

**БЕЛОРУССКИЙ ОПЫТ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ
АВТОМОБИЛЕЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

**BELARUSIAN EXPERIENCE OF RESTORING DETAILS CARS AND
SPECIAL CONSTRUCTION EQUIPMENT**

Иванов Владимир Петрович,
доктор технических наук, профессор
Полоцкий государственный университет,
профессор кафедры «Автомобильный транспорт»,
Новополоцк, Республика Беларусь
Ivanov Vladimir Petrovich,
doctor of technical Sciences, Professor,
Polotsk state University,
Department of Automobile transport,
Novopolotsk, Republic of Belarus

e-mail: ivprem@tut.by

Вигерина Татьяна Владимировна,
кандидат технических наук, доцент,
Полоцкий государственный университет,
заведующий кафедрой «Автомобильный транспорт»
Vigerina Tatyana Vladimirovna,
Cand. Techn. Scie.,
Polotsk state University,
Department of Automobile transport,
Novopolotsk, Republic of Belarus

e-mail: t.vigerina@psu.by

Научная специальность:

05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Scientific specialty:

05.22.10 – Operation of road transport

В статье показана техническая возможность и экономическая целесообразность восстановления изношенных деталей по сравнению с использованием новых деталей при ремонте автомобилей и специальной строительной техники. На примере стальных и чугунных коленчатых валов установлено, что стоимость их восстановления составляет 47 – 59 % цены новых изделий, а послеремонтная наработка двигателей с коленчатыми валами превышает нормативную.

The article shows the technical feasibility and economic feasibility of restoring worn parts in comparison with the use of new parts in car repair. As an example of the restoration of steel and cast iron crankshafts, it was found that the cost of their restoration is 47 – 59 % of the price of new products, and the after-repair life of engines with crankshafts restored by the proposed technological processes exceeds the standard.

Ключевые слова: деталь, коленчатый вал, восстановление, остаточный ресурс, эффективность.

Keywords: part, crankshaft, recovery, residual life, efficiency.

Восстановление деталей – технологический процесс возвращения им материала вместо изношенного и (или) доведения до нормативных значений изменившихся геометрических параметров и эксплуатационных свойств. К геометрическим параметрам детали относятся взаимное расположение, форму, размеры и шероховатость рабочих поверхностей, а к основным эксплуатационным свойствам – износостойкость трущихся поверхностей, усталостную прочность и жесткость детали, её массу и распределение массы относительно осей вращения и инерции [1].

Восстановление деталей позволяет использовать их материал, форму и остаточную долговечность, что сокращает потребление запасных частей, живого труда, энергии и материалов, а также способствует охране окружающей среды (масса отходов при восстановлении деталей в 20 раз меньшая, чем при их изготовлении [2]). Восстановление деталей даёт наибольшую часть экономического эффекта ремонту машин.

Возникший бизнес с целью извлечения наибольшей прибыли стремится, во-первых, заменить ремонт техники приобретением новых машин. И, во-вторых, если ремонт всё же необходим, то его выполнять с применением покупных дорогих новых деталей. Однако ремонт машин объективно необходим, он позволяет использовать остаточную их долговечность, заложенную при изготовлении. Ремонтируют не только транспортные средства, технологическое оборудование и сельскохозяйственную технику. Ремонтируют также строительную спецтехнику, тепловозы, самолёты, танки, ракеты, подводные лодки, учебные торпеды и другую технику. Опыт ремонта самолетов, судов и тепловозов, ремонта автомобилей и двигателей силами заводов-изготовителей, а также ремонта машин западными фирмами свидетельствует о возможности достижения послеремонтной наработки объектов не меньше, чем у новых изделий, при затратах, не превышающих 60 % затрат на их производство. Практика показывает, что научно обоснованные процессы и организация ремонта машин позволяют достичь нормативной наработки техники, а в отдельных случаях и превзойти наработку новых изделий.

Цель работы – показать техническую возможность и экономическую целесообразность восстановления деталей на примере коленчатых валов из различных материалов.

