

«Engineering and Consulting PFA Alexander Gadetskiy»

<https://makston-engineering.ru/>

**MASTER**

Discipline: **PROCESS: VDU, VGO HDT, CC, DCU**

Name: [alexander.gadetskiy@inbox.lv](mailto:alexander.gadetskiy@inbox.lv) Sign.

Date: 15.09.2014

Переработка мазутов 360+°С на установках каталитического крекинга и (или) замедленного коксования с выпуском моторных топлив Евро 5.

Применительно к заводу Рафо (Румыния).



Dipl. engineer Alexander Gadetskiy, phone: +40 (748) 148 257; e-mail: [alexander.gadetskiy@inbox.lv](mailto:alexander.gadetskiy@inbox.lv)  
Certificate of registration on engineering activities and technical consultations № F4/172/17.02.2014

<https://makston-engineering.ru/>

## Содержание.

Введение.

1. Общее описание технологической схемы переработки мазута. BFD схема процесса завода Рафо (Румыния).
2. Материальные балансы по установкам переработки мазута завода Рафо.
3. Качество сырья и товарной продукции.
4. Расходы энергоресурсов базовые данные для расчета процессинга.
5. Капитальные затраты по установкам завода Рафо.
6. Выводы по комплексу переработки мазута:
  - в зависимости от состава сырья
  - в зависимости от номенклатуры продукции

### Приложения:

- Приложение 1. Показатели качества прямогонного мазута ////////// НПЗ (Россия).
- Приложение 2. Показатели качества дизельной фракции не гидроочищенной.
- Приложение 3. Поточная (PFD) схема переработки мазута завода Рафо.
- Приложение 4. Блендинг бензинов завода Рафо
- Приложение 5. Блендинг дизеля завода Рафо.
- Приложение 6. Основные проектные решения.

## **Введение. Отчет был составлен в сентябре 2014 года.**

Переработка мазутов на отдельных установках каталитического крекинга (КК) или замедленного коксования (УЗК), а также на комбинированной установке КК + УЗК с целью получения моторных топлив, явилось следствием переизбытка автомобильных бензинов в ЕС – «каждый четвертый баррель бензина – лишний». Выходом из данной ситуации могло быть:

- исключение, при переработке нефти, бензиновой составляющей и перевод ее в ароматическую, т.е конфигурация завода становится: топливно – нефтехимической, с выпуском: дизеля, ароматических углеводородов С6-С8 и пропилена

- исключение из переработки нефти, и замена ее мазутами, с целью сокращения количества бензинов получаемой от нефтяной составляющей н.к – 180°С.

Принципиальное различие схем: только КК или только УЗК заключается в том, что:

- при «только КК» выпуск бензина преобладает над выпуском дизеля (но тем не менее бензина значительно меньше, чем при переработки нефти), а также составной частью продуктовой корзины являются судовые топлива

- при «только УЗК» автобензин не выпускается вообще, а количество дизеля весьма значительно кроме того, выпускаются электродные коксы (при переработке мазутов с серой до 1% включительно)

И в первом и во втором случае имеются ограничения по качеству сырья при работе по топливной схеме, более подробно об этом в **Главе 6**. Именно поэтому использование комплексной установки (КК + УЗК) более предпочтительно, так как ограничения по качеству прямогонных мазутов, в этом случае - минимальны.

**В конце 2018 года Главная Государственная экспертиза России одобрила проект [https://makston-engineering.ru/novosti/news\\_post/glavgosekspertiza-odobrila-proyekt-zavoda-po-pererabotke-mazuta-v-dzerzhinske](https://makston-engineering.ru/novosti/news_post/glavgosekspertiza-odobrila-proyekt-zavoda-po-pererabotke-mazuta-v-dzerzhinske) переработки мазутов на установке замедленного коксования с выпуском моторных топлив Класса 5.**

### **1. Общее описание технологической схемы переработки мазута //ИИИИ НПЗ (Россия). BFD и PFD схема процесса завода Рафо.**

