

DOI: 10.34220/2311-8873-2023-4-13



УДК 621.9.048.6

UDC 621.9.048.6

2.5.5 – технология и оборудование механической и физико-технической обработки

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВИБРАЦИОННОЙ МЕХАНОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ РЕНОВАЦИОННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

**REGULARITIES OF VIBRATION MECHANOCHEMICAL CLEANING OF PARTS FROM OPERATIONAL CONTAMINATIONS UNDER THE CONDITIONS OF RENOVATION PRODUCTIO**

✉<sup>1</sup> **Лебедев Валерий Александрович**, к.т.н., профессор кафедры «Технология машиностроения», Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, e-mail: [va.lebidev@yandex.ru](mailto:va.lebidev@yandex.ru)

✉<sup>1</sup> **Lebedev Valery Alexandrovich**, candidate of technical sciences, professor of the department of "Engineering technology", Don state technical university, Rostov-on-Don, e-mail: [va.lebidev@yandex.ru](mailto:va.lebidev@yandex.ru)

**Пастухов Филипп Андреевич**, ведущий инженер НИИ «Вибротехнология», Донской государственной технической университет г. Ростов-на-Дону, e-mail: [vibrotech@mail.ru](mailto:vibrotech@mail.ru)

**Pastukhov Philip Andreevich**, leading engineer of the Research Institute "Vibrotechnology", Don state technical university, Rostov-on-Don, e-mail: [vibrotech@mail.ru](mailto:vibrotech@mail.ru)

**Чаава Михаил Мегонович**, к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения», Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, e-mail: [mihoch1972@gmail.com](mailto:mihoch1972@gmail.com)

**Chaava Mikhail Megonovich**, candidate of technical sciences, associate professor of the department of "Engineering technology", Don state technical university, Rostov-on-Don, e-mail: [mihoch1972@gmail.com](mailto:mihoch1972@gmail.com)

**Аннотация.** Рассматриваются технологические возможности применения вибрационной обработки для механохимической очистки поверхностей деталей в условиях реновационного производства. Приведена схема вибрационной обработки, обеспечивающая технологический эффект процесса очистки, на стадии подготовительных операций, предложены зависимости для их определения. Установлены основные закономерности вибрационной механохимической очистки деталей. Показано, что эффективность процесса удаления загрязнений с поверхности зависит от вида технологической жидкости, активирующего ударно-импульсного воздействия на неё абразивных гранул и их гранулометрических характеристик.

**Annotation.** The technological possibilities of using vibration processing for mechanochemical cleaning of the surfaces of parts in the conditions of renovation production are considered. A diagram of vibration processing is presented that ensures the technological effect of the cleaning process at the stage of preparatory operations, and dependencies for their determination are proposed. The basic principles of vibration mechanochemical cleaning of parts have been established. It has been shown that the effectiveness of the process of removing contaminants from the surface depends on the type of process fluid, the activating shock-pulse effect of abrasive granules on it and their granulometric characteristics.

**Ключевые слова:** РЕНОВАЦИОННОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ВИБРАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА, МЕХАНОХИМИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА, ЗАГРЯЗНЕНИЯ, ГРАНУЛИРОВАННАЯ СРЕДА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЖИДКОСТЬ.

**Keywords:** RENOVATION PRODUCTION, VIBRATION TREATMENT, MECHANOCHEMICAL CLEANING, POLLUTION, GRANULAR MEDIA, PROCESS FLUID.

<sup>1</sup> Автор для ведения переписки

## 1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Современное реновационное производство предусматривает решение целого комплекса организационно-технологических задач, связанных с восстановлением рабочего ресурса объектов материального производства, использованием изделий по новому назначению с минимальными затратами энергии и материалов, либо с утилизацией их с минимальной экологической вредностью.

Качество эффективного решения реновационных задач во много зависит от качества выполнения подготовительных операций, таких как: мойка, очистка от загрязнений, являющихся результатом эксплуатации изделий, разборка, дефектация и другие. Наибольшие трудности при выполнении подготовительных операций в условиях реновационного производства вызывают очистные работы в силу их сложности и высокой продолжительности, связанной со степенью загрязнённости поверхностей, обуславливающей определённую многоэтапность их выполнения [1,2,6]. Так, например, загрязнения автотранспортных средств включают пыль и дорожную грязь, растительные остатки и ядохимикаты, продукты коррозии, топливо, масла и продукты их термического разложения: нагар, накипь, смолистые и лаковые отложения. Следует отметить, что загрязнения охватывают как открытые, доступные для очистки поверхности, так и труднодоступные места деталей, требующих применения специальных средств и способов их удаления.

