

УДК 665.664.2; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2024-4.11>

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

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

<https://orcid.org/0000-0002-6758-3445>

<https://orcid.org/0000-0002-0155-3454>

<https://orcid.org/0000-0002-5409-3754>

<https://orcid.org/0000-0003-3323-8245>

ВЛИЯНИЯ ГЛУБИНЫ ГИДРООБЕССЕРИВАНИЯ СЫРЬЯ НА ВЫХОДЫ ПРОДУКТОВ КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА



К.К. КАЛМАКОВ¹,
докторант ЮКУ
им. М. Ауэзова,
kalmakovkk@mail.ru



Г.З. ТУРЕБЕКОВА¹,
кандидат технических наук,
профессор кафедры
«Технология неорганических
и нефтехимических
производств» ЮКУ
им. М. Ауэзова,
g.ture@mail.ru



Ф.М. ЮСУПОВ²,
доктор технических наук,
профессор, Филиал РГУ
нефти и газа (НИУ)
им. И.М. Губкина в городе
Ташкенте,
f.yusupov@yandex.com

К.Ж. АЖИБЕКОВ¹, доктор технических наук, профессор кафедры «Транспорт, организация перевозок и движения» ЮКУ им. М. Ауэзова, azhibekov1965@mail.ru

Р.А. КОЗЫКЕЕВА³, кандидат технических наук, доцент кафедры «Химия» Ташенов университет, kozykееva@bk.ru

К.С. НАДИРОВ¹, доктор химических наук, профессор кафедры «Нефтегазовое дело» ЮКУ им. М. Ауэзова, nadirovKazim@mail.ru

¹ЮЖНО-КАЗАХСТАНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М. АУЭЗОВА
Республика Казахстан, 160012, г. Шымкент, проспект Тауке хана, 5

²ФИЛИАЛ РОССИЙСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА НЕФТИ И ГАЗА
(НИУ) ИМЕНИ И.М. ГУБКИНА В ГОРОДЕ ТАШКЕНТЕ,
Республика Узбекистан, Дурмон йули, д. 34

³ТАШЕНОВ УНИВЕРСИТЕТ,
160012, г. Шымкент, проспект Кунаева, 12

Статья посвящена проблеме комплексной переработки нефтяного сырья и увеличению выхода светлых нефтепродуктов, в частности, бензинов каталитического крекинга.

В настоящее время перед нефтеперерабатывающей промышленностью Казахстана стоит задача комплексной переработки углеводородного сырья, увеличение глубины переработки и выхода светлых нефтепродуктов. В этой связи актуальным является комплексное решение проблемы недостатка сырья для нефтеперерабатывающих заводов Республики Казахстан. Сложности решения задачи переработки остатков нефтей, мазута и полупродуктов вторичных процессов заключается в том, что они содержат большое количество различных сернистых соединений. Эта проблема касается не только отечественных заводов, например, нефти месторождений Узбекистана содержат в своём составе относительно большой объём соединений группы SO_2 , которая содержит в свою очередь, около 1,28% серы. Высокое содержание соединений серы в нефти не только отрицательно влияет на качество и экологичность выпускаемых продуктов, но и сокращает срок службы оборудования, нефтеперерабатывающих предприятий. В этой связи подготовка и гидрообессеривание сырья является одним из основных вопросов интенсификации процесса каталитического крекинга нефтяного сырья ТОО «ПКОП».

Авторами рассмотрены вопросы возможности модернизации технологических установок каталитического крекинга путем включения процесса гидрообессеривания сырья с целью повышения качества и выхода светлых продуктов при использовании мазута и вторичных полупродуктов, имеющих в своем составе большой объём различных сернистых соединений. Для оценки влияния глубины гидрообессеривания сырья на выходы и состав продуктов каталитического крекинга был проведен крекинг на лабораторной установке неочищенного и гидроочищенного гидрогенизата вакуумного газойля в смеси с мазутом. Опыты проводились на псевдожизненном слое катализатора при массовой скорости подачи сырья $2ч^{-1}$ и $4ч^{-1}$, кратности катализатора к сырью 3:1 и температуры равной $510^{\circ}C$.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что предварительная гидроочистка смеси вакуумного газойля и сернистого мазута с последующим каталитическим крекингом повышает глубину переработки нефти и способствует увеличению количества выхода каталитического дистиллята, улучшает его качество, что в конечном итоге приводит к снижению загрязнения окружающей среды соединениями серы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: каталитический крекинг; гидрообессеривание; гидрогенизационная очистка; вакуумный газойль; гидрогенизат; мазут; реактор; псевдожизненный слой; сернистые соединения.