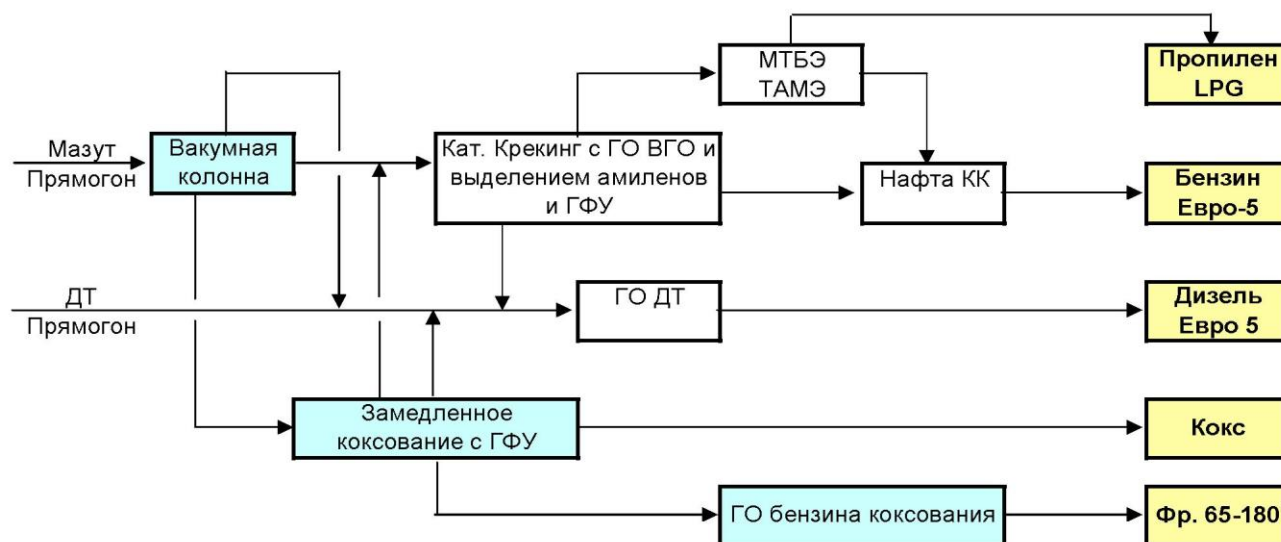
### **2. Материальные балансы по установкам переработки мазута завода Рафо.**

**Слив и хранение сырья.** Мазут //ИИИИИИИИ НПЗ (Россия) с параметрами качества отмеченными в **Приложении 1** поставляется на завод Рафо в не обогреваемых ж/д цистернах с морского терминала Констанца или речного терминала Галац. Основным параметром, определяющим слив мазута, является точка застывания, которая не должна быть ниже +27°С. Слив может производиться с двух ж/д путей с центральным коллекто-

ром между ними, который имеет 90 сливных устройств, т.е по 45 вагон-цистерн с каждой стороны, кроме того слив может производиться и с ж/д линии, которая имеет 30 сливных устройств, ее производительность может быть увеличена до 50 стояков, т.е 50 вагон-цистерн с одной стороны, что и позволяют принимать до 1,2 млн. тонн мазута в год. Разогрев мазута в цистернах производится с использованием высокотемпературных теплоносителей Mobiltrm, Terminol подача которых осуществляется в змеевик цистерны (при его наличии), а при его неисправности или отсутствии, через съемные змеевики, которые подаются через верхний люк вагон-цистерны. Использование съемных змеевиков в значительной мере замедляет процесс слива, поэтому использование цистерн со стационарными змеевиками предпочтительно. Сливаемый мазут подается насосом по обогреваемому трубопроводу в три обогреваемых резервуара с объемом хранения 20.000 м3 каждый.

Прямогонный дизель с параметрами качества отмеченными в **Приложении 2** поставляется на завод Рафо в не обогреваемых ж/д цистернах с морского терминала Констанца или речного терминала Галац. Слив прямогонного дизеля производится на вновь построенной эстакаде с 12 стояками слива, которая позволяет принимать до 500 тыс. тонн дизеля в год. Сливаемый дизель непосредственно из коллектора слива подается в четыре не обогреваемых резервуара с объемом хранения 3.150 м3 каждый.

Переработка мазута на заводе Рафо показана на принципиальной (BFD) схеме. Потоковая PFD схема приведена в **Приложении 3**.



