

ТАДҚИҚОТ ВА ИННОВАЦИЯЛАР ЖУРНАЛИ

ЖУРНАЛ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИННОВАЦИИ | JOURNAL OF RESEARCH AND INNOVATIONS

ЖУРАЕВ Тулкинжон Эрмахаматович

*Базовый докторант лаборатории
«Процессы и аппараты химической технологии»
Института общей и неорганической химии АН РУз*

ИСМАИЛОВ Ойбек Юлибоевич

*Ведущий научный сотрудник лаборатории
«Процессы и аппараты химической технологии»
Института общей и неорганической химии АН РУз,
д.т.н., проф. (DSc)*

ИСАМАТОВА Джамиля Нигматуллаевна

*Начальник отдела докторантуры и научных исследований
Ташкентского химико-технологического института,
д.ф.т.н., PhD*

<https://doi.org/10.5281/zenodo.13837172>

ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

АННОТАЦИЯ

В этой статье приводится сравнительный анализ используемых технологий переработки моторных масел. Первоначально было описано, что химический состав отработанных моторных масел в процессе эксплуатации меняется в результате включения в его состав присадок. Поскольку степень ущерба окружающей среде, причиняемого неправильной утилизацией масла, используемого в следующих разделах, известна, для предотвращения дальнейшего загрязнения окружающей среды отходами этого типа приводится надлежащая иерархическая структура управления. Среди методов управления утилизацией отработанного масла технологии переработки являются наиболее выгодными как для окружающей среды, так и с экономической точки зрения. В процессе переработки нефти были приведены методы обработки (кислотно-сорбционные, экстракция растворителем, вакуумная дистилляция, мембранная фильтрация), которые в настоящее время широко используются по всему миру. В части результатов и обсуждений был проведен анализ результатов, полученных с помощью методов кислотно-адсорбционной обработки, экстракции растворителем и вакуумной перегонки отработанного моторного масла, проведенных учеными всего мира. Кроме того, был проведен сравнительный анализ преимуществ и недостатков каждой из представленных технологий. В результате анализа даны выводы об актуальных задачах, стоящих перед технологиями переработки нефти.

Ключевые слова: двигатель, отработанное масло, иерархия, загрязнение, двигатель внутреннего сгорания, мембранная фильтрация, вакуумная дистилляция, экстракция, технология.

ИШЛАТИЛГАН МОТОР МОЙЛАРИНИ УТИЛИЗАЦИЯ ҚИЛИШ ТЕХНОЛОГИЯСИ

АННОТАЦИЯ

Ушбу мақолада мотор мойларини қайта ишлаш учун ишлатиладиган технологияларнинг қиёсий таҳлили келтирилган. Дастлаб, ишлатилган двигател мойларининг кимёвий таркиби унинг таркибига қўшимчалар киритилиши натижасида иш пайтида ўзгариши тасвирланган. Қуйидаги бўлимларда ишлатиладиган нефтни нотўғри утилизация қилиш натижасида атроф-муҳитга етказилган зарар даражаси маълум бўлганлиги сабабли, атроф-муҳитнинг ушбу турдаги чиқиндилардан кейинги ифлосланишини олдини олиш учун тегишли иерархик бошқарув тузилмаси тақдим этилган. Чиқиндиларни йўқ қилишни бошқариш усуллари орасида қайта ишлаш технологиялари атроф-муҳит учун ҳам, иқтисодий нуқтаи назардан ҳам энг фойдали ҳисобланади. Нефтни қайта ишлаш жараёнида ҳозирда бутун дунёда кенг қўлланиладиган қайта ишлаш усуллари (кислота сорбцияли, эритувчи экстракцияли, вакуум дистиллаш, мембранани филтрлаш) берилган. Натижалар ва мунозаралар нуқтаи назаридан бутун дунё олимлари томонидан кислота адсорбцияли, эритувчи экстракцияли ва ишлатилган двигател мойини вакуумли дистиллаш усуллари ёрдамида олинган натижалар таҳлили ўтказилди. Бундан ташқари, тақдим этилган технологияларнинг ҳар бирининг афзалликлари ва камчиликлари қиёсий таҳлил қилинди. Таҳлил натижасида нефтни қайта ишлаш технологиялари олдида турган долзарб вазибалар тўғрисида хулосалар чиқарилади.