Существующие на сегодняшний день в отечественной и зарубежной практике способы и средства очистки поверхностей не решают в полной мере эту проблему. Поэтому совершенствование технологического процесса очистки, разработка и применение более эффективного оборудования и технологических жидкостей (ТЖ) имеют немаловажное значение для выполнения моечно-очистных подготовительных операций для решения реновационных задач, направленных на продление жизненного цикла изделий [3,5].

Опыт, накопленный в НИИ «Вибротехнология» по разработке и внедрению в технологию изготовления деталей машин вибрационных технологических систем на операциях отделочно-зачистной обработки позволяет рассматривать их в качестве перспективного средства для выполнения моечно-очистных операций в реновационном производстве. Об актуальности этого направления свидетельствуют широкие технологические возможности вибрационных технологий, а также эффективное практическое применение их в металлообработке [1-20].

Целью настоящих исследований являлось установить особенности механохимической очистки деталей в условия вибрационных технологических систем.

## 2 Материалы и методы

Основным технологическим оборудованием, реализующим процесс вибрационной механохимической очистки, является вибрационная установка, оснащённая 4-мя рабочими камерами U-формы с объёмом 10 дм<sup>3</sup> (рис. 1).



Рисунок 1 – Вибрационная установка УВГ- 4x10

В качестве обрабатываемой среды использовались:

– искусственные гранулированные среды, состоящие из фарфоровых шаров диаметром 6-12 мм, абразивных формованных гранул ПТ10х10, ПТ15х15; природные гранулированные среды, состоящие из дроблённых гранул минерала “Байкалит”; гранулированные среды, полученные из древесины, пластмасс, резины, войлока, фетра, кожи;

– технологические жидкости в виде комбинированных в различном сочетании водных растворов кальцинированной соды, нитрида натрия, фосфорной кислоты, хромового ангидрида, ацетона, хлорного железа, медного купороса, обеспечивающие химическое, пассивирующее и ингибирующее воздействие на поверхность обрабатываемых деталей.

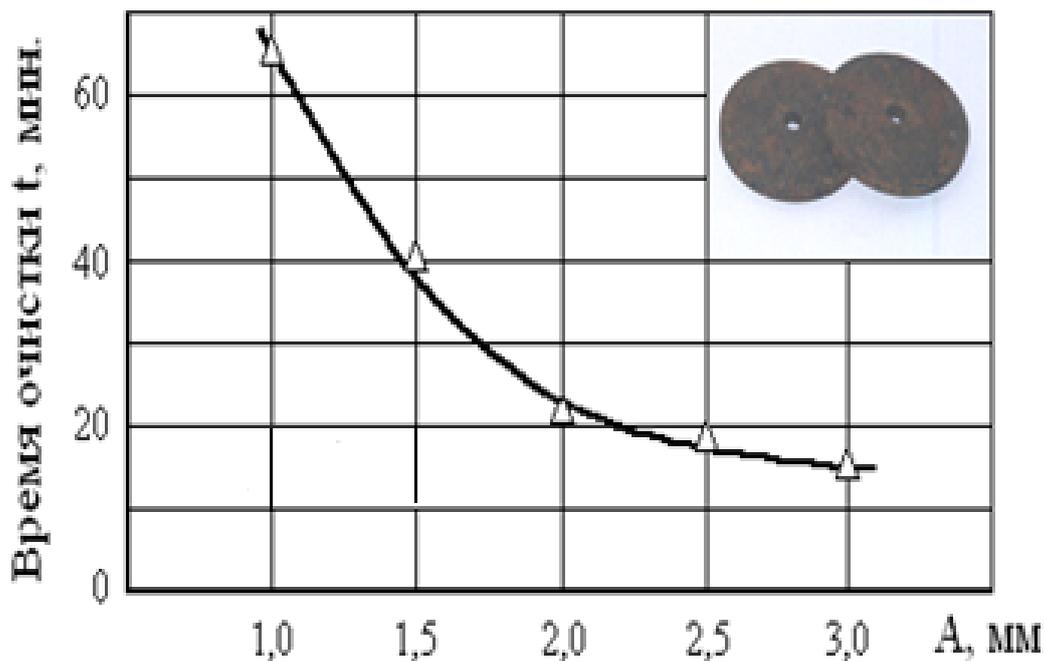
Исследования проводились на цилиндрических образцах, изготовленных из стали 45, алюминиевого сплава Д16Т, латуни ЛС62, Ст. 3, покрытых следами загрязнений в виде коррозии, окалины, масла, а также на деталях автотранспортных средств, бывших в эксплуатации.