Методы исследования. Использовались технико-экономические методы обоснования технических решений, основанные на учёте изменяющихся статей затрат на восстановление деталей различными способами. Ограничением решений являлось обеспечение нормативной послеремонтной долговечности восстановленных деталей. В качестве объекта исследования рассматривались коленчатые валы, изготовленные из углеродистой конструкционной стали и из высокопрочного чугуна. Стоимость восстановления валов сопоставлялась с ценой новых деталей.

Приведённые затраты Z_i на выпуск единицы продукции i -го вида равны, руб.

$$Z_i = C_i + E_n \cdot K_{уд,i} \quad (1)$$

где C_i – технологическая себестоимость, руб.;

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$K_{уд,i}$ – удельные капитальные вложения в виде стоимости оборудования и зданий, отнесённой к производству единицы продукции i -го вида.

При расчёте экономической эффективности за основу принимались технологические затраты на восстановление одного коленчатого вала. Расчёт проведён по изменяющимся статьям затрат по методике, приведённой в работах [3, 4]. Годовой экономический эффект Θ от внедрения результатов работы определялся по формуле:

$$\Theta = \left(Z_1 \frac{P_1 + E_n}{Z_2 + E_n} + \frac{(I_1 - I_2) - E_n (K_2 - K_1)}{P_2 + E_n} - Z_2 \right) \cdot N, \text{ руб.}, \quad (2)$$

где Z_1, Z_2 – приведенные затраты на изготовление единицы продукции соответственно базового и нового вариантов, руб.;

P_1 и P_2 – доли отчислений от балансовой стоимости за полное восстановление (реновацию) базового и нового средства труда, руб.;

I_1 и I_2 – годовые эксплуатационные издержки потребителя, руб.;

K_1 и K_2 – сопутствующие капитальные вложения, руб.;

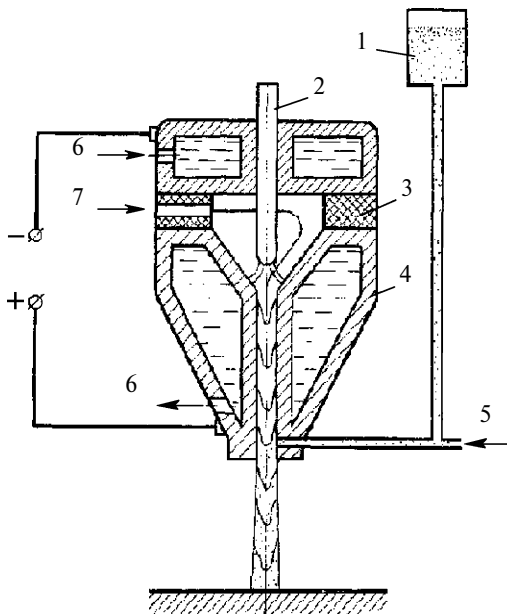
N – годовой объём производства в натуральных единицах, год⁻¹.

Для обеспечения адекватного в масштабе всего общественного производства подхода к оценке экономической эффективности новых технологий и техники в расчётах использовали единый нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, равный 0,15. Годовые эксплуатационные издержки потребителя в базовом и новом вариантах практически равны, поэтому в расчётах принимали $I_1 = I_2$. Внедрение новых технологических процессов не потребовало сопутствующих капитальных вложений, следовательно, они остаются без изменений. С учётом этого формула (2) принимает следующий вид:

$$\Theta = \left(Z_1 \frac{P_1 + 0,15}{P_2 + 0,15} - Z_2 \right) \cdot N, \text{ руб.} \quad (3)$$

В качестве заготовок в базовом и предлагаемом процессах использовали изношенные коленчатые валы. Объёмы восстановления составляли $N = 1000 \text{ год}^{-1}$.

Для восстановления коленчатых валов из *высокопрочного чугуна ВЧ50* в качестве базового варианта принят вариант напылением смесью порошков: самофлюсующегося ПГ-10Н-01 (50 %), железного ПЖ-5М (30 %) и никель-алюминиевого ПН85Ю15 (20 %), в качестве нового – восстановление шеек вала плазменным напылением смесью порошков [5]: самофлюсующегося ПГ-10Н-01 (50 %), железного ПЖ-5М (30 %), медного ПМС-1 (10 %) и никель-алюминиевого ПТ-НА-01 (10 %).