Калит сўзлар: двигател, чиқинди ёғи, иерархия, ифлосланиш, ички ёниш двигатели, мембранали филтрлаш, вакуумли дистиллаш, экстракция, технология.

WASTE ENGINE OIL RECYCLING TECHNOLOGY

ANNOTATION

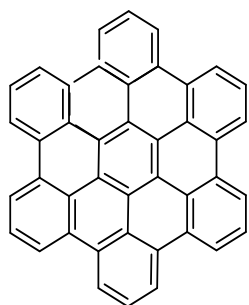
This article provides a comparative analysis of the used technologies for processing motor oils. Initially, it was described that the chemical composition of used engine oils changes during operation as a result of the inclusion of additives in its composition. Since the extent of environmental damage caused by improper disposal of the oil used in the following sections is known, an appropriate hierarchical management structure is provided to prevent further environmental pollution from this type of waste. Among the methods of waste oil disposal management, recycling technologies are the most beneficial both for the environment and from an economic point of view. In the process of oil refining, processing methods (acid sorption, solvent extraction, vacuum distillation, membrane filtration) were given, which are currently widely used around the world. In terms of results and discussions, the analysis of the results obtained using methods of acid adsorption treatment, solvent extraction and vacuum distillation of used engine oil conducted by scientists around the world was carried out. In addition, a comparative analysis of the advantages and disadvantages of each of the presented technologies was carried out. As a result of the analysis, conclusions are drawn about the urgent tasks facing oil refining technologies.

Keywords: engine, waste oil, hierarchy, pollution, internal combustion engine, membrane filtration, vacuum distillation, extraction, technology.

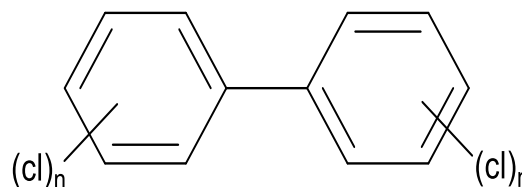
Смазочные материалы являются одним из средств, обеспечивающих непрерывную работу двигателя внутреннего сгорания. Существуют различные моторные масла, которые подходят в зависимости от принципа работы и типа двигателя. Одной из основных функций масел является улучшение сцепления с металлическими поверхностями, в то же время, трение деталей, поддержание внутренней температуры двигателя и стабилизация срока службы деталей, а также защита от коррозии [1].

В результате работы двигателя в различных условиях масла претерпевают ряд структурных изменений из-за воздействия окружающей среды при транспортировке (пыль и песок, влага и кислоты) или веществ, образующихся во внутренней среде двигателя (загрязненные газы, металлические частицы). В результате этих процессов моторное масло становится все более загрязненным и его свойства существенно меняются, в результате чего параметры масла, необходимые для работы двигателя, резко снижаются.

Отработанное масло неэффективно для использования в двигателях внутреннего сгорания, а при неправильной утилизации оно превращается в загрязняющие органические полимерные вещества, опасные для окружающей среды. Структурная формула этих полимеров, следующая:



Полициклические ароматические углеводороды



Полихлорированный бифенил

Рис.1. Органические полимерные вещества

Отработанные масла содержат тяжелые металлы, такие как Pb, As, Cd и кислотные остатки. Они наносят значительный ущерб окружающей среде в результате своего воздействия на атмосферу, гидросферу и литосферу. Из-за нанесенного ущерба загрязняется воздух, и, как следствие, жизнь людей и животных подвергается опасности. Таким образом, отработанные моторные масла относятся к категории опасных отходов, и их переработка или целенаправленная утилизация является одной из неотложных задач. Для снижения негативного воздействия на окружающую среду и экономических затрат на утилизацию были разработаны различные способы переработки отработанных масел. В исследовании анализируются применяемые во всем мире методы обработки моторных масел, приводятся их статистические результаты, влияние на свойства обрабатываемого масла, а также суммируются преимущества и недостатки каждого метода обработки.

