

УДК 665.664.2; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-4.08>

<https://orcid.org/0009-0004-3242-7495>

<https://orcid.org/0000-0003-3251-1449>

<https://orcid.org/0000-0003-1859-5551>

<https://orcid.org/0000-0001-5633-1640>

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КАТАЛИЗАТОРА УСТАНОВКИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА



**К.К. КАЛМАКОВ<sup>1</sup>**,  
докторант ЮКУ  
им. М. Ауэзова,  
[kalkmakovkk@mail.ru](mailto:kalkmakovkk@mail.ru)



**Г.З. ТУРЕБЕКОВА<sup>1</sup>**,  
кандидат технических наук,  
профессор кафедры  
«Технология неорганических  
и нефтехимических процессов»  
ЮКУ им. М. Ауэзова,  
[g.ture@mail.ru](mailto:g.ture@mail.ru)



**А.Ж. АЙМЕНОВ<sup>2</sup>**,  
PhD, начальник НПС  
10 Восточное управление  
оперативных услуг  
АО КазТрансОйл,  
[askar.aimenov@mail.ru](mailto:askar.aimenov@mail.ru)

**К.С. НАДИРОВ<sup>1</sup>**, доктор химических наук, профессор кафедры «Нефтегазовое дело» ЮКУ им. М. Ауэзова, [nadirovkazim@mail.ru](mailto:nadirovkazim@mail.ru)

<sup>1</sup>ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М. АУЭЗОВА,  
Республика Казахстан, 160012, Шымкент, пр-т Тауке хана, 5

<sup>2</sup>АО "КАЗТРАНСОЙЛ,  
Республика Казахстан, область Абай, 566 км нефтепровода Атасу-Алашанькоу

*Рассматриваются возможности решения актуальной задачи по увеличению глубины переработки Казахских нефтей месторождений Кумколь и Западного Казахстана с целью повышения объемов востребованных для страны нефтепродуктов - бензина, керосина и дизельного топлива. Одним из путей решения этой задачи является исследование и оценка влияния катализатора установки каталитического крекинга тяжелых остатков на количество выхода светлых фракций. В качестве тяжелых остатков был использован мазут смеси Кумкольской и Западно-Казахстанской нефти в соотношении 7:3. В статье показаны результаты исследования взаимодействия состава катализатора и мазута, в частности, влияние тяжелых металлов на процесс каталитического крекинга. Несмотря на высокое содержание тяжелых металлов в сырье испытываемый*

катализатор сохраняет высокую активность поверхности, что позволяет увеличить срок службы катализатора. Результаты исследований показали, что каталитический крекинг тяжелых остатков смеси нефтей на микросферическом цеолитсодержащем катализаторе целесообразно осуществлять в реакторе, заканчивающемся форсированным кипящим слоем, что и позволяет увеличить глубину переработки нефти.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** каталитический крекинг тяжелых остатков, мазут, легкий каталитический газойль, лифт-реактор, тяжелые металлы, регенерированный катализатор.

## КАТАЛИТИКАЛЫҚ КРЕККИНГ ҚОНДЫРҒЫСЫ КАТАЛИЗАТОРЫНЫҢ ЖҰМЫС ІСТЕУ ТИІМДІЛІГІ

**К.К. КАЛМАКОВ**<sup>1</sup>, М. Әуезов атындағы ОҚУ докторанты, [kalmakovkk@mail.ru](mailto:kalmakovkk@mail.ru)  
**Г.З. ТУРЕБЕКОВА**<sup>1</sup>, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, [g.ture@mail.ru](mailto:g.ture@mail.ru)  
**А.Ж. АЙМЕНОВ**<sup>2</sup>, PhD, ҚазТрансОйл ВУОУАО 10 МАС басшысы, [askar.aimenov@mail.ru](mailto:askar.aimenov@mail.ru)  
**К.С. НАДИРОВ**<sup>1</sup>, химия ғылымдарының докторы, профессор, [nadirovkazim@mail.ru](mailto:nadirovkazim@mail.ru)

<sup>1</sup>М.ӘУЕЗОВ АТЫНДАҒЫ ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН УНИВЕРСИТЕТІ  
Қазақстан Республикасы, 160012, Шымкент қаласы, Тәуке хан даңғылы, 5