1 – дозатор порошка; 2 – катод; 3 – изолирующая прокладка; 4 – анод;
5 – транспортирующий газ; 6 – охлаждающая вода; 7 – плазмообразующий газ

Рисунок 1 – Схема плазмотрона

Плазменное напыление (рисунок 1) основано на использовании энергии плазменной струи для нагрева и переноса частиц металлического порошка на восстанавливаемую поверхность детали. Плазменную струю (поток ионизированного газа при температуре 14 – 20 тыс. К, движущийся со сверхзвуковой скоростью) получают в плазмотроне (рисунок 1). Плазма образуется за счёт продувания плазмообразующего газа 7 (аргона или азота) сквозь электрическую дугу между вольфрамовым катодом 2 и медным водоохлаждае-

мым анодом 4. Высокую скорость истекающей плазмы из сопла анода 4 придаёт увеличение её объёма до 400 раз в узком сопле. Металлический порошок подают в плазменную струю питателем с помощью транспортирующего газа 5. Частицы материала нагреваются за счёт теплообмена с высокотемпературной средой, разгоняются струёй движущегося газа, достигают поверхности заготовки, имея большой запас тепловой и кинетической энергии, и закрепляются на поверхности заготовки.

Базовый и новый технологические процессы восстановления коленчатых валов из чугуна ВЧ50 отличаются по химическому составу напыляемой смеси порошков. Описание восстановления коленчатого вала напылением приведено в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Сведения об оборудовании и разряде работы при восстановлении коленчатых валов из высокопрочного чугуна ВЧ50

Наименование операции	Разряд работы	Наименование оборудования	Модель или марка оборудования	Установленная мощность, кВт	Цена оборудования, руб.
1. Моечная	2	Моечная установка	ОМ-21602	4	9000
2. Термическая	3	Электропечь	П-34	22	11500
3. Дефектовочная	4	Магнитный дефектоскоп	МЭД-2	4	7000
4. Слесарная	2	Верстак	–	–	286
5. Дробеструйная	2	Дробеструйная камера заводской конструкции	–	5,5	650
6. Напыление	3	Установка для напыления заводская		7,5	11500
7. Шлифовальная	4	Круглошлифовальный станок	3В423	7,5	40000
8. Балансировочная	4	Станок балансировочный	МС-9715	4,5	30000
9. Полировальная	3	Станок полировальный	СШ-4285	5,5	7500
10. Контрольная	4	Верстак	–	–	286

Норма расхода смеси порошка на восстановление одного коленчатого вала $m_{\text{пор}} = 1,0$ кг (в соответствии с базовым вариантом масса порошка самофлюсу-

ющегося $m_{\text{пор1}} = 0,5$ кг, порошка железного $m_{\text{пор2}} = 0,3$ кг, порошка никель-алюминиевого $m_{\text{пор3}} = 0,2$ кг).

Затраты на восстановление одного коленчатого вала Z_1 в базовом варианте составляют:

$$Z_1 = \Pi_{\text{пор1}} \cdot m_{\text{пор1}} + \Pi_{\text{пор2}} \cdot m_{\text{пор2}} + \Pi_{\text{пор3}} \cdot m_{\text{пор3}}, \text{ руб.} \quad (4)$$

где $\Pi_{\text{пор1}}$ – стоимость порошка самофлюсующегося ПГ-10Н-01, 11,9 руб/кг;

$\Pi_{\text{пор2}}$ – стоимость порошка железного ПЖ-5М, 0,7 руб/кг;

$\Pi_{\text{пор3}}$ – стоимость порошка никель-алюминиевого ПТ-НА-01 6,0 руб/кг.

Стоимость материалов составляла:

$$Z_1 = 11,9 \cdot 0,5 + 0,7 \cdot 0,3 + 6,0 \cdot 0,2 = 7,3 \text{ руб.}$$

Нормы расхода смеси порошка при восстановлении для расчёта себестоимости одного коленчатого вала по новому варианту по изменяющимся статьям затрат $m_{\text{пор}} = 1,0$ кг (масса порошка самофлюсующегося $m_{\text{пор1}} = 0,5$ кг, порошка железного $m_{\text{пор2}} = 0,3$ кг, порошка никель-алюминиевого $m_{\text{пор3}} = 0,1$ кг, порошка медного $m_{\text{пор4}} = 0,1$ кг).

