

**ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ**

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙҒЫРОВ УНИВЕРСИТЕТА**

**ҚАЗАҚСТАН ҒЫЛЫМЫ
МЕН ТЕХНИКАСЫ**

2001 ЖЫЛДАН БАСТАП ШЫҒАДЫ



**НАУКА И ТЕХНИКА
КАЗАХСТАНА**

ИЗДАЕТСЯ С 2001 ГОДА

ISSN 2788-8770

№ 1 (2022)

ПАВЛОДАР

**НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
ТОРАЙГЫРОВ УНИВЕРСИТЕТ**
выходит 1 раз в квартал

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ KZ51VPY00036165

выдано

Министерством информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

Публикация научных исследований по широкому спектру проблем
в области металлургии, машиностроения, транспорта, строительства,
химической и нефтегазовой инженерии, производства продуктов питания

Подписной индекс – 76129

<https://doi.org/10.48081/TFZY8989>

Импакт-фактор РИНЦ – 0,342

Абишев Кайратолла Кайроллинович – к.т.н., профессор (главный редактор);
Касенов Асылбек Жумабекович – к.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
Мусина Жанара Керейовна – к.т.н., профессор (ответственный секретарь);
Шокубаева Зауреш Жанатовна – технический редактор.

Члены редакционной коллегии:

Калиакпаров Алтай Гиндуллинович – д.т.н., профессор (Нур-Султан, Казахстан);
Клецель Марк Яковлевич – д.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);
Шеров Карибек Тагаевич – д.т.н., профессор (Караганда, Казахстан);
Богомоллов Алексей Витальевич – к.т.н., ассоц. профессор (Павлодар, Казахстан);
Кажыбаева Галия Тулеуевна – к.т.н., профессор (Павлодар, Казахстан);

Зарубежные члены редакционной коллегии:

Waigang Sun – профессор (Пекин, Китай);
Gabriele Comodi – PhD, профессор (Анкона, Италия);
Jianhui Zhao – профессор (Харбин, Китай);
Khamid Mahkamov – д.т.н., профессор (Ньюкасл, Великобритания);
Magin Laruerta – д.т.н., профессор (СьюДад Реал, Испания);
Mareks Mezitis – д.т.н., профессор (Рига, Латвия);
Petr Bouchner – PhD, профессор (Прага, Чехия);
Ronny Berndtsson – профессор (Лунд, Швеция);
Барзов Александр Александрович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Витвицкий Евгений Евгеньевич – д.т.н., профессор (Омск, Россия);
Иванчина Эмилия Дмитриевна – д.т.н., профессор (Томск, Россия);
Лазарев Владислав Евгеньевич – д.т.н., профессор (Челябинск, Россия);
Мягков, Леонид Львович – д.т.н., профессор (Москва, Россия);
Янюшкин Александр Сергеевич – д.т.н., профессор (Чебоксары, Россия);
Ребезов Максим Борисович – д.с/х.н., профессор (Москва, Россия).

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели
Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов
При использовании материалов журнала ссылка на журнал «Наука и техника Казахстана» обязательна

© Торайгыров университет

МРНТИ 61.51.17

<https://doi.org/10.48081/TBYC5161>***З. Ж. Рахимова¹, К. Х. Жапаргазинова²**^{1,2}Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕСЕЙ В СЫРЬЕ
НА РАБОТУ КАТАЛИЗАТОРА ПРОЦЕССА
ГИДРООЧИСТКИ НЕФТЯНЫХ ФРАКЦИЙ**

В статье описано возможное воздействие примесей, таких как соединения серы, азота, мышьяка, никеля, ванадия, кремния, содержащихся в используемом сырье на работу катализатора процесса гидроочистки нефтяных фракций. Представлены результаты эксперимента, в ходе которого рассматривалась установка гидроочистки в режиме получения гидроочищенного дизельного топлива. Указаны параметры, необходимые для оценки работы катализатора, к которым относятся средневзвешенная температура по реактору, расход смешанного сырья и индивидуальных компонентов, смешанное сырье и индивидуальные компоненты: содержание серы и азота, плотность, фракционный состав, содержание ароматических соединений, содержание примесей, бромированное число и цетановое число. Исследовано влияние примесей в используемом сырье на кобальтмолибденовый катализатор ТК-570. В работе отображены результаты экспериментальных испытаний по определению серосодержащих, азотсодержащих, металло-содержащих примесей, среднего содержания ароматических соединений в сырье, результаты определения фракционного состава сырья. Графически показано содержание азотсодержащих, серосодержащих примесей в сырье за период испытаний. С применением кинетической модели для кобальтмолибденового катализатора по данным нормализованной средневзвешенной температуры была определена его скорость дезактивации для оценки воздействия примесей, содержащихся в сырье.