<sup>2</sup>ҚазТрансОйл АҚ, Қазақстан Республикасы, Абай ауданы  
Атасу-Алашанькоу мұнай құбырының 566 шқ

Мақалада елімізде сұранысқа ие мұнай өнімдері - бензин, парафин және дизель отынының көлемін ұлғайту мақсатында құмкөл және Батыс Қазақстан мұнай кен орындарын өңдеу тереңдігін ұлғайтудың өзекті мәселесін шешу мүмкіндіктері қарастырылады. Бұл мәселені шешудің бір жолы - ауыр қалдықтарды каталитикалық крекинге катализатордың жеңіл фракциялардың шығу мөлшеріне әсерін зерттеу және бағалау. Ауыр қалдық ретінде 7:3 қатынасында құмкөл және Батыс қазақстан мұнайының мазут қоспасы пайдаланылды. Мақалада катализатор мен мазут құрамының өзара әрекеттесуін, атап айтқанда ауыр металдардың каталитикалық крекинге үдерісіне әсерін зерттеу нәтижелері келтірілген. Сыналған катализатор шикізаттағы ауыр металдардың жоғары болуына қарамастан, катализатордың қызмет ету мерзімін ұзартатын жоғары беттік белсенділікті сақтайды. Зерттеу нәтижелері микросфералық цеолит бар катализатордағы ауыр қалдық мұнай қоспасының каталитикалық крекингін мәжбүрлі сұйық қабатпен аяқталатын реакторда жүргізген жөн, бұл мұнай өңдеу тереңдігін арттыруға мүмкіндік береді.

**ТҮЙІН СӨЗДЕР:** ауыр қалдықтардың каталитикалық крекингі, мазут, жеңіл каталитикалық газойль, лифт-реактор, ауыр металдар, қайта қалпына келтірілген катализатор.

## EFFICIENCY RESULTS OF THE CATALYST FUNCTIONING OF A CATALYTIC CRACKING UNIT

**K.K. KALMAKOV**<sup>1</sup>, doctoral student of SKU named after M. Auezov, [kalmakovkk@mail.ru](mailto:kalmakovkk@mail.ru)  
**G.Z. TUREBEKOVA**<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Professor, [g.ture@mail.ru](mailto:g.ture@mail.ru)  
**A.Zh. AIMENOV**<sup>2</sup>, PhD, Head of OPS 10 VUOUAO KazTransOil, [askar.aimenov@mail.ru](mailto:askar.aimenov@mail.ru)  
**K.S. NADIROV**<sup>1</sup>, Doctor of Chemical Sciences, Professor, [nadirovkazim@mail.ru](mailto:nadirovkazim@mail.ru)

<sup>1</sup>M. AUEZOV SOUTH KAZAKHSTAN UNIVERSITY  
5, Tauke Khan avenue, Shymkent, 160012, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup>KAZTRANSOIL JSC,  
Republic of Kazakhstan, Abay region 566 km of the Atasu-Alashankou oil pipeline

*The article considers possibilities for solving the urgent problem of increasing the depth of refining of Kazakhstan oil fields Kumkol and Western Kazakhstan in order to increase the volume of oil products demanded for the country - gasoline, paraffin and diesel fuel. One of the ways to solve this problem is to study and evaluate the influence of a catalyst for catalytic cracking of heavy residues on the amount of light fractions yield. Fuel oil mixture of Kumkol and West Kazakhstan oil in the ratio of 7:3 was used as heavy residue. The paper shows the results of study of interaction of catalyst and fuel oil composition, in particular the influence of heavy metals on catalytic cracking process. The tested catalyst, despite the high content of heavy metals in the feed, retains high surface activity, which increases the service life of the catalyst. Results of researches have shown that catalytic cracking of heavy residual oil mixture on the microspherical zeolite-containing catalyst is expedient to carry out in the reactor ending by the forced fluidized bed that allows to increase depth of oil processing.*

**KEY WORDS:** catalytic cracking of heavy residues, fuel oil, light catalytic gas oil, elevator reactor, heavy metals, regenerated catalyst

**В**ведение. В настоящее время перед нефтегазовой промышленностью Казахстана стоит актуальная задача по увеличению глубины переработки углеводородного сырья, в частности, выхода светлых фракций. Таким образом, предполагается увеличить объёмы выпускаемых товарных нефтепродуктов: бензина, керосина и дизельного топлива. Эти вопросы обсуждались при встрече руководства ТОО «ПетроКазахстанОйл Продактс» с Премьер-министром Казахстана А. Смаиловым и председателем Правления АО НК «КазМунайГаз» М. Мирзагалиевым.

