

MPNТИ 61.51.17

Л.С. Харчук<sup>1</sup> (orcid- 0000-0002-2900-0210) – основной автор,  
А.Ж. Бетжанова<sup>2</sup> (orcid- 0000-0002-8276-8384 )

<sup>1</sup>Канд. техн. наук, доцент, <sup>2</sup>Магистр  
Таразский региональный университет им.М.Х.Дулати, г.Тараз, Казахстан  
e-mail:<sup>1</sup>[serg.ludmila@mail.ru](mailto:serg.ludmila@mail.ru), <sup>2</sup>[betzhanova83@mail.ru](mailto:betzhanova83@mail.ru)

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕССЕРИВАНИЯ МОТОРНОГО ТОПЛИВА

**Аннотация.** Обессеривание нефтепродуктов – одна из актуальных задач современности. В настоящей работе сделана попытка рассмотреть методы по обессериванию светлых нефтепродуктов. Наиболее распространенными методами удаления сернистых соединений из нефтяных фракций служат окисление, экстракция и адсорбция. Распространение для удаления сернистых соединений из нефтяных фракций получили гетерогенные системы, состоящие из разных твердых носителей.

**Ключевые слова:** нефтяные фракции, дизельное топливо, бензин, безводородные методы обессеривания, окислительное обессеривание, окислительная экстракция, окислительная адсорбция, катализаторы.

**Введение.** Рост потребления углеводородного сырья, содержащего серу и ее соединения, привел к увеличению негативного воздействия двигателей внутреннего сгорания на экологию, и потребовало разработку новых высокоэффективных процессов сероочистки как обязательной стадии в производстве топлив.

Сера является одним из самых вредных компонентов в дизельных топливах. Рост загрязнения окружающей среды от автомобильного транспорта в виду увеличения численности автопарка явился причиной ужесточения требований к экологическим характеристикам продуктов нефтеперерабатывающей промышленности [1с.62].

Для многих процессов нефтепереработки серосодержащие соединения является активными каталитическими ядами. Удаление серы ведет к улучшению качества.

Ужесточение требований способствует реформированию технологических процессов повышения качества углеводородной продукции. Отсутствие универсальной технологии обессеривания говорит о недостатках и разобщенности современных методов. Выбор метода удаления сернистых соединений из нефти и ее фракций в основном определяется технологической и экономической эффективностью, а так же отсутствием нежелательных побочных процессов и доступностью реагентов [2 с.103]. Применение процесса гидроочистки для большинства НПЗ, в особенности для мини НПЗ, весьма проблематично из-за больших капитальных затрат и сложности в эксплуатации (процесс осуществляется в среде водорода, с применением алюмокобальт- или алюмоникельмолибденового катализаторов при температурах 325-455°C, давлении 3-7 МПа ) [3 с.244-245].

Для малых нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ), не оснащенных установками производства водорода или каталитического риформинга, разработка альтернативных негидрогенизационных способов имеет жизненно значение. Среди вероятных альтернатив повышения качества

углеводородного сырья рассматривают методы экстракции, адсорбции, окислительного обессеривания, осаждения и другие [4 с.4].

Целью настоящих исследований явился анализ существующих методов обессеривания моторного топлива.

**Анализ материалов исследований.** Разделить многокомпонентную смесь углеводорода на индивидуальные составляющие возможно путем глубокой переработки нефти.

Сущность первичной переработки нефти заключается в ее разделении на несколько фракций: легкую и тяжелую бензиновые фракции, керосиновую фракцию, дизельную фракцию и остаток перегонки (мазут), путем перегонки в ректификационных колоннах при атмосферном давлении. При атмосферной перегонке нефти получают следующие фракции: 1. фракция с температурой кипения до 100°C; 2. бензиновая фракция с температурой кипения от 100 до 180°C; 3. лигроиновая фракция – 140-180°C; 4. керосиновая фракция – 140-220°C; 5. дизельная фракция – 180-350°C (220-350°C).

Нефтепродукты содержат коррозионно- активные вещества: органические кислоты, меркаптаны, сера и сероводород образовавшиеся при хранении нефтепродуктов в результате процессов окисления которые могут образовывать серную, сернистую кислоту и сероводород, которые чрезвычайно коррозионно активны [1 с.63 ].

На сегодняшний день, обессеривание нефти и нефтепродуктов, а также квалифицированное использование выделенных сернистых соединений является одной из важнейших задач комплексной очистки нефти и ее переработки. Формы сернистых нефтяных соединений представлены в виде активной (сера элементарная, сероводород, меркаптаны) и пассивной (сульфиды, дисульфиды, тиофен и др.) серы. Ее содержание варьируется от сотых долей до 8%, в редких случаях концентрация серы превышает 10% по массе [ 2 с.102-108].