Принимая во внимание экономические и экологические аспекты, было установлено, что надлежащая переработка отработанных моторных масел может быть достигнута путем соблюдения иерархии доступных вариантов, которые осуществляются в соответствии с экологическими принципами. Пирамида шкалы ущерба при переработке отработанного моторного масла представлена на рис.2. [2].



Рис.2. Иерархическая структура правильной обработки масел

Информация, представленная на этом рисунке, структурирована с учетом вреда, который она наносит экологии при обращении с отработанными маслами (переработка, сжигание, утилизация и т. д.). При этом результаты переработки в рядах, отмеченных зеленым цветом, являются положительными. Результаты в строке, помеченной желтым цветом, должны быть выполнены в соответствии с определенным регламентом с расчетом относительно безопасных результатов. Результаты, отмеченные оранжевым, считаются не рекомендуемыми результатами.

Актуальность утилизации отработанного моторного масла требует со временем совершенствования технологических процессов на перерабатывающих предприятиях. Высокой эффективности очистки нефти можно достичь, проводя кислотно-адсорбционную обработку, экстракцию растворителем, вакуумную дистилляцию и обработку адсорбентом, вакуумную дистилляцию и гидрирование, а также процессы мембранной фильтрации.

Моторное масло, используемое в этом методе, обрабатывают различными видами кислот (серной, муравьиной, уксусной) и смешивают с адсорбентом. Технология обработки серной кислотой применяется с 1935 года, и эта технология является одним из старейших методов переработки нефти [3]. Перед очисткой отработанное масло фильтруется для сохранения всех механических примесей, а затем подвергается дистилляции для отделения от воды и легких углеводородов. Все ароматические соединения, сажа ($PM_{2,5}$) и другие примеси, изменяющие свойства масла, растворяются в серной кислоте и образуют осадок, который легко отделяется. После завершения процесса экстрагированное масло обрабатывают адсорбентом (обычно бентонитовой глиной) для очистки жидкости [4].

Экстракция растворителем включает растворение ароматических компонентов в растворителе, оставляя насыщенные углеводородные компоненты (особенно алканы) в качестве отделенной фазы [5].

На первом этапе этого процесса происходит простая фильтрация масла для удаления твердых частиц. Отфильтрованное масло смешивается с растворителем. После этого осаждающий реагент удаляет соединения тяжелых металлов и тяжелые потоки, содержащие асфальтены.

Процесс дистилляции может быть использован для восстановления свойств растворителя и получения потока, содержащего большую часть смазочного масла, которое может быть фракционировано вакуумной дистилляцией и выделено [6].

Наиболее распространенными растворителями, используемыми для этого процесса, являются пропан, спирты, бутан или пентан, но можно использовать и другие химические растворители. При вакуумной дистилляции и обработке адсорбентом основными этапами процесса являются предварительная обработка отработанного масла (удаляются примеси, вода и легкие углеводороды, которые могут вызвать загрязнение и коррозию оборудования), а затем его вакуумная дистилляция с использованием обычной вакуумной колонны [7].

Затем эти стадии разделяются путем очистки масел адсорбентом от нежелательных цветных пигментов и неприятных запахов. Адсорбент, используемый в этих процессах, легко регенерируется, и его можно использовать повторно [6].

В процессе вакуумной дистилляции и гидрирования процесс обработки адсорбента заменяется гидрированием. Это направление было разработано из-за трудностей с регенерацией адсорбента при вакуумной дистилляции. На первом этапе процесса вакуумной дистилляции и гидрирования отработанное масло сначала обезвоживается и отделяется от легких углеводородов. Оно используется для вакуумной дистилляции при температуре до 250⁰С. В результате гидрирования дистиллированного продукта на последней стадии эффективно отделяются токсичные соединения азота, серы и другие оксиды, присутствующие в химическом составе отработанного масла. Также на этом этапе устраняются различные неприятные запахи, вызванные окислением некоторых химических элементов, что в конечном итоге приводит к улучшению цвета масла [8].