Целью опытно-промышленного пробегга является увеличение глубины переработки тяжелого нефтяного остатка – мазута, получаемого в процессе переработки Кумкольской и Западно-Казахстанской нефтей на установке атмосферной перегонки Шымкентского нефтеперерабатывающего завода.

Как известно [1], мощность установок каталитического крекинга тяжелых остатков на нефтеперерабатывающих заводах СНГ составляет до 2,5 млн т/год, которые ориентированы на использовании тяжелых нефтяных, вторичных остатков с целью увеличения ассортимента сырьевых ресурсов. Установка каталитического крекинга тяжелых остатков (ККТО) включает в себя реакторно-регенераторный блок, секцию фракционирования, секций стабилизации абсорбции, регенерации энергии дымовых газов, десульфурации газообразных продуктов сгорания, а также секцию десульфурации сухого газа. В результате получают основные продукты: очищенный сухой газ; сжиженный углеводородный газ (СУГ); бензин; легкие каталитический газойль (ЛКГ), который используется как компонент дизельного топлива, и побочные продукты – тяжелые остатки [2].

**Материалы и методы исследования.** Пробег установки каталитического крекинга мощностью 2 млн т/год осуществлялся для всесторонней оценки характеристик, применяемых мелкодисперсных общедоступных промышленных катализаторов, в частности, КМЦР, КМЦУ, ДА-250 и др., с целью всесторонней оценки технологических характеристик испытываемого катализатора в реакторно-регенераторном блоке установки [3,4].

Основные технологические параметры процесса установки ККТО: количество перерабатываемого сырья установки около 229,2~230,8 т/ч, объемная скорость потока сырья составляет 255 м<sup>3</sup>/ч.

В *таблице 1* показаны основные показатели качества продукции при оценке характеристик используемого катализатора на УККТО.

**Таблица 1 – Показатели контроля качества компонентов УККТО**

Наименования	Показатели
Компонент $C_3$ в сухом газе	$\leq 2\%$
Компонент $C_5$ в сжиженном газе	$\leq 0,5\%$
Температура выкипания бензина	$\leq 210^\circ\text{C}$
Температура перегонки 95% ЛКГ	$360^\circ\text{C}$
Плотность тяжелого остатка	$\leq 1050 \text{ кг/м}^3$
Температура дна фракционной колонны	$\leq 345^\circ\text{C}$

Как видно из *таблицы 1* основные показатели качества продукции выражаются в температурных пределах бензина: конец кипения бензина не должно превышать  $210^\circ\text{C}$  иначе возможно отрицательное влияние на последующие технологические процессы.

Были проведены процедуры сбора необходимых данных для опытно-промышленного пробега:

- по сырью: расход сырой нефти измеряется по расходомеру. Образцы сырой нефти собираются ежедневно по 2 пробы (минимальный объем 500 мл) и анализируются в лабораториях стандартными методами [5].

- объемы получаемых продуктов установки – сухой газ, сжиженный углеводородный газ, бензин, легкий каталитический газойль (компоненты дизельного топлива) и тяжелый остаток измеряются расходомерами последующей установки. Проведение контроля каждого расходомера проводится до пробега. Ежедневно 2 раза в день проводится анализ продуктов сухого газа, сжиженного углеводородного газа, бензина, ЛКГ и тяжелого остатка, а также ежедневно для анализа собираются 2 образца катализаторов по отдельности (регенерируемый и регенерированный).

**Результаты и обсуждение.** Результаты проведенных исследований по составу и физико-химическим свойствам мазута приведены в *таблице 2*.