Ключевые слова: примеси в сырье, дезактивация катализатора, процесс гидроочистки, серосодержащие примеси, азотсодержащие примеси, металлосодержащие примеси.

Введение

Процессом, на примере которого были исследованы негативные влияния примесей в сырье, является процесс гидроочистки нефтяных фракций. Сырьем процесса являются бензиновые, керосиновые и дизельные фракции.

Именно в этих фракциях в наибольших количествах концентрируются серо-, азоторганические и другие опасные соединения, привносимые при добыче, подготовке и транспортировке нефти.

В мировой практике для процесса гидроочистки дизельного топлива наибольшее распространение получили кобальт-молибденовые, никельмолибденовые и смешанные никелькобальт-молибденовые катализаторы. Наиболее распространен кобальтмолиб-деновый катализатор гидроочистки (2–4 % CoO и 9–15 % MoO₃) [1].

Активность катализаторов каталитических процессов в ходе эксплуатации постепенно снижается из-за накопления неудаляемых катализаторных ядов, отложений кокса, вследствие влияния примесей, содержащихся в используемом сырье.

Материалы и методы

Соединения серы и азота являются катализаторными ядами. Соединения серы гидрируются на катализаторах с образованием сероводорода, адсорбция которого приводит к подавлению гидрирующей функции катализатора и его быстрому закоксовыванию. Азотсодержащие основания способствуют дезактивации катализатора посредством предпочтительной адсорбции на активных центрах и замедляют процесс активации водорода. Кроме того, длительная адсорбция азотсодержащих соединений уменьшает доступ другим реагирующим молекулам к каталитическим центрам. При непродолжительном воздействии соединений серы и азота возможна полная реактивация катализатора [2].

К неудаляемым катализаторным ядам относятся соединения мышьяка, никеля, меди и свинца, которые могут содержаться в сырье. Накапливаясь на поверхности катализатора, эти соединения нарушают гидрирующую функцию катализатора. Катализаторы, отравленные металлами, быстро закоксовываются и после регенерации не восстанавливают своей активности. Влияние таких металлов, как никель и ванадий, содержащихся в сырье и/или осевших на катализатор в процессе переработки сырья, проявляется в очень неблагоприятном воздействии на активность катализатора и селективность производства продуктов и в столь же вредном воздействии на срок службы катализатора. Металлы в сырье приводят к забиванию пор, блокировке активных центров; уменьшают механическую прочность катализатора, оказывают неблагоприятное воздействие на стабильность и кристалличность катализатора [3,4].

Также отрицательным воздействием на катализатор является кремний. Кремний является сильным каталитическим ядом, необратимо отравляющим активные центры катализатора. Превышение норм по содержанию кремния в сырье может привести к преждевременному заполнению катализаторов защитных слоев-ловушек кремния и проскоку кремния в слой основного катализатора. Проскок кремния и накопление всего 1 % масс. кремния на основном катализаторе приводит к увеличению скорости дезактивации и сокращению его работы в долгосрочной перспективе [5].

К параметрам, необходимым для оценки работы катализатора относятся рабочие условия (средневзвешенная температура по реактору, расход смесового сырья и индивидуальных компонентов, расходы продуктов и газов, давление на входе и выходе из реакторов); смесовое сырье и индивидуальные компоненты

(содержание серы и азота, плотность, фракционный состав, содержание ароматических соединений, содержание примесей, бромное число и цетановое число); свойства продуктовых фракций [6].

В период проводимого эксперимента установка гидроочистки эксплуатировалась в режиме получения гидроочищенного дизельного топлива. Сырьевая смесь была представлена следующими компонентами: прямогонное дизельное топливо, легкий газойль и бензин с установки замедленного коксования, легкий газойль каталитического крекинга, дизельное топливо с установки гидроочистки вакуумного газойля. Применяемый катализатор представляет собой кобальтмолибденовый катализатор ТК-570, обладающий высокой активностью в гидрообессеривании [7].