В нефтеперерабатывающей промышленности наибольшее применение получили процессы гидроочистки моторного топлива, которые осуществляют в среде водорода и с применением алюмокобальт- или алюмоникельмолибденового катализаторов при температурах 325-455°C, давлении 3-7 МПа с циркуляцией водородосодержащего газа [ 3 с.244].

Сложности в применении этих методов на мини НПЗ заключается в том, что на эти заводы нефть поступает различного качества, следовательно трудно выбрать определенный метод очистки от серы и ее соединений.

Альтернативные методы повышения качества углеводородного сырья представляют следующие методы: экстракция, адсорбция, окислительное обессеривание, осаждение, алкилирование и др. Предложенные способы не являются универсальными для применения различных видов очищаемого сырья и уступают в этом отношении процессу классической каталитической гидроочистке. Комбинирование альтернативных и гидрогенизированных методов, а также использование специальных методов для отдельных видов сырья может дать весьма положительный экономический эффект [ 4 с.5].

Одним из путей решения проблемы обессеривания бензина каталитического крекинга может быть предварительное снижение содержания общей серы безводородными методами, например, с использованием окислительного обессеривания, не применяя кислотные катализаторы. Для удаления серы из моторного топлива часто используется метод окисления по причине легкости отделения углеводородов от кислотосодержащих продуктов окисления соединений серы.

В дизельных фракциях содержатся различные органические серо-, кислород- и азотсодержащие соединения. Для получения высококачественного дизельного топлива в настоящее время является минимальное содержание в нем остаточной серы. Сернистые соединения в дизельной фракции преимущественно представлены меркаптанами и дисульфидами. Предельное содержание сернистых соединений в дизельном топливе во многих развитых странах было сокращено от 0.2-0.5 вес.% (1980 г.) до 15- 16 ppm в США (2006 г.) и до 10 ppm в Европейских странах (2010 г). В настоящее время для Российской Федерации содержание серы лимитировано 50 ppm (ЕВРО-4), однако, его допустимое содержание в производстве будет снижаться до Европейского стандарта ЕВРО-5 (до 10 ppm) [5 с.16].

Для мини - НПЗ одним из перспективных методов безводородной очистки моторных топлив можно отнести окислительную очистку дизельных фракций от сернистых соединений.

По удовлетворяющим международным требованиям получения дизельного топлива, степень извлечения сернистых соединений должна составлять 97-99 %.

В последние годы процесс окислительной очистки углеводородных топлив от сернистых соединений приобрел особую значимость.

Окислительное обессеривание основана на окислении сернистых соединений различными окислителями при котором образуются сульфоны, сульфоксиды или SO<sub>2</sub>. Процесс протекает выборочно в присутствии различных катализаторов. При окислении сернистых соединений до сульфонов и сульфоксидов, их удаляют экстракцией, адсорбцией или другими методами [5 с. 31-32].

Процесс окислительной очистки дизельных фракций представляет большой интерес как способ доочистки моторных топлив после гидрообессеривания.

В настоящее время в промышленности используется пероксид водорода обеспечивающий удаление серы из предварительно гидрообессериванного топлива с 500 до 5 ppm (данная схема реализована компанией UniPure Corp США) [5 с.37].

Недостатками являются дополнительные стадии экстракции или сорбции продуктов окисления и воды, что безусловно увеличивает затраты на очистку топлива.

Исследования показали, что при использовании смеси пероксида водорода и муравьиной кислоты для окисления легкого газойля с содержанием серы 1,35%, вакуумного газойля с содержанием серы 2,17% общее содержание серы в указанных образцах снизилось до 0,01% (масс.). Так как пероксид водорода или органические пероксиды являются взрывоопасными и дорогостоящими необходим поиск новых и недорогих окислителей, безвредных по отношению к окружающей среде и позволяющих применять процесс окислительного обессеривания с малыми затратами энергии. Таким окислителем является кислород воздуха, дешевый и не доставляющий таких технологических трудностей, как разделение двухфазных систем [6 с. 30-35].

Дешевизна кислорода и проведение процесса при атмосферном давлении являются преимуществами его использования [6с.38]. Использование для окисления озono-кислородной смеси с последующей адсорбционной очисткой дает удаление до 50% сернистых соединений [6с.9-

10]. Более эффективно дает использование смеси озона и пероксида водорода – 98,6 % очистки [6с.44].

Анализ данных литературного обзора показал, что окислительная каталитическая очистка дизельных фракций кислородом воздуха может быть перспективной для производства малосернистого топлива, и может быть использована как доочистка гидроочищенного дизельного топлива. Простота окислительной каталитической очистки ( процесс протекает при атмосферном давлении без использования водорода) рекомендуется к использованию на мини- НПЗ [5 с.39].

