



## ВОССТАНОВЛЕНИЕ СТАЛЬНЫХ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ МЕТОДОМ НАПЛАВКИ

Э. С. Савенко<sup>1</sup>, Н. В. Савенков<sup>2</sup>, С. Э. Савенко<sup>3</sup>

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

E-mail: <sup>1</sup> e.s.savenko@donnasa.ru, <sup>2</sup> n.v.savenkov@donnasa.ru, <sup>3</sup> savenko.s.e-zaah-52a@donnasa.ru

Получена 25 февраля 2022; принята 25 марта 2022.

**Аннотация.** В статье изложен метод восстановления стальных коленчатых валов автомобильных двигателей внутреннего сгорания за счет применения способа электродуговой наплавки по винтовой линии порошковой проволокой ПП-Нп40Х4Г2СМНТФ под флюсом АН-44У1 для шатунных шеек и восстановление коренных шеек широкослойной электродуговой наплавкой той же проволокой без применения дополнительной защитной среды, что не вызывает появления значительных деформаций укорочения коленчатых валов. В случае выполнения требований технической эксплуатации автомобильного транспорта, используя этот технологический процесс восстановления коленчатого вала автомобильного двигателя при предельном износе его коренных шеек, равном 70 мкм, можно обеспечить послеремонтный ресурс агрегата в 280 тыс. км, т. е. как у нового изделия. В работе также предложены соответствующие рациональные режимы наплавки шатунных и коренных шеек коленчатых валов двигателей автомобиля ЗИЛ-4331.

**Ключевые слова:** восстановление, наплавка, износ, ремонтный размер, коленчатый вал, термообработка, предел выносливости, износостойкость, эксплуатация, пробег, долговечность, испытание.

## ВІДНОВЛЕННЯ СТАЛЕВИХ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ МЕТОДОМ НАПЛАВЛЕННЯ

Е. С. Савенко<sup>1</sup>, М. В. Савенков<sup>2</sup>, С. Е. Савенко<sup>3</sup>

ДОН ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

E-mail: <sup>1</sup> e.s.savenko@donnasa.ru, <sup>2</sup> n.v.savenkov@donnasa.ru, <sup>3</sup> savenko.s.e-zaah-52a@donnasa.ru

Отримана 25 лютого 2022; прийнята 25 березня 2022.

**Анотація.** У статті викладено метод відновлення сталевих колінчастих валів автомобільних двигунів внутрішнього згорання за рахунок застосування способу електродугового наплавлення по гвинтовій лінії порошковим дротом ПП-Нп40Х4Г2СМНТФ під флюсом АН-44У1 для шатунних шийок та відновлення корінних шийок широкошаровим електродуговим наплавленням тим же дротом без застосування додаткового захисного середовища, що не викликає появи значних деформацій вкорочення колінчастих валів. У разі виконання вимог технічної експлуатації автомобільного транспорту, використовуючи цей технологічний процес відновлення колінчастого вала автомобільного двигуна при граничному зношенні корінних шийок, що становить 70 мкм, можна забезпечити післяремонтний ресурс 280 тис. км, тобто як у нового виробу. також у роботі запропоновані відповідні раціональні режими наплавлення шатунних та корінних шийок колінчастих валів двигунів автомобіля ЗІЛ-4331.

**Ключові слова:** відновлення, наплавлення, знос, ремонтний розмір, колінчастий вал, термообробка, межа витривалості, зносостійкість, експлуатація, пробіг, довговічність, випробування.

## RESTORATION OF STEEL CRANKSHAFTS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES BY SURFACING

Eduard Savenko<sup>1</sup>, Nikita Savenkov<sup>2</sup>, Sergey Savenko<sup>3</sup>

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavin Str., Makeevka, DPR, 83123.*

*E-mail: <sup>1</sup> e.s.savenko@donnasa.ru, <sup>2</sup> n.v.savenkov@donnasa.ru, <sup>3</sup> savenko.s.e-zaah-52a@donnasa.ru*

*Received 25 February 2022; accepted 25 March 2022.*

**Abstract.** The article describes a method for restoring steel crankshafts of internal combustion engines by using the method of electric arc surfacing along a helical line with powder wire ПП-Нп40Х4Г2СМНТФ under flux АН-44УІ for connecting rod necks, and restoring the root necks by wide-angle electric arc surfacing with the same wire without the use of an additional protective medium, does not cause significant deformations of the shortening of the crankshafts. If the requirements of technical operation are met, using this technological process of restoring the engine crankshaft with extreme wear of the root necks, Exactly 70 microns can provide a repair resource of 280 thousand km, that is, like a new product. The appropriate rational modes of surfacing of the connecting rod and main journals of the crankshafts of ZIL-4331 engines also proposes in the work.

