

УДК 665.637.6.092.5; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2023-1.11>

<https://orcid.org/0000-0002-4265-0429>

<https://orcid.org/0000-0001-7913-7453>

<https://orcid.org/0000-0002-7008-3249>

<https://orcid.org/0000-0002-4748-6293>

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ ОСТАТКОВ НА ВЫХОДЫ ПРОДУКТОВ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА



**Б.Ж. ИСКЕНДИРОВ,**  
докторант кафедры  
«Нефтепереработка  
и Нефтехимия»



**Г.Ф. САГИТОВА,**  
кандидат технических наук,  
профессор кафедры  
«Нефтепереработка  
и нефтехимия»



**С.Т. ТАНАШЕВ,**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры  
«Нефтепереработка  
и нефтехимия»



**А.У. САРСЕНБАЕВА,**  
ст. преподаватель,  
кафедры «Нефтепереработка  
и нефтехимия»

ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. М. АУЕЗОВА  
Республика Казахстан, 160012, г. Шымкент, пр-т Тауке хана, 5

*Показана принципиальная возможность улучшения показателей каталитического крекинга путем предварительной гидроочистки вакуумного газойля и крекинга его в смеси сернистым мазутом той же нефти.*

*Для оценки влияния глубины гидрообессеривания сырья на выходы продуктов каталитического крекинга были подвергнуты крекингу на лабораторной установке неочищенный вакуумный газойль и гидроочищенный гидрогенизат в смеси с мазутом, отобранные с Павлодарского нефтехимического завода.*

*Результаты исследования процесса каталитического крекинга мазута на микросферическом цеолитсодержащем катализаторе, показали, что крекинг смеси, состоящей из гидроочищенного вакуумного газойля (85 % масс.) и сернистого мазута (15 % масс.) приводит к росту выхода каталитического дистиллята на 5,4 – 7,7 % масс, для массовой скорости подачи сырья 2 и 4 час соответственно. При этом имеет место изменение выхода всех составляющих дистиллята по сравнению с их выходом из чистого вакуумного газойля.*

*Установлено снижение коксоотложения на катализаторе на 1,9 – 2,6 % масс. и улучшение качества получаемых продуктов.*

*Содержание серы и непредельных углеводородов в бензине, полученном из гидроочищенного сырья – меньше, ароматических соединений – больше. Легкие и тяжелые газойли также содержат значительно меньше серы.*

*Данные исследования позволят углубить процесс переработки нефти, увеличить выход каталитического дистиллята и снизить нагрузку на окружающую среду.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** катализатор, каталитический крекинг, гидрогенизат, смола, вакуумный газойль, мазут, коксоотложение, селективность, непредельные углеводороды.

## КАТАЛИТИКАЛЫҚ КРЕКИНГ ӨНІМДЕРІ ШЫҒЫМЫНА АУЫР МҰНАЙ ҚАЛДЫҚТАРЫНЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

**Б.Ж. ИСКЕНДИРОВ**, докторант, «Мұнай өңдеу және мұнайхимия» кафедрасы  
**Г.Ф. САГИТОВА**, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, «Мұнай өңдеу және мұнайхимия» кафедрасы  
**С.Т. ТАНАШЕВ**, техника ғылымдарының кандидаты, «Мұнай өңдеу және мұнайхимия» кафедра доценті  
**А.У. САРСЕНБАЕВА**, аға оқытушы, «Мұнай өңдеу және мұнайхимия» кафедрасы

М. ӘУЕЗОВ АТЫНДАҒЫ ОҢТҮСТІК – ҚАЗАҚСТАН УНИВЕРСИТЕТІ  
Қазақстан Республикасы, 160012, Шымкент қ., Тауке хан проспектісі, 5

*Вакуумдық газойлды алдын ала гидротазарту және оны сол мұнайдың күкіртті мазутымен қоспада крекинг арқылы каталитикалық крекинг көрсеткіштерін жақсартудың принципті мүмкіндігі көрсетілген.*

*Каталитикалық крекинг өнімдерінің шығуына шикізатты гидробессеризациялау тереңдігінің әсерін бағалау үшін зертханалық қондырғыда Павлодар мұнай-химия зауытынан іріктеп алынған тазартылмаған вакуумдық газойль және мазутпен араласқан гидро тазартылған гидрогенизат крекинге ұшырады.*

*Құрамында микросфералық цеолит бар катализатордағы мазуттың каталитикалық крекинг процесін зерттеу нәтижелері гидротазартылған вакуумдық газойльден тұратын қоспаның крекингін көрсетті (массаның 85%) және күкіртті мазут (массаның 15 %) каталитикалық дистилляттың шығымдылығының массаның 5,4 – 7,7% - ға өсуіне, тиісінше шикізатты берудің 2 және 4 сағат 1 массалық жылдамдығына әкеледі. Бұл жағдайда дистил-*

ляттың барлық компоненттерінің шығуы олардың таза вакуумдық газойлдан шығуымен салыстырғанда өзгереді.