$\Pi_{\text{пор1}} = 11,9$ руб./кг; $\Pi_{\text{пор2}} = 0,7$ руб./кг; $\Pi_{\text{пор3}} = 6,0$ руб./кг; $\Pi_{\text{пор4}}$ – стоимость порошка медного ПМС-1 равна 3,7 руб./кг.

Затраты на восстановление одного коленчатого вала Z_2 в новом варианте равны:

$$Z_2 = 11,9 \cdot 0,5 + 0,7 \cdot 0,3 + 6,0 \cdot 0,1 + 3,7 \cdot 0,1 = 7,1 \text{ руб.}$$

Сведения для экономического эффекта от внедрения восстановления коленчатых валов из высокопрочного чугуна ВЧ50 приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2 – Исходные данные для расчета годового экономического эффекта от внедрения восстановленных коленчатых валов из высокопрочного чугуна

Показатель	Обозначение	Показатели вариантов		Примечания
		базового	нового	
Годовой объём производства, шт.	N	1000	1000	–
Капитальные затраты, руб.	K_1, K_2	Без изменения		Использовалось существующее оборудование
Удельные капитальные затраты, руб.	K_{y1}, K_{y2}			
Нормативный коэффициент капиталовложений	E_n	0,15	0,15	–
Приведённые затраты, руб.	Z_1, Z_2	7,3	7,1	–

Окончание таблицы 2

Показатель	Обозначение	Показатели вариантов		Примечания
		базового	нового	
Срок службы изделия, лет	T_1, T_2	1,5	1,6	–
Доля отчислений на реновацию изделий, руб.	P_1, P_2	0,67	0,64	$P_i = 1/T_i$
Среднегодовые эксплуатационные затраты потребителя, руб.	I_1, I_2	Без изменения		–

Годовой экономический эффект, рассчитанный по формуле (3), составляет

$$\Theta = \left(7,3 \cdot \frac{0,67_1 + 0,15}{0,64 + 0,15} - 7,1 \right) \cdot 100 = 332,2, \text{ руб.}$$

Дисконтированный годовой экономический эффект 2019 года составляет [4]:

$$\Theta_d = \Theta \cdot K_d \cdot K_p \cdot K_{и}, \text{ руб.}, \quad (5)$$

где K_d – коэффициент дисконтирования, норма дисконта 15 % при создании новых видов продукции [4], $K_d = 1,5208$;

K_p – коэффициент, учитывающий инфляцию за расчётный период;

$K_{и}$ – коэффициент, учитывающий риск недополучения запланированных результатов.

$$\Theta_d = 332,2 \cdot 1,5208 \cdot 1,9 \cdot 3,5 = 3359,6 \text{ руб.}$$

Цена нового коленчатого вала из высокопрочного чугуна в 1,7 раза превышает стоимость восстановленного вала.

За базовый технологический процесс восстановления стальных коленчатых валов принят процесс с использованием наплавки под слоем флюса (таблица 3).

Т а б л и ц а 3 – Сведения об оборудовании и разряде работы при восстановлении стальных коленчатых валов

Наименование операции	Разряд работы	Наименование оборудования	Модель или марка оборудования	Установленная мощность, кВт	Цена оборудования, руб.
1. Моечная	2	Моечная установка	ОМ-21602	4	9000
2. Термическая	3	Электродпечь	П-34	22	11500
3. Дефектовочная	4	Магнитный дефектоскоп	МЭД-2	4	7000

Окончание таблицы 3

Наименование операции	Разряд работы	Наименование оборудования	Модель или марка оборудования	Установленная мощность, кВт	Цена оборудования, руб.
4. Слесарная	2	Верстак	—	—	286
5. Наплавочная	4	Токарно-винторезный станок	16K20	7	14500
6. Термическая	3	Электропечь	П-34	14	11500
7. Токарная	3	Токарно-винторезный станок	1A625	7	14500
8. Правильная	3	Пресс гидравлический	Р-324	10	8500
9. Токарная	4	Токарно-винторезный станок	1A625	7	10500
10. Шлифовальная	4	Круглошлифовальный станок	3В423	7,5	40000
11. Балансировочная	4	Станок балансировочный	КИ-4274	4,5	30000
12. Полировальная	3	Станок полировальный	—	5,5	7500
13. Контрольная	4	Верстак	—	—	286