**Keywords:** restoration, surfacing, wear, repair size, crankshaft, heat treatment, endurance limit, wear resistance, operation, mileage, durability, testing.

### Введение

Основная задача создания и повсеместного внедрения принципиально новой техники и материалов заключается в экономии сырья и топливно-энергетических ресурсов, а также во вторичном использовании материальных ресурсов. В связи с этим большое значение имеет разработка прогрессивных технологических процессов, в особенности процессов восстановления деталей массового производства. К последним относятся коленчатые валы автомобильных двигателей.

Наиболее характерными дефектами коленчатых валов автомобильных двигателей при ремонте являются износ коренных и шатунных шеек, обусловленный высокими удельными поверхностными нагрузками, а также трещины усталостного характера вследствие знакопеременных и циклических нагрузок, воздействующих на шейки. Восстановление коленчатого вала является сложной проблемой, поскольку к качеству и геометрическим параметрам его рабочих поверхностей предъявляются высокие требования. Наиболее перспективным направлением восстановления коленчатых валов автомобиль-

ных двигателей является нанесение на изношенные поверхности упрочняющих покрытий [1, 2, 3, 4].

Цель и задачи исследования Целью исследования является совершенствование технологии восстановления шеек коленчатых валов автомобильных двигателей способом электродуговой наплавки по винтовой линии порошковой проволокой ПП-Нп40Х4Г2СМНТФ под флюсом АН-44УІ для шатунных шеек, и восстановление коренных шеек широкоугольной электродуговой наплавкой той же проволокой без применения дополнительной защитной среды.

### Задачи исследования:

- обосновать целесообразность и определить направление исследования по совершенствованию технологии восстановления и упрочнения шеек коленчатых валов автомобильных двигателей комбинированным способом электродуговой наплавки широкоугольной и по винтовой линии порошковой проволокой;
- найти рациональные значения параметров технологического процесса восстановления

коленчатого вала двигателя при предельном износе коренных шеек, равном 70 мкм, и обеспечить послеремонтный ресурс 280 тыс. км, т. е. как у нового изделия;

- обосновать технологические режимы восстановления шеек коленчатых валов рассматриваемым способом, обеспечивающие повышение эффективности их восстановления и эксплуатационных свойств покрытия.

#### **Научная новизна результатов работы:**

- получены новые зависимости критериев от факторов процесса наплавки, отличающиеся возможностью определения рациональных параметров и режимов процесса с целью создания более прочного покрытия и уменьшения внутренних напряжений в нем;
- обоснованы режимы и параметры комбинированного способа восстановления шеек коленчатых валов, отличающиеся рациональными значениями и обеспечивающие совершенствование технологического процесса в направлении повышения износостойкости и долговечности покрытия.

Практическая значимость заключается в совершенствовании технологического процесса по восстановлению и упрочнению шеек коленчатых валов автомобильных двигателей на основе способа электродуговой наплавки по винтовой линии порошковой проволокой ПП-Нп40Х4Г2СМНТФ под флюсом АН-44У1 для шатунных шеек и восстановление коренных шеек широкослойной электродуговой наплавкой той же проволокой без применения дополнительной защитной среды, а также в апробации и внедрении разработанных оборудования и рекомендаций на предприятиях по ремонту двигателей и автомобилей.

Большинство авторемонтных предприятий, ремонтирующих двигатели ЗИЛ, восстанавливают изношенные шейки коленчатых валов электродуговой наплавкой проволокой Нп-30ХГСА под флюсом АН-348А с легирующими добавками феррохрома и графита. Многолетний опыт эксплуатации отремонтированных двигателей автомобилей ЗИЛ-4331 с такими коленчатыми валами показал, что их послеремонтные ресурсы значительно ниже нормативных, не превышают 80 тыс. км пробега автомобилей и составляют не более 35...40 % доремонтного ресурса двигателя [5, 6, 7].