КАТАЛИТИКАЛЫҚ КРЕКИНГ ӨНІМДЕРІНІҢ ШЫҒЫМДЫЛЫҒЫНА ШИКІЗАТТЫ ГИДРОКҮКІРТСІЗДЕНДІРУ ТЕРЕҢДІГІНІҢ ӘСЕРІ

К.К. КАЛМАКОВ¹, М. Әуезов ат. ОҚУ докторанты, kalmakovkk@mail.ru

Г.З. ТУРЕБЕКОВА¹, техника ғылымдарының кандидаты, профессор, М. Әуезов ат. ОҚУ, g.ture@mail.ru

Ф.М. ЮСУПОВ², техника ғылымдарының докторы, профессор, И.М. Губкин ат. РМУ Мұнай және газ (ҰҒУ) Ташкент қаласындағы филиалы, f.yusupov@yandex.com

К.Ж. АЖИБЕКОВ¹, техника ғылымдарының докторы, профессор, М. Әуезов ат. ОҚУ, azhibekov1965@mail.ru

Р.А. ҚОЗЫКЕЕВА³, техника ғылымдарының кандидаты, доцент Тәшенов университеті, kozykeeva@bk.ru

К.С. НАДИРОВ¹, химия ғылымдарының докторы, профессор, М. Әуезов ат. ОҚУ, nadirovKazim@mail.ru

¹М.ӨУЕЗОВ АТЫНДАҒЫ ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАН УНИВЕРСИТЕТІ
Қазақстан Республикасы, 160012, Шымкент қаласы, Тәуке хан даңғылы, 5

²ТАШКЕНТ ҚАЛАСЫНДАҒЫ И. М. ГУБКИН АТЫНДАҒЫ РЕСЕЙ МЕМЛЕКЕТТІК
МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ (ФЗУ) ФИЛИАЛЫ
Өзбекстан Республикасы, 100125, Ташкент қаласы, Дурмон йули көшесі, 34-үй

³ТӨШЕНОВ УНИВЕРСИТЕТІ
Қазақстан Республикасы, 160012, Шымкент қаласы, Қунаев даңғылы, 12

Мақала мұнай шикізатын кешенді өңдеу және жеңіл мұнай өнімдерінің, оның ішінде каталитикалық крекинг бензиндерінің шығымдылығын арттыру мәселесіне арналған.

Қазіргі уақытта Қазақстандық мұнай өңдеу кәсіпорындарының алдында көмірсутек шикізатын кешенді өңдеу және өңдеу тереңдігін арттыра отырып бағалы мұнай өнімдерін ұлғайту мақсаты тұр. Осыған байланысты Қазақстан Республикасының мұнай өңдеу кәсіпорындары үшін шикізаттың жетіспеушілігінің өткір мәселесі тұр. Мәселенің шешімі, шикізат ретінде мұнайдың ауыр қалдықтарын, мазут және әртүрлі күкіртті қосылыстардың көп мөлшерін қамтитын екіншілік процестердің қалдықтарын пайдалану мүмкіндігі өзекті болып табылады. Бұл мәселе тек отандық зауыттарға ғана қатысты емес, мысалы, Өзбекстанның мұнай кен орындарында құрамында 1,28% күкіртті бар SO₂ тобының қосылыстарының салыстырмалы түрде үлкен көлемі бар. Мұнайдағы күкірт қосылыстарының жоғары мөлшері, өндірілетін өнімдердің сапасы мен тұрақтылығына теріс әсер етіп қана қоймай, сонымен қатар мұнай өңдеу кәсіпорындары жабдықтарының қызмет мерзімін төмендетеді. Осыған байланысты шикізатты дайындау және гидрокүкіртсіздендіру "ПКОП"ЖШС мұнай шикізатын каталитикалық крекинг процесін қарқындатудың негізгі мәселелерінің бірі болып табылады.