Технология мембранной фильтрации. Мембранная фильтрация - это непрерывный процесс, который удаляет металлические частицы и пыль из отработанного моторного масла и повышает температуру воспламенения восстановленных масел. В этом методе для переработки отработанного моторного масла используются три типа полимерных мембран из полого волокна. Химическая и структурная формула этих полимерных волокнистых мембран выглядит следующим образом:

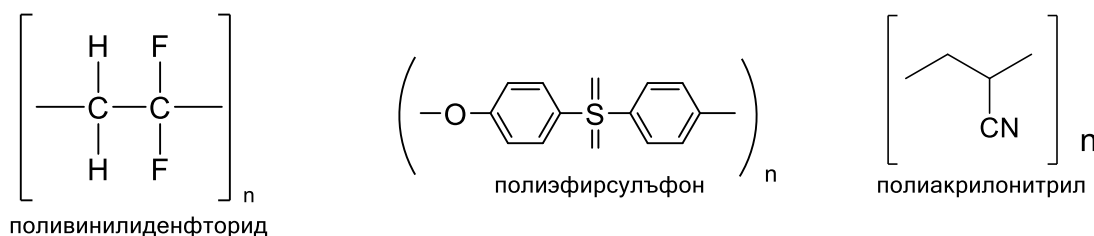


Рис.3. Мембрана из полимерного волокна

Процессы проводятся при температуре 40⁰С и низком давлении [9].

Использование современных высокотемпературных полимерных мембран имеет много важных преимуществ перед традиционными методами очистки нефти, но мембраны дороги и подвержены повреждениям и засорению крупными частицами.

Чтобы продемонстрировать результаты различных технологических методов переработки отработанного моторного масла были проанализированы экспериментальные результаты, полученные из различной литературы по каждой технологии, и изучены их средние значения. В нашем исследовании были проанализированы результаты исследований, проведенных с помощью методов кислотной-адсорбционной обработки [10-12, 17-19], экстракции растворителем [13-15, 20-21] и вакуумной дистилляции [6, 16]. Для сравнительного анализа было выбрано моторное масло марки ROWE SYNT RS D1 SAE 5W-30.

Результаты экспериментов по изучению кинематической вязкости, индекса вязкости, плотности, температуры вспышки, застывания и общего кислотного числа моторного масла представлены на рисунках 4÷9.