Для практического применения окислительной каталитической очистки необходим поиск селективных катализаторов и оптимальных условий их эксплуатации. Однако, данный метод недостаточно проработан для практического применения и требует решения многих задач связанных с поиском и разработкой селективных катализаторов и оптимальных условий их эксплуатации [5 с.39].

При окислительном обессеривании прямогонной бензиновой фракции изучалась каталитическая активность солей различных переходных металлов.

Результаты исследований показали, что наибольшую активность в реакциях окисления серосодержащих соединений прямогонной бензиновой фракции проявляют молибдат и вольфрамат натрия, что согласуется с литературными данными. При этом активность солей на основе ванадия и ниобия существенно ниже. Поэтому для дальнейших исследований по обессериванию прямогонной бензиновой фракции в качестве катализатора использовался молибдат натрия [6 с.74- 75]. Результаты определили наиболее оптимальное соотношение молибден: сера, позволяющее добиться лучшего результата, равное 1: 200 [ 6 с.76]. «Проведенные исследования и полученные данные позволяют утверждать, что добавление кислот может повысить глубину окисления сернистых соединений вплоть до ультранизких значений менее 10 ppm (для трифторуксусной кислоты). Остаточное содержание серы при окислении в присутствии молибдата натрия в качестве единственного добавления в катализатор ацетона не оказывает существенного влияния на степень обессеривания (остаток серы 96 ppm без ацетона и 88 ppm с добавлением ацетона.» [6 с.78].

Таким образом, оптимальный температурный интервал для проведения реакций окисления сернистых соединений в прямогонной бензиновой фракции лежит в пределах 40 – 60 °С [6 с.80].

Полученная каталитическая окислительная система, состоящая из молибдата натрия, серной кислоты и пероксида водорода позволяет окислять практически все серосодержащие соединения в прямогонной бензиновой фракции.

Нефтяные сульфиды подвергаются окислению различными окислителями, такими, как серная кислота, азотная кислота, персульфат калия, окислы азота, гипохлориты, надкислоты, гидропероксиды, пероксид водорода, озон и молекулярный кислород. Однако использование некоторых из названных окислителей не могут быть использованы в промышленности из-за низкой селективности, малых выходов целевых продуктов, побочных явлений, из-за недоступности и дороговизны окислителя.

**Экстракция.** И одним из способов снижения серы в моторных топливах является метод экстракции.

Процесс экстракции основан на лучшей растворимости серосодержащих компонентов и ароматических углеводородов в подходящих полярных растворителях. Эффективность метода находится в прямой зависимости от выбора растворителя, химической активности удаляемых компонентов и других факторов, включающих экологические аспекты и токсикологические ограничения [6 с.14].

Достоинства данного метода заключаются в том что процесс протекает в мягких условиях. не изменяется химическая структура компонентов дизельного топлива. Органические растворители для селективного извлечения окисленных сернистых соединений выбирали, основываясь на литературных данных о применимости растворителей для извлечения сернистых соединений нефтяных дистиллятов, а также исходя из их коммерческой доступности. Были выбраны следующие экстрагенты: метанол, ацетон, диметилформамид (ДМФА), N-метилпирролидон (N-МП). Результаты экстракции продуктов окисления серы из бензиновой фракции (содержание серы -700 ppm) представлены на рис.1 [6 с.80].

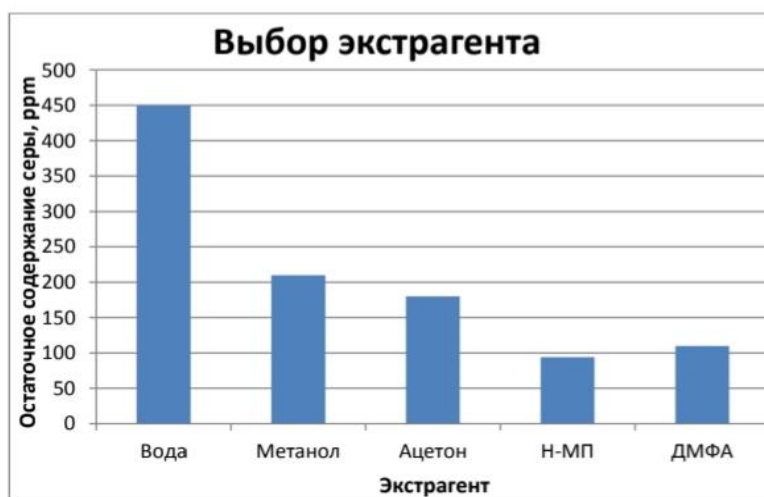


Рис.1. Подбор наиболее эффективного экстрагента

Как видно из полученных результатов, наиболее эффективными растворителями являются ДМФА и N-МП. Несмотря на ряд положительных качеств (повышенная избирательность и растворяющая способность, низкая температура кристаллизации, биоразлагаемость и низкая токсичность) N-МП имеет ряд существенных недостатков, среди них можно выделить плохое расслоение, проблемы при регенерации, связанные с невысокой стабильностью N-МП, осмоление начинается уже при 200°C, тогда как его температура кипения равна 200° С. На заключительных стадиях отгонки из растворов требуется вакуум, так как высокая температура кипения N-МП и его умеренная термическая стабильность ограничивают температуру его нагрева (300oC). Также при наличии воды данный экстрагент становится коррозионно-агрессивным.