Объём загрузки рабочей камеры обрабатываемой средой и деталями не превышал 0,75V<sub>р.к.</sub> (где V<sub>р.к.</sub> – объём рабочей камеры). Обработка образцов осуществлялась при непрерывной промывке технологической жидкостью.

Степень удаления твёрдых загрязнений, определялась путем взвешивания образцов до и после очистки на аналитических весах АД-200 с точностью 0,0002 г. Оценка очистки масляных загрязнений проводилась методом смачивания поверхности водой. Результаты обработки образцов подвергались статистическому анализу, на основе которого устанавливались закономерности вибрационной механохимической очистки в зависимости от условий обработки.

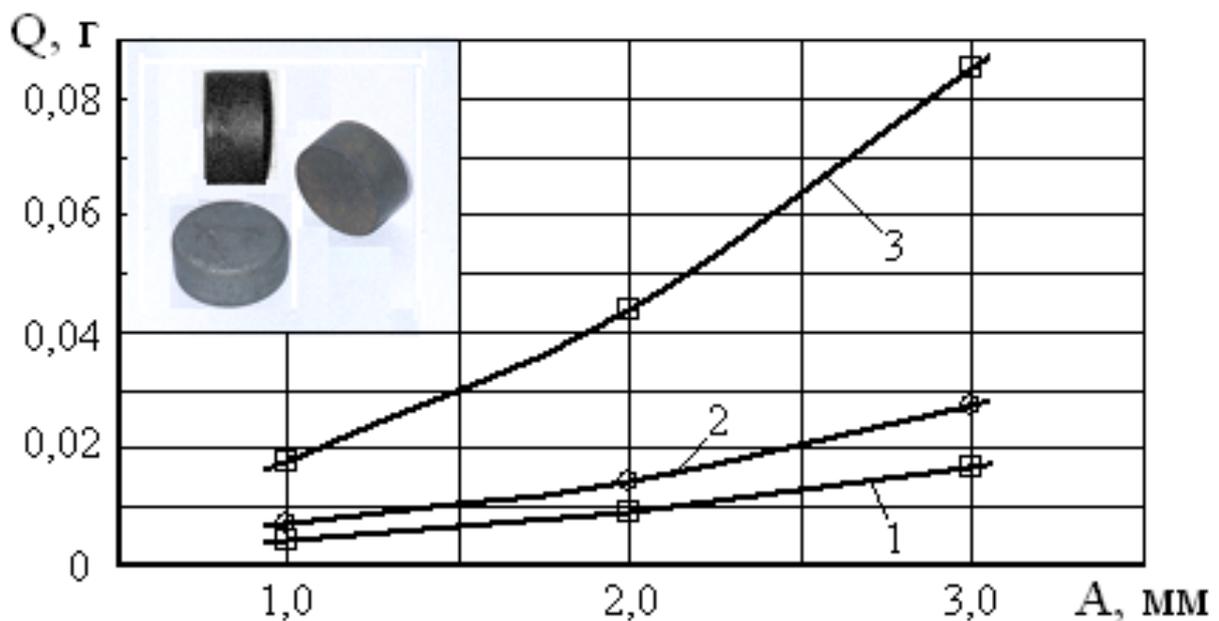
### 3 Результаты исследований

На рис. 2-5 представлены результаты исследований эффективности вибрационной механохимической очистки (ВМХО) поверхности образцов от загрязнений при различных амплитудно-частотных режимах обработки.



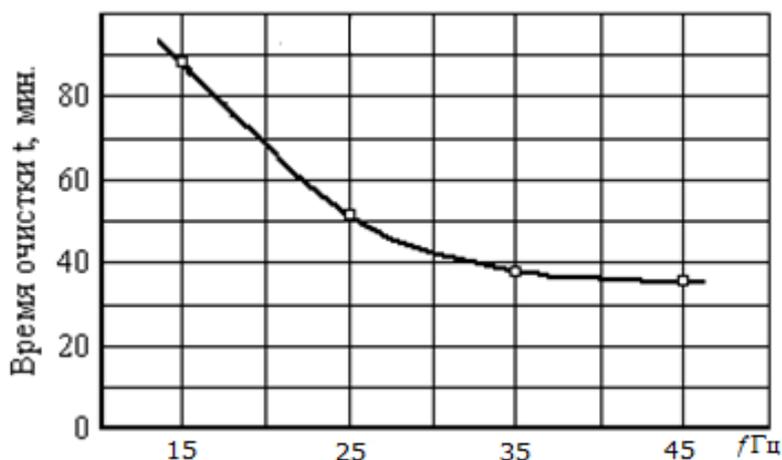
условия очистки: частота колебаний рабочей камеры 33,3 Гц, обрабатывающая среда – абразивные гранулы ПТ10х10 и 5 % водный раствор кальцинированной соды

