

# ТЕХНОГЕННЫЕ ОТХОДЫ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 665.66

Шубина М.В., Тайсина С.М.

## РЕГЕНЕРАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

**Аннотация.** При эксплуатации оборудования в металлургическом производстве применяются индустриальные масла, которые подвергаются воздействию высоких температур и давлений, контактируют с различными металлами, воздухом, водой и агрессивными средами, что приводит к ухудшению их эксплуатационных свойств. Накапливающиеся объемы отработанных масел токсичны, имеют низкую степень биоразлагаемости (10-30%) и являются опасными отходами, которые подлежат обязательному сбору и утилизации. Эффективный способ утилизации – регенерация отработанных масел адсорбционным методом для ресурсосбережения и решения экологических проблем. В связи с этим актуальным является изучение возможности регенерации отработанных индустриальных масел с применением различных сорбентов для их последующего использования при эксплуатации оборудования в металлургическом производстве. Цель проведенного исследования – восстановление качественных характеристик отработанного индустриального масла методом адсорбции до показателей, которые нормирует ГОСТ 20799-2022 «Масла индустриальные. Технические условия». Задачи исследования: разработка технологической схемы регенерации отработанных масел методом адсорбции; определение качественных характеристик масла после адсорбции; сравнительный анализ результативности разных сорбентов для регенерации отработанных индустриальных масел. Анализ результатов исследования показал следующее: адсорбционный метод регенерации отработанного индустриального масла И-40 позволяет полностью восстановить его качественные характеристики до значений по ГОСТ 20799-2022 и использовать повторно для металлургического оборудования; наилучшую адсорбционную и регенерационную способность из двух примененных сорбентов показал трепел – сорбент марки А (фракция 0,2-0,7 мм) производителя ООО «ЧелКрист»; после регенерации масла другим сорбентом – цеолитом производителя ООО «ЦЕО ГРУПП» – получены значительные отклонения от норм по кислотному числу и цвету на колориметре ЦНТ; разработанная технологическая схема регенерации отработанных масел с применением адсорбционной установки позволяет эффективно восстанавливать качественные характеристики масла для его повторного использования в производстве.

**Ключевые слова:** индустриальное масло, регенерация, адсорбция, сорбент, цеолит, трепел, адсорбционная установка

### Введение

Индустриальные масла находят широкое и разнообразное применение при эксплуатации современной техники в металлургическом производстве в различных машинах, механизмах и другом стационарном оборудовании в качестве охлаждающих, смазочных жидкостей и основы для технологических смазок. Оборудование, используемое в металлургии, предъявляет высокие требования к смазочным материалам, поскольку работает при постоянных повышенных температурах, загрязнениях, в условиях абразивной пыльной среды и тяжелых нагрузках. Использование смазочных материалов высокого качества эффективно влияет на увеличение срока службы деталей и оборудования, что уменьшает затраты на его содержание, а также способствует сохранению благоприятной экологической обстановки [1].

Индустриальные масла должны отводить тепло от узлов трения, защищать детали от коррозии, очищать поверхности трения от загрязнения, быть уплотняющим средством, не допускать образования пены при контакте с воздухом, предотвращать образование стойких эмульсий с водой или быть способными эмульгировать, хорошо фильтроваться через филь-

трующие элементы, быть нетоксичными, не иметь неприятного запаха и т.д. В условиях металлургического производства индустриальные масла подвергаются воздействию высоких температур и давлений, контактируют с различными металлами, воздухом, водой и агрессивными средами. Поэтому при эксплуатации индустриальные масла окисляются, что приводит к повышению вязкости, кислотного числа, коррозионной активности, появлению механических примесей, которые усиливают абразивный износ и ухудшают фильтрацию, кроме того, происходит возникновение продуктов деструкции, что понижает температуру вспышки, появляется вода и др. [2].

Ежегодно увеличиваются объемы потребления смазочных материалов и, как следствие, объемы отработанных масел. Отработанные нефтепродукты токсичны, имеют невысокую степень биоразлагаемости (10-30%) и являются опасными отходами, которые подлежат обязательному сбору и утилизации, а в отдельных случаях – уничтожению.