**Вакуумная колонна.** Мазут из резервуаров хранения подается в теплообменники-рекуператоры обогреваемые теплом дистиллятов вакуумной колонны и далее на печи. Температура куба вакуумной колонны 370°C, верха колонны 90°C, давление верха 64

mm Hg, данные показатели позволяют производить разгонку мазута не только до фракции 530+°C, но и до 560+ и даже выше. Лимитирующим фактором, по началу кипения вакуумного остатка является вязкость продукта, которая ограничивает возможности его перекачки и содержание асфальтенов в ВГО, что отрицательно влияет на срок службы катализатора Гидроочистки ВГО.

Дизельная фракция, содержание которой в мазуте варьирует от 5,5 до 13% масс, практически полностью отгоняется совместно с водяными паром, который подается на паровой эжектор для создания вакуума.

В **Таблице 1** материальный баланс работы вакуумной колонны, на основе прямогонного мазута **Приложение 1**.

**Таблица 1.**

Сырьё		Тыс.т/год	
Мазут Плотность 0.9392, Сера 1.02% масс, Коксумость 5.26% масс, Асфальтены 2.0% масс	100.00%	1,170.00	НК14-04117.001_24115 15/08/2014 Дополнительный НК14-04576.001_24115 09/09/2014
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>1,170.00</b>	
<b>Продукты переработки</b>	<b>% масс</b>	<b>Тыс.т/год</b>	
Фракция дизеля I (266-360°C)	6.30%	73.71	ГО ДТ
Фракция дизеля II (360-385°C)	8.50%	95.71	ГО ВГО
Фракция вакуумная I (385-425°C)	9.70%	113.49	ГО ВГО
Фракция вакуумная II (425-560°C)	33.80%	399.20	ГО ВГО
Фракция более 560+ град	41.70%	487.89	На коксование
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>1,170.00</b>	

Основные проектные решения, которые необходимо выполнить по данному блоку, указаны в **Приложении 6**.

**Гидроочистка вакуумного газойля.** Вакуумный газойль, подается в теплообменники-рекуператоры после них на печь разогрева сырья и далее в реактор гидроочистки, заполненный Co/Mo и Ni/Mo катализатором. Температура реакции 382 – 410°C давление 50-55 бар. Очистка ВГО производится до содержания серы не более 400 ppm, что позволяет исключить ГО бензина каталитического крекинга, для обеспечения данного показателя объем реактора увеличен в 2,6 раза. Гидроочистка тяжелого дизеля коксования накладывает жесткие требования на фильтрацию данного продукта от коксовой пыли, для исключения снижения активности катализатора.

В **Таблице 2** материальный баланс работы установки гидроочистки вакуумного газойля и тяжелого дизеля коксования.

**Таблица 2.**

Сырьё		Тыс. т/год	
-------	--	------------	--



1.Вакуумный газойль (350-560), в том числе		608.4	
1.1 Фракция 360- 385°С	13.02%	99.45	
1.2. Фракция 385-425°С	14.86%	113.49	
1.3. Фракция 425-560°С	51.79%	395.46	
2. Тяжелый дизель коксования	19.33%	147.60	147.58
3. Водородосодержащий газ	0.99%	7.56	
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>763.56</b>	
Продукты переработки	%, масс	Тыс. т/год	
Сырье каткрекинга гидроочищенное	95.93%	732.48	На каталитический крекинг
Бензиновые фракции	0.34%	2.60	На ГО бензина коксования
Легкая фракция	0.34%	2.60	Безвозвратные потери
Газ на сероочистку	2.05%	15.65	Выделение серы
Сероводород после очистки MEA	1.34%	10.23	Выделение серы
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>763.56</b>	

Основные проектные решения, которые необходимо выполнить по данному блоку, указаны в **Приложении 6**.

**Каталитический крекинг.** Завод Рафо имеет классический блок крекинга UOP и газоразделения, поэтому уточнения не требуются. Температура в реакторе 520 – 525°С давление 1,2 – 1,5 бар, в регенераторе 660 – 700°С и давление 1,4 – 1,65 бар. Газы регенерации, которые содержат значительные количества окиси углерода дожигаются в СО-бойлере с выработкой пара 35 бар. Принципиальным отличием каталитического крекинга Рафо от стандартных установок является блок выделения фракции C5-C5" из нефти каталитического крекинга. Бензин с каталитического крекинга разделяется на две фракции:

- фракция 30 – 85 °С (фракция C5+C5") для производства ТАМЭ
- фракция 85 – (180) 205°С компонент для автобензина.