Рисунок 2 – Зависимость продолжительности ВМХО образцов из Ст3 от амплитуды колебаний рабочей камеры



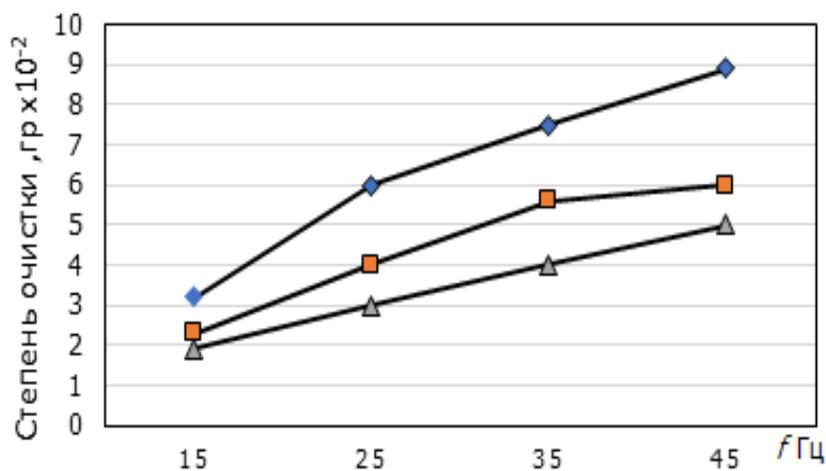
условия очистки: частота колебаний рабочей камеры 33,3 Гц, обрабатывающая среда – абразивные гранулы ПТ10х10 и 5 % водный раствор кальцинированной соды; материал образцов:  
1 – сталь 45; 2 – дуралюминий Д16Т; 3 – латунь ЛС62

Рисунок 3 – Влияние амплитуды колебаний рабочей камеры на степень ВМХО образцов из различных материалов от твердых загрязнений



условия очистки: амплитуда колебаний рабочей камеры – 3 мм, обрабатываемая среда – абразивные гранулы ПТ10х10 и 5 % водный раствор кальцинированной соды

Рисунок 4 – Зависимость продолжительности ВМХО образцов из Ст3 от частоты колебаний рабочей камеры



условия очистки: амплитуда колебаний рабочей камеры – 3 мм, обрабатываемая среда – абразивные гранулы ПТ10х10 и 5 % водный раствор кальцинированной соды; материал образцов: 1 – сталь 45; 2 – дуралюминий Д16Т; 3 – латунь ЛС62

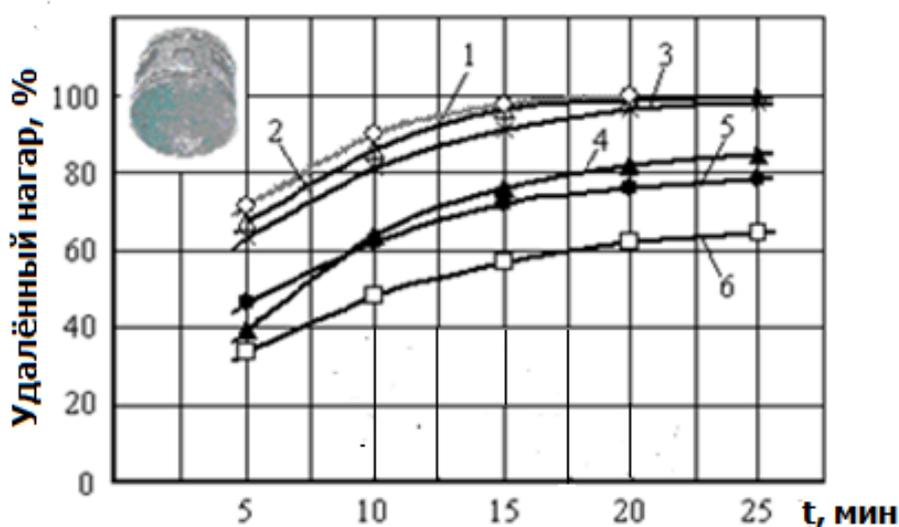
Рисунок 5 – Влияние частоты колебаний рабочей камеры на степень ВМХО образцов из различных материалов от твердых загрязнений

Амплитудно-частотные характеристики, как показано в вышеприведенных исследованиях, определяют в основном интенсивность процесса очистки и, как следствие, его производительность. Что же касается качества очистки, то здесь определяющую роль играет обрабатываемая среда, представляющая собой комбинацию твердых гранул и технологической жидкости, от вида и состава которых зависит технологический эффект очистки поверхностей от загрязнений. Для его оценки была проведена следующая серия экспериментальных исследований в соответствии с технологическими регламентами (ТР), приведёнными в табл. 1. Результаты ВМХО по

установленным регламентам загрязнённых после эксплуатации поршней двигателя Д50, изготовленных из сплава А110В, проиллюстрированы на рис. 6 и 7.