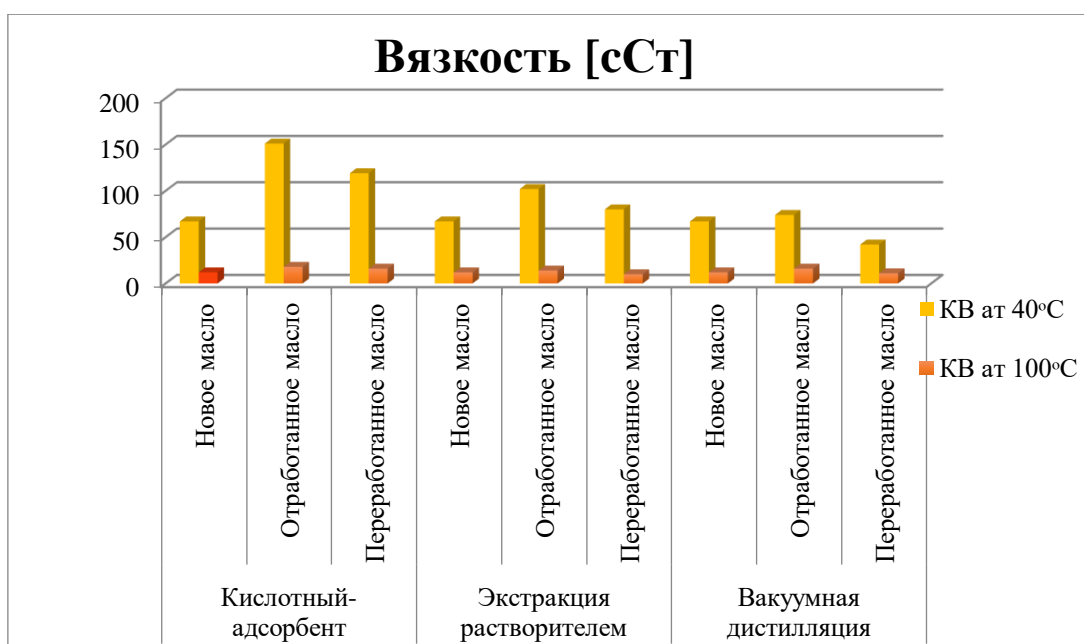


Рис.4. Динамика изменения показателей кинематической вязкости

Диаграмма на рис.4 показывает кинематическую вязкость (сСт) новых, отработанных и переработанных масел. Было замечено, что кинематическая вязкость нового масла при 40°C составляет 67 сСт, а при повышении температуры до 100°C вязкость снижается до 12 сСт. Его вязкость при 40°C до обработки кислотой-адсорбентом составляла 151 сСт, после обработки она снизилась до 119 сСт. Вязкость отработанного масла при температуре 100°C составляла 18 сСт, после переработки она снизилась до 16 сСт.

В методе экстракции растворителем кинематическая вязкость используемого масла при 40°C была равна 102 сСт, а после обработки она снизилась до 80 сСт. При 100°C вязкость снижается с 14 до 10 сСт.

Было определено, что кинематическая вязкость масла, используемого в методе вакуумной дистилляции, при 40°C после обработки снижается с 74 до 42 сСт, а при 100°C - с 16 до 11 сСт.

На диаграмме на рис.5 показаны значения индекса вязкости новых, отработанных и переработанных масел, при этом индекс вязкости нового масла равен 164. Индекс вязкости отработанного масла до обработки кислотным адсорбентом составлял 103, а в процессе обработки он увеличился на 4 пункта и составил 107. Было обнаружено, что при очистке методом экстракции растворителем индекс вязкости снизился на 19 пунктов со 120 до 101. При использовании метода вакуумной дистилляции вновь исследованный показатель увеличился на 23 пункта и увеличился со 100 до 123.