Такие перспективные способы восстановления коленчатых валов, как наплавка углеродистыми и легированными проволоками под флюсом с последующей термической обработкой детали, различные виды газотермического напыления, наращивание гальванических покрытий, электронапекание порошков, широкого применения в производстве не получили и используются только на отдельных предприятиях [8, 9, 10].

Институтом им. Е. О. Патона разработан технологический процесс восстановления шатунных шеек электродуговой наплавкой по винтовой линии порошковой проволокой ПП-Нп40Х4Г2СМНТФ (ТУ ИЭС 486-85) под флюсом АН-44У1. Коренные шейки восстанавливаются широкослойной электродуговой наплавкой той же проволокой без применения дополнительной защитной среды. Наплавка шатунных шеек производится с применением головки А-580 на переоборудованных токарных станках; коренные шейки наплавляются на установке УД-209 [11, 12, 13].

Производственный опыт применения разработанного процесса на 1-м Донецком авторемонтном заводе показал, что он обеспечивает хорошее формирование и стабильное качество наплавленного металла, отсутствие пор, раковин, а также хорошую обрабатываемость и улучшение условий работы сварщиков.

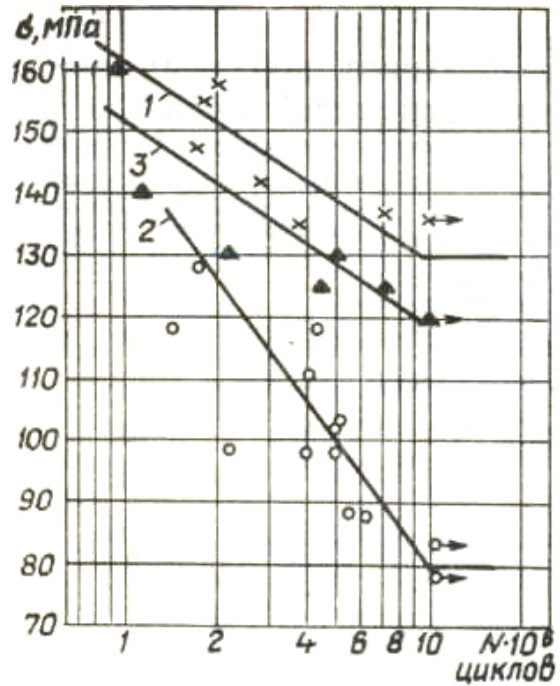
Предварительные исследования возможности использования широкослойной наплавки порошковой проволокой ПП-Нп40ХГ2СМНТФ для восстановления шатунных шеек показали, что в этом случае невозможно устранить значительные деформации укорочения коленчатого вала, которое составляет 1,2...1,5 мм. Поэтому восстановление шатунных шеек осуществлялось наплавкой указанной порошковой проволокой по винтовой линии, что не вызывало появления значительных деформаций укорочения вала. Для обеспечения хорошего формирования и стабильного качества наплавленного металла при винтовой наплавке, которая характеризуется меньшим тепловложением, чем широкослойная наплавка, использовался новый бесфтористый, легко отделяющийся флюс АН-44У1. Применение указанного флюса при наплавке проволокой ПП-Нп40Х4Г2СМНТФ не требует введения в него легирующих добавок и создает значительно лучшие экологические условия работы сварщика.

На 1-м Донецком авторемонтном заводе проведены всесторонние исследования физико-механических свойств наплавленного металла, показателей долговечности коленчатых валов двигателей автомобилей ЗИЛ-4331, восстановленных с применением новых сварочных материалов.

Структура, твердость, микротвердость наплавленного металла определялись общеизвестными методами с использованием приборов МИМ-8, ПМТ-3, ТП и прибора Роквелла. Установлено, что микроструктура наплавленного металла состоит из мартенсита высокодисперсного строения, микротвердость которого  $H_c$  находится в пределах от 7 100 до 8 400 МПа, и остаточного аустенита ( $H_c$  от 7 100 до 7 800 МПа). Вблизи зоны сплавления выше границы наблюдаются структуры троостита, карбиды и незначительное количество мартенсита ниже границы – основные структуры сорбит и феррит. В зоне термического влияния преобладающей структурой является сорбитообразный перлит. Наплавленный металл характеризуется стабильной твердостью, которая находится в пределах 52...61 HRC. Среднее значение составляет HRC 56,5.