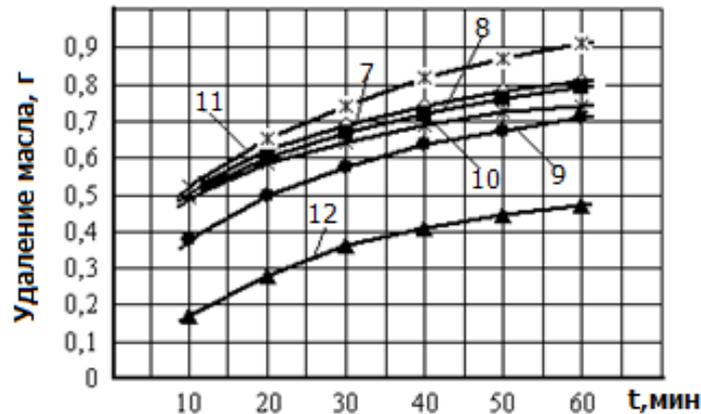
Таблица 1 – Технологические регламенты ВМХО

ТР	Вид гранулированной среды	Технологическая жидкость	Режимы очистки
1	Смесь гранул металлорезиновых (10-30 мм) и абразивных ПТ10х10 в соотношении 3:1	Водный раствор: 1,5 % едкий натр, 2 % прогресс и 2 % кальцинированной соды	Частота колебаний рабочей камеры 33 Гц, амплитуда колебаний $A = 3$ мм.
2	Смесь металлорезиновых гранул (10-30 мм) и фарфоровых шариков (6 -12 мм) в соотношении 3:1		
3	Металлорезиновые гранулы (10-30 мм)		
4	Резиновые гранулы (10-30 мм)		
5	Резиновые гранулы прямоугольной формы (10-30 мм)		
6	Древесные гранулы ( 20-30 мм)		
7	Смесь резиновых гранул (10-30мм) и фарфоровых шариков (6 -12 мм) в соотношением 3:1	$\text{Na}_2\text{CO}_3$ , (30 г/л); $\text{NaOH}$ (40 г/л); $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ (15 г/л)	
8		$\text{NaOH}$ (30 г/л); $\text{NH}_2\text{SO}_2\text{OH}$ (10 г/л)	
9		$\text{Na}_2\text{CO}_3$ (30 г/л); $\text{Na}_3\text{PO}_4$ (20 г/л); прогресс (10 г/л)	
10		$\text{NaOH}$ (20 г/л); $\text{Na}_2\text{CO}_3$ (30 г/л); $\text{Na}_3\text{PO}_4$ (15 г/л)	
11		$\text{Na}_3\text{PO}_4$ (25г/л); $\text{NaOH}$ (15г/л); $\text{NaNO}_3$ (20г/л); $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ (5г/л)	
12		$\text{Na}_2\text{CO}_3$ (50г/л); $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ (15г/л)	



1-6 технологические регламенты, приведенные в табл. 1

Рисунок 6 – Зависимость степени ВМХО поршней от продолжительности обработки и вид обрабатывающей технологической жидкости



7-12 технологические регламенты, приведенные в табл. 1

Рисунок 7 – Зависимость степени ВМХО поршней от продолжительности обработки и состава обрабатывающей гранулированной среды

#### 4 Обсуждение и заключение

Проведённый комплекс экспериментальных исследований подтвердил, что процесс очистки поверхности в условиях вибрационных технологических систем является результатом синтеза одновременно протекающих в рабочей камере под воздействием низкочастотных колебаний механических и химических эффектов.

Установлено, что увеличение амплитуды колебаний приводит к повышению силового ударно импульсного воздействия гранул на обрабатываемую поверхность и, как следствие, к росту величины удаления с неё твердых загрязнений. Увеличение частоты колебаний рабочей камеры способствует интенсификации процесса очистки, обусловленной ростом количества актов ударноимпульсно взаимодействия гранул с очищаемой поверхностью. Таким образом, управление амплитудно-частотными параметрами колебаний позволяет обосновать вид вибрационной технологической системы для выполнения операций очистки деталей от загрязнений в условиях реновационного производства, выбор наиболее рациональных режимов и производительность ВМХО.