Рис.5. Индекс вязкости масел

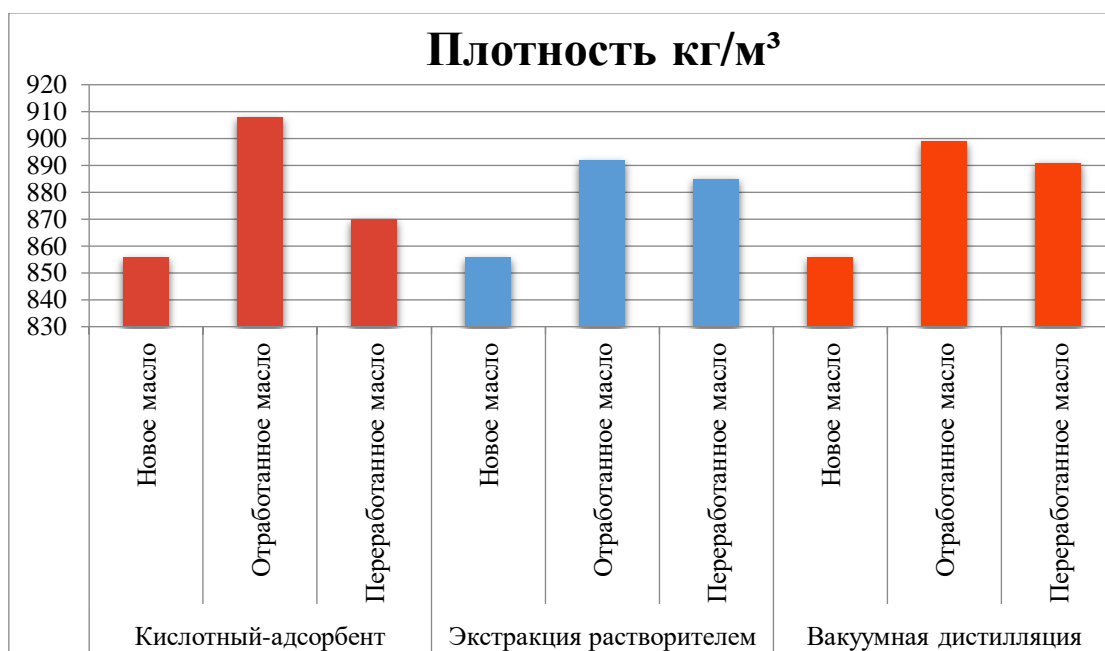


Рис.6. Изменение плотности масел при различных способах очистки

Диаграмма, представленная на рис.6, показывает, что плотность (θ) нового масла составляет 856 кг/м^3 , а его плотность до обработки кислотным адсорбентом составляет 908 кг/м^3 , которая снижается до 870 кг/м^3 в конце процесса. При использовании метода экстракции растворителем плотность использованного масла составила 896 кг/м^3 , а после очистки она составила 885 кг/м^3 . Было определено, что плотность масла до очистки методом вакуумной дистилляции составляла 899 кг/м^3 , а в конце процесса - 891 кг/м^3 .