Скорость дезактивации катализатора в ходе испытаний определялась исходя из динамики развития средневзвешенной температуры, скорректированной с применением кинетической модели для катализаторов данной серии, т.е. нормализованной относительно проектных рабочих параметров и свойств сырья.

Одним из факторов, которые могут привести к росту дезактивации катализатора является повышение содержания азотсодержащих, серосодержащих, металлосодержащих примесей в сырьевой смеси [8].

Результаты и обсуждение

В ходе проводимого эксперимента были получены следующие данные о свойствах сырьевой смеси:

- а) содержание серо- и азотсодержащих примесей в сырье;
- б) фракционный состав и плотность сырья;
- в) содержание ароматических углеводородов в сырье;
- г) содержание металлов (Ni, V).

Содержание серосодержащих (по методике измерения ASTM D4629) и азотсодержащих примесей (по методике измерения ASTM D5453) в сырье приведено в таблице 1. Среднее значение фракционного состава сырья (по методике измерения ASTM D86) и среднее содержание ароматических соединений по месяцам эксперимента указано в таблице 2 [9].

Таблица 1 – Содержание серо-, азотсодержащих примесей в сырье

Период	Нормализованная средневзвешенная температура °С	Плотность сырья, кг/м ³	Содержание серосодержащих примесей, % масс.	Содержание азотсодержащих примесей, ppm
январь	331,39	836,68	0,7916	214,33
февраль	324,18	837,47	0,7261	239,18
март	336,68	836,63	0,6577	199,53
апрель	340,97	839,06	0,7318	234,60
май	336,05	836,45	0,7914	160,32

Примечание – Данные представляют собой среднее значение за указанный период (за май месяц установка эксплуатировалась 10 дней вследствие плановой остановки)

Средняя плотность сырья составила 837 кг/м³, среднее содержание серы – 0,73 % масс, при максимальном содержании серы 1,17 % масс., что является неблагоприятным фактором эксплуатации установки. Среднее содержание азота в смеси в среднем составило 216 ppm масс., при максимальном значении до 292 масс. ppm, что является неблагоприятным фактором эксплуатации установки [9].

Таблица 2 – Ароматический, фракционный состав сырья

Период	Ароматический состав			Фракционный состав					
	Моно, масс. %	Ди, масс. %	Поли, масс. %	0%, °C	10%, °C	30%, °C	50%, °C	90%, °C	100%, °C
январь	20,53	3,42	0	74,8	197,27	243,1	266,83	324,67	352,97
февраль	23,11	4,59	0	74,15	193,89	246,81	271,04	332,30	358,81
март	21,44	4,42	0	75,47	196,53	238	263,9	328,07	354,93
апрель	23,11	4,49	0	76	202,9	246,4	270,2	330,9	356,83
май	21,03	4,95	0	83,8	198,6	240,4	264	327,9	355,4

Примечание – Данные представляют собой среднее значение за указанный период (за май месяц установка эксплуатировалась 10 дней вследствие плановой остановки)

Содержания ванадия, никеля в составе сырья за период экспериментальных испытаний практически не обнаружено. По методике измерения UOP 389 содержание никеля составило 0,002 ppm, содержание ванадия менее 0,001 ppm.

Содержание серо- и азотсодержащих примесей за период испытаний представлено на рисунках 1,2. С помощью представленных диаграмм можно наглядно наблюдать различия значений содержания серо- и азотсодержащих примесей в зависимости от периода испытаний.

К дезактивации катализатора может привести: образование кокса на поверхности катализатора; отравление катализатора каталитическими ядами; повышение содержания серо-, и азотсодержащих соединений в сырьевой смеси; аварийные остановки, способные привести к дезактивации катализатора и др.