Из данных *таблицы 2* видно, что по сравнению с индексом сырой нефти по техническому регламенту, мазут из смешанного парафинистого сырья Кумкольских (70 %) и Западно – Казахстанских (Актобе – 30%) месторождений имеет низкую плотность и умеренную коксуемость. Исходное сырье становится тяжелым и содержание тяжелых металлов относительно высокое, особенно, Ca, Ni, Fe, Na и V. Содержание Ni в основном соответствует регламенту, содержание Ca увеличилось более чем в 3 раза, содержание ванадия V увеличилось в 4-5 раз, а содержание Fe в сырой нефти не анализировалось, но на данный момент относительно высокое – в пределах 12,19-16,70 мг/г. Содержание серы также увеличилось. Обычно увеличение содержания серы косвенно показывает, что сырье стало тяжелым, кроме того увеличение содержания серы может привести к образованию оксидов серы в дымовых газах. Воздействие оксидов серы в дымовых газах интерпретируется авторами [6,7] по-разному: предполагается, что сера, вступая в реакцию с металличе-

Таблица 2 – Результаты анализа сырья - мазута атмосферной перегонки

Объект	Значение по тех. регламенту	I этап	II этап
Плотность, кг/м <sup>3</sup> (20°С)	0,9039	0,899/0,900	0,905/0,901
Остаточный углерод (коксотложение на катализаторе), %	4,41	3,85/3,99	3,98/3,90/4,14
Содержание Са, мг/г	4	151,00/12,91/126,00	14,51/ 13,2/13,24
Содержание Mn, мг/г	<1	0,45/0,0/0,68	0,54/0,55
Содержание Ni, мг/г	19	17,07/16,71/15,46	16,74/ 16,69/16,69
Содержание V, мг/г	1	3.21/4.25/5.10	4,47/4,00/4,00
Содержание Zn, мг/г	1	0,19/0,15/0,09	0,16/0,22
Содержание Na, мг/г	7	83,74	148,90
Содержание Fe, мг/г		13,07/12,19/16,70	12,97/13,76/13,76
Содержание S, ppm	2270	3409/3836	4120/ 3829/2569
Содержание C, %	86,06	/	/
Содержание H <sub>2</sub> , %	13,42	/	/
Содержание N <sub>2</sub> , ppm	3400	/	/

ской поверхностью, выполняет роль ингибитора коррозии и может способствовать предотвращению коррозии внутренней поверхности аппарата.

Степень загрязнения тяжелыми металлами равновесного катализатора, при условии обработки двух разных атмосферных остатков и разных условиях потребления каталитической единицы. При переработке атмосферных остатков смеси сырья 70% Кумколя и 30% Актобе содержание тяжелых металлов в равновесном катализаторе, очевидно, увеличивается при различных условиях потребления каталитической единицы. Особенно увеличивается содержание кальция, натрия, ванадия и т.д., активность катализатора снижается, вследствие загрязнения катализатора тяжелыми металлами, что ухудшает распределение продукта [8]. Результаты исследований содержания оксида натрия и кальция в составе равновесного катализатора при проведении процесса каталитического крекинга атмосферных остатков показаны на *рисунках 1, 2*.

Из результатов анализа физико-химических свойств регенерированного катализатора, становится ясно, что содержание оксида натрия в отработанном катализаторе продолжало увеличиваться, что видно на *рисунке 1*. Анализируя график зависимостей, изображенный на *рисунке 2*, можно сделать вывод, о том, что содер-

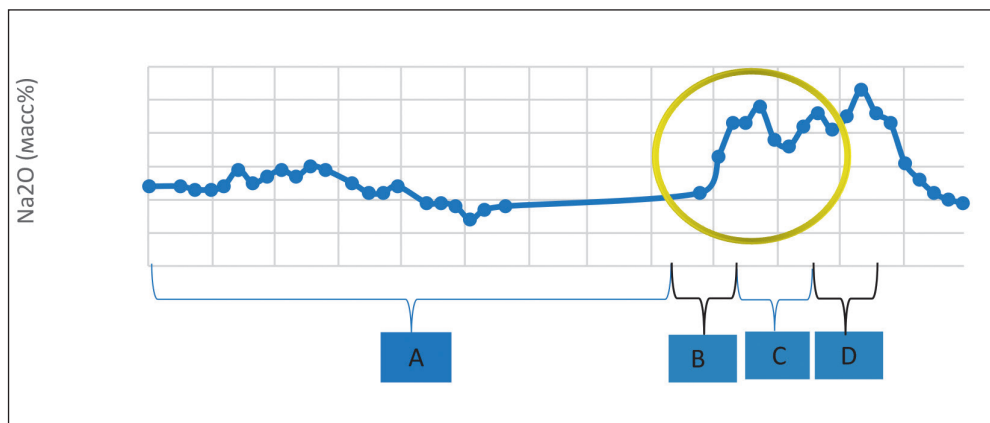


Рисунок 1 – Показатели изменения содержания оксида натрия по этапам испытания в составе равновесного катализатора