Поэтому использование его в промышленных масштабах достаточно проблематично и требует значительных капитальных и эксплуатационных расходов. В связи с этим в качестве экстрагента продуктов окисления в дальнейших исследованиях использовали ДМФА. Температура кипения

ДМФА составляет 153°C, что не требует вакуумной отгонки экстрагента, при использовании обводненного ДМФА не возникает проблем с возможной коррозией оборудования, как в случае с N-МП. Также интересным фактом является возможность частичной экстракции окисленных соединений серы в бензиновой фракции с помощью воды [ 6 с.81-82].

В качестве экстрагентов для извлечения серы из дизельного топлива использовали метанол, раствор цинка в метаноле, полиэтиленгликоль и серную кислоту (20-94%-ную), ДМФА (диметилформаид), НМП (метилпиромидон). Наиболее эффективным оказался НМП (метилпиромидон) [5].

Глубокое обессеривание можно достигнуть неоднократно используя полиэтиленгликоль. Содержание серы может быть снижено с 500 до 10 ppm (98%) за 3 цикла. Полиэтиленгликоль после 5 циклов теряет свою экстракционную способность и требуется его регенерация. Наиболее применяемый метод регенерации полиэтиленгликоля является метод адсорбции. В качестве адсорбента можно применять активированный уголь в соотношении адсорбент: экстрагент равном 1:50 [ 6 с.17-18].

Экстракционный метод потенциально можно применять для полного извлечения всех окисленных соединений серы, однако данный метод малоэффективен с точки зрения технологического оформления [6 с.84].

*Сернокислая экстракция* является самой выгодной из всех имеющихся экстрагентов т.к. незначительная стоимость, процесс протекает при естественном давлении и температуре, не требуется сложное оборудование и катализаторы. Использование серной кислоты в качестве экстрагента для извлечения из нефтепродуктов серосодержащих соединений (в основном сульфидов характеризуется высокой селективностью, экстрагент стабилен при многократном использовании, имеет высокую плотность, что обеспечивает быстрое и четкое разделение фаз, а также доступностью и низкой стоимостью [7 с.119].

В процессе исследований изучались следующие факторы: зависимость содержания общей серы в очищенном топливе от времени экстракции, соотношение кислоты и дизельного топлива при использовании различных экстрагентов. Рассматривалась однократная экстракция, а так же ступенчатая, заключающаяся в отделении отработанной кислоты через каждые 10 мин с добавлением свежей кислоты для того же массового соотношения с нефтепродуктом [7 с.121].

Отмечено, что оптимальное время экстракции составило 30 мин, с увеличением концентрации кислоты остаточное содержание серы во фракции дизельного топлива снижается, содержание кислоты в смеси с нефтяной фракцией - 20 мас. % [7с.123 ].

Недостаток данного метода заключается в следующем: при получении очищенного дизельного топлива образуется кислый гудрон в который перешли серосодержащие соединения. Утилизация кислого гудрона в настоящее время не отработана без ущерба окружающей среде.

Применение многоступенчатой экстракции позволяет получить бензиновые фракции с содержанием серы менее 10 ppm , но требует большого количества экстрагента, что увеличивает капитальные и эксплуатационные затраты, а так же потери ароматических соединений бензиновых фракций рис.2 [6с.84 ].

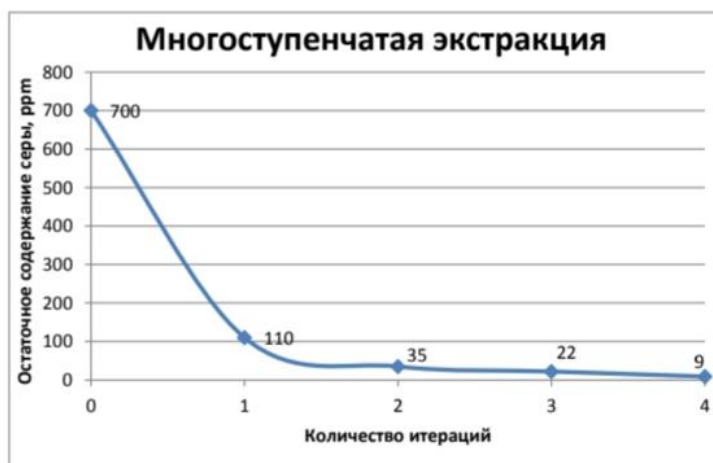


Рис. 2. Многоступенчатая экстракция (исходное содержание серы 700 ppm)

Достоинства использования экстракционных методов: снижение концентрации смол и серосоединений, процесс осуществляется при низкой температуре и низком давлении без применения водорода, простота аппаратного оформления.