Деформации наплавленных деталей определялись замерами линейных размеров коленчатого вала и биения коренных шеек до и после наплавки с точностью 0,01 мм. Результаты замеров 15 коленчатых валов показали, что максимальное укорочение их не превышает 0,8 мм, а биение коренных шеек, которое находится в пределах 0,56...0,81 мм, легко устраняется правкой.

Усталостные испытания образцов, вырезанных из натуральных коленчатых валов, проводили на стендах УМП-02 на 1-м Донецком авторемонтном заводе при знакопеременном изгибе обычным методом в соответствии с требованиями ГОСТ 25.502-79. Как видно из рисунка 1, предел выносливости коленчатых валов, восстановленных наплавкой с применением новых сварочных материалов (80 МПа), на 40 % меньше, чем нового изделия (130 МПа), что вызвано появлением в процессе наплавки растягивающих напряжений. Высокий отпуск при 500 °С в течение 1 ч позволяет снять растягивающие напряжения и повысить сопротивление усталости восстановленных наплавкой коленчатых валов до 85–90 % предела выносливости нового изделия (рис. 1, кривая 3). Твердость шеек таких термически



**Рисунок 1.** Кривые усталости нового коленчатого вала (1), восстановленного наплавкой с применением новых сварочных материалов без термообработки (2) и с последующей термообработкой (3).

обработанных коленчатых валов в связи с применением для наплавки высоколегированной проволоки снижается только на 4...5 HRC.

Исследования износостойкости наплавленного металла производились на образцах в лабораторных условиях, а также путем сравнительных ресурсных эксплуатационных испытаний коленчатых валов.

Сравнительные лабораторные испытания на износостойкость образцов-роликов, вырезанных из шеек нового (эталон) и восстановленных наплавкой коленчатых валов, проводились в паре с контрольными образцами, изготовленными из сталеалюминиевых вкладышей. Испытания проводились на машине трения мод. 2070 СМТ-1 при нагрузке 4,3 МПа, частоте вращения ролика  $600 \text{ мин}^{-1}$ , капельной подаче смазки (масло АС-8) с добавлением в зону трения 0,2 % абразива в виде карбида титана дисперсностью 8...15 мкм. Износ роликов и колодок определяли с использованием профилографа мод. 252, кругломера мод. 290 и аналитических весов мод. ВЛР-200. Установлено, что образцы-ролики, вырезанные из шеек коленчатых валов, восстановленных наплавкой

порошковой проволокой ПП-Нп40Х4Г2-СМНТФ, в 1,46 раза меньше изнашиваются, чем эталонные образцы (сталь 45, 52–56 HRC). Износ колодок, работавших в паре с наплавленным металлом, в 1,39 раза больше, чем контрольных, испытываемых в паре с эталонными роликами.

Проведены испытания 34 двигателей ЗИЛ-4331 с опытными коленчатыми валами, восстановленными наплавкой. При этом у десяти валов часть коренных шеек (три из пяти) восстанавливалась на 1-м Донецком авторемонтном заводе электродуговой наплавкой по винтовой линии проволокой Нп-30ХГСА под флюсом АН-348А с легирующими добавками (феррохромом и графитом). Сборка и обкатка двигателей с опытными коленчатыми валами производились в соответствии с требованиями руководства по капитальному ремонту автомобилей ЗИЛ-4331.

В процессе контрольной эксплуатации, проведенной на 1-м Донецком авторемонтном заводе, 21 двигатель при пробегах 10...56 тыс. км снят с автомобилей в связи с нарушением правил технической эксплуатации, а также преждевременным выходом из строя деталей цилиндропоршневой группы, блоков и головок цилиндров, вкладышей коленчатых валов.

Эксплуатация остальных 13 двигателей прекращена при пробегах автомобилей 83–146 тыс. км. Семь из этих двигателей сняты с автомобилей при пробегах, превысивших нормативный послеремонтный ресурс (102 тыс. км).

Статистические характеристики послеремонтных ресурсов 13 двигателей ЗИЛ-4331 с коленчатыми валами, восстановленными наплавкой с применением новых сварочных материалов, следующие: средний ресурс – 112,8 тыс. км; средний квадратический ресурс – 18,8 тыс. км; коэффициент вариации – 0,167; границы доверительных интервалов среднего ресурса при 95 % уровне достоверности – 102,5...121,1 тыс. км.