На современном этапе развития российской промышленности важным и актуальным является вопрос вовлечения в производство вторичного сырья, а именно отработанных масел, которые представляют собой сырьевую базу для получения ценных нефтепродуктов при надлежащей переработке [3, 4]. Наиболее эффективный способ утилизации – регене-

рация отработанных масел для полного восстановления их первоначальных свойств и последующего использования по назначению для ресурсосбережения и решения экологических проблем.

Восстановление качества отработанных промышленных масел возможно при использовании технологических операций, основанных на физических, физико-химических, химических процессах и комбинированных [5, 6]. Обычно соблюдается следующая последовательность методов: механическая операция, которая позволяет удалить из масла свободную воду и твердые загрязнения, теплофизическая операция (выпаривание, вакуумная перегонка), физико-химический процесс (коагуляция, адсорбция) [7]. Если вышеперечисленные методы не обеспечивают требуемого эффекта, то используются химические способы регенерации масел, связанные с применением более сложного оборудования и большими затратами.

Одним из эффективных методов восстановления отработанных промышленных масел является физико-химический процесс адсорбционной очистки [8]. Применение адсорбентов основано на их способности, удерживать на своей поверхности значительные количества асфальто-смолистых веществ, кислотных соединений, эфиров и других продуктов старения. Активной поверхностью твердых адсорбентов служит наружная поверхность зерен (гранул) и поверхность бесчисленных пронизывающих их тонких пор – капилляров. Во многих процессах регенерации масел применяют естественные адсорбенты (отбеливающие глины, бокситы и др.) и искусственные (силикагель, окись алюминия, алюмосиликатный катализатор).

После такой обработки становится возможным применение восстановленных промышленных масел по прямому назначению в чистом виде или в смеси со свежим маслом той же марки в соответствии с требованиями ГОСТ 20799-2022 «Масла промышленные. Технические условия» [9]. При значительных отклонениях от норм по отдельным показателям, например вязкости, кислотному числу и коксуемости, такие масла можно применять для смазки грубых механизмов и оборудования, имеющих второстепенное значение [10]. Если правильно организовать переработку

отходов, из них можно получить качественное вторичное сырье [11]. Стоимость восстановленных масел будет на 40-70% ниже, чем для свежих масел.

В связи с этим актуальным является исследование возможности регенерации отработанных промышленных масел для их последующего использования при эксплуатации оборудования в металлургическом производстве. Цель проведенного исследования – восстановление качественных характеристик (физико-химических свойств) отработанного промышленного масла методом адсорбции до показателей, которые нормирует ГОСТ 20799-2022 «Масла промышленные. Технические условия». Достижение поставленной цели осуществлялось решением следующих задач: разработка технологической схемы регенерации отработанных масел методом адсорбции; определение качественных характеристик масла после адсорбции; сравнительный анализ результативности разных сорбентов для регенерации отработанных промышленных масел.

#### Материалы и методы исследования

Для проведения исследования и определения показателей качества готового регенерированного смазочного масла применялась лабораторная и ресурсная база аккредитованной Испытательной лаборатории ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» (ИЛ). Объектом исследования являлось отработанное промышленное масло И-40, предоставленное ООО «Уральский пружинный завод». Фактические исходные показатели качества отработанного промышленного масла И-40 в сравнении с их требуемыми значениями для свежего масла по ГОСТ 20799-2022 «Масла промышленные. Технические условия» приведены в табл. 1 [9]. По экспериментальным данным выявлено, что в испытуемом масле выше нормы оказались следующие показатели: кислотное число; содержание механических примесей; цвет на колориметре ЦНТ.

Показатели качества отработанного промышленного масла И-40 до и после регенерации определялись с применением оборудования ИЛ, представленного в табл. 2.

Таблица 1

Фактические показатели качества отработанного промышленного масла И-40 и нормы для свежего масла по ГОСТ 20799-2022

Наименование показателя	Фактический показатель	Норма для марки И-40 (ГОСТ 20799)	Метод испытания
Кинематическая вязкость при 40°C, мм <sup>2</sup> /с	66,03	61-75	ГОСТ 33-2016
Кислотное число, мг КОН на 1г масла	2,5	не более 0,05	ГОСТ 5985-2022
Зольность, %	0,003	не более 0,005	ГОСТ 1461-2023
Массовая доля серы, %	1,1	не более 1,1	ГОСТ 32139-2024
Содержание механических примесей, %	0,06	отсутствие	ГОСТ 6370-2018
Содержание воды, %	следы	следы	ГОСТ 2477-2014
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	883,5	не более 900	ГОСТ 3900-2022
Температура застывания, °C	-17	не выше -15	ГОСТ 20287-2023
Цвет на колориметре ЦНТ, ед. ЦНТ	8	не более 3,0	ГОСТ 20284-1974
Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °C	238	не ниже 220	ГОСТ 4333-2021