Недостатки всех экстракционных процессов: высокий расход и ограниченная селективность реагента сдерживают промышленное применение данного метода.

Данный метод может быть перспективен только как доочистка. В последнее время в научной литературе рассматривается экстракционная очистка ионными жидкостями (ИЖ). Ионные жидкости представляют собой класс немоллекулярных ионных растворителей на основе расплавов солей с температурой плавления ниже 100 °С. Процесс заключается в извлечении сернистых соединений в присутствии смеси органических ионов в ИЖ и мягких основных растворителей комбинирование которых возможно в различных соотношениях. Однако, после экстракции сернистых соединений требуется регенерация ИЖ. ИЖ могут быть регенерированы различными способами, однако зачастую этот процесс технологически сложен и может приводить к потерям ИЖ [5 с.29-31]. Добавление 30% перекиси водорода в ионную жидкость создает условия для каталитического окисления и экстракции, и степень удаления общей серы повышается до 99%. Однако высокая стоимость ионных жидкостей, сложность процесса регенерации существенно ограничивает их широкое применение для целей десульфуризации топлив [6 с.20].

**Адсорбция.** Анализ литературных источников показал, перспективным методом сероочистки топлива, производимого на малых нефтеперерабатывающих предприятиях, расположенных в местах добычи газового конденсата является процесс *адсорбции*. Это связано с отсутствием установок производства водорода на мини-НПЗ и, следовательно, со сложностью реализации процесса гидроочистки. Применение окислительных и экстракционных методов обессеривания более эффективно для концентрированного сырья и ограничивает в случае относительно невысокого содержания сернистых и полиароматических соединений в очищаемом топливе.

Достоинство адсорбционной очистки: процесс протекает при умеренной температуре и атмосферном давлении, высокая эффективность процесса, не требуется молекулярный водород, простота технологии и оборудования, низкий уровень капитальных и эксплуатационных затрат, а так же безопасность производства. К достоинствам можно отнести возможность утилизации газа, образуемого при регенерации адсорбента [4].

При адсорбционном процессе наиболее распространенными сорбентами являются: силикагели, окись алюминия, активированный уголь, сульфуголь, цеолиты NaA и NaX, естественные глины, синтетические алюмосиликаты, алюмогель, и др. [6 с.20].

Процесс адсорбции заключается в прохождении через адсорбент очищаемого углеводорода. Сернистые соединения задерживаются непосредственно на его поверхности, и на выходе из реактора получают уже очищенное от ССС и готовое к использованию топливо, при этом сорбирующая возможность монотонно уменьшается. Удаление сернистых соединений с поверхности адсорбента происходит в ходе его регенерации. Очистка адсорбента от поглощенных серосоединений проводится при высоких температурах так как процесс десорбции является эндотермическим. При регенерации выделяются сера, диоксид серы, сероводород и др. в зависимости от типа процесса регенерации. Эффективность процесса адсорбции зависит от следующих факторов: сорбционной емкости, адсорбционной силы, количества активных центров на поверхности, селективности, устойчивости и регенерируемости.

На эффективность адсорбционного процесса влияют физико-химические свойства разделяемых веществ и размеры их молекул которые определяют возможность и глубину проникновения в поры адсорбента, адсорбционная емкость, пористость и размеры пор. Для определения эффективного адсорбента были исследованы следующие адсорбенты: силикагель марки АСКГ, активный оксид алюминия, сульфатированный оксид алюминия, катионит КУ-2, активированный уголь, сульфуголь, цеолиты NaA и NaX. При исходном содержании - 700 ppm в бензиновых и дизельных фракциях эффект очистки в % составил: - силикагель АСКГ – 99; оксид алюминия - 99; сульфатированный оксид алюминия – 99; катионит КУ-2 – 24; активированный уголь – 85; сульфуголь – 88; цеолит NaX -67; цеолит NaA – 50 [6 с.84]. Наибольший эффект наблюдался при использовании силикагель АСКГ, оксид алюминия и сульфатированный оксид алюминия.