Статистические характеристики темпов износов коренных шеек и нарастания зазоров в сопряжении коренная шейка-вкладыш коленчатых валов, восстановленных наплавкой порошковой проволокой ПП-Нп40Х4Г2СМНТФ, а также проволокой Нп-30ХГСА под флюсом АН-348А с легирующими добавками, приведены в таблицах 1, 2 и соответственно и на рисунке 2.

Как следует из данных таблиц 1, 2 и рисунка 2, темпы изнашивания коренных шеек и нарастания зазоров в сопряжении коренная шейка-вкладыш коленчатых валов, восстановленных наплавкой порошковой проволокой ПП-Нп40Х4Г2СМНТФ, в 2,35 и 1,9 раза соответственно меньше аналогичных показателей деталей, наплавленных проволокой Нп-30ХГСА под флюсом АН-348А с легирующими добавками.

В результате исследований отработаны рациональные режимы наплавки шатунных и коренных шеек коленчатых валов двигателей автомобилей ЗИЛ-4331 (таблица 3), разработана технологическая документация на процесс, освоено на 1-м Донецком авторемонтном заводе в промышленных масштабах восстановление указанных

**Таблица 1.** Статистические характеристики темпов износа коренных шеек восстановленных коленчатых валов двигателей автомобиля ЗИЛ-4331

Способ наплавки коренных шеек	Размер выборки (число шеек)	Средний зазор мкм	Средний квадратический зазор мкм	Коэффициент вариации	Границы доверительных интервалов среднего зазора мкм, при уровне достоверности, %	
					95	99
Порошковой проволокой ПП-Нп 40Х4Г2СМНТФ	14	1,59	0,543	0,342	1,275...1,905	1,105...2,015
Проволокой Нп-30ХГСА под флюсом АН-348А с легирующими добавками	21	2,95	0,450	0,153	2,763...3,137	2,678...3,222

**Таблица 2.** Статистические характеристики темпов нарастания зазоров в сопряжении коренная шейка-вкладыш восстановленных коленчатых валов двигателей автомобиля ЗИЛ-4331

Способ наплавки коренных шеек	Размер выборки (количество шеек)	Средний зазор, мкм	Средний квадратический зазор, мкм	Коэффициент вариации	Границы доверительных интервалов среднего зазора мкм, при уровне достоверности, %	
					95	99
Порошковой проволокой ПП-Нп 40Х4Г2СМНТФ	14	0,437	0,265	0,605	0,284...0,590	0,230...0,644
Проволокой Нп-30ХГСА под флюсом АН-348А с легирующими добавками	21	1,032	0,593	0,575	0,787...1,277	0,785...1,289