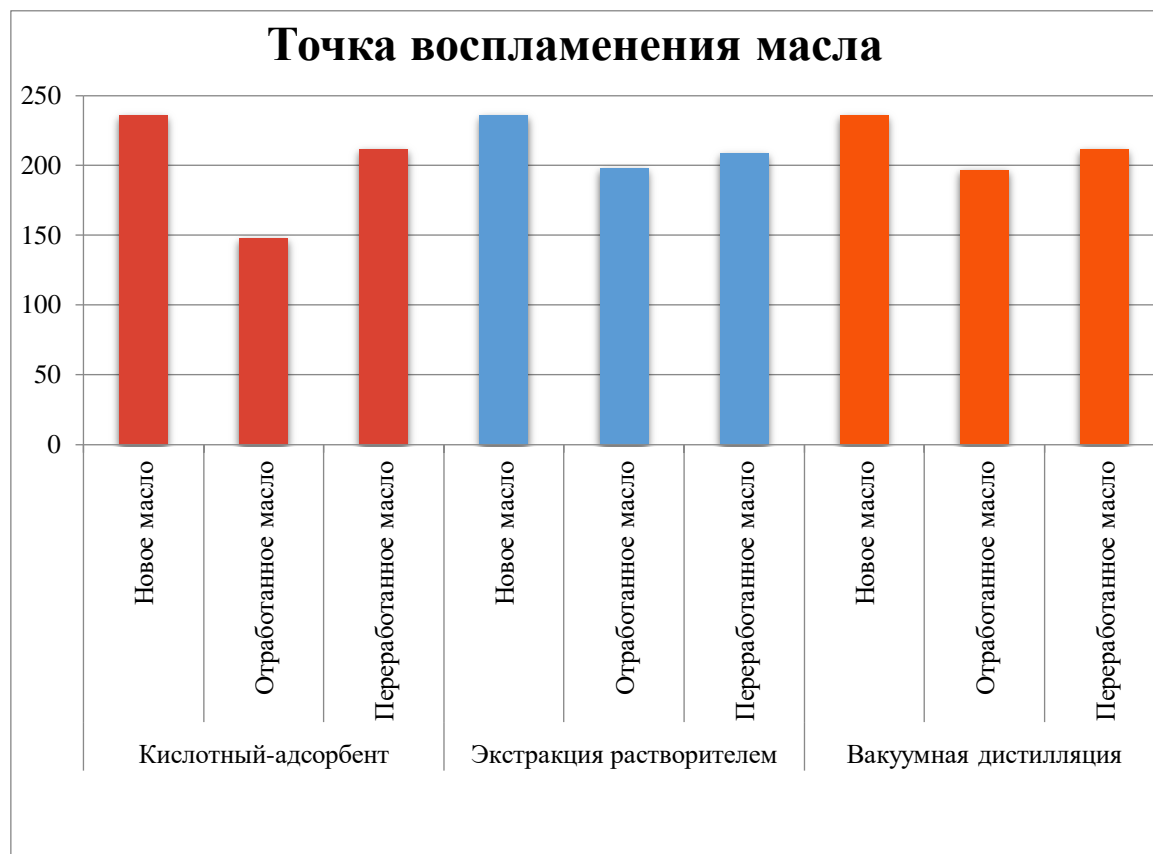


Рис. 7. Изменение температуры воспламенения масла

По результатам эксперимента (рис. 7) было установлено, что температура вспышки нового масла составляла 236°C , в то время как температура вспышки отработанного масла до очистки методом кислотного адсорбента составляла 148°C , а после очистки она повысилась до 212°C . Температура вспышки отработанного масла до проведения метода экстракции растворителем находилась в пределах 198°C , после эксперимента она повысилась на 11°C до 209°C . В результате экспериментов, проведенных методом вакуумной дистилляции, температура масла повысилась на 15°C по сравнению с использованным маслом и достигла 212°C .

Результаты статистического анализа показывают, что процессы обработки положительно влияют на эксплуатационные свойства отработанных моторных масел, позволяют отделять загрязняющие вещества и формировать свойства, близкие к свойствам нового масла. Если в переработанное масло добавить набор необходимых присадок для оптимизации его эксплуатационных параметров, то будет проведен ряд испытаний для сравнения качества продукта. В результате переработанные моторные масла могут быть повторно использованы в двигателях внутреннего сгорания.

Преимущества и недостатки переработки отработанных моторных масел выбранными методами перечислены в таблице ниже.

Таблица 1. Сравнение методов обработки

Способ обработки	Преимущества	Недостатки
Кислотный-адсорбент	<ul style="list-style-type: none"> - эффективность, доказанная на протяжении многих лет; - низкая себестоимость продукции; - нехватка квалифицированного персонала 	<ul style="list-style-type: none"> - образует осадок в кислой среде; - образуется коррозионная среда; - рентабельность относительно низкая;
Экстракция растворителем	<ul style="list-style-type: none"> - для восстановления химических свойств использованного растворителя - меньше отходов при переработке; - приближенность к свойствам базового масла 	<ul style="list-style-type: none"> - экономическая эффективность предприятия должна быть высокой; - требуется высококвалифицированный персонал
Вакуумная дистилляция	<ul style="list-style-type: none"> - производство является экологически чистым процессом; - позволяет получать качественное базовое масло; 	<ul style="list-style-type: none"> - требуется дорогостоящее оборудование; - Из-за сложности оборудования требуется высококвалифицированный персонал

Экологическая опасность отработанных моторных масел требует внедрения технологий их глубокой переработки. Наиболее известными из них являются: обработка кислотным адсорбентом, экстракция растворителем, вакуумная дистилляция, вакуумная дистилляция и гидрирование, а также технология мембранной фильтрации. Чтобы оценить их эффективность, в данной статье были проанализированы три набора экспериментальных данных из нескольких источников, графически продемонстрировав различия между ними и их влияние на свойства моторных масел.

Каждый из этих методов очистки имеет ряд преимуществ и недостатков в зависимости от своих характеристик. Кислотно-адсорбционный метод является самой простой технологией переработки в глобальном мире, но образование кислого осадка и его целенаправленная переработка актуальны. Соответствующие методы очистки (экстракция растворителем и вакуумная дистилляция) были внедрены в промышленность и находятся в процессе постоянного совершенствования.

ИҚТИБОСЛАР. СНОСКИ. REFERENCES.