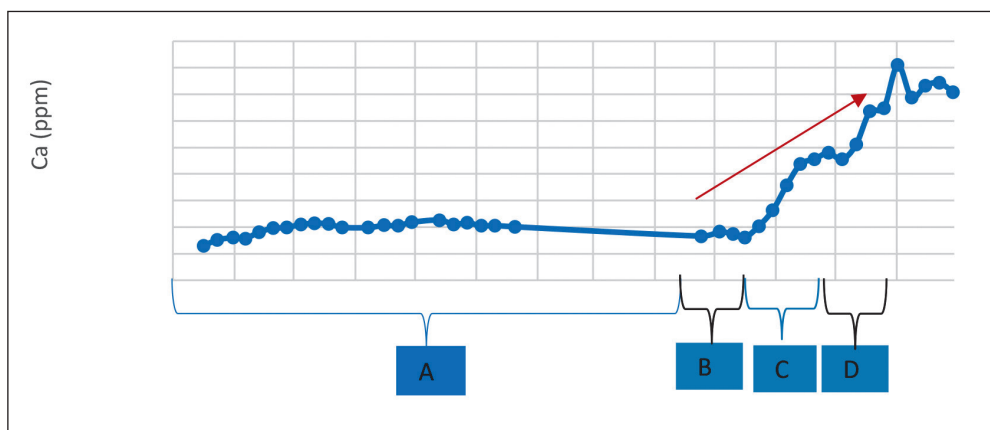


Рисунок 2 – Показатели изменения содержания кальция по этапам испытания в составе равновесного катализатора

жание кальция продолжало увеличиваться с 2500 ppm до 8000 ppm. Кальций в равновесном катализаторе существует в виде оксида кальция и легко вступает в связь с кислотным центром катализатора, вызывая дезактивацию активного центра его [9].

Испытываемые катализаторы активно влияют на различные свойства и состав получаемых продуктов, результаты анализа и их характеристики показаны в таблице 3.

В таблице 3 приведены данные, которые показывают, что на I и II этапах выход бензина превышает 49,9%, а выход сухого газа составляет от 4,88 до 4,92%, что связано с увеличением содержания тяжелых металлов и сопровождается дегидрированием, углеводородов, приводящее к усилению реакции термического крекинга по цепному механизму. Октановое число бензина по исследовательскому методу составляет от 91,5 до 91,8, выход сжиженного газа стабилен и составляет от 12,03 до 13,12%. Выход легкого газойля и общее извлечение жидких фракций составляют: ЛГК 19,9 ~ 21,17%; (бензин + ЛКГ) 69,80 ~ 71,07%; (сжиженный газ + бензин

Таблица 3 – Характеристики получаемых продуктов процесса каталитического крекинга

Пункт	Результаты пробега		
	I этап	II этап	За 2 этапа
Объем рабочей загрузки, т/ч	229,2/229,5	230,8/229,8	229,8
Выход бензина (конец кипения не более 210°C), масс.%	49,91	50,21	50,06
Выход сухого газа, масс.%	4,88	4,92	4,90
ИОЧ бензина	91,8/91,7	91,6/91,5/91,6	
Температура вспышки тяжелого остатка, °C	85/64	92/85	
Выход сжиженного газа, масс.%	13,12	12,03	12,58
Бензин +ЛКГ, масс.%	69,80	71,07	70,44
Общий выход жидкости (сжиженный газ + бензин + ЛКГ), масс.%	82,93	83,10	83,01

Примечание: сырьем является атмосферный остаток 100% - мазут.

+ ЛКГ) 82,93 ~ 83,10%, соответственно. В целом можно сказать, что выход легкого газойля и общее извлечение светлых фракций относительно высокое, что соответствует заводским практическим данным.