Наилучший технологический эффект очистки от твердых загрязнений, таких как нагар, масляно-грязевые отложения, окалина, как показал сравнительный анализ, достигается при использовании в качестве обрабатывающей гранулированной среды, состоящей из резиновых гранул с металлическими сердечниками и абразивных гранул ПТ10х10. Такая комбинация обрабатывающей среды позволяет практически полностью удалить загрязнения из труднодоступных мест, а также микронеровностей обрабатываемых поверхностей деталей. Делается это без разрушения исходной шероховатости.

Предложенный и исследованный набор технологических жидкостей для ВМХО позволил выделить основные составляющие химические элементы, присутствие которых в водном растворе обеспечивает эффективную очистку поверхностей от масляных загрязнений. Представленные результаты исследований не являются исчерпывающими и в каждом конкретном случае в зависимости от свойств загрязнений и обрабатываемого материала могут быть откорректированы как по составу химических элементов, так и по их количественному содержанию, которые должны дополнительно отрабатываться путём экспериментальных и натуральных испытаний.

В заключение следует отметить, что результаты проведенных исследований и установленные на их основе закономерности являются исходной предпосылкой для разработки подготовительных технологических операций, связанных с выполнением моечно-очистных переделов реновационного производства.

Список литературы

- 1 Бабичев, А.П. Применение вибрационных технологий на операциях отделочно-защитной обработки деталей (очистка, мойка, удаление облоя и заусенцев, обработка кромок) / А.П. Бабичев, П.Д. Мотренко, Л.К. Гиллеспи др.; под ред. д-ра техн. наук, проф. А.П. Бабичева. - Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2010. – 289 с.
- 2 Смирнов, Н.С. Очистка поверхности стали / Н.С. Смирнов, М.Е. Простаков, Я.Н. Липкин. – М.: Металлургия, 1987. – 232 с
- 3 Зимон, А.Д. Адгезия жидкости и смачивание – М.: Химия, 1974. – 416 с.
- 4 Семенов, В. И. Удаление загрязнений, прочно связанных с поверхностями деталей // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2013. – № 11. – С. 69-72.
- 5 Бабичев, А.П., Пастухов Ф.А., Давыдова И.В., Виброволновая очистка кардана автомобиля от эксплуатационных и производственных загрязнений/ А.П. Бабичев, Ф.А. Пастухов, И.В. Давыдова, К.В. Гутета, А.М. ЭльДадуки А, О.О. Полушкин. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2015. – № 5-2 (313). – С. 249-255.
- 6 Санамян, В. Г., Емцов С. Г., Хамуда Х. Виброабразивная обработка легкоповреждаемых деталей в машиностроительном и ремонтном производстве // Процессы абразивной обработки, абразивные инструменты и материалы: Материалы междунар. науч. Техн. конф. – Волжский. ВИСИ 1999. – С. 103 – 106.
- 7 Лебедев, В.А. Моделирование эффективности виброочистки поверхности изделий от загрязнений // В сборнике: Проблемы и перспективы развития машиностроения Сборник научных трудов международной научно-технической конференции, посвящённой 60-летию Липецкого государственного технического университета. А.М. Корнеев (ответственный редактор). – 2016. – С. 151-156.
- 8 Аля Саед Бакир. Совершенствование технологии виброабразивной обработки деталей в условиях ремонта и изготовления автотракторных двигателей.: Дис. ... канд. техн. наук. – Ростов н/Д. 1995 – 189с.
- 9 Бабичев, А. П. Вибрационная обработка в условиях ремонтных производств / А.П. Бабичев, В.Г. Санамян, Х. Хамуда и др // Высокие технологии в машиностроении: Материалы международной научн. техн. конф. Харьков, 1999. – Сс. 106 – 107.
- 10 Бабичев, А.П. Исследование технологических параметров вибрационной обработки в многовитковой рабочей камере / А.П. Бабичев, Т.В. Давыдова, В.А. Атоян // XXVII Научно-техническая конференция ААИ «Автотракторостроение. Промышленность и высшая школа». К 60-летию воссоздания МАМИ. Секция «Методы обработки, станки и инструменты»: тез. докл., 29-30 сент. – М., 1999. – С.8-9.
- 11 Бабичев, А.П. Применение вибрационных технологий для повышения качества поверхности и эксплуатационных свойств деталей // А.П. Бабичев, П.Д. Мотренко и др. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2006. – 215 с.
- 12 Карагодин В. И., Митрохин Н. Н. Ремонт автомобилей и двигателей: Учеб. для студ. сред. проф. учеб. заведений. – М.: Мастерство; Высш. школа, 2001. – 496 с.
- 13 Вейсса, Г. К. Повышение эффективности технологии утилизации изделий машиностроения на основе применения виброволновых процессов (на примере изделий сельхозмашиностроения) : специальность 05.02.08 "Технология машиностроения" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Вейсса Гутета Кабета (Guteta Kabeta Weyessa). – Ростов-на-Дону, 2017. – 22 с.
- 14 Бабичев, А.П. Виброволновая очистка кардана автомобиля от эксплуатационных и производственных загрязнений / А. П. Бабичев, Ф. А. Пастухов, И. В. Давыдова [и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. – 2014. – № 4. – С. 8-14.
- 15 Бабичев, А.П., Бабичев И.А. Основы вибрационной технологии: монография. 2-е изд., перераб. и доп. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. -694 с.