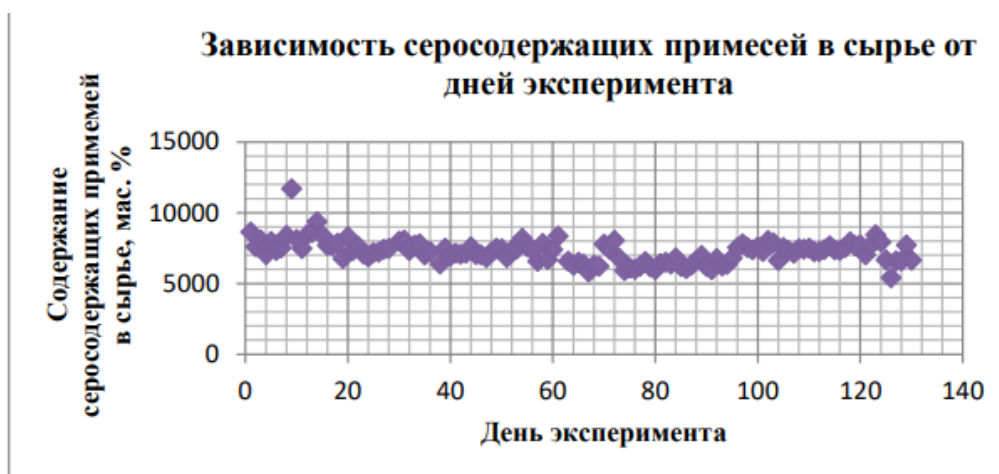


Рисунок 1 – Содержание серосодержащих примесей в сырье за период испытаний

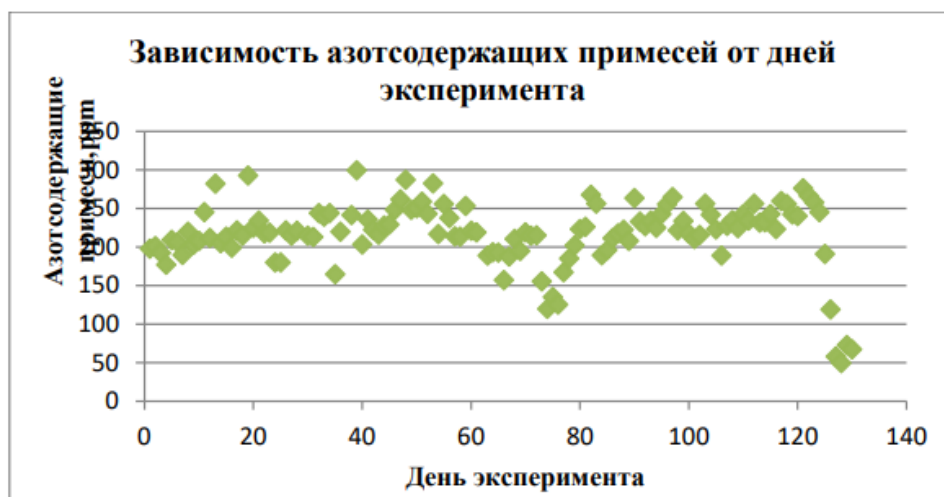


Рисунок 2 – Содержание азотсодержащих примесей в сырье за период испытаний

По характеру изменений нормализованной средневзвешенной температуры можно определить скорость дезактивации катализатора. Нормализованная температура рассчитывается на основании средневзвешенной температуры с учетом изменений рабочих условий и свойств сырьевой смеси. Скорость дезактивации катализатора определяется исходя из динамики развития средневзвешенной температуры, скорректированной с применением кинетической модели, т.е. нормализованной относительно проектных рабочих параметров и свойств сырья.

Скорость дезактивации катализатора определяется как угол наклона линейной (либо экспоненциальной) линии тренда, проведенной по отношению к кривой, описывающей изменение нормализованной средневзвешенной температуры во времени (рисунок 3) [7].