**Таблица 3.** Режимы наплавки коленчатых валов двигателя автомобиля ЗИЛ-4331

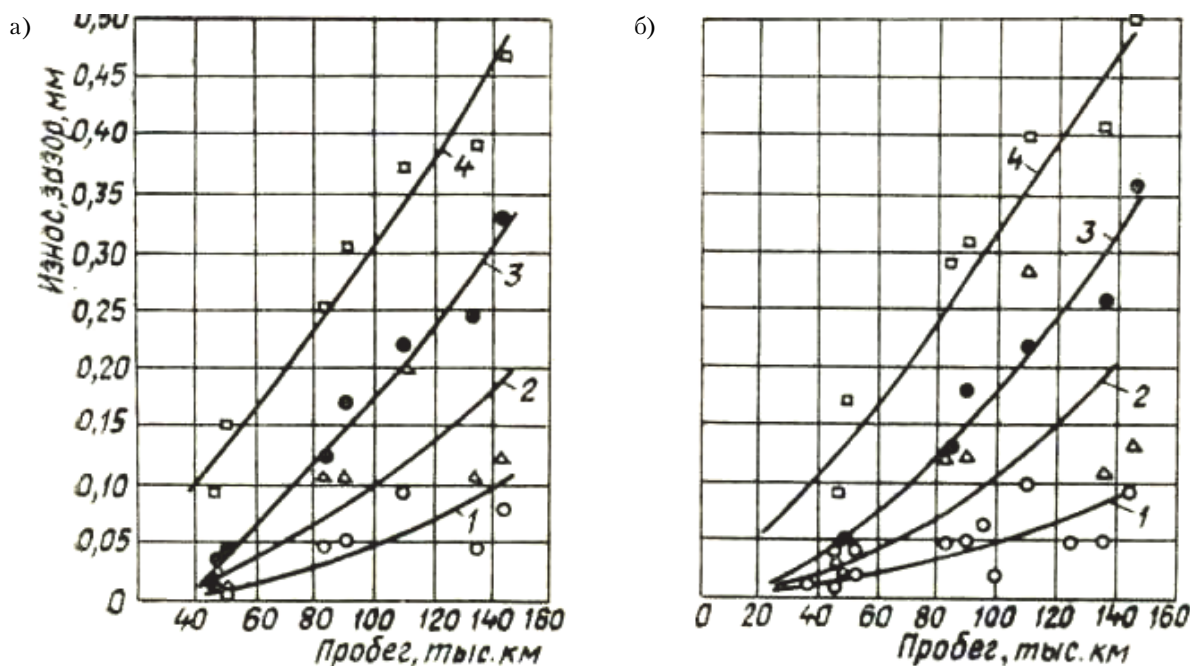
Параметры наплавки	Режимы наплавки	
	Шатунные шейки (наплавка по винтовой линии)	Коренные шейки (широкослойная наплавка)
Сила тока, А	220–230	200–220
Напряжение, В	25–27	24–25
Скорость подачи проволоки, м/ч	208	206
Число оборотов вала, мин <sup>-1</sup>	3	0,4
Шаг наплавки, мм/об	3	–
Вылет электрода, мм	15–20	15–20
Смещение с зенита, мм	5–7	5–7
Марка флюса	АН-44У1	–
Марка электродной про волок, диаметр, мм	ПП-Нп40Х4Г2СМНТФ, 2	ПП-Нп40Х4Г2СМНТФ, 2
Диаметр шейки после наплавки, мм	67,5–68,0	76,5–77,0
Диаметр подающих роликов, мм	40	40
Ток	Постоянный	Постоянный
Полярность	Обратная	Обратная
Источники питания	ПСО-500	ВДУ-506

валов с применением новых сварочных материалов и оборудования, поставка которых обеспечена заводу.

### Заключение

Как видно из приведенных данных, послеремонтные ресурсы 13 двигателей, составляющих примерно 40 % объема наблюдаемых, с коленчатыми валами, восстановленными наплавкой с при-

менением новых сварочных материалов, превышают нормативное значение (102 тыс. км) при уровне достоверности 95 %. Характерно, что средний износ коренных шеек коленчатых валов девяти двигателей (из 13) составляет 0,25 мкм на 1 000 км пробега автомобилей. Это указывает на большие потенциальные возможности способа восстановления коленчатых валов наплавкой порошковой проволокой ПП-Нп40Х4Г2СМНТФ. В случае выполнения требований технической



**Рисунок 2.** Средние (а) и максимальные (б) износы коренных шеек (1, 2) и зазоры (3, 4) в сопряжении коренная шейка - вкладыш коленчатых валов двигателей, восстановленных наплавкой порошковой проволокой ПП-Нп40Х4Г2СМНТФ (1, 3) и проволокой Нп-3ОХГСА под флюсом АН-348А с легирующими добавками (2, 4).

эксплуатации, используя этот технологический процесс восстановления коленчатого вала двигателя автомобиля ЗИЛ-4331 при предельном из-

носе коренных шеек, равном 70 мкм, можно обеспечить послеремонтный ресурс  $70 \times 1000 / 0,25 = 280$  тыс. км, т. е. как у нового изделия.

## Литература

1. Блюменштейн, В. Ю. Способы восстановления деталей и процессы реновации машин : учебное пособие / В. Ю. Блюменштейн, М. С. Махалов. – Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачёва, 2016. – 139 с. – ISBN 978-5-906888-23-5. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/109135.html> (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: для авторизованных пользователей.
2. Ли, Р. И. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники : учебное пособие / Р. И. Ли. – Липецк : Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2014. – 379 с. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/55672.html> (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: для авторизованных пользователей.