Адсорбент	Остаточное содержание серы, ppm	Степень извлечения сернистых соединений, %
Силикагель АСКГ	5	99
Оксид алюминия	8	99
Сульфатированный оксид алюминия	4	99
Катионит КУ-2	530	24
Уголь активированный	105	85
Сульфуголь	84	88
Цеолит NaX	234	67
Цеолит NaA	347	50



Дальнейшие исследования проводились использованием силикагели и оксид алюминия так как сульфатированный оксид алюминия требует дополнительных затрат для синтеза из оксида алюминия [6 с.85]. Применение в качестве сорбента активного оксида алюминия модифицированного оксидом цинка (в количестве 0,2-5%) дало эффект очистки от серосоединений 99% (содержание общей серы менее 10 мг/кг). Регенерация сорбента осуществлялась экстракцией смеси бензола и воды при температуре 20° С при атмосферном давлении с последующей термической активации адсорбента при температурах в интервале 350-450° С обеспечивает полное восстановление адсорбционной способности. Для расчета межрегенерационного цикла и размера адсорбера необходимо учитывать сероёмкость сорбента.

При поиске наиболее эффективных способов регенерации были опробованы различные методы регенерации: растворителем, перегретым паром, выжиганием в потоке воздуха. В качестве растворителя были использованы ацетон, метанол, толуол с дальнейшей регенерации растворителя, наиболее эффективным растворителем оказался ацетон [6 с.87].

Регенерация прокаливанием осуществляется выжиганием продуктов окисления с поверхности сорбента пропуском через сорбент перегретым воздухом с температурой более 400° С [6 с.88]. Силикагель не устойчив к воздействию высоких температур (более 300° С), а при температурах ниже 300° С на поверхности образуется кокс. В виду этого регенерация прокаливанием силикагеля не пригодна. Анализ оксида алюминия показал, что полное сгорание адсорбированных соединений происходит при температуре 500° С при этом после первой регенерации не наблюдалось снижения сероёмкости оксида алюминия рис.3.

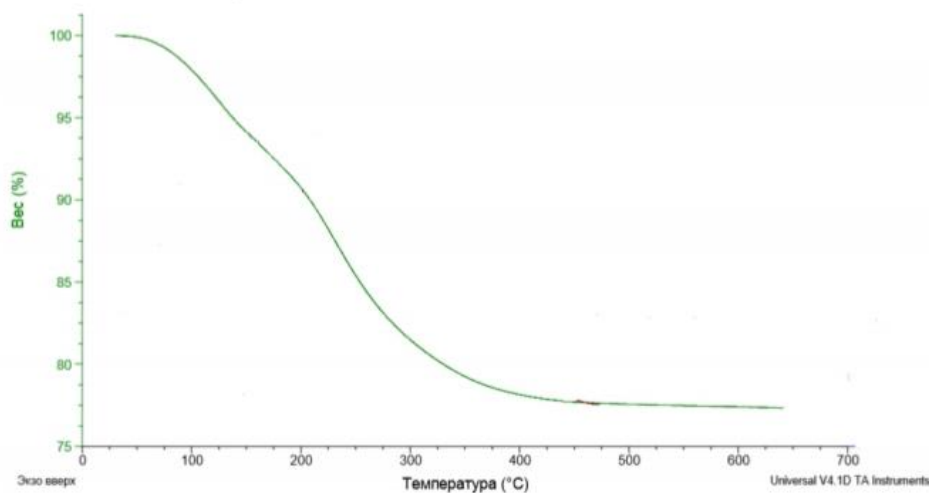


Рис. 3. Результаты термогравиметрического анализа (ТГА) оксида алюминия

Таким образом, использование метода выжигания позволяет полностью регенерировать оксид алюминия. Достоинства метода выжигания: простота эксплуатации, отсутствие потерь (как в случае с растворителем), однако необходимо решать вопрос с отходящими после регенерации газами содержащими серу, сероводород, диоксид серы и др. сжигание которых загрязняет атмосферу [6 с.88].

*Слабые стороны метода:* ступенчатая очистка, при регенерации сорбента необходимо сжигание выделяющихся газов, что загрязняет атмосферу.

**Обсуждение.** В настоящее время наиболее освоенной технологией очистки моторного топлива от серосодержащих примесей является гидроочистка. Однако эта технология имеет ряд недостатков: сложность внедрения данного процесса, недостаточная глубина очистки, использование дорогих катализаторов и большое количество водорода.

Эти проблемы способствовали развитию альтернативных способах процесса обессеривания моторного топлива: окисление, экстракция, адсорбция. наиболее освоенной технологией очистки моторного топлива от серосодержащих примесей является гидроочистка. Перечисленные безводородные методы весьма эффективны так как позволяют снизить общее содержание серы с минимальными эксплуатационными и капитальными затратами, но имеют ряд недостатков:

**Окислительное обессеривание** весьма эффективно.

*Алкилпероксиды* позволяют значительно снизить содержание серы (до 97%), но эти окислители отличаются высокой ценой, что сдерживает применение алкилпероксидов в промышленности. Кислород является дешевым окислителем однако использование дополнительных катализаторов в комбинации с кислородом резко удорожает процесс обессеривания.