16 Бабичев, А.П. Разборка резьбовых соединений виброволновым методом в ходе восстановления и утилизации изделий машиностроения / А. П. Бабичев, Д. Эссоло, Г. К. Вейсса [и др.] // Динамика технических систем : Сборник трудов XII международной научно-технической конференции, Ростов-на-Дону, 16–17 декабря 2015 года. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2016. – С. 334-339.

17 Колганова, Е.Н. Способ вибрационной обработки путём комбинирования вида и состава гранулированных обрабатывающих сред / Е. Н. Колганова, Е. Ю. Крупеня, А. П. Шишкина, Е. П. Мельникова // Машиностроительные технологические системы : Сборник трудов Международной научно-технической конференции, Ростов-на-Дону, 26–29 мая 2022 года / Донской государственный технический университет. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2022. – С. 89-93.

18 Суслов, А.Г. Технологическое обеспечение и повышение эксплуатационных свойств деталей и их соединений / А. Г. Суслов, В. П. Федоров, О. А. Горленко ; под общ. ред. А. Г. Суслова. – Москва : Машиностроение, 2006. – 447 с.

19 Бабичев, А.П. Разборка резьбовых соединений виброволновым методом в ходе восстановления и утилизации изделий машиностроения. / А.П. Бабичев, Д. Эссоло, Г.К. Вейсса, Ф.А. Пастухов // В сборнике: Динамика технических систем. Сборник трудов XII международной научно-технической конференции. 2016. – С. 334-339.

20 Бабичев, А.П. Использование виброволнового воздействия (вибраций) в процессах разборки неподвижных разъемных соединений в условиях ремонта и утилизации изделий машиностроения / А.П. Бабичев, Д. Эссоло, Е.Н. Коваленко // Вестник Донского государственного технического университета. – 2012. – Т. 12, № 1-1(62). – С. 50-55.

21 Малинин, А. В. Очистка деталей и агрегатов машин в современном ремонтном производстве / А. В. Малинин, О. С. Федоров // Научное обеспечение инженерно-технической системы АПК: проблемы и перспективы : Материалы Национальной научно-практической конференции. – Ижевск: Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. – С. 64-69.

## References

1 Babichev, A.P. Application of vibration technologies in finishing and cleaning operations of parts (cleaning, washing, removal of flash and burrs, edge processing) / A.P. Babichev, P.D. Motrenko, L.K. Gillespie et al.; edited by Dr. Tech. sciences, prof. A.P. Babicheva. - Rostov n/a: Publishing center of DSTU, 2010. – 289 p.

2 Smirnov N.S. Cleaning the surface of steel / N.S. Smirnov, M.E. Prostakov, Ya.N. Lipkin. – M.: Metallurgy, 1987. – 232 p.

3 Zimon, A.D. Liquid adhesion and wetting - M.: Khimiya, 1974. - 416 p.

4 Semenov, V.I. Removal of contaminants firmly bound to the surfaces of parts // Bulletin of Polotsk State University. Series B. Industry. Applied Science. – 2013. – No. 11. – P. 69-72.

5 Babichev, A.P., Pastukhov F.A., Davydova I.V., Vibrowave cleaning of a car's cardan from operational and industrial contaminants / Babichev A.P., Pastukhov F.A., Davydova I.V., Guteta K. .V., ElDakduki A.M., Polushkin O.O.-Fundamental and applied problems of engineering and technology. 2015. No. 5-2 (313). pp. 249-255.