Далее был исследован состав продукции сухого газа установки ККТО и качество продукции реакции крекинга рассматривается в *таблице 4*.

Из данных *таблицы 4* видно, что молярное соотношение  $H_2/CH_4$  варьируется в пределах 1,33~1,53. Доля содержания никеля в равновесном катализаторе выше 7000 ppm. Это указывает на то, что устойчивый к никелю компонент катализатора способствует загрязнению катализатора никелем [10,11].

Сжиженный газ, образованный на установке ККТО содержит пропан, бутан, изобутан, бутилен и пропилен. Поскольку установка каталитического крекинга не обрабатывает пропан-пропиленовую фракцию (ППФ) и бутан-бутиленовую фракцию (ББФ), то эти газы направляются для дальнейшей переработки на установку MEROX для очистки газа от серосодержащих соединений и поэтому относительное содержание катализатора держится на сравнительно низком уровне в пределах технологического регламента установки [12].

Таблица 4 – Образование сухого газа установки ККТО

Состав газа, % (об.)	Контрольный замер: вторая половина суток (с 20:00 по 8:00)	Контрольный замер: первая половина суток (с 8:00 по 20:00)	2 этап вторая половина суток (с 20:00 по 8:00)	2 этап: первая половина суток (с 8:00 по 20:00)	1 этап вторая половина суток (с 20:00 по 8:00)	1 этап: первая половина суток (с 8:00 по 20:00)
	1	2	3	4	5	6
H <sub>2</sub>	26,8	28,3	25,9	27,0	28,2	30,1
O <sub>2</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
N <sub>2</sub>	15,6	15,5	15,3	15,4	15,2	15,2
H <sub>2</sub> S	0,0	2,7	3,4	3,4	2,9	
C <sub>1</sub>	20,1	20,0	19,7	20,4	19,9	19,7
C <sub>2</sub>	14,1	14,0	15,2	14,3	14,1	13,2
C <sub>2</sub> N	12,8	17,5	18,1	17,1	16,4	16,6
C <sub>3</sub>	4,3	0,3	0,6	0,5	1,1	0,5
C <sub>3</sub> N	0,9	1,2	1,3	1,2	1,4	0,9
C <sub>4</sub>	0,0			0,0	0,0	
iC <sub>4</sub>	4,8	0,3	0,3	0,3	0,6	0,8
nC <sub>4</sub>	0,6	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4
C <sub>5</sub>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Сумма углеводородов	57,6		55,4	54,2	53,7	53,2
C <sub>4</sub> N	0,0	0,1	0,1	0,2	0,0	1,1
H <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub>	1,33	1,42	1,31	1,32	1,42	1,53

В таблице 5 приведены физико-химические свойства бензина, получаемого на установке ККТО.

Из данных таблицы 5 видно, что содержание олефинов в бензине относительно низкое и составляет в пределах 29,11-29,21% масс, а содержание изопарафинов и ароматических соединений высокое, что способствует увеличению октанового числа целевого продукта - бензина. Октановое число бензина (по исследовательскому методу) находится в диапазоне 91,5~91,8, то есть удовлетворяет требованиям, предъявляемым к производству высококачественного бензина на нефтеперерабатывающих заводах.



Таблица 5 – Физико-химические свойства бензина установки ККТО

Отборы по этапам		I этап			II этап			
		1 отбор	2 отбор	3 отбор	4 отбор	5 отбор	6 отбор	
ГОСТ 17323	Массовая доля меркаптановой серы, % масс.	0,0041	Не измерялись				0,0030	
ГОСТ 2177	Фракционный состав углеводородов бензина	Температура начала кипения, °С	28	29	29	29	27	29
		Температура отгона 5%, °С	38	38	33	39	37	39
		Температура отгона 10%, °С	43	43	40	44	43	44
		Температура отгона 50%, °С	93	93	91	94	92	92
		Температура отгона 90%, °С	174	175	175	172	172	172
		Температура отгона 95%, °С	191	191	192	188	189	188
		Температура конца кипения, °С	210	211	209	205	205	205
	Выход, %	98	98	96	98	98	98	
ГОСТ 8226	ИОЧ	91,6	91,5	91,5	91,6	91,7	91,8	
ГОСТ 20884	Содержание серы, мг/кг	331,0	347,00	348,0	350,0		256,0	
ГОСТ 3900	Плотность при 20°С, кг/м <sup>3</sup>	722	721	722	723	719	719	
ГОСТ Р 51069-97	Плотность при 15°С, кг/м <sup>3</sup>	725	725	726	726	722	722	
УОР 880-08	Групповой углеводородный состав бензина	Ароматические углеводороды % масс.	21,46	Не измерялись				20,86
		i-парафиновых углеводородов, % масс.	29,06	Не измерялись				29,91
		n-парафиновых углеводородов, % масс.	5,05	Не измерялись				5,06
		Нафтеновые углеводороды, % масс.	8,74	Не измерялись				8,90
		Олефины % масс.	29,11	Не измерялись				29,21