## Reference

1. Blyumenshteyn, V. Yu.; Makhalov, M. S. Ways to restore parts and processes for the renovation of machines : a tutorial. – Kemerovo : Kuzbass State Technical University named after T. F. Gorbachev, 2016. – 139 p. – ISBN 978-5-906888-23-5. – Text : electronic // Electronic library system IPR BOOKS : [site]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/109135.html> (date of the application: 10.11.2021). – Access mode: for authorized users. (in Russian)
2. Li, R. I. Technologies for the restoration and hardening of parts of automotive equipment : a textbook. – Lipetsk : Lipetsk State Technical University, ELS ACU, 2014. – 379 p. – Text : electronic // Electronic library system IPR BOOKS : [site]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/55672.html> (date of the application: 10.11.2021). – Access mode: for authorized users. (in Russian)
3. Zverev, Ye. A. Technological process of restoring worn-out machine parts using thermal spraying methods : educational and methodological manual. –

3. Зверев, Е. А. Технологический процесс восстановления изношенных деталей машин методами газотермического напыления : учебно-методическое пособие / Е. А. Зверев. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. – 64 с. – ISBN 978-5-7782-4059-9. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS: [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/99226.html> (дата обращения: 10.11.2021). – Режим доступа: для авторизованных пользователей.
4. Иванов, В. П. Ремонт автомобилей : учебное пособие / В. П. Иванов, В. К. Ярошевич, А. С. Савич. – Минск : Вышэйшая школа, 2009. – 383 с. – ISBN 978-985-06-1539-8. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/21750.html> (дата обращения: 17.01.2022). – Режим доступа: для авторизованных пользователей.
5. Папшев, В. А. Техника транспорта, обслуживание и ремонт. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей : учебное пособие / В. А. Папшев, Г. А. Родимов. – 2-е изд. – Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2016. – 141 с. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/90944.html> (дата обращения: 17.01.2022). – Режим доступа: для авторизованных пользователей.
6. Савич, Е. Л. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей : учебное пособие / Е. Л. Савич, Е. А. Гурский ; под редакцией Е. Л. Савича. – Минск : Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2019. – 427 с. – ISBN 978-985-503-959-5. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/94328.html> (дата обращения: 17.01.2022). – Режим доступа: для авторизованных пользователей.
7. Варис, В. С. Ремонт двигателей автомобилей : учебное пособие для СПО / В. С. Варис. – Саратов : Профобразование, Ай Пи Эр Медиа, 2019. – 233 с. – ISBN 978-5-4486-0496-6, 978-5-4488-02-20-1. – Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/79434.html> (дата обращения: 17.01.2022). – Режим доступа: для авторизованных пользователей. – DOI: <https://doi.org/10.23682/79434>.
8. Electrohydraulic sheet metal forming with flexible tools / H. Pegel, L. Langstadtler, M. Herrmann [et. al.]. – Текст : электронный // MATEC Web of Conferences. – 2018. – № 190. – 6 p. – URL: [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/49/mateconf\\_icnft2018\\_12001.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/49/mateconf_icnft2018_12001.pdf) (дата обращения: 17.01.2022).
9. Zhutchkov, A. I. Pressing of tubes in tube slabs using multiple electrical discharge in liquid / A. I. Zhutchkov, N. T. Zinoviev, G. P. Filatov. – Текст : непосредственный // PLASMA PHYSICS AND PLASMA Novosibirsk : Novosibirsk State Technical University, 2019. – 64 p. – ISBN 978-5-7782-4059-9. – Text : electronic // Electronic library system IPR BOOKS : [site]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/99226.html> (date of the application: 10.11.2021). – Access mode: for authorized users. (in Russian)
4. Ivanov, V. P.; Yaroshevich, V. K.; Savich, A. S. Car repair : tutorial. – Minsk : Vysheyshaya shkola, 2009. – 383 p. – ISBN 978-985-06-1539-8. – Text : electronic // Electronic library system IPR BOOKS : [site]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/21750.html> (date of the application: 17.01.2022). – Access mode: for authorized users. (in Russian)
5. Papshev, V. A.; Rodimov, G. A. Transport technology, maintenance and repair. Maintenance and repair of automobiles : a textbook. – 2nd ed. – Samara : Samara State Technical University, ELS ACU, 2016. – 141 p. – Text : electronic // Electronic library system IPR BOOKS: [site]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/90944.html> (date of the application: 17.01.2022). – Access mode: for authorized users. (in Russian)
6. Savich, Ye. L.; Gursky, Ye. A.; edited by Ye. L. Savicha. Car Maintenance and Repair : Tutorial. – Minsk : Republican Institute of Vocational Education (RIVE), 2019. – 427 p. – ISBN 978-985-503-959-5. – Text : electronic // Electronic library system IPR BOOKS: [site]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/94328.html> (date of the application: 17.01.2022). – Access mode: for authorized users. (in Russian)
7. Varis, V. S. Repair of car engines : textbook for SVE. – Saratov : Vocational education, IPR Media, 2019. – 233 p. – ISBN 978-5-4486-0496-6, 978-5-4488-0220-1. – Text : electronic // Electronic library system IPR BOOKS : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/79434.html> (date of the application: 17.01.2022). – Access mode: for authorized users. – DOI: <https://doi.org/10.23682/79434>. (in Russian)
8. Pegel, H.; Langstadtler, L.; Herrmann, M. [et. al.]. Electrohydraulic sheet metal forming with flexible tools. – Text : electronic. – In: *MATEC Web of Conferences*. – 2018. – № 190. – 6 p. – URL: [https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/49/mateconf\\_icnft2018\\_12001.pdf](https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/49/mateconf_icnft2018_12001.pdf) (date of the application: 17.01.2022). (in English)
9. Zhutchkov, A. I.; Zinoviev, N. T.; Filatov, G. P. Pressing of tubes in tube slabs using multiple electrical discharge in liquid. – Text : direct. – In: *Plasma physics and plasma technology : III International Conference*. – 2000. – P. 558–561. (in English)
10. Chace, W. G.; Levine, W. G. Classification of Wire Explosions. – Text : direct. – In: *Journal of Applied Physics*. – 1960. – № 31. – P. 1298. (in English)
11. Hairer, E.; Wanner, G. Solving ordinary differential equations II: Stiff and differential-algebraic problems. – 2nd ed. – Berlin, New York : Springer-Verlag, 1996. – ISBN 978-3-540-60452-5. – Text : direct. (in English)