6 Sanamyan, V. G., Yemtsov S. G., Hamuda H. Vibroabrasive processing of easily damaged parts in mechanical engineering and repair production // Abrasive processing processes, abrasive tools and materials: Materials of the international. scientific Tech. conf. - Volzhsky. VISI 1999. – p. 103 – 106.

7 Lebedev, V.A. Modeling the effectiveness of vibration cleaning of product surfaces from contamination // In the collection: Problems and prospects for the development of mechanical engineering Collection of scientific papers of the international scientific and technical conference dedicated to the 60th anniversary of the Lipetsk State Technical University. A.M. Korneev (executive editor). 2016. pp. 151-156.

8 Alya Sayed Bakir. Improving the technology of vibroabrasive processing of parts in the conditions of repair and manufacture of automobile and tractor engines.: Dis. cand. tech. Sci. – Rostov n/a. 1995 – 189 p.

9 Babichev, A.P., Sanamyan V.G., Hamuda H. et al. Vibration processing in repair production conditions // High technologies in mechanical engineering: Materials of international scientific research. tech. conf. Kharkov, 1999. – p. 106 – 107.

10 Babichev, A.P. Research of technological parameters of vibration processing in a multi-turn working chamber / A.P. Babichev, T.V. Davydova, V.A. Atoyan // XXVII Scientific and Technical Conference of the AAI “Automotive and Tractor Engineering. Industry and Higher School”. To the 60th anniversary of the re-establishment of MAMI. Section “Processing methods, machines and tools”: abstract. report, 29-30 September. – M., 1999. – P.8-9.

11 Babichev, A.P. Application of vibration technologies to improve the surface quality and performance properties of parts // A.P. Babichev, P.D. Motrenko and others - Rostov n/d: Publishing center of DSTU, 2006. - 215 p.

12 Karagodin, V.I., Mitrokhin N.N. Repair of cars and engines: Textbook. for students avg. prof. textbook establishments. – M.: Mastery; Higher school, 2001. – 496 p.

13 Veissa, G. K. Increasing the efficiency of recycling technology for mechanical engineering products based on the use of vibration-wave processes (using the example of agricultural engineering products): specialty 02/05/08 "Mechanical Engineering Technology": abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences / Veissa Guteta Kabeta (Guteta Kabeta Weyessa). – Rostov-on-Don, 2017. – 22 p.

14 Vibro-wave cleaning of a car’s cardan from operational and industrial contaminants / A. P. Babichev, F. A. Pastukhov, I. V. Davydova [etc.] // News of the South-Western State University. Series: Equipment and technology. – 2014. – No. 4. – P. 8-14.

15 Babichev, A.P., Babichev I.A. Fundamentals of vibration technology: monograph. 2nd ed., revised. and additional -Rostov n/a: Publishing center of DSTU, 2008. -694 p.

16 Dismantling of threaded connections using the vibration wave method during the restoration and recycling of mechanical engineering products / A. P. Babichev, D. Essola, G. K. Weiss [etc.] // Dynamics of technical systems: Collection of proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference, Rostov -on-Don, December 16–17, 2015. – Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2016. – P. 334-339.

17 Method of vibration processing by combining the type and composition of granular processing media / E. N. Kolganova, E. Yu. Krupenya, A. P. Shishkina, E. P. Melnikova // Mechanical engineering technological systems: Collection of proceedings of the International Scientific and Technical Conference , Rostov-on-Don, May 26–29, 2022 / Don State Technical University. – Rostov-on-Don: Don State Technical University, 2022. – P. 89-93.

18 Suslov, A.G. Technological support and improvement of the operational properties of parts and their connections / A. G. Suslov, V. P. Fedorov, O. A. Gorlenko; under general ed. A. G. Suslova. - Moscow: Mechanical Engineering, 2006. - 447 p.

19 Babichev, A.P., Essola D., Veissa G.K., Pastukhov F.A. Dismantling of threaded connections using the vibration wave method during the restoration and recycling of mechanical engineering products. In the collection: Dynamics of technical systems. Collection of proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference. – 2016. – P. 334-339.

20 A. P. Babichev, D. Essola, E. N. Kovalenko Use of vibration wave influence (vibrations) in the processes of disassembling fixed detachable joints in the conditions of repair and recycling of mechanical engineering products // Bulletin of the Don State Technical University. – 2012. – T. 12, No. 1-1(62). – P. 50-55.

21 Malinin, A. V. Cleaning of machine parts and assemblies in modern repair production / A. V. Malinin, O. S. Fedorov // Scientific support of the engineering and technical system of the agro-industrial complex: problems and prospects: Materials of the National Scientific and Practical Conference. – Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2020. – P. 64-69.