкой на 5% превышающей нагрузку на пружину в изделии, но не меньше, чем $10F_3$. Время прессовки $1,5...2$ секунды. Нагрузки могут быть вибрационными. При повышенных требованиях к силовым

параметрам необходима правка пружины.

Научная новизна способа заключается в том, что после дробеструйной обработки производят отпуск пружины при температуре меньше или равной $220\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 30 минут, а последующую прессовку пружины выполняют при температуре $200...250\text{ }^\circ\text{C}$ осевой нагрузкой для пружин, работающих без контакта витков $10F_3$, для пружин, работающих с контактом витков нагрузкой на 5% превышающей нагрузку на пружину в изделии, но не меньше, чем $10F_3$.

При данной последовательности операций низкотемпературный отпуск после дробеструйного упрочнения стабилизирует силовые параметры пружин без риска их разупрочнения. Прессовка пружин при повышенной температуре сопровождается структурными изменениями в деформированном слое с соответствующим повышением его твердости и прочности, образованием благоприятных остаточных напряжений сжатия и формированием качественно новой макро- и микрогеометрии поверхности материала пружин [13]. Гарантируется увеличение ресурса пружин, повышается точность пружин по длине и нагрузке.

Методика определения припуска и параметров пружин при пластическом упрочнении известна [6].

Заключение

Усовершенствован способ восстановления пружин из упрочнённой проволоки. Преимущество усовершенствованного способа относительно известных заключается в расширении технологических возможностей, повышении качества пружин из предварительно упрочнённой проволоки. Практическая значимость способа заключается в возможности применения его в ремонтном производстве автомобильной техники.

С целью получения наибольшего экономического эффекта предложенный способ рекомендуется применять при разработке технологий восстановления пружин подвески автомобилей, с учетом обеспечения заданной для данного автомобиля плавности хода.

Направлениями дальнейших исследований является теоретическое и экспериментальное обоснование способа восстановления дорогостоящих винтовых цилиндрических пружин сжатия, используемых в подвеске транспортных средств, с применением термомеханической обработки, дробеструйного упрочнения и контактного заневоливания с учетом обеспечения заданной для данного автомобиля плавности хода.

Литература

1. Пат. 1502633 Российская Федерация, МПК С 21 В 21 D 9/02, F 35/00. Кагнер Ю. А., Долматов В. Н., Хохлаков В. Н., Величко В. Г., Четверкин В. И. Установка для восстановления упругости пружин. – 2549204/22; заявлено 28.11.77; опубл. 15.06.80. 1980, бюл № 22. – 4 с.