Испытательное оборудование и средства измерений, используемые для определения показателей качества индустриального масла

Наименование показателя	Испытательное оборудование и средства измерений
Кинематическая вязкость при 40°C, мм <sup>2</sup> /с	Вискозиметр капиллярный ВПЖ-4 Ø 0,82
	Вискозиметр капиллярный ВПЖ-2 Ø 0,99
Кислотное число, мгКОН на 1 г масла	Иономер лабораторный И-160
Зольность, %	Печь электрокамерная зуботехническая для нагрева литейных форм ЭКПС-10
Массовая доля серы, %	Анализатор рентгенофлуоресцентный энергодисперсионный серы в нефти и нефтепродуктах Спектроскан S
Содержание механических примесей, %	Насос, колба Бунзена, фильтровальная бумага
Содержание воды, %	Аппарат количественного определения воды в нефтепродуктах типа АКОВ-10
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	Ареометр АН (860 - 890 кг/м <sup>3</sup> )
Температура застывания, °С	Аппарат лабораторный для определения температур текучести и застывания нефтепродуктов ЛАЗ-93М
Вспомогательные средства измерений	Весы лабораторные электронные ВЛ-210
	Весы лабораторные электронные ВЛТЭ-500
	Секундомер механический СОПр-2а-3-000
	Секундомер механический СОПр-2а-3-000
	Термометр стеклянный для испытания нефтепродуктов ТИН 5-3 (0...+50°C)

Для регенерации отработанного индустриального масла И-40 при проведении исследования применялись два сорбента:

1 – цеолит активированный осадочный (фракция 0,2-1,0мм), производитель ООО «ЦЕО ГРУПП»;

2 – трепел, сорбент марки А (фракция 0,2-0,7 мм), производитель ООО «ЧелКрист».

Для проведения процесса адсорбции использовали установку, собранную в условиях ИЛ: в сухую, чистую делительную воронку засыпали сорбент и заливали нагретый до 60°C испытуемый материал, через отводную трубку в мерный стакан поступало отрегенированное индустриальное масло. Наглядно процесс адсорбции отработанного индустриального масла представлен на рис. 1. По мере пропитывания сорбента наблюдалось изменение его цвета по высоте. По окончании процесса адсорбции испытуемый материал был отфильтрован при помощи фильтровальной бумаги для удаления частичек сорбента. Испытания проводились с разными сорбентами, представленными выше.



Рис. 1. Пропитывание сорбента при адсорбции отработанного индустриального масла

## Результаты и их обсуждение

Проведенное исследование позволило разработать технологическую схему регенерации отработанных масел методом адсорбции с применением адсорбционной установки, представленной на рис. 2. Технологическая схема процесса адсорбции включает следующие этапы. Начало процесса происходит путём смачивания сорбента отработанным маслом из расходного резервуара 3 под давлением 0,3-0,7 атм. Процесс смачивания сорбента можно оценить путем открытия сливного крана адсорбционной колонны после приёмника-накопителя 11, где можно увидеть процесс очистки отработанного индустриального масла по изменению цвета масла. Далее, повышая давление до 1,5-3,0 атм в зависимости от загрязнённости и вязкости изначального масла, начинается процесс адсорбции.

Масло из расходного резервуара 3 (рис. 2) подается в адсорбционную колонну при помощи шестеренчатого насоса (НШ-10) 6 путем разбрызгивания через лейку 8, чтобы избежать нарушения слоя сорбента. Для индустриального масла марки И-40 используется сорбент фракцией 0,2-0,7 мм. Внизу адсорбционной колонны установлен сетчатый фильтр 10 диаметром 0,16 мкм, который фильтрует регенированное масло от сорбента в приемник-накопитель 11. Из приёмника-накопителя очищенное индустриальное масло поступает в резервуар для хранения. Скорость поглощения адсорбентом продуктов окислительного старения и других примесей зависит от вязкости очищаемого масла (чем больше вязкость, тем меньше скорость адсорбции) и от степени измельчения адсорбента.