В таблице 6 приведены основные показатели тяжелых остатков установки ККТО.


Из данных таблицы 6 видно, что плотность тяжелых остатков варьируется в пределах 991 кг/м<sup>3</sup>~1008 кг/м<sup>3</sup>. В случае высокого содержания в сырье тяжелых металлов кальция, никеля и железа, степень загрязнения катализатора увеличивается, тем самым снижается конверсионная способность катализатора тяжелых нефтяных остатков. Рекомендуется дополнительно готовить исходное сырье, очищая от тяжелых металлов, одновременно оптимизируя рецептуру катализатора и тем самым улучшая конверсию тяжелых нефтяных остатков. Из результатов анализа содержания золы в тяжелых остатках можно увидеть, что содержание золы относительно низкое в пределах 0,04-0,07%, что является хорошим показателем устойчивости катализатора.

Таблица 6 – Основные показатели тяжелых остатков установки ККТО

Результаты		I этап			II этап		
		1 отбор	2 отбор	3 отбор	4 отбор	5 отбор	6 отбор
		1	2	3	4	5	6
ГОСТ 1461-75	Зольность,%	0,04	0,04	0,05	0,04	0,07	0,05
ГОСТ 6370	Массовая доля механических примесей, % масс.	0,61	Не измерялось				0,49
ГОСТ 2477	Содержание воды, % масс.	0,03	Не измерялось				0,03
ГОСТ 6356	Температура вспышки в закрытом тигле, °С	102	91	85	92	64	85
ГОСТ 32139	Содержание серы, ppm масс.	6806,00	7401,00	8791,00	8375,00	6946,00	н
ГОСТ 3900	Плотность при 20°С, кг/м <sup>3</sup>	991	993	1003	1008	1000	985
ГОСТ Р 51069-97	Плотность при 15°С, кг/м <sup>3</sup>	996	998	1008	1013		990

**Заключение.** Результаты проведенных авторами исследований показали, что при переработке компаундированных атмосферных остатков состоящих из смеси казахстанских нефтей общие характеристики испытуемого регенерированного катализатора не ухудшаются и имеют высокую способность к конверсии тяжелой нефти. Катализаторы устойчивы к дезактивирующим свойствам тяжелых металлов, при одновременном увеличении выхода высокооктанового бензина, что является актуальным для современных нефтеперерабатывающих заводов и дает перспективу получения бензинов, соответствующих требованиям стандартов EURO 4, EURO 5, при последующем проведении процесса гидрооблагораживания (гидроочистки). По физико-химической характеристике сырья следует отметить, что плотность и показатель коксоотложения на катализаторе имеют минимальные значения. Результаты анализа равновесного катализатора доказали, что несмотря на высокое содержание тяжелых металлов в сырье катализатор сохраняет достаточно активную поверхность, что позволяет увеличить срок службы.

**Выводы.** Таким образом, полученные результаты позволяют сделать выводы о том, что каталитический крекинг мазута на испытуемом катализаторе целесообразно осуществлять в реакторе, заканчивающимся форсированным кипящим слоем, что в свою очередь способствует увеличению глубины переработки нефти. Полученные данные также дают возможность дальнейшего использования результатов исследований при проектировании и модернизации комплексных производственных установок каталитического крекинга RFCC, R2R, Г-43-107М в составе действующей

щих нефтеперерабатывающих заводов. Рекомендуется продолжить исследования для дальнейшей оптимизации состава и структуры катализаторов реактора каталитического крекинга. 