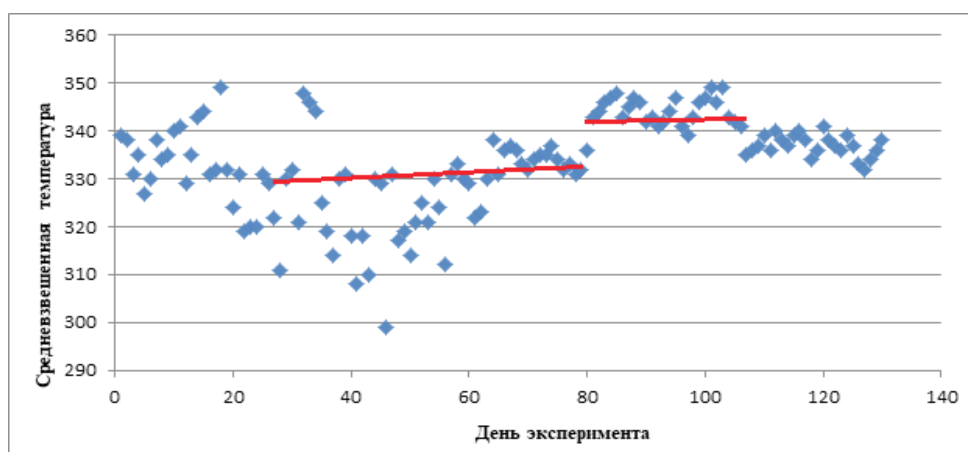


Рисунок 3 – Определение скорости дезактивации кобальтмолибденового катализатора ТК-570

Наблюдаемая скорость дезактивации катализатора в период эксперимента составила не более 0,7 °С/месяц.

Повышенное содержание азотсодержащих примесей приводит к увеличению остаточного содержания серы в продукте, что требует повышения реакционной температуры для сохранения качества продукта и приводит к экономическим потерям. Соединения азота способны ингибировать реакции гидрообессеривания и насыщения ароматических соединений, что приводит к необходимости увеличения рабочих температур для получения продукции требуемого качества, а также к ускорению дезактивации катализатора и сокращению температурного интервала эксплуатации установки.

Выводы

Во время проведенного эксперимента катализатор гидроочистки демонстрировал стабильную работу, однако, некоторое утяжеление сырьевых свойств, влияние примесей в сырье привело к небольшому повышению скорости дезактивации.

По полученным экспериментальным данным была определена скорость дезактивации кобальтмолибденового катализатора ТК-570, которая составила 0,7 °С/месяц. В ходе эксперимента наблюдалось максимальное содержание серы 1,17 % масс., азота – 292 масс. ppm, что является неблагоприятными факторами эксплуатации установки. Серосодержащие примеси приводят к подавлению гидрирующей функции катализатора и его быстрому закоксовыванию. Влияние соединений азота приводит к необходимости увеличения рабочих температур, а также к ускорению дезактивации катализатора и сокращению температурного интервала эксплуатации установки.

При увеличении содержания примесей в сырьевой смеси существует риск большего увеличения скорости дезактивации катализатора в долгосрочной перспективе. Увеличение скорости дезактивации может привести к снижению активности и селективности катализатора в процессе его эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Солодова Н. Л., Нурмухаметова А. Р.** Катализаторы гидроочистки // Вестник технологического университета. – 2017. – № 10. – С. 53–57.

2 **Алиев Р. Р.** Катализаторы и процессы переработки / Р. Р. Алиев. – М. : Москва, 2010. – 308 с.

3 **Болдушевский Р. Э.** Гидродеметаллизация тяжелого нефтяного сырья на нанесенных мезомакропористых Ni(Co)Mo-сульфидных катализаторах : Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. – М. : РГУ им. Губкина, 2019. – 129 с.

4 **Капустин В. М., Рудин М. Г.** Химия и технология переработки нефти / В. М. Капустин, М. Г. Рудин. – М. : Химия, 2013. – 496 с.

5 **Ахметов С. А., Сериков Т. П.** Технология и оборудование процессов переработки нефти и газа / С. А. Ахметов. – СПб. : Недра, 2006. – 868 с.

6 **Колесников И. М.** Катализ в газонефтяной отрасли. – М : Издательство РГУ им. И.М. Губкина, 2012. – 471 с.

7 **Матюшонок Н.А.** Совершенствование процесса гидроочистки дизельного топлива путем подбора более эффективного катализатора // Вестник магистратуры. – 2019. – № 3. – С. 45–47.

8 **Рябов В. Д.** Химия нефти и газа. – М. : Форум», 2009. – 336 с.

9 ТОО «ПНХЗ». Отчет о работе установки гидроочистки дизельного топлива, 2020. – 12 с.

10 ASTM D4629-12 Стандартный метод определения следовых количеств азота в жидких нефтяных углеводородах методом введения пробы шприцем, окислительного сжигания и хемилюминисцентного обнаружения. – ASTM International, 2012. – 8 с.