Результаты определения качественных характеристик регенированного масла, полученного после адсорбции с применением двух разных сорбентов, представлены в табл. 3.

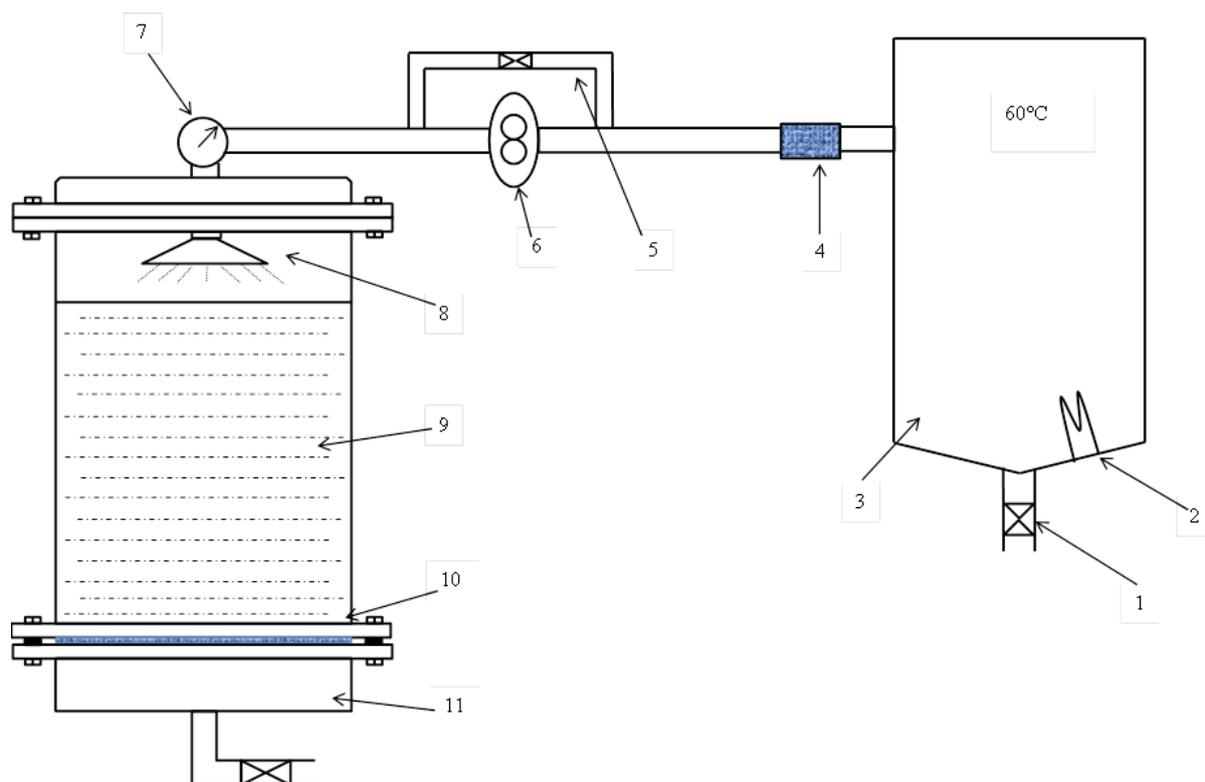


Рис. 2. Адсорбционная установка:

- 1 – сливной кран; 2 – нагревательный элемент; 3 – расходный резервуар; 4 – сетчатый фильтр;  
5 – байпас; 6 – насос; 7 – манометр; 8 – лейка для равномерного распределения; 9 – сорбент;  
10 – сетчатый фильтр; 11 – приёмник-накопитель

Таблица 3

Показатели качества регенерированного промышленного масла после применения разных сорбентов и нормы для свежего масла по ГОСТ 20799-2022

Наименование показателя	Норма для марки И-40 (ГОСТ 20799)	Цеолит активированный осадочный, производитель ООО «ЦЕО ГРУПП»	Трепел, сорбент марки А, производитель ООО «ЧелКрист»
Кинематическая вязкость при 40°C, мм <sup>2</sup> /с	61-75	62,34	61,32
Кислотное число, мг КОН на 1 г масла	не более 0,05	0,08	0,02
Зольность, %	не более 0,005	0,003	0,002
Массовая доля серы, %	не более 1,1	0,927	0,932
Содержание механических примесей, %	отсутствие	отсутствие	отсутствие
Содержание воды, %	следы	отсутствие	отсутствие
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	не более 900	881,6	881,6
Температура застывания, °C	не выше -15	-17	-19
Цвет на колориметре ЦНТ, единиц ЦНТ	не более 3,0	7	2,5
Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °C	не ниже 220	240	244