Предложенный технологический процесс восстановления вала наплавкой с последующим упрочнением поверхностным пластическим деформированием роликовыми обкатниками восстанавливаемых шеек валов [6] отличается от базового технологического процесса, приведённого в таблице 3, тем, что в нём исключена термическая операция № 6 и после токарно-винторезной операции № 9 добавлена токарно-винторезная операция, заключающаяся в наличии поверхностного пластического деформирования восстанавливаемых поверхностей.

Затраты на материалы Z_m для восстановления одного вала наплавкой проволокой Нп-30ХГСА под слоем флюса:

$$Z_m = \Pi_{\text{пр}} \cdot m_{\text{пр}} + \Pi_{\text{ф}} \cdot m_{\text{ф}}, \text{ руб.}, \quad (6)$$

где $m_{\text{пр}}$ — норма расхода электродной расходуемой проволоки на восстановление одной детали, 1,0 кг;

$\Pi_{\text{пр}}$ — цена проволоки, 0,5 руб/кг;

$m_{\text{ф}}$ — норма расхода флюса на восстановление одной детали, 1,2 кг;

$\Pi_{\text{ф}}$ — цена флюса, 0,4 руб/кг.

$$Z_M = 0,5 \cdot 1,0 + 1,2 \cdot 0,4 = 0,9 \text{ руб.}$$

Затраты на восстановление одного коленчатого вала в базовом варианте

$$Z_1 = Z_{\phi} + Z_3 = 0,9 + 0,4 = 1,3 \text{ руб.}, \quad (7)$$

где Z_3 – затраты на электроэнергию в базовом варианте при использовании термической операции, руб.

Затраты на электроэнергию в базовом и новом вариантах технологических процессов отличаются на величину энергозатрат Z_3 из-за наличия в базовом варианте термической операции после наплавки.

$$Z_3 = \frac{t \cdot C_3 \cdot P \cdot \eta_M}{n}, \text{ руб.}, \quad (8)$$

где t – время работы термической печи, ч;

C_3 – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб.;

P – мощность печи для термообработки, кВт;

η_M – коэффициент использования мощности оборудования;

n – количество валов, одновременно загружаемых в печь.

$$Z_3 = \frac{1,5 \cdot 0,018 \cdot 14 \cdot 0,67}{4} = 0,4 \text{ руб.}$$

Затраты на материалы Z_{Π} для восстановления одного вала наплавкой проволокой 1,6Св-08Х13 в среде защитного газа с последующим упрочнением поверхностным пластическим деформированием составляют:

$$Z_{\Pi} = C_{\text{пр}} \cdot m_{\text{пр}} + C_{\Gamma}, \text{ руб.}, \quad (9)$$

где $C_{\text{пр}}$ – цена проволоки, 0,6 руб/кг;

$m_{\text{пр}}$ – масса проволоки, используемой для восстановления одного коленчатого вала, 1,0 кг;

C_{Γ} – цена смеси газов в качестве защитной среды, 0,02 руб.

$$Z_{\Pi} = 1,0 \cdot 0,6 + 0,02 = 0,7 \text{ руб.}$$

Затраты на восстановление 1000 коленчатых валов Z_2 в новом варианте:

$$Z_2 = Z_{\Pi} + Z_{\text{и}}, \text{ руб.}, \quad (10)$$

где $Z_{\text{и}}$ – затраты на изготовление двух роликовых обкатников для поверхностного пластического деформирования восстанавливаемых шеек валов, руб.

$$Z_2 = 0,7 + 0,02 = 0,72 \text{ руб.}$$

Данные для расчёта годового экономического эффекта от внедрения предложенного способа восстановления шеек коленчатых валов приведены в таблице 4.