Сырьем установки каталитического крекинга является гидроочищенный ВГО, а также на блок газоразделения поступают газы с установки коксования и гидроочистки бензина коксования.

В **Таблице 3** материальные балансы работы каталитического крекинга гидроочищенных ВГО и тяжелого дизеля коксования и газоразделения продуктов реакции.

**Таблица 3.**

Сырьё		Тыс. т/год	
1. ВГО и тяжелый дизель коксования гидроочищенные	100.00%	732.48	
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>732.48</b>	
Продукты переработки		Тыс. т/год	
Фракция C2",C3",C4"+C2,C3,C4	18.50%	135.51	На газоразделение
Фракция бензина не стабильная	48.50%	355.25	На газоразделение
Фракция бензина не стабильная тяжелая	2.73%	20.00	На газоразделение
Фракция дизельная	14.70%	107.68	Гидроочистка дизеля
Фракция дизельная тяжелая	3.68%	26.96	Гидроочистка дизеля

Фракция дизельная остаточная	6.89%	50.47	На коксование
Кокс и потери	5.00%	36.62	
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>732.48</b>	
<b>Газофракционирование каталитического крекинга</b>			
Сырьё		Тыс. т/год	
1. Фракция бензина не стабильная	69.20%	375.25	
2. Фракция С2",С3",С4",С5"+С2,С3,С4, С5,С6	24.99%	135.51	
3. Фракция С3-С4-С5 коксования	4.32%	23.40	23.37
4. Фракция С2-С5 ГО бензина коксования	1.49%	8.10	8.13
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>542.26</b>	
Продукты переработки		Тыс. т/год	
Газ на сероочистку	6.75%	36.62	Выделение серы
Фракция пропилена	5.36%	29.04	Склад пропилена
Фракция пропана	3.99%	21.61	Склад LPG
Фракция н-бутан - н-бутеновая	9.00%	48.78	Склад LPG
Фракция изобутан-изобутиленовая	8.21%	44.50	На МТБЭ
Фракция бензина стабильная	66.74%	361.92	На блендинг бензина
<b>Итого</b>	<b>100.04%</b>	<b>542.48</b>	

Основные проектные решения, которые необходимо выполнить по данному блоку, указаны в **Приложении 6**.

**Замедленное коксование.** Установка была спроектирована совместно с блоком газоразделения газов коксования и предназначалась, в том числе, для выпуска электродных коксов. Сырьем замедленного коксования является вакуумный остаток и тяжелый дизель каталитического крекинга. Температура процесса коксования для конкретного сырья составляет 450-500°C давление 3.5-5 бар, уточнение будет проводится в процессе по индексу коксуемости тяжелого дизеля в рецикле.

В **Таблице 4** материальный баланс УЗК с минимальным выходом кокса и соответственно с максимальным рециклом тяжелого дизеля коксования.

**Таблица 4.**

Сырьё		Тыс. т/год	
1. Фракция 560+	90.62%	487.89	
2. Фракция тяжелого дизеля каткрекинга	9.38%	50.50	50.47
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>538.39</b>	
Продукты переработки		Тыс. т/год	
Газ на сероочистку	4.38%	23.58	Выделение серы
Фракция С3-С4	4.34%	23.37	ГФУ каталитического крекинга
Фракция бензина до 205°C	16.77%	90.29	На ГО бензина коксования
Фракция дизеля 205-325°C	24.97%	134.43	На ГО дизеля
Фракция дизеля 325-350°C		0.00	
Фракция тяжелого дизеля 350-500°C	27.41%	147.58	На ГО ВГО
Кокс	22.13%	119.15	Склад кокса
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>538.39</b>	

Основные проектные решения, которые необходимо выполнить по данному блоку, указаны в **Приложении 6**.