**Экстракционное обессеривание:** при подборе растворителя предъявляются высокие требования. Только при верном выборе растворителя процесс становится экономически целесообразным. Высокий уровень очистки от серосоединений достигается только после ряда повторяющихся циклов экстракции сопровождающихся потерями целевой фракции.

**Адсорбционная очистка:** высокая степень очистки (99%), недорогой катализатор, высокая кратность регенерации. Основные недостатки адсорбционных процессов очистки: требуемая степень очистки и регенерации возможна применением двухступенчатой схемой; сильное загрязнение атмосферы регенерационными газами.

**Заключение.** Анализ литературы показал, что добиться минимального содержания серы и сернистых соединений в моторных топливах можно лишь комбинацией различных безводородных методов обессеривания, например, окисление и экстракция или окисление и адсорбция, электрохимическое окисление с последующей экстракцией в присутствии пероксида водорода. Достоинства этих методов заключаются в том, что они не требуют затрат больших количеств водорода, высоких температур и давлений, а аппаратное оформление данных процессов отличается простотой и экономичностью.

#### Список литературы

1. Леонтьева, А.И. Очистка дизельного топлива. Десульфуризация адсорбционным методом [Текст] / А.И. Леонтьева. - 2018. - №8. - С.62-70.
2. Шмаль, Г. Нефть без серы – это реальность [Текст] / Г. Шмаль, А. Замрий, Н. Виктор // Нефтегазовая вертикаль. - 2020. - № 3-4. - С.[?].
3. Суербаев, Х.А. Химия и технология переработки нефти и газа [Текст]: учебник / Х.А. Суербаев. - Астана: Фолиант, 2013. – 304 с.
4. Есипова, Е.В. Адсорбционная сероочистка дизельного газоконденсатного топлива [Текст]: автореф. дис. канд.тех.наук: 05.17.07 / Е.В. Есипова. – М., 2015. – 26 с.

5. Сальников, А.В. Окислительная очистка дизельной фракции от сернистых соединений на медь-цинк-алюмооксидных катализаторах [Текст]: дис. канд.хим.наук: 02.00.13 / А.В. Сальников. – Томск, 2017. - 127 с.
6. Акопян, А.В. Окислительное обессеривание углеводородного сырья пероксидом водорода в присутствии солей переходных металлов [Текст]: дис. канд.хим.наук: 02.00.13 / А.В. Акопян.- М., 2015. - 154 с.
7. Тархов, Л.Г. Серноокислая экстракция сернистых соединений из нефтяного дистиллята 190-360°C [Текст] / Л.Г. Тархов, К.А. Сибиряков // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. - 2013. - №2. - С.118-126.
8. Глобальная стратегия по внедрению топлива с низким содержанием серы и более чистых дизельных транспортных средств [Текст] / [?]. 2016.
9. Акопян, А.В. Окислительное обессеривание светлых нефтяных фракций с использованием озона [Текст] / В.Г. Акопян, Д.А. Григорьев, П.Д. Поликарпова // Нефтехимия. – 2017.- Т.57, №5. - С.1-4.
10. Кривцов, Е.Б. Кинетика окисления сернистых соединений дизельной фракции нефти озонкислородной смесью [Текст] / Е.Б. Кривцов, А.К. Головкин // Известия Томского политехнического университета. - 2012. - Т.321. - С.157-161.
11. Копишев, Э.Е. Обессеривание нефтяных продуктов [Текст] / Э.Е. Копишев, Д.Р. Кинаят, Г.Б. Самарканова // Сборник научных трудов международной научной конференции молодых ученых «Наука и образование-2017». - Астана: Изд-во ЕНУ, 2017.- С.1218-1222.

*Материал поступил в редакцию 11.04.22.*

**Л.С. Харчук, А.Ж. Бетжанова**

*М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., Қазақстан*

#### **МОТОР МАЙЫН КҮКІРТСІЗДЕНДІРУ ӘДІСТЕРІН ЗЕРТТЕУ**

**Аңдатпа.** Мұнай өнімдерін күкіртсіздендіру-қазіргі заманның өзекті міндеттерінің бірі. Бұл жұмыста жеңіл мұнай өнімдерін күкіртсіздендіру әдістерін қарастыруға әрекет жасалды. Күкірт қосылыстарын мұнай фракцияларынан шығарудың ең көп таралған әдістері-тотығу, экстракция және адсорбция. Мұнай фракцияларынан күкірт қосылыстарын алып тастау үшін әртүрлі қатты тасымалдаушылардан тұратын гетерогенді жүйелер таралды.