11 ASTM D5453-12 Стандартный метод определения общего содержания серы в легких углеводородах, топливе для двигателей с искровым зажиганием и дизельных двигателей, а также в моторных маслах методом ультрафиолетовой флуоресценции. – ASTM International, 2012. – 16 с.

12 ASTM D5186-09 Стандартный метод определения содержания ароматических соединений и полициклических ароматических углеводородов в дизельных моторных и авиационных турбинных топливах с помощью сверхкритической флюидной хроматографии, ASTM International, 2009. – 14 с.

REFERENCES

1 **Solodova N. L., Nurmuhametova A. R.** Katalizatory gidroochistki [Hydrotreatment catalysts] // Vestnik tehnologicheskogo universiteta. – 2017. – № 10. – P. 53 – 57.

2 **Aliev R. R.** Katalizatory i processi pererabotki nefiti [Catalysts and refinery processes – Moscow : Moskva, 2010. – 308 p.

3 **Boldushevsky R. E.** Gidrometallizaciya tyazhelogo neftyanogo sirya na nanesennih mezomarkoporistih Ni(Co)Mo-sulfidnih katalizatorah [Hydrodemetallization of heavy oil feedstock on supported mesomacroporous Ni (Co) Mo-sulfide catalysts]. – Moscow : RSU im. Gubkina, 2019 . – 129 p.

4 **Kapustin V. M., Rudin M. G.** Khimiya i tekhnologiya pererabotki nefiti [Chemistry and technology of oil refining]. – Moscow : Chemistry, 2013 . – 496 p.

5 **Ahmetov S. A., Serikov T. P.** Tehnologiya i oborudovanie procesov pererabotki nefiti i gaza [Technology and equipment for oil and gas processing processes]. – Sankt-Peterburg : Nedra, 2006. – 868 p.

6 **Kolesnikov I. M.** Kataliz v gazonefityanoi otrasli [Catalysis in the oil and gas industry] – Moscow : Izdatelstvo RGU im. I. M. Gubkina, 2012. – 471 p.

7 **Matyshonok N. A.** Sovershenstvovanie processa gidroochistke dizelnogo topliva putem podbora bolee effektivnogo katalizatora [Improving the process of hydrotreating diesel fuel by selecting a more efficient catalyst] // Vestnik magistraturi. – 2019. – № 3. – P. 45–47.

8 **Ryabov V. D.** Himiya nefti i gaza [Chemistry of oil and gas]. – Moscow : Forum, 2009. – 336 p.

9 «Pavlodar Oil Chemistry Refinery» LLP. Otchet o rabote ustanovki gidroochistki dizelnogo topliva [Report on the operation of the diesel fuel hydrotreating unit]. – 2020. – 12 p.

10 ASTM D4629-12 Standartnii metod opredeleniya sledovih kachestv azota v jidkih neftyanih uglevodorodah metodom vvedeniya probi shpicem, okislitel'nogo sjiganiya i hemolyminiscentnogo obnarujeniya [Standard method for determining trace amounts of nitrogen in liquid petroleum hydrocarbons by injection of a sample with a syringe, oxidative combustion and chemiluminescent detection]. – ASTM International, 2012. – 8 p.

11 ASTM D5453-12 Standartnii metod opredeleniya obshego sodержaniya seri v legkih uglevodorodah, toplive dlya dvigateley s iskrovim zajiganiem i dizel'nyh dvigateley, a takje v motornih maslah metodom ultrafioletovoi fluorescencii [Standard method for determining the total sulfur content in light hydrocarbons, spark ignition engine fuel and diesel engines, as well as in motor oils by ultraviolet fluorescence]. – ASTM International, 2012. – 16 p.

12 ASTM D5186-09 Standartnii metod opredeleniya sodержaniya aromaticheckih soedinenii i policiklicheckih aromaticheckih uglevodorodov v dizel'nyh motornih i aviacionnyh turbinnih toplivah s pomoshhu sverhkriticheskoj fluidnoj hromatografii [Standard method for determining the content of aromatic compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons in diesel engine and aviation turbine fuels using supercritical fluid chromatography]. – ASTM International, 2009. – 14 p.

Материал поступил в редакцию 17.03.22.

***З. Ж. Рахимова¹, К. Х. Жапаргазинова²**

^{1,2}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.

Материал баспаға 17.03.22 түсті.