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Капустин В. М. Технология переработки нефти. В 4-х частях. Часть первая. К20 Первичная переработка нефти. – М.: Колос.-С, 2012.— 456 с. [Kapustin V. M. Tehnologiya pererabotki nefiti. V 4-h chastyah. Chast pervaya. K20 Pervichnaya pererabotka nefiti. – М.: Kolos.-S, 2012. – 456 s.]
- 2 Nadirov K.S., Bishimbaev V.K., Jakipbekova N.O., Mirzayev A.A., "Oil processing industry supply with modified catalisators". International working conference «Actual problems and strategic solutions in higher education and training of personnel for the oil and gas sector». Kazakh-British Technical University, March 24-25, 2004, Almaty.
- 3 Капустин В.М., Танашев С.Т., Досмуратов Д.Е. Исследования процесса каталитического крекинга тяжелых вакуумных дистиллятов // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 20115. – №1. – С. 24-27. [Kapustin V.M., Tanashev S.T., Dosmuratov D.E. Issledovaniya processa kataliticheskogo krekinga tyazhelyh vakuumnyh distillyatov // Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanyh kompanij. – 20115. – №1. – S. 24-27.]
- 4 Houdry Process for Catalytic Cracking. American Chemical Society. Archived from the original on January 12, 2013. Retrieved April 27, 2012.
- 5 Пусурманова Г.Ж., Танашев С.Т. Рациональные способы переработки тяжелых нефтей и нефтяных остатков. – Алматы: Эверо, 2016. – С. 232. [Pusurmanova G.ZH., Tanashev S.T. Racional'nye sposoby pererabotki tyazhelyh neftej i neftyanyh ostatkov. – Almaty: Evero, 2016. – S. 232.]
- 6 Nadirova Zh., Otarbayev N., Bimbetova G., Nadirov K., Zhantasov M. New Reagents for Field Preparation of Oil, VIII International Annual Conference «Industrial Technologies and Engineering» ICITE 2021. Shymkent, Kazakhstan 11-12 November 2021.-P.020006-1 - 020006-8.
- 7 Капустин В.М., Гуреев А.А., Технология переработки нефти. В 4-х частях. Часть вторая. Физико-химические процессы. – М.: Химия, 2015. – 400 с. [Kapustin V.M., Gúreev A.A., Tehnologiya pererabotki nefiti. V 4-h chastyah. Chast vtoraya. Fiziko-himicheskie protsessy. – М.: Himiya, 2015. – 400 s.]
- 8 Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа. – Уфа: «Гилем», 2010.– 670с. [Ahmetov S.A. Tehnologiya glúbokoi pererabotki nefiti i gaza. – Yfa: Izd. «Gilem», 2010.– 670s.]
- 9 Пусурманова Г.Ж., Танашев С.Т. Технология подготовки и производства нефтяных масел. - Алматы: Эверо, 2014. – 438 с. [Pusurmanova G.ZH., Tanashev S.T. Tekhnologiya podgotovki i proizvodstva neftyanyh masel. - Almaty: Evero, 2014. – 438 s.]
- 10 Amos A. Avidan, Michael Edwards and Hartley Owen (Mobil Research and Development) (January 8, 1990). "Innovative Improvements Highlight FCC's Past and Future". Oil & Gas Journal. 88 (2).
- 11 Туманян Б.П. Практические работы по технологии нефти. Малый лабораторный практикум: для студ. вузов, изучающих курсы, связанные с переработкой нефтяного сырья. РГУ НиГ им. И.М. Губкина. - М.: Техника, ТУМА ГРУПП, 2006. - 160 с. [Tumanyan B.P. Prakticheskie raboty po tekhnologii nefiti. Malyj laboratornyj praktikum: dlya stud. vuzov, izuchayushchih kursy, svyazannye s pererabotkoj neftyanogo syr'ya. RGU NiG im. I.M. Gubkina. - М.: Tekhnika, TUMA GRUPP, 2006. - 160 s.]
- 12 Технологический регламент установки каталитического крекинга тяжелых остатков RFCC ТОО «ПКОП», TR-453-07-18. – 403 с. [Tekhnologicheskij reglament ustanovki kataliticheskogo krekinga tyazhelyh ostatkov RFCC TOO «PKOP», TR-453-07-18. – 403 s.]