Сорбенты, используемые для восстановления качества отработанного промышленного масла, положительно повлияли на его характеристики, приближая их к нормативным значениям. Сравнительный анализ результативности разных сорбентов для регенерации отработанных промышленных масел показал большую адсорбционную эффективность трепела – сорбента марки А от производителя ООО «ЧелКрист». Этот сорбент обеспечил полное восстановление отработан-

ного масла до нормативных характеристик свежего масла И-40 по ГОСТ 20799. Применение этого сорбента улучшило ряд показателей качества масла:

- плотность при 20°C уменьшилась на 1,9 кг/м<sup>3</sup>;
- кинематическая вязкость при 40°C уменьшилась на 4,71 мм<sup>2</sup>/с;
- кислотное число уменьшилось на 2,48 мг КОН на 1 г масла;
- цвет снизился на 5,5 единиц ЦНТ.

Вместе с тем второй сорбент – цеолит – не обеспечил восстановление двух показателей качества масла – кислотное число и цвет на колориметре ЦНТ – до нормативных значений. Кислотное число характеризует наличие в масле кислотных компонентов (элементы присадок, продукты сгорания, продукты окисления), отвечает за коррозионную активность и срок службы масла. Цвет визуально характеризует степень окисленности масла, а также оценивает качество и товарный вид. Цвет масла, полученного в результате регенерации после применения двух разных сорбентов, представлен на рис. 3 и показывает качественные преимущества регенерированного масла после адсорбции сорбентом марки А от производителя ООО «ЧелКрист».



Рис. 3. Цвет регенерированного промышленного масла после разных сорбентов (слева направо: исходное отработанное промышленное масло И-40; масло, регенерированное цеолитом, производитель ООО «ЦЕО ГРУПП»; масло, регенерированное трепелом - сорбентом марки А, производитель ООО «ЧелКрист»)

### Заключение

В результате проведенных исследований возможности регенерации отработанных промышленных масел для их последующего использования при эксплуатации оборудования в металлургическом производстве можно сделать следующие выводы:

– адсорбционный метод регенерации отработанного промышленного масла И-40 позволяет полностью восстановить его качественные характеристики до нормированных значений по ГОСТ 20799-2022 «Масла промышленные. Технические условия» и применять регенерированное масло по прямому назначению для металлургического оборудования в чистом виде или в смеси со свежим маслом той же марки;

– наилучшую адсорбционную и регенерационную способность из двух примененных сорбентов показал трепел – сорбент марки А (фракция 0,2-0,7 мм) производителя ООО «ЧелКрист»; после регенерации масла другим сорбентом – цеолитом производителя ООО «ЦЕО ГРУПП» получены значительные откло-

нения от норм по отдельным показателям (кислотное число и цвет на колориметре ЦНТ);

– разработанная технологическая схема регенерации отработанных масел методом адсорбции с применением адсорбционной установки позволяет эффективно восстанавливать качественные характеристики (физико-химические свойства) отработанного промышленного масла для его повторного использования в производстве, обеспечивая ресурсосбережение и решение экологических проблем.