- TECHNOLOGY: III International Conference, Minsk, 18-22 September. – 2000. – P. 558–561.
10. Chace, W. G. Classification of Wire Explosions / W. G. Chace, M. A. Levine. – Текст : непосредственный // Journal of Applied Physics. – 1960. – № 31. – P. 1298.
  11. Hairer, E. Solving ordinary differential equations II: Stiff and differential-algebraic problems / E. Hairer, G. Wanner. – 2nd ed. – Berlin, New York : Springer-Verlag, 1996. – ISBN 978-3-540-60452-5. – Текст : непосредственный.
  12. Automotive engineering. Powertrain, chassis system and vehicle body / Edited by David A. Crolla. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2009. – 828 p. – Текст : непосредственный.
  13. Lumley, John L. Engines an introduction / John L. Lumley. – New York : Cambridge University Press, 1999. – 268 p. – ISBN 978-0-521-64277-4. – Текст : непосредственный.
  12. Edited by David A. Crolla. Automotive engineering. Powertrain, chassis system and vehicle body. – Oxford : Butterworth-Heinemann, 2009. – 828 p. – Text : direct. (in English)
  13. Lumley, John L. Engines an introduction. – New York : Cambridge University Press, 1999. – 268 p. – ISBN 978-0-521-64277-4. – Text : direct. (in English)

**Савенко Эдуард Станиславович** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технология ремонта автомобилей.

**Савенков Никита Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: работа силовых автомобильных установок на неустойчивых режимах.

**Савенко Сергей Эдуардович** – магистрант кафедры автомобильного транспорта, сервиса и эксплуатации ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: технология ремонта автомобилей.

**Савенко Эдуард Станіславович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту, сервісу та експлуатації ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва та архітектури». Наукові інтереси: технологія ремонту автомобілів.

**Савенков Микита Володимирович** - кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту, сервісу та експлуатації ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва та архітектури». Наукові інтереси: робота силових автомобільних установок на неустойчивих режимах.

**Савенко Сергій Едуардович** – магістрант кафедри автомобільного транспорту, сервісу та експлуатації ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва та архітектури». Наукові інтереси: технологія ремонту автомобілів.

**Savenko Eduard** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Road transport, service and operation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: car repair technology.

**Savenkov Nikita** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Road transport, service and operation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: operation of power car installations in unsteady modes.

**Savenko Sergey** – Master's student Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Road transport, service and operation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: car repair technology.