2. Пат. 1055574 Российская Федерация, МПК С 21 В 21, F 35/00 D 9/02. Элькин С. Ю., Шашкин А. Л. Способ восстановления упругости пружины. – 3380595/25-12; заявлено 14.01.82; опубл. 24.11.83. – 1983, бюл. № 43. – 4 с.
3. Баженов Ю. В. Исследование надежности подвесок автомобиля Lada Kalina в эксплуатации / Ю. В. Баженов, М. Ю. Баженов // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – № 1(60). – С. 9–15.
4. Блинник С. И. Расчет пружин в связи с их заневоливанием / С. И. Блинник // Новые методы расчета пружин / Под общей редакцией Пономарева С. Д. – М.: МАШГИЗ, 1946. – С. 26–46.
5. Гребенников С. А. Изменение технического состояния и способ диагностирования механизма газораспределения ДВС / С. А. Гребенников, М. Г. Петров, А. С. Гребенников // Автомобильная промышленность. – 2011. – № 9. – С. 25–30.
6. 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.
7. Землянушнов Н. А. Теоретическое исследование влияния дробеметной обработки на осадку пружин подвески автотранспортных средств при восстановлении / Н. А. Землянушнов, Н. Ю. Землянушнова // Мир транспорта и технологических машин. – 2019. – № 3(66). – С. 26–33.
8. 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.
9. Крымчанский И. И. Пружинная проволока в мировой и отечественной промышленности / И. И. Крымчанский // Пружины. – 2016. – № 1. – С. 19–26.
10. Лавриненко Ю. А. Упрочнение пружин / Ю. А. Лавриненко, Е. Г. Белков, В. В. Фадеев // Уфа: Изд. Дом «Бизнес-Партнер», 2002. – 124 с.
11. Пат. 2396139 Российская Федерация, МПК В 21 F 35/00, G 21 D 9/02. Способ и устройство для восстановления рабочих параметров силовой пружины сжатия / Поляков Ф.С.; заявитель и патентообладатель: Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». – № 2008131008/02; заявл. 10.02.2010; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 22. – 6 с.
12. Пат. 2462324 Российская Федерация, МПК В 21 F 35/00. Способ восстановления пружин / Землянушнова Н. Ю., Фадеев В. В., Тебенко Ю. М., Землянушнов Н. А.; заявитель и патентообладатель: Землянушнова Надежда Юрьевна. – № 2011123253/02; заявл. 08.06.2011; опубл. 27.09.2012, Бюл. № 27 – 4 с.
13. Рахштадт А. Г. Пружинные стали и сплавы / А. Г. Рахштадт. – Москва: Металлургия, 1982. – 400 с.
14. Тебенко Ю. М. Способы пластического упрочнения пружин / Ю. М. Тебенко // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2006. – № 1. – С. 37–40.
15. Kong, Y. S., Abdullah, S., Schramm, D., Omar, M. Z., Haris, S. M. (2019) Development of multiple linear regression-based models for fatigue life evaluation of automotive coil springs. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 118, pp. 675–695.
16. Kumar K., Aggarwal M. L. (2015) A comparative study for a three layer EN45A parabolic leaf spring Engineering Solid Mechanics. *Fatigue life prediction*, 3(3), pp. 157–166.
17. Zhu Y., Wang Y., Huang Y. (2014) Failure analysis of a helical compression spring for a heavy vehicle's suspension system *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, 2 (2), pp. 169–173.

References

1. Inventor's certificate 740842 USSR, C21B 9/02. Installation to restore the elasticity of the springs / Kagner Y. A., Dolmatov V. N., Khokhriakov V. N., Velichko V. G., Chetverkin V. I. – 2549204/22; announced on 28.11.77; published on 15.06.80. Bulletin Number 22 1980. – 4 p.
2. Inventor's certificate 1055574 SU, B 21F 35/00. Method to restore the elasticity of the spring / Elkin S. Y., Shashkin A. L. – 3380595/25-12; announced on 14.01.82; published on 24.11.83. Bulletin Number 43, 1983. – 4 p.
3. Bazhenov, Y. V., Bazhenov, M. Y. (2018) [Research of reliability of suspenders of the Lada Kalina car in operation]. *Mir transporta I tekhnologicheskikh mashin* [World of transport and technological machines]. Vol. 1(60), pp. 9–15. (In Russ.).
4. Blinnik, S. I. (1946). [Calculation of springs in regard their predeformation]. *Novye metody raschyota pruzhin / Pod obshchej redakciej Ponomareva S. D.* [New methods for calculation of springs / Under the general editorship of Ponomarev S.D.]. Moscow: MASHGIZ, pp. 26–46.
5. Grebennikov, S. A., Petrov, M. G., Grebennikov, A. S. (2011) [Change of technical condition and method of diagnosing the ICE timing mechanism]. *Avtomobil'naya promyshlennost'* [Automobile industry]. Vol. 9, pp. 25–30. (In Russ.).
6. Zemlyanushnov, N. A., Zemlyanushnova, N. Y. (2018) [Theoretical background of the technology of

automobile springs from hardened spring wire recovering]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovation. Investments]. Vol. 5, pp. 68–79. (In Russ.).

7. Zemlyanushnov, N. A., Zemlyanushnova, N. Y. (2019) [Theoretical study of peen hardening effect on springs compression of vehicle suspension during recovering]. *Mir transporta I tekhnologicheskikh mashin* [World of transport and technological machines]. Vol. 3(66), pp. 26–33. (In Russ.).