Құрамында әртүрлі күкірт қосылыстарының үлкен көлемі бар мазут пен екіншілік процестердің жартылай өнімдерін пайдалану кезінде өнімдердің сапасы мен шығымдылығын арттыру мақсатында шикізатты гидрокүкіртсіздендіру процесін қосу арқылы каталитикалық крекинг технологиясын техникалық жаңғырту мүмкіндіктері авторлармен қарастырылды. Каталитикалық крекинг өнімдерінің шығымдары мен құрамына шикізатты гидрокүкіртсіздендіру тереңдігінің әсерін бағалау үшін тазартылмаған және гидротазаланған вакуум газойлі гидрогенизатының мазутпен қоспасы зертханалық қондырғысында крекинг жүргізілді. Зертханалық тәжірибе катализатордың қайнау қабатында шикізаттың беру жылдамдығы 2с⁻¹ және 4с⁻¹, катализатордың шикізатқа қатынасы 3:1 және реакция температурасы 510°С-қа тең.

Алынған эксперименттік деректерді талдау алдын ала гидротазаланған вакуумды газойл мен күкіртті мазут қоспасын, содан кейін каталитикалық крекинг процесін жүргізу мұнайды өңдеу тереңдігін арттыратынын және каталитикалық дистилляттың шығымдылығын ұлғайтуға және оның сапасын жақсартуға ықпал ететінін көрсетті, бұл сайып келгенде қоршаған ортаның ластануының төмендеуіне әкеледі.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: каталитикалық крекинг; гидрокүкіртсіздендіру; гидрогенизациялық тазарту; вакуумдық газойл; гидрогенизат; мазут; реактор; қайнау қабаты; күкіртті қосылыстар.

EFFECTS OF THE DEPTH OF HYDRO DESULFURIZATION OF RAW MATERIALS ON THE YIELDS OF CATALYTIC CRACKING PRODUCTS

K.K. KALMAKOV¹, doctoral student of SKU named after M. Aueзов, kalmakovkk@mail.ru

G.Z. TUREBEKOVA¹, Candidate of Technical Sciences, Professor, g.ture@mail.ru

F.M. YUSUPOV², Doctor of Technical Sciences, Professor, Branch of Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NRU) in Tashkent, f.yusupov@yandex.com

K.Zh. AZHIBEKOV¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, SKU named after. M. Aueзова, azhibekov1965@mail.ru

R.A. KOZYKEEVA³, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Tashenov University, kozykeeva@bk.ru

K.S. NADIROV¹, Doctor of Chemical Sciences, Professor, SKU named after M. Aueзов, nadirovKazim@mail.ru

¹M. AUEZOV SOUTH KAZAKHSTAN UNIVERSITY

5, Tauke Khan avenue, Shymkent, 160012, Republic of Kazakhstan

²BRANCH OF THE RUSSIAN UNIVERSITY OF OIL AND GAS (NRU)
NAMED AFTER I.M. GUBKIN IN TASHKENT

34, DurmonYuli Street, Tashkent, 100125, Republic of Uzbekistan

³TASHENOV UNIVERSITY

12, Kunayev avenue, Shymkent, 160012, Republic of Kazakhstan

The article is devoted to the problem of complex processing of oil feedstock and increasing the output of light petroleum products, in particular, catalytic cracking gasoline.

Currently, the oil refining industry of Kazakhstan is faced with the task of complex processing of hydrocarbon raw materials, increasing the depth of processing and output of light petroleum products. In this connection it is urgent to solve the problem of lack of raw materials for oil refineries of the Republic of Kazakhstan. The complexity of solving the problem of processing residues of oils, fuel oil and intermediates of secondary processes lies in the fact that they contain a large amount of various sulfur compounds. This problem concerns not only domestic refineries, for example, oil from Uzbekistan fields contains a relatively large amount of SO₂ compounds, which in turn contains about 1.28% sulphur. The high content of sulfur compounds in oil not only negatively affects the quality and environmental friendliness of manufactured products, but also reduces the service life of equipment and oil refineries. In this regard, the preparation and hydrodesulfurization of raw materials is one of the main issues of intensifying the process of catalytic cracking of petroleum raw materials of "PKOP" LLP.