Катализатордағы Кокс шөгінділерінің массаның 1,9 – 2,6% - ға төмендеуі анықталды. және алынған өнімдердің сапасын жақсарту.

Гидротазартылған шикізаттан алынған бензиндегі Күкірт пен қанықпаған көмірсутектердің мөлшері-аз, хош иісті қосылыстар-көп. Жеңіл және ауыр газойлдарда күкірт айтарлықтай аз болады.

Бұл зерттеулер мұнай өңдеу процесін тереңдетуге, каталитикалық дистилляттың шығымдылығын арттыруға және қоршаған ортаға жүктемені азайтуға мүмкіндік береді.

**ТҮЙІН СӨЗДЕР:** катализатор, каталитикалық крекинг, гидрогенизат, шайыр, вакуумдық газойль, мазут, кокс түзу, таңдамалылық, қанықпаған көмірсутектер.

## STUDY OF THE INFLUENCE OF HEAVY OIL RESIDUES ON THE YIELDS OF CATALYTIC CRACKING PRODUCTS

**B.ZH. ISKENDIROV**, doctoral student of the department «Oil refining and petrochemistry»

**G.F. SAGITOVA**, candidate of technical sciences, professor of the department «Oil refining and petrochemistry»

**S.T. TANASHEV**, candidate of technical sciences, associate professor of the department «Oil refining and petrochemistry»

**A.U. SARSENBAYEVA**, senior lecturer of the department «Oil refining and petrochemistry»

SOUTH KAZAKHSTAN UNIVERSITY NAMED AFTER M. AUEZOV  
Shymkent, Tauke Khan avenue 5, 160012, Republic of Kazakhstan

*The results of the study of the process of catalytic cracking of fuel oil on a microspherical zeolite-containing catalyst showed that the cracking of a mixture consisting of hydrotreated vacuum gas oil (85% by weight) and sulfurous fuel oil (15% by weight) leads to an increase in the yield of catalytic distillate by 5.4 – 7.7% by weight, for a mass feed rate of 2 and 4 hours 1, respectively. At the same time, there is a change in the output of all distillate components compared to their output from pure vacuum gas oil.*

*A decrease in coke deposition on the catalyst by 1.9 – 2.6% by weight and an improvement in the quality of the products obtained were found.*

*The content of sulfur and unsaturated hydrocarbons in gasoline obtained from hydrotreated raw materials is less, aromatic compounds are more. Light and heavy gas oils also contain significantly less sulfur.*

*These studies will deepen the oil refining process, increase the yield of catalytic distillate and reduce the environmental burden.*

**KEY WORDS:** hydrogenate, resin, vacuum gas oil, fuel oil, coke, selectivity, catalytic cracking, unsaturated hydrocarbons.

**В**ведение. Недостаток процесса каталитического крекинга существует на блоках крекинга современных промышленных установок Г-43-107 Павлодарского нефтехимического завода, а также в связи с внедрением комплексных промышленных установок каталитического крекинга Residual Catalytic Cracking (RFCC) на ТОО «Петро Казахстан Ойл Продактс»Шымкентском нефтеперерабатывающем заводе.

Поэтому особенно актуально проведение широких исследований, которые позволят несколько расширить ресурсы сырья, за счет использования тяжелых остатков нефтей типа мазута, путем смешения их с обычным сырьем каталитического крекинга.

В этой связи подготовка сырья является одним из основных вопросов интенсификации процесса каталитического крекинга. В то же время, гидрогенизационная очистка является одним из основных способов подготовки сырья каталитического крекинга.

В последние годы остро встал вопрос об углублении переработки нефти, в частности, путем использования тяжелых остатков типа мазута в качестве сырья каталитического крекинга. Однако с утяжелением сырья в них увеличивается содержание серосодержащих, азотсодержащих и кислородоорганических соединений, смол, металлов и других веществ, ухудшающих показатели каталитического крекинга.

В данной работе приведены результаты исследования процесса каталитического крекинга мазута, (фракция, выкипающая при температуре свыше 350 °С) на микроферрическом цеолитсодержащем катализаторе.

**Материалы и методы и исследования.** Для оценки влияния глубины гидрообессеривания сырья на выходы продуктов каталитического крекинга были подвергнуты крекингу на лабораторной установке неочищенный вакуумный газойль и гидроочищенный гидрогенизат в смеси с мазутом, отобранный с установки Павлодарского НХЗ [1-3].

Режим работы: массовая скорость подачи сырья 2 - 4 час<sup>-1</sup>, температура процесса 490 °С, повышение температуры – 15-20 °С в минуту. Исследования проводились на лабораторной установке, состоящей из печи, ЛАТРа, цилиндрического реактора из нержавеющей стали, наполненного катализатором; из манометра, термопарой, водяным холодильником из нержавеющей стали, а также двух-горловым приемником, принимающим конденсат и отводящим газы [4].

Смесь сырья готовили с добавлением к вакуумному газойлю сернистого мазута от 5% – 30% масс.

**Результаты и их обсуждение.** Результаты крекинга негидроочищенной смеси вакуумного газойля и мазута на катализаторе КМЦР, при температуре 490 °С и массовой скорости подачи сырья 2 час<sup>-1</sup> и 4 час<sup>-1</sup> представлены в *таблице 1*.

**Таблица 1 – Показатели выхода продуктов каталитического крекинга смеси вакуумного газойля и мазута**

Показатели	Выход продуктов, % масс.									
	Газ		Бензин		Легкий газойль		Тяжелый газойль		Кокс	
Массовая скорость подачи сырья, ч <sup>-1</sup>	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Содержание мазута, % масс										
0	14,0	12,4	40,5	34,7	19,2	25,0	16,7	19,4	9,6	8,5
5	12,1	9,0	40,9	35,0	19,6	25,5	17,5	20,7	9,9	9,8
10	11,7	9,0	41,2	35,2	20,0	25,9	18,1	21,3	9,0	18,6
15	9,2	6,4	42,7	36,7	21,3	26,7	19,8	23,8	7,0	6,4
20	14,4	10,6	39,4	33,3	20,0	25,3	17,6	22,7	6,6	8,1
25	19,1	11,3	36,2	32,7	18,7	24,8	17,0	22,4	9,0	8,8
30	20,4	13,6	35,7	31,3	17,9	23,9	16,2	21,7	9,8	9,5

Как видно, и из данных *таблицы 1*, крекинг вакуумного газойля в смеси с мазутом в различных количествах приводит к значительному изменению выхода продуктов. Наиболее характерные изменения отмечены для оптимальной смеси вакуумного газойля и мазута с массовым соотношением 85:15. При крекинге такой смеси по сравнению с результатами крекинга вакуумного газойля увеличился выход бензина на 2,0 – 2,2 %, легкого газойля на 1,7 – 2,1% и тяжелого газойля на 3,1 – 4,4 % масс. Уменьшились выход газа на 4,2 – 6,0 % и коксоотложение на катализаторе на 2,1 – 2,6 % масс. Глубина превращения для оптимальной смеси сырья по абсолютной величине ниже на 4,4 %, чем в случае крекинга вакуумного газойля, но селективность по бензину выше на 5,1 % масс. С ростом содержания мазута в составе сырья (до 30 %) снизился выход бензина на 3,4 – 4,8 %, выход легкого газойля уменьшился на 1,1 – 1,3 %, тяжелого газойля увеличился на 2,3 %. Все это указывает на уменьшение степени превращения исходного сырья.

В *таблице 2* отражены показатели физико-химических свойств продуктов каталитического крекинга смеси вакуумного газойля и мазута.

**Таблица 2 – Показатели физико-химических свойств продуктов каталитического крекинга смеси вакуумного газойля и мазута**

Количество мазута в составе сырья, %	0		5,0		10		15		20		25		30	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Массовая скорость подачи сырья, час <sup>-1</sup>	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
<b>Бензин (н.к. –195 °С)</b>														
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	787,5	784,4	787,5	784,4	786,9	784,0	786,5	783,9	787,4	783,9	787,8	784,0	779,2	778,0
Содержание серы, % масс.	0,20	0,21	0,20	0,21	0,20	0,21	0,19	0,20	0,19	0,20	0,20	0,21	0,20	0,21
Йодное число= J <sub>2</sub> /100г нефтепродуктов	65,9	67,8	65,9	67,4	64,8	65,0	62,7	63,9	63,4	63,9	64,2	65,0	65,2	65,8
<b>Содержание углеводородов, % масс</b>														
Непредельные	25,9	26,6	25,9	26,5	25,9	25,6	24,6	25,1	24,9	25,1	25,2	25,5	25,6	25,0
Ароматические	50,4	51,6	50,4	51,9	51,8	52,6	52,0	53,7	52,0	52,7	52,0	52,0	51,0	52,0
Парафинонафтеновые	23,7	21,8	23,7	21,6	23,3	21,8	23,4	21,2	23,1	22,2	22,9	22,5	23,4	22,1
<b>Легкий газойль (фр. 195 – 350 °С)</b>														
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	904,7	901,1	904,7	903,0	905,8	907,2	908,6	909,6	908,0	908,7	909,0	909,7	908,4	910,2
Содержание серы, % масс	1,90	2,04	1,90	1,90	1,88	1,94	1,88	1,94	1,89	1,96	1,90	2,01	1,90	2,0
<b>Тяжелый газойль</b>														
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	970,6	970,6	970,6	974,5	972,0	980,0	978,4	981,5	978,0	981,0	978,0	984,0	978,0	984,7
Содержание серы, % масс.	2,09	2,08	2,09	2,18	2,10	2,19	2,14	2,21	2,16	2,24	2,16	2,20	2,18	2,26

При крекинге сырья, когда массовая скорость подачи сырья равна  $2 \text{ час}^{-1}$ , выход газа и бензина больше, а выходы легкого и тяжелого газойля меньше, чем при массовой скорости подачи сырья, равной  $4 \text{ час}^{-1}$ .

В *таблице 3* представлены данные о качестве продуктов каталитического крекинга смеси вакуумного газойля и мазута.

При крекинге оптимальной смеси сырья качество получаемых продуктов несколько улучшается. Содержание непредельных углеводородов в бензине уменьшилось на 0,7 %, ароматических углеводородов возросло на 1,6 % масс. Изменение содержания серы в продуктах крекинга незначительное [5-10].

**Таблица 3 – Показатели выхода продуктов каталитического крекинга смеси гидроочищенного вакуумного газойля и мазута**

Показатели	Выход продуктов, % масс.									
	Газ		Бензин		Легкий газойль		Тяжелый газойль		Кокс	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Массовая скорость подачи сырья, $\text{ч}^{-1}$	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Содержание мазута в сырье, % масс.										
0	16,3	14,8	41,1	38,0	22,0	29,7	12,6	11,5	8,0	6,0
5	14,4	11,4	41,5	38,3	22,4	30,2	13,4	12,8	8,3	7,3
10	13,3	10,2	41,4	39,1	24,2	31,1	14,7	13,6	6,1	6,5
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15	12,3	9,2	42,5	39,0	24,1	31,0	15,7	15,9	5,4	4,9
20	43,8	11,4	41,8	38,5	22,8	30,6	14,0	13,4	7,5	6,1
25	17,6	12,4	39,2	36,6	22,7	29,6	13,5	14,8	7,0	6,6
30	21,5	13,1	36,8	36,0	21,4	29,1	12,9	14,5	7,4	7,3

**Таблица 4 – Показатели физико-химических свойств продуктов каталитического крекинга смеси гидроочищенного вакуумного газойля и мазута**

Количество мазута в составе сырья, %	0		5		10		15		20		25	
	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Массовая скорость подачи сырья, $\text{час}^{-1}$	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Бензин (н.к.-195°C)												
Плотность, $\text{кг/м}^3$	742,7	759,2	742,5	759,0	742,0	758,4	741,5	757,1	741,7	759,1	742,1	760,0
Содержание серы, %	0,018	0,027	0,017	0,024	0,016	0,023	0,017	0,023	0,018	0,023	0,018	0,025
Йодное число, г. $\text{I}_2 / 100\text{г н.п.}$	58,0	69,7	57,2	66,9	56,5	65,1	55,1	64,5	56,3	65,7	56,7	68,3


**Таблица 4 – Показатели физико-химических свойств продуктов каталитического крекинга смеси гидроочищенного вакуумного газойля и мазута**

Содержание углеводородов % масс:												
Непредельные	22,8	27,4	22,5	26,3	22,2	25,6	21,6	25,3	22,1	25,8	22,3	26,8
Ароматические	54,5	50,7	54,9	51,1	55,3	51,8	56,8	52,8	56,7	52,7	56,3	52,9
Парафинонафтеновые	22,7	21,9	22,6	22,6	22,5	22,6	21,6	21,9	21,2	21,5	21,4	20,3
Легкий газойль (фр. 195-350 °С)												
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	910,4	900,1	911,2	903,9	913,4	907,2	914,3	908,6	914,7	906,1	914,8	907,5
Содержание серы, % масс.	0,19	0,18	0,019	0,07	0,18	0,08	0,17	0,08	0,18	0,10	0,18	0,14
Тяжелый газойль (фр. >350°С)												
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	961,4	952,8	964,15	965,3	966,7	961,4	969,6	963,7	969,5	964,1	969,0	965,0
Содержание серы, % масс.	1,09	1,04	1,10	1,08	1,11	1,12	1,14	1,17	1,16	3,19	1,18	1,21

**Заключение и выводы.** Из данных *таблицы 3* видно, что крекинг смеси, состоящей из гидроочищенного вакуумного газойля (85 % масс.) и сернистого мазута (15 % масс.) при тех же условиях приводит к росту выхода каталитического дистиллята на 5,4 – 7,7 % масс, для массовой скорости подачи сырья 2 и 4 час<sup>-1</sup> соответственно. При этом имеет место изменение выхода всех составляющих дистиллята по сравнению с их выходом из чистого вакуумного газойля (*таблица 4*). Снизилось коксоотложение на катализаторе на 1,9 – 2,6 % масс. Наблюдается улучшение качества получаемых продуктов.

При крекинге оптимальной смеси гидроочищенного вакуумного газойля (85 % масс) и сернистого мазута (15 % масс) при массовой скорости подачи сырья, равной 4 час<sup>-1</sup> увеличивается выход бензина, легкого газойля. Крекинг сырья при массовой скорости подачи сырья 2 час<sup>-1</sup>, способствует росту выхода газа и бензина, приводит к уменьшению выхода легких и тяжелых газойлей, чем при массовой скорости подачи сырья 4 час<sup>-1</sup>.

Содержание серы и непредельных углеводородов в бензине, полученном из гидроочищенного сырья, меньше, ароматических соединений – больше. Легкие и тяжелые газойли также содержат значительно меньше серы.

Таким образом, показана принципиальная возможность улучшения показателей каталитического крекинга путем предварительной гидроочистки вакуумного газойля и крекинга его в смеси сернистым мазутом той же нефти, что способствует углублению переработки нефти, увеличению выхода каталитического дистиллята и снижению загрязнения окружающей среды. 

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Капустин В.М., Танашев С.Т., Досмуратов Д.Е. Исследования процесса каталитического крекинга тяжелых вакуумных дистиллятов // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2015. – №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. – 2015. – №1. – S. 24 – 27.]
- 2 Tanashev S.T., Kapustin V.M., Sultankhanov N.S., Nalibayev M.I. On the issue of processing heavy vacuum gas oil by the process of catalytic cracking / Materials of the International scientific and practical conference "Oil and Gas Processing. – Ufa, 2013. – С. 78-80.
- 3 Pusurmanova Zh., Tanashev S.T. Rational methods of processing heavy oils and oil residues. Textbook. Ed.Evero. – Almaty, – 2016. – С. 232.
- 4 Tanashev S.T., Karabaev Zh.A., Musakhanov O.M. Production of winter diesel fuel from a mixture of little paraffin Amangeldi gascondensate and high paraffin Kumkol oil / Materials of the International scientific and practical conference «Science and civilization». Sheffield, England. – 2017. – №2, vol. 10. – С. 53-57.
- 5 Кистер Г. Выявление и устранение проблем перегонки в нефтепереработке и нефтехимии. – Санкт-Петербург, 2019. – С. 551-558. [Kister G. Vyuavlenie i ustranenie problem peregonki v neftepererabotke i neftekhimii. – Sank-Peterburg, 2019. – S. 551-558.]
- 6 Мейерс Р. Основные процессы нефтехимии. Справочник. Перевод с англ. под ред. Голубевой И.А., 2015, 700 с. [Mejers R. Osnovnyye processy neftekhimii. Spravochnik. Perevod s angl. pod red. Golubevoj I.A., 2015, 700 s.]
- 7 Кидни А., Парриш У., Маккартни Д. Основы переработки природного газа. – М., 2014. – 664 с. [Kidni A., Parrish U., Makkartni D. Osnovy pererabotki prirodnogo gaza. – M., 2014. – 664 s.]
- 8 Задегбейджи Р. Каталитический крекинг в псевдооживленном слое катализатора. – М., 2014. – 440 с. [Zadegbejdzhi R. Kataliticheskij kreking v psevdoozhizhennom sloe katalizatora. – M., 2014. – 440 s.]
- 9 Либерман Н. Выявление и устранение проблем в нефтепереработке. – М., 2014. – 600 с. [Liberman N. Vyuavlenie i ustranenie problem v neftepererabotke. – M., 2014. – 600 s.]
- 10 Анчита Х. Переработка тяжелой нефти. Реакторы и моделирование процессов. – М., 2014. – 592 с. [Anchita H. Pererabotka tyazhelej nefti. Reaktory i modelirovanie processov. – M., 2014. – 592 s.]