Годовой экономический эффект, рассчитанный по формуле (3), составляет:

$$\Theta = \left(1,3 \cdot \frac{0,56 + 0,15}{0,31 + 0,15} - 0,7 \right) \cdot 1000 = 1001,7 \text{ руб.}$$

Дисконтированный годовой экономический эффект по формуле (5) составляет:

$$\Theta_d = 1001,7 \cdot 1,5208 \cdot 1,9 \cdot 3,5 = 10130,2 \text{ руб.}$$

Т а б л и ц а 4 – Исходные данные для расчёта годового экономического эффекта от внедрения предложенного процесса восстановления коленчатых валов из стали 45

Показатель	Обозначение	Показатели вариантов		Примечания
		базового	нового	
Годовой объём производства, шт.	N	1000	1000	–
Капитальные затраты, руб.	K_1, K_2	Без изменения		Использовалось существующее оборудование
Удельные капитальные затраты, руб.	K_{y1}, K_{y2}			
Нормативный коэффициент капиталовложений	E_n	0,15	0,15	–
Приведённые затраты, руб.	Z_1, Z_2	1,3	0,7	–
Срок службы изделия, лет	T_1, T_2	1,8	2,5	–
Доля отчислений на реновацию изделий, руб.	P_1, P_2	0,56	0,31	–
Среднегодовые эксплуатационные затраты потребителя, руб.	I_1, I_2	Без изменения		–

Цена нового коленчатого вала из углеродистой конструкционной стали двигателя ГАЗ-52 превышает в 2,1 раза стоимость восстановления изношенного вала.

Проведённые промышленные испытания двигателей ЗМЗ-53 и ГАЗ-52-04 с восстановленными валами в условиях их использования на автомобилях показали, что послеремонтная наработка двигателей с валами, восстановленными по предложенным технологическим процессам, превышает нормативную [7].

Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемых технологических процессов по восстановлению коленчатых валов партиями по 1000 ед. составил для валов из высокопрочного чугуна 3,3 тыс. руб., при восстановлении стальных валов наплавкой – 10,1 тыс. руб.

Показаны техническая возможность и экономическая целесообразность восстановления изношенных деталей по сравнению с использованием новых деталей при ремонте автомобилей. Стоимость их восстановления составляет 47 – 59 % цены новых изделий, а послеремонтная наработка двигателей с коленчатыми валами, восстановленными по предложенным технологическим процессам, превышает нормативную.

Литература

1. Восстановление и упрочнение деталей: справочник / В.П. Иванов [и др.]; под ред. Ф.И. Пантелеенко – М.: Наука и технология. – 2013. – 368 с.

2. Лялякин, В.П. Восстановление и упрочнение деталей машин в агропромышленном комплексе России и Беларуси / В.П. Лялякин, В.П. Иванов // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2004. – № 2. – С. 2 – 7.

3. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений по состоянию на 12.10.2006. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pravo.levonevsky.org/baza/soviet/sssr4194.htm> (дата обращения 03.12.2019).

4. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 18.05.2002 № 637 «Об утверждении Инструкции по оценке эффективности использования в народном хозяйстве республики результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ». Документ с изменениями и дополнениями по состоянию на 10 июля 2009 года. Зарегистрировано в НРПА РБ 21 мая 2002 г. № 5/10462.

5. Порошковый материал для напыления износостойких покрытий: пат. № 16657 Респ. Беларусь, МПК 23 С 4/04 / В.П. Иванов, Т.В. Вигерина, А.П. Кастрюк, О.П. Штемпель, В.А. Фруцкий; заявитель Полоц. гос. ун-т; заявка № а 20110604; приоритет 10.05.2011.

6. Устройство для поверхностного пластического деформирования цилиндрических поверхностей: пат. 7958 от 16.10.2011 Респ. Беларусь МПК (2006), В 24В 39/00 / В.П. Иванов, Т.В. Вигерина, Н.Л. Кравченко; заявитель Полоцк. гос. ун.-т. – у 20110516; заявл. 11.06.27; опубл. 11.11.15 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 1. – С. 223.

7. Иванов, В.П. Обеспечение нормативной послеремонтной надёжности коленчатых валов / В.П. Иванов, Т.В. Вигерина // Инновации в отрасли народного хозяйства как фактор решения социально-экономических проблем современности: сборник докладов и материалов V Международной научно-практической конференции (Москва, 3 – 5 декабря 2015 г.). – М.: Институт непрерывного образования. – 2015. – С. 165 – 175.