**Гидроочистка дизельного топлива.** Дизельные фракции с процессов каталитического крекинга, замедленного коксования, а также привозной не гидроочищенный пряmogонный дизель и дизельная фракция, как отгон с вакуумной колонны подаются в теплообменники-рекуператоры после них на теплообменники разогрева сырья и далее в реактор гидроочистки, заполненный Co/Mo и Ni/Mo катализатором. Температура реакции 360-370°C давление 42-47 бар. Очистка дизельных фракций производится до содержания серы не более 10 ppm, для обеспечения данного показателя объем реактора увеличен в 1.64 раза.

Принципиальным моментом при гидроочистке такой многокомпонентной смеси дизелей является контроль за соотношением компонентов и как следствие введение соответствующих корректировок в режим процесса. Блендинг многокомпонентного дизеля показан в **Приложении 5**.

В **Таблице 5** материальный баланс гидроочистки ДТ с выпуском дизельного топлива с содержанием серы не более 10 ppm, цетановым числом не менее 46.5 и плотностью не более 845 кг/м<sup>3</sup>.

**Таблица 5.**

Сырьё		Тыс. т/год	
1. Фракция дизеля, отгон с верха ВТ	12.36%	73.71	
2. Легкий дизель каталитического крекинга	22.58%	134.63	
3. Легкий дизель коксования	22.55%	134.43	
3А. Прямогонный дизель (привозной)	41.93%	250.00	250.00
4. Водородосодержащий газ	0.57%	3.43	
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>596.20</b>	
Продукты переработки		Тыс. т/год	
Очищенное дизельное топливо	96.35%	574.44	Склад дизеля
Бензиновые фракции с гидроочистки дизеля	1.31%	7.81	На ГО бензина
Газ на сероочистку	1.56%	9.30	Выделение серы
Сероводород после очистки MEA	0.78%	4.65	Выделение серы
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>596.20</b>	

Основные проектные решения, которые необходимо выполнить по данному блоку, указаны в **Приложении 6**.

**Гидроочистка бензина коксования.** Степень очистки определяется, исключительно дальнейшим использованием этого продукта, если реализация предполагается, как сырьё для пиролиза, то в этом случае достаточно полного гидрирования диеновых углеводородов и некоторой части олефинов, содержание серы в этом случае не критично, так как укладывается в нормы сырья – нефтя для пиролиза. В случае, если предполагается использование бензина коксования как компонент риформинга (бензинового



или ароматического) требуется более сложная  
////////////////////////////////////.

В Таблице 6 материальный баланс ГО бензина коксования и бензинов с ГО ДТ и ГО ВГО, с показателями качества: олефины не более хххх% масс, сера не более хххх% масс, диены – отсутствие.

Таблица 6.

Сырьё		Тыс. т/год	
1. Бензин коксования	88.78%	90.30	90.29
2. Бензиновые фракции от ГО ДТ	7.67%	7.80	7.81
3. Бензиновая фракция от ГО ВГО	2.56%	2.60	2.60
4. Водородосодержащий газ	0.99%	1.01	
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>101.71</b>	
Продукты переработки		Тыс. т/год	
Бензин гидроочищенный C6 - 156	73.94%	75.20	На риформинг
Бензин гидроочищенный 156 - 180	15.93%	16.20	На риформинг
Газ на сероочистку	2.13%	2.17	Выделение серы
Фракция C3-C5	7.99%	8.13	ГФУ
<b>Итого</b>	<b>99.99%</b>	<b>101.70</b>	

Основные проектные решения, которые необходимо выполнить по данному блоку, указаны в Приложении 6.

**Установка МТБЭ, ТАМЭ.** Завод Рафо имеет комбинированную установку МТБЭ и ТАМЭ, что дает возможность получать одновременно два эфира или только МТБЭ.

Фракция C4 содержащая 26-30% масс. изобутилена и фракция C5 содержащая до 27 % масс. изоамиленов смешиваются, промываются деминерализованной водой и после смешения с метанолом подаются в реактор с ионнообменной смолой пропитанной солями палладия для гидрирования диенов при температуре 90 – 95°C и давлении 11 бар. Далее реакционная смесь поступает на первую ступень реакции этерификации в реакторе при температуре 50°C и давлении 7 бар, катализатором являются ионообменные смолы, например Levatit.

Вторая ступень этерификации при температуре 60 – 80°C и давлении 7.2 бар проводится на катализаторе с более сильными кислотными функциями.

Конверсия изобутилена на установке достигает 92 – 93%