### Список источников

1. Корячкин В.П. Реологические характеристики смазок // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2008. №7. С.25-28.
2. Утаев С.А. Результаты расчета изменения концентрации загрязнителя и щелочности моторных масел газовых двигателей // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90. №3. С. 265-272. doi: 10.17816/0321-4443-321243.
3. Юсевич А.И., Грушова Е.И., Куис О.В. Вторичные виды сырья в технологии органического синтеза: учеб. пособие для студентов специальности «Химическая технология органических веществ, материалов и изделий». Минск : БГТУ, 2012. 164 с.
4. Шубина М.В., Махоткина Е.С., Тайсина С.М. Актуальность регенерации минеральных масел // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тез. докл. 81-й междунар. науч.-техн. конф. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2023. Т. 1. С. 132.
5. Регенерация отработанных минеральных масел / Петрик П.Т., Афанасьев Ю.О., Богомолов А.Р., Дворовенко И.В., Богомолов А.А. // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2005. №3 (47). С. 87-89.
6. Пахотин Н.Е., Осадчий Ю.П., Пахотина И.Н. Регенерация отработанных моторных масел с использованием наномембран // Современные материалы, техника и технологии. 2017. № 7 (15). С.63-67.
7. Чарыков В.И. Зуев В.С., Маянцев А.В. Ресурсосберегающая технология и технические средства возобновления эксплуатационных свойств отработанных моторных масел // Аграрный вестник Урала. 2008. № 6 (48). С.79-82.
8. Шубина М.В., Махоткина Е.С., Тайсина С.М. Регенерация промышленных масел методом адсорбции // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тез. докл. 82-й междунар. науч.-техн. конф. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2024. Т. 1. С. 149.
9. ГОСТ 20799-2022. Масла промышленные. Технические условия.
10. Адсорбционная очистка отработанного трансформаторного масла с использованием промышленных монтмориллонитсодержащих сорбентов / Коваль Е.О., Богомолов М.С., Майер Э.А., Бондале-

тов В.Г. // Известия Томского политехнического университета. 2007. Т.310. № 3. С.86-89.  
11. Зачиняев Я.В., Зачиняева А.В. Восстановление качества отработанных смазочных масел с целью их

повторного использования. Текст : электронный // NovaInfo, 2022. № 134. С. 10-13. URL: <https://novainfo.ru/article/19468>.

#### Сведения об авторах

**Шубина Марианна Вячеславовна** – кандидат технических наук, доцент кафедры МиХТ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», Магнитогорск, Россия. E-mail: shubina\_mar@mail.ru

**Тайсина Светлана Михайловна** – инженер Испытательной лаборатории, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», Магнитогорск, Россия.

---

#### INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

---

### REGENERATION OF WASTE INDUSTRIAL OILS FOR USE IN METALLURGICAL PRODUCTION

**Shubina Marianna V.** – PhD (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Metallurgy and Chemical Technology Chair, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: shubina\_mar@mail.ru.

**Taysina Svetlana M.** – Engineer of Testing Laboratory, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia.

**Abstract.** When the equipment is operated in metallurgical production, industrial oils are used. The exposure to high temperatures, pressures, various metals, air, water and aggressive environments leads to a deterioration in their operational properties. The accumulated volumes of waste oils are toxic, have a low degree of biodegradability (10-30%) and are hazardous waste that must be collected and disposed. An effective disposal method is the regeneration of the waste oil using the adsorption method to save resources and solve environmental problems. In this regard, it is relevant to study the possibility of regenerating waste industrial oils using various sorbents for their subsequent use in the operation of equipment in metallurgical production. The study purpose is to restore the quality characteristics of waste industrial oil by adsorption to the indicators standardized by GOST 20799-2022 «Industrial oils. Technical conditions». The study objectives: development of technological scheme for waste oil regeneration by the adsorption method; determination of the oil quality characteristics after adsorption; comparative analysis of the efficiency of different sorbents for waste industrial oil regeneration. The study result analysis showed the following: the adsorption regeneration method for waste industrial oil I-40 allows to completely restore its quality characteristics to the values according to GOST 20799-2022 and reuse it for metallurgical equipment; the best adsorption and regeneration capacity of the two sorbents used was demonstrated by trepel, a sorbent type A (fraction 0,2-0,7 mm) manufactured by LLC «ChelKrist»; after the oil regeneration with another sorbent – zeolite manufactured by LLC «TSEO GRUPP», significant deviations from the standards for acid number and color on colorimeter TsNT were obtained; the developed technological scheme for the waste oil regeneration using an adsorption installation allows for the effective restoration of the oil quality characteristics for its reuse in production.

**Keywords:** industrial oil, regeneration, adsorption, sorbent, zeolite, trepel, adsorption facility

---

Ссылка на статью:

Шубина М.В., Тайсина С.М. Регенерация отработанных промышленных масел для применения в металлургическом производстве // Теория и технология металлургического производства. 2025. №3(54). С. 37-42.  
Shubina M.V., Taysina S.M. Regeneration of waste industrial oils for use in metallurgical production. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2025, vol. 54, no. 3, pp. 37-42.