МҰНАЙ ФРАКЦИЯЛАРЫ ГИДРОТАЗАЛАУ ПРОЦЕСІНІҢ КАТАЛИЗАТОРЫНЫҢ ЖҰМЫСЫ ҮШІН ШИКІЗАТТАРДАҒЫ ҚОСПАЛАРДЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

Мақалада мұнай фракцияларын гидротазарту процесінің катализаторының жұмысына қолданылатын шикізат құрамындағы күкірт, азот, мышьяк, никель, ванадий, кремний қосылыстары сияқты қоспалардың ықтимал әсері сипатталған. Эксперименттің нәтижелері ұсынылды, оның барысында гидротазартылған дизель отынын алу режимінде гидротазарту қондырғысы қарастырылды. Катализатордың жұмысын бағалау үшін қажетті параметрлер көрсетілген, оларға реактор бойынша орташа өлшенген температура, қоспа шикізаты мен жеке компоненттердің шығыны, қоспа шикізаты мен жеке компоненттер: Күкірт пен азоттың құрамы, тығыздығы, фракциялық құрамы, хош иісті қосылыстардың құрамы, қоспалардың құрамы,

бромдық сан және цетандық Сан жатады. Қолданылатын шикізаттағы қоспалардың ТК-570 кобальтмолибден катализаторына әсері зерттелді. Жұмыста құрамында күкірт бар, азот бар, құрамында металл бар қоспаларды, шикізаттағы хош иісті қосылыстардың орташа құрамын анықтау бойынша эксперименттік сынақтардың нәтижелері, шикізаттың фракциялық құрамын анықтау нәтижелері көрсетілген. Сынақ кезеңінде шикізаттағы құрамында азот бар, күкірт бар қоспалардың құрамы графикалық түрде көрсетілген. Кобальтмолибден катализаторына арналған кинетикалық модельді қолдана отырып, қалыпты орташа өлшенген температура деректері бойынша оның құрамындағы қоспалардың әсерін бағалау үшін залалсыздандыру жылдамдығы анықталды.

Кілтті сөздер: шикізаттағы қоспалар, катализаторды дезактивациялау, гидротазалау процесі, құрамында күкірт бар қоспалар, құрамында азот бар қоспалар, құрамында металл бар қоспалар.

***Z. Zh. Rakhimova¹, K. K. Zhapargazinova²**

^{1,2}Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 17.03.22.

STUDY OF THE EFFECT OF IMPURITIES IN RAW MATERIALS FOR THE OPERATION OF THE CATALYST OF THE PROCESS OF HYDROTREATMENT OF OIL FRACTIONS

The article describes the possible effect of impurities, such as compounds of sulfur, nitrogen, arsenic, nickel, vanadium, silicon contained in the raw materials used on the operation of the catalyst for the hydrotreating of oil fractions. The results of an experiment during which a hydrotreating unit was considered in the mode of obtaining hydrotreated diesel fuel are presented. The parameters necessary to evaluate the operation of the catalyst are indicated, which include the weighted average temperature of the reactor, the consumption of mixed raw materials and individual components, mixed raw materials and individual components: sulfur and nitrogen content, density, fractional composition, aromatic compounds content, impurity content, bromine number and cetane number. The effect of impurities in the raw materials used on the cobalt-molybdenum catalyst TK-570 has been investigated. The paper presents the results of experimental tests to determine sulfur-containing, nitrogen-containing, metal-containing impurities, the average content of aromatic compounds in raw materials, the results of determining the fractional composition of raw materials. Graphically shows the content of nitrogen-containing, sulfur-containing impurities in the raw materials during the test period. Using a kinetic model for a cobalt-molybdenum catalyst, according to the normalized weighted average temperature, its decontamination rate was determined to assess the impact of impurities contained in the raw materials.

Keywords: impurities in feedstock, catalyst deactivation, hydrotreating process, sulfur-containing impurities, nitrogen-containing impurities, metal-containing impurities.

Теруге 17.03.22 ж. жіберілді. Басуға 27.03.22 ж. қол қойылды.

Электрондық баспа

15 Мб RAM

Шартты баспа табағы 14,5. Таралымы 300 дана.

Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: Е. Е. Калихан

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3952

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов көш., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

e-mail: kereku@tou.edu.kz

<https://vestnik.tou.edu.kz/>

<http://stk.tou.edu.kz/>