**Тірек сөздер:** мұнай фракциялары, дизель отыны, күкіртсіздендірудің сусыз әдістері, тотықтырғыш күкіртсіздендіру, тотықтырғыш экстракция, тотықтырғыш адсорбция, катализаторлар.

**L.S. Kharchuk, A.J. Betzhanova**

*M.Kh. Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan*

#### **INVESTIGATION OF METHODS OF DESULFURIZATION OF MOTOR FUEL**

**Abstract.** Desulfurization of petroleum products is one of the urgent tasks of our time. In this paper, an attempt is made to consider methods for desulfurization of light petroleum products. The most common methods of removing sulfur compounds from oil fractions are oxidation, extraction and adsorption. Heterogeneous systems consisting of

different solid carriers have become widespread for the removal of sulfur compounds from oil fractions.

**Keywords:** petroleum fractions, diesel fuel, hydrogen-free desulfurization methods, oxidative desulfurization, oxidative extraction, oxidative adsorption, catalysts.

#### References

1. Leont'eva, A.I. Ochistka dizel'nogo topliva. Desulfurizatsiya adsorbtsionnym metodom [Purification of diesel fuel. Desulfurization by the adsorption method]. - 2018. - No. 8. - P.62-70. [in Russian].
2. Shmal G., Zamriy A., Viktorov N. Neft' bez sery – eto real'nost' [Oil without sulfur is a reality] // Neftegazovaya vertikal' [Oil and gas vertical]. - 2020. - No. 3-4. - P.[?]. [in Russian].
3. Suerbaev, Kh.A. Khimiya i tekhnologiya pererabotki nefti i gaza [Chemistry and technology of oil and gas processing]: textbook. - Astana: Foliant, 2013. - 304 p. [in Russian].
4. Esipova, E.V. Adsorbtsionnaya seroochistka dizel'nogo gazokondensatnogo topliva [Adsorption desulphurization of diesel gas condensate fuel]: Ph.D. dis. Candidate of Technical Sciences: 05.17.07. - Moscow, 2015. - 26 p. [in Russian].
5. Salnikov, A.V. Okislitel'naya ochistka dizel'noy fraktsii ot sernistykh soyedineniy na med'-tsink-alyumooksidnykh katalizatorakh [Oxidative purification of the diesel fraction from sulfur compounds on copper-zinc-aluminum oxide catalysts]: dis. Candidate of Chemical Sciences: 02.00.13. - Tomsk, 2017. - 127 p. [in Russian].
6. Akopyan, A.V. Okislitel'noye obesserivaniye uglevodorodnogo syr'ya peroksidom vodoroda v prisutstviy soley perekhodnykh metallov [Oxidative desulfurization of hydrocarbon feedstock with hydrogen peroxide in the presence of transition metal salts]: dis. Candidate of Chemical Sciences: 02.00.13. - Moscow, 2015. - 154 p. [in Russian].
7. Tarkhov L.G., Sibiryakov K.A. Sernokislaya ekstraktsiya sernistykh soyedineniy iz neftyanogo distillyata 190-360°C [Sulfate extraction of sulfur compounds from petroleum distillate 190-360°C] // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Chemical technology and biotechnology. - 2013. - No. 2. - P.118-126. [in Russian].
8. Global'naya strategiya po vnedreniyu topliva s nizkim soderzhaniyem sery i boleye chistykh dizel'nykh transportnykh sredstv [Global strategy for the introduction of low-sulfur fuels and cleaner diesel vehicles] / [?]. 2016. [in Russian].
9. Akopyan A.V., Grigoriev D.A., Polikarpova P.D. Okislitel'noye obesserivaniye svetlykh neftyanykh fraktsiy s ispol'zovaniyem ozona [Oxidative desulfurization of light oil fractions using ozone] // Petrochemistry. - 2017.- V.57, No. 5. - P.1-4. [in Russian].
10. Krivtsov E.B., Golovko A.K. Kinetika okisleniya sernistykh soyedineniy dizel'noy fraktsii nefti ozonokislorodnoy smes'yu [Oxidation kinetics of sulfur compounds in the diesel fraction of oil with an ozone-oxygen mixture] // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. - 2012. - V.321. - P.157-161. [in Russian].
11. Kopishev E.E., Kinayat D.R., Samarkanova G.B. Obesserivaniye neftyanykh produktov [Desulfurization of petroleum products] // Collection of scientific papers of the international scientific conference of young scientists "Science and education-2017". - Astana: ENU Publishing House, 2017.- P.1218-1222. [in Russian].