8. Katargin, V. N., Pisarev, I. S., Khmel'nitsky, S. V. (2013) [The analysis of applicability and expediency of recovery repair of units of cars in modern]. *Gruzovik* [Truck]. Vol. 6, pp. 20–23. (In Russ.).

9. Krymchanskii, I.I. (2016) [Spring wire in the global and domestic industry]. *Pruzhiny* [Springs]. Vol. 1., pp. 19–26. (In Russ.).

10. Lavrinenko, Y. A., Belkov, E. G., Fadeev, V. V. (2002) *Uprochnenie pruzhin* [Hardening of springs]. Ufa: Publishing House «Business Partner», 124 p.

11. Patent 2396139 RU, IPC B 21 F 35/00, G 21 D 9/02. Method and device for recovering the operating parameters of compression force spring / Polyakov V.S.; applicant and patentee: Open joint stock company «Russian Railways». – № 2008131008/02; announced on 10.02.2010; published on 10.08.2010, Bulletin Number 22 – 6 p.

12. Patent 2462324 RU, IPC B 21 F 35/00. Method of springs recovering / Zemlyanushnova N. Y., Fadeev V. V., Tebenko Y. M., Zemlyanushnov N. A. applicant and patentee: Zemlyanushnova Nadezhda Yur'evna. – № 2011123253/02; announced on 08.06.2011; published on 27.09.2012, Bulletin Number 27 – 4 p.

13. Rakhshadt, A. G. (1982) *Pruzhinnye stali i splavy* [Spring steels and alloys]. Moscow: Metallurgy, 400 p.

14. Tebenko, Y. M. (2006) [Methods of springs plastic hardening] *Oboronyj kompleks – nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii* [Defense complex – scientific and technical progress of Russia]. Vol. 1, pp. 37–40. (In Russ.).

15. Kong, Y. S., Abdullah, S., Schramm, D., Omar, M. Z., Haris, S. M. (2019) Development of multiple linear regression-based models for fatigue life evaluation of automotive coil springs. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 118, pp. 675–695.

16. Kumar K, Aggarwal M. L. (2015) A comparative study for a three layer EN45A parabolic leaf spring Engineering Solid Mechanics. *Fatigue life prediction*, 3(3), pp. 157–166.

17. Zhu Y., Wang Y., Huang Y. (2014) Failure analysis of a helical compression spring for a heavy vehicle's suspension system *Case Studies in Engineering Failure Analysis*, 2 (2), pp. 169–173.

Информация об авторах:

Никита Андреевич Землянушнов, аспирант, направление подготовки 23.06.01 Техника и технологии наземного транспорта, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

ORCID ID: 0000-0001-5408-4367, **Researcher ID:** AAF-6510-2019, **Scopus Author ID:** 57190684439

e-mail: nikita3535@mail.ru

Надежда Юрьевна Землянушнова, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой машиностроения и технологического оборудования, Северо-Кавказский федеральный университет, Ставрополь, Россия

Scopus Author ID: 6504564010

e-mail: zemlyanushnova@rambler.ru

Статья поступила в редакцию: 03.12.2019; принята в печать: 28.02.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Nikita Andreevich Zemlyanushnov, postgraduate student, training direction 23.06.01 Engineering and technology of overland transport, North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

ORCID ID: 0000-0001-5408-4367, **Researcher ID:** AAF-6510-2019, **Scopus Author ID:** 57190684439

e-mail: nikita3535@mail.ru

Nadezhda Yurievna Zemlyanushnova, Candidate of Technical Sciences, Head of the department of Mechanical-Engineering Technology and Technological Equipment, North Caucasus Federal University, Stavropol, Russia

Scopus Author ID: 6504564010

e-mail: zemlyanushnova@rambler.ru

The paper was submitted: 03.12.2019.

Accepted for publication: 28.02.2020.

The authors have read and approved the final manuscript.