1. Armioni M.D., Benea M.L., Rațiu S.A. Used engine oil recycling techniques: a comparison. 15 May, 2020, Student scientific symposium hd-50-stud, Hunedoara.
2. Used Oil Management: Summary Booklet. A report prepared for SPREP, 13th April 2022, pp. 1-12.
3. Hartmann C. The European Re-refining Industry-Overview and Evolution. November 5–7, 2008, NORA Conference, Palm Springs.
4. Audibert F. Waste Engine Oils: Rerefining and Energy Recovery. 1st Edition, 2006 Elsevier, Amsterdam, Netherlands, <https://www.sciencedirect.com/science/book/9780444522023>.
5. Akilimali F.C. Feasibility study of recycling used lubricating oil. The University of Dodoma, Petroleum Engineering July 2017.
6. Khudhair M.M., Hameed T.M., Alameer H.A. Using Vacuum Distillation Technique to Treat Waste Lubricating Oil and Evaluation its Efficiency by Chromatographic Methods. Journal of Al-Nahrain University, 2017, Vol.20, No. 2, pp.17-24.
7. Oladimeji T. E., Sonibare J. A., Omoleye J. A., Emetere M. E., Elehinafe F. B. A Review on Treatment Methods Of Used Lubricating Oil. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), 2018, Vol. 9, No. 12, pp. 506–514.
8. Diphare M. J., Muzenda E., Pilusa J., Mollagee M. A Comparison of Waste Lubricating Oil Treatment Techniques. August 25-26, 2013, 2nd International Conference on Environment, Agriculture and Food Sciences (ICEAFS'2013), Kuala Lumpur, Malaysia, pp. 106-109.
9. Dang C.S. Rerefining of Used Oils: A Review of Commercial Processes. Tribotest Journal, 1997, Vol.3, pp. 445–457.
10. Udonne J.D., Bakare O.A. Recycling of Used Lubricating Oil Using Three Samples of Acids and Clay as a Method of Treatment. Nigeria © 2013 Society of Education, India. IAASST, 2013, Vol.4, No. 2, pp. 08- 14.
11. Anisuzzaman S.M., Krishnaiah D., Abang S., Taib M. Used Industrial Oil Recycling Using Acid with Low-Cost Adsorbents. Transactions on Science and Technology. 2020, Vol. 7, No. 2, pp. 35 – 43.
12. Abu-Elella R., Ossman M.E., Farouq R., Abd-Elfatah M. Used Motor Oil Treatment: Turning Waste Oil into Valuable Products. International Journal of Chemical and Biochemical Sciences, 2015, Vol. 7, pp. 57-67.
13. Rincón, J., Cañizares, P., García, M. T. Improvement of the Waste-Oil Vacuum-Distillation Recycling by Continuous Extraction with Dense Propane. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2007, Vol. 46, No. 1, pp. 266–272.
14. Aftab Hasnat Khan, Nadia Batool, Abdul Aziz. Recovery of Base Oil from Used Oil through Solvent Extraction Followed by Adsorption: A Review. Environmental Protection Research <https://ojs.wiserpub.com/index.php/EPR>, 2023, Vol. 3, Issue 2, pp. 319-340.
15. Kamal A., Khan F. Effect of Extraction and Adsorption on Re-refining of Used Lubricating Oil. Oil & Gas Science and Technology – Rev. IFP, 2009, Vol. 64, No. 2, pp. 191-197.
16. Saleem H.J., Karim A.R. Re-refining of used lubricating oil by vacuum distillation/thin wiped film evaporation technique. Petroleum Science and Technology, 2019, pp. 1–8. doi:10.1080/10916466.2019.1704782.
17. Ismaylov O.Y., Khurmamatov A.M., Ismaylov M.K., Auesbaev A.U., Utegenov U.A. Investigations of the impact of the magnetic field on the process of formation of scaling in thermal devices. Nafta-gaz, 2024, No.2, pp. 115-121.
18. Khurmamatov A.M., Auesbaev A.U., Ismaylov O.Y., Begzhanova G.B. Effect of temperature on the physico-chemical properties of n-methyldiethanolamine. Processes of Petrochemistry and oil refining, 2023, Vol.24, No.1, pp. 99-107.