The issues of possibility of modernisation of catalytic cracking process units by including the process of hydrodesulphurisation of feedstock in order to improve the quality and yield of light products when using fuel oil and secondary intermediates having a large volume of various sulphur compounds in their composition have been considered by the authors. To evaluate the influence of the depth of hydrodesulfurisation of feedstock on the yields and composition of catalytic cracking products, the cracking of crude and hydrotreated hydrogenated vacuum gas oil mixed with fuel oil was carried out on a laboratory unit. The experiments were carried out on a fluidised catalyst bed at mass feed rates of 2h⁻¹ and 4h⁻¹, catalyst to feed ratio of 3:1 and temperature equal to 510°C.

The analysis of the experimental data obtained showed that preliminary hydrotreating of a mixture of vacuum gas oil and sulfur fuel oil followed by catalytic cracking increases the depth of oil refining and helps to increase the yield of catalytic distillate, improves its quality, which ultimately leads to a decrease in environmental pollution with sulfur compounds.

KEY WORDS: *catalytic cracking; hydrodesulfurization; hydrogenation purification; vacuum gas oil; hydrogenate; fuel oil; reactor; fluidized bed; sulfur compounds:*

Введение. В условиях большой потребности высокооктановых бензинов и частых перебоев поставок кондиционного сырья возникает проблема недостатка традиционного сырья и вакуумного газойля для процесса каталитического крекинга на современных промышленных установках Г-43-107 Павлодарского НХЗ, RFCC Шымкентского НПЗ (ТОО «ПКОП»), R2R Атырауыского НПЗ. Поэтому актуальным становится вопрос расширения сырьевой базы за счет использования тяжелых остатков нефтей типа мазута и остатков вторичных процессов. Однако содержание в них большого количества различных сернистых соединений снижает как эффективность процесса каталитического крекинга, так и качество конечных продуктов. Эта проблема затрагивает не только нефтепереработку отечественных нефтей, но и нефтей месторождений Республики Узбекистан, которые содержат сернистые соединения, главным образом, в виде SO_2 . Высокое содержание соединений серы (1,28 %) в нефти отрицательно влияет на качество выпускаемых нефтепродуктов и повышает износ оборудования нефтеперерабатывающих предприятий. В этой связи подготовка сырья в виде гидрогенизационной очистки является одним из основных и эффективных способов интенсификации процесса каталитического крекинга [1].

Целью данной работы явилось исследование влияния глубины гидроочистки вакуумного газойля из установки вакуумной переработки мазута (УВПМ) на выход продуктов каталитического крекинга.

Материалы и методы исследования. Для оценки влияния глубины гидрообессеривания сырья на степень селективности каталитического крекинга был проведен крекинг неочищенного вакуумного газойля и гидроочищенного гидрогенизата в смеси с мазутом на лабораторной установке. Опыты проводились на псевдооживленном слое катализатора при массовой скорости подачи сырья 2ч^{-1} и 4ч^{-1} . Кратность катализатора к сырью составила 3:1, температура реакции 510°C . Используемый мазут обычно применяется в качестве сырья при каталитическом крекинге на установке RFCC Шымкентском НПЗ (ТОО «ПКОП»).

Результаты и обсуждение. Предлагаемая схема установки изображена на *рисунке 1*. Псевдооживленный слой катализатора создавался за счет подачи сырья крекинга в паровой фазе в нижнюю часть реактора при механическом перемешивании слоя катализатора шнековой мешалкой. Результаты исследований показали, что на лабораторных установках такого типа хорошо моделируются процессы с псевдооживленным слоем катализатора или инертного теплоносителя. Работа реактора характеризовалась режимами, близкими к идеальному перемешиванию для твердой фазы, и идеального вытеснения по газовой фазе.

Основные узлы реакторного блока установки выполнены согласно методике, описанной в работе [2,11].

Сырье для каталитического крекинга из обогреваемой бюретки (Е-1) забирается насосом Н-1 и, испаряясь в подогревателе П-4, поступает в реактор крекинга Р-1. В П-4 сырье движется по узкому кольцевому зазору между карманом термопары и нагревательным элементом печи с высокой скоростью, что позволяет избежать тер-

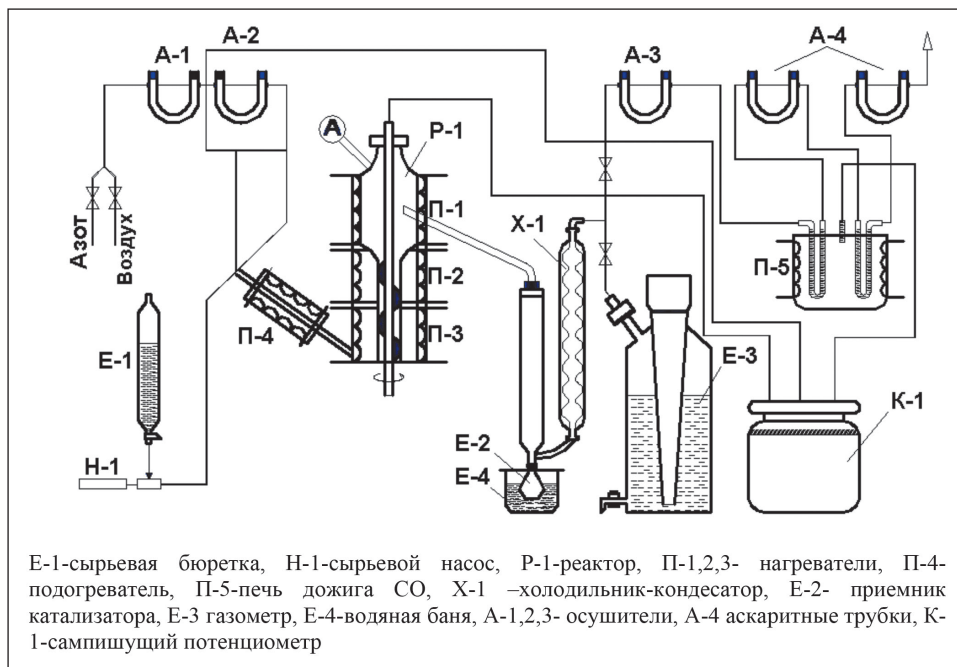


Рисунок 1 – Технологическая схема лабораторной установки каталитического крекинга с псевдооживленным слоем катализатора

мического разложения сырья при температурах 450-550°C. Реактор Р-1 представляет собой аппарат переменного сечения, верхняя часть которого имеет диаметр в 2,5 раза превышающей диаметр реакционной зоны и выполняет функции гравитационного отстойника. Конструкция штуцера вывода паров из Р-1 также способствует отделению катализаторной пыли, так как пары продуктов крекинга при входе в него вынуждены менять направление своего движения на противоположное. Реактор Р-1 оборудован съёмной резьбовой крышкой и сальниковыми устройствами для свободного вращения мешалки. Образовавшиеся в Р-1 продукты крекинга поступают в холодильник-конденсатор Х-1, где жидкие продукты конденсируются в приемнике катализатора Е-2, а газ, проходя дальше, поступает в газометр Е-3. Кокс, отложившийся на катализаторе за время крекинга, выжигается в токе осушенного воздуха в Р-1, который является и регенератором. Газы регенерации через осушительные трубки поступают в печь дожига оксида углерода, после чего через аскаритные трубки сбрасываются в вытяжной шкаф. Перед проведением опыта в реактор загружается традиционный катализатор. С помощью печей П-1,2,3 в Р-1 устанавливается заданная температура. Устанавливают требуемую температуру и в П-4. Е-1 и сырьевые трубки заполняют сырьем. Перед проведением опыта Р-1 продувается азотом в течение 5 мин со скоростью 0,3 л/мин. Насосом Н-1 закачивают в реактор необходимое количество сырья, после чего реактор Р-1 вновь продувается азотом, продувка ведется в Е-3. После окончания продувки температуру в реакторе поднимают до заданной температуры регенерации и в токе осушенного воздуха со скоростью 0,5 л/мин проводят регенерацию катализатора. Об окончании регенерации судят по

температуре аскаритных трубок, которые должны быть прохладной температуры.

Выход газа крекинга определяли по его объему и плотности. Полученный катализат из Е-2 разгоняли на фракции: н.к. – 200°C (бензин), 200-350°C (легкий каталитический газойль) и остаток т.к. > 350°C (тяжелый каталитический газойль). Выход кокса определяли по привесу аскаритных трубок, используя формулу [3]:

$$K = A \cdot 1.06 \cdot 12 \cdot 100 / 44 \cdot G$$

где: А – суммарный привес аскаритных трубок, г

G – количество пропущенного сырья, г

12 – молекулярная масса углерода

44 – молекулярная масса двуокиси углерода

Смесь сырья готовили добавлением к вакуумному газойлю сернистого мазута от 5% масс до 30% масс. Результаты крекинга традиционной (негидроочищенной) смеси вакуумного газойля и мазута на катализаторе Супер-Д, при температуре 510° С и массовой скорости подачи сырья 2ч⁻¹ и 4 час⁻¹.

При крекинге сырья, когда массовая скорость подачи сырья равна 2 час⁻¹, выход газа и бензина больше, а выходы легкого и тяжелого газойля меньше, чем при массовой скорости подачи сырья, равной 4 час⁻¹, представлены в *таблице 1*.

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

Показатели	Выход продуктов, % масс. 1									
	Газ		Бензин		Легкий газойль		Тяжелый газойль		Кокс	
Массовая скорость подачи сырья, ч ⁻¹ Содержание мазута, % масс.	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
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 из данных *таблицы 1*, крекинг вакуумного газойля в смеси с мазутом в различных количествах приводит к значительному изменению выхода продуктов. По результатам анализа полученных экспериментальных данных нами установлено, что наиболее оптимальное массовое соотношение смеси вакуумного газойля и

мазута составляет 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. Уменьшился 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 [3-4].

В *таблице 2* представлены данные о качественном и количественном составе продуктов каталитического крекинга смеси вакуумного газойля и мазута.

Как видно из *таблицы 2*, при крекинге оптимальной смеси сырья (85:15) 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 [5-6].

В *таблице 3* показаны показатели выхода продуктов каталитического крекинга смеси гидроочищенного вакуумного газойля и мазута массовой скорости подачи сырья 2 час⁻¹ и 4 час⁻¹.

Рисунок 6 – Пример сходимости кривых водонасыщенности методом Арчи нагнетанием ртуты. Скважина № 3

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

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

Показатели	Выход продуктов, % масс.									
	Газ		Бензин		Легкий газойль		Тяжелый газойль		Кокс	
Массовая скорость подачи сырья, ч ⁻¹	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Содержание мазута, % масс.	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
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
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

Из данных *таблицы 3* видно, что крекинг смеси, состоящей из гидроочищенного вакуумного газойля (85% масс.) и сернистого мазута (15% масс.) при той же скорости подачи, температуре и давлении приводит к увеличению выхода каталитического дистиллята на 5,4-7,7% масс, при массовой скорости подачи сырья 2 и 4 час⁻¹ 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. [7-8]. Наблюдается улучшение качества получаемых продуктов.

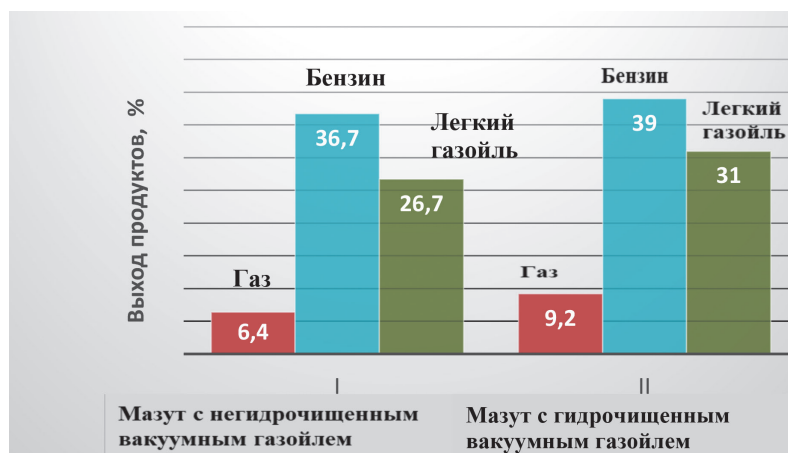


Рисунок 2 – Основные показатели светлых продуктов до и после эксперимента при массовой скорости подачи сырья 4 час⁻¹

Сравнивая данные *таблицы 1* и *3*, мы видим, что смеси мазута с негидроочищенного вакуумного газойля и смеси мазута с гидроочищенного вакуумного газойля при оптимальной соотношении 85 % масс. и 15% масс. соответственно и массовой скорости подачи сырья 4 час⁻¹ выход светлых продуктов увеличился, что подтверждается данными, приведенными на *рисунке 2*.

В *таблице 4* представлены данные о качественном и количественном составе продуктов каталитического крекинга смеси гидроочищенного вакуумного газойля и мазута.

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, час ⁻¹	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Бензин (н.к.-195°С)												
Плотность, 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, 10гI /100г нп.	58,0	69,7	57,2	66,9	56,5	65,1	55,1	64,5	56,3	65,7	56,7	68,3
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
парафино-нафтенновые	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 ³	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 ³	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

Как видно из данных *таблицы 4*, при крекинге оптимальной смеси гидроочищенного вакуумного газойля (85% масс) и сернистого мазута (15% масс) при массовой скорости подачи сырья, равной 4 час⁻¹, увеличивается выход бензина и легкого газойля. Крекинг сырья при массовой скорости подачи сырья 2 час⁻¹ способствует росту выхода газов и бензина, уменьшается выход легких и тяжелых газойлей, чем при массовой скорости подачи сырья 4 час⁻¹ [9-11].

Бензин, полученный из гидроочищенного сырья, содержит гораздо меньше серы и непредельных углеводородов. Легкие и тяжелые газойли также содержат значительно меньше серы.

Выводы и заключение. Расчет и анализ результатов, проведенных исследований процесса каталитического крекинга на лабораторной установке с предварительным обессериванием и гидроочисткой сырья показал перспективность модернизации процесса каталитического крекинга путем включения стадии гидрогенизационной очистки предлагаемого сырья: тяжелых остатков нефтей - мазута и вторичных остатков, содержащих значительное количество различных сернистых соединений. В результате показана принципиальная технологическая возможность улучшения показателей процесса каталитического крекинга путем предварительной гидроочистки смеси вакуумного газойля и сернистого мазута. Определено оптимальное соотношение смеси предлагаемого гидроочищенного сырья: вакуумный газойль – 85% масс. и сернистый мазут – 15% масс. при массовой скорости подачи сырья, равной 4 час⁻¹. При предлагаемых технологических параметрах каталитического крекинга значительно увеличивается выход бензина, до 42,5% масс. и легкого газойля, до 31,0% масс. Содержание серы и непредельных углеводородов в бензине, полученном из гидроочищенного сырья меньше, а ароматических соединений – больше. Повышение до 2,2 % выхода бензина при переработке 2 млн. тонн сырья в конечном счете дополнительно повышает выход качественного бензина до 44 000 тонн. Легкие и тяжелые газойли также содержат значительно меньше серы, что открывает большие возможности для получения востребованных товарных марок бензинов, соответствующих высоким требованиям стандартов EURO 4, EURO 5.

Таким образом, применение в каталитическом крекинге процесса предварительной гидрогенизационной очистки предлагаемого тяжелого сырья способствует повышению глубины переработки нефти на 10-12%, это в свою очередь приводит к увеличению выхода конечных продуктов и улучшению их качества, что в конечном итоге способствует снижению уровня загрязнения окружающей среды соединениями серы [12-13].

Результаты исследований имеют перспективы для дальнейшего использования их при проектировании и модернизации комплексных производственных установок каталитического крекинга RFCC, R2R, Г-43-107М в составе действующих нефтеперерабатывающих заводов, что даст возможность использование для этих целей некондиционного сырья. 

ЛИТЕРАТУРА

- 1 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 vakuumnnyh distillyatov // Mir nefteproduktov. Vestnik neftyanyh kompanij. – 20115. – №1. – S. 24-27.]
- 2 Крекинг нефтяных фракций на цеолитсодержащих катализаторах. Под. ред. С. Хаджиева Н. – М., Химия, 1982. [Kreking neftyanyh fraktsii na tseolitsoderzhashih katalizatorah. Pod. red. S. N. Hadjieva. – M., Himiya, 1982.]
- 3 Nadirova Zh., Otarbayev N., Bimbetova G., Nadirov K., Zhantasov M. New Reagents for Field Preperation of Oil, VIII International Annual Conference «Industrial Technologies and Engineering» ICITE 2021. Shymkent, Kazakhstan 11-12 November 2021.-P.020006-1 - 020006-8.

- 4 Калмаков К.К., Туребекова Г.З., Айменов А.Ж., Надиров К.С. Эффективность функционирования катализатора установки каталитического крекинга // Нефть и газ. – 2023. – №4. – С. 102-112. [Kalmakov K.K., Turebekova G.Z., Ajmenov A.ZH., Nadirov K.S. Effektivnost' funkcionirovaniya katalizatora ustanovki kataliticheskogo krekinga // Neft' i gaz. – 2023. – №4. – S. 102-112.]
- 5 Houdry Process for Catalytic Cracking". American Chemical Society. Archived from the original on January 12, 2013. Retrieved April 27, 2012.
- 6 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., Gureev A.A. Tehnologiya pererabotki nefti. V 4-hchastyah. Chast vtoraya. Fiziko-himicheskie protsessy. – M.: Himiya, 2015. – 400 s.]
- 7 Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: – Уфа: Гилем, 2010. – 670 с. [Ahmetov S.A. Tehnologiya glubokoipererabotki nefti i gaza. – Ufa: Gilem, 2010. – 670 s.]
- 8 Пусурманова Г.Ж., Танашев С.Т. Рациональные способы переработки тяжелых нефтей и нефтяных остатков. – Алматы: Эверо, 2016. – 232 с. [Pusurmanova G.J., Tanaşev S.T. Ratsionalnye sposoby pererabotki tyajelyh neftei neftyanyh ostatkov. – Almaty: Evero, 2016. – 232 s.]
- 9 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 tehnologii nefti. Malyi laboratornyi praktikum: dlya stud. vuzov, izuchayushih kursy, svyazannye s pererabotkoi neftyanogo syrya. RGU NiG im. İ.M.Gubkina. – M. "Tehnika", TUMA GRUPP, 2006. – 160 s.]
- 10 Технологический регламент установки каталитического крекинга тяжелых остатков RFCC ТОО «ПКОП», TR-453-07-18. – 403 с. [Tekhnologicheskij reglament ustanovki kataliticheskogo krekinga tyazhelyh ostatkov RFCC ТОО «ПКОР», TR-453-07-18. – 403 s.]
- 11 ВНИИ НП (ТУ 38101570-75) [VNII NP (TU 38101570-75)]
- 12 Ершов Д.С., Хафизов А.Р., Мустафин И.А., Станкевич К.Е., Ганцев А.В., Сидоров Г.М. Современное состояние и тенденции развития процесса каталитического крекинга // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 12-2. – С. 282-286. [Ershov D.S., Hafizov A.R., Mustafin I.A., Stankevich K.E., Gancev A.V., Sidorov G.M. Sovremennoe sostoyanie i tendencii razvitiya processa kataliticheskogo krekinga // Fundamental'nye issledovaniya. – 2017. – № 12-2. – S. 282-286.]
- 13 Капустин В.М., Танашев С.Т., Пусурманова Г.Ж. Мұнайды өңдеу технологиясы: Бірінші бөлім. Мұнайды біріншілік өңдеу. Алматы, Эверо, 2014. – 236 б. [Kapustin V.M., Tanaşev S.T., Pusurmanova G.J. Mūnaidy öñdeu tehnologiyasy: Birinşı bölim. Mūnaidy birinşilik öñdeu. Almaty, Evero, 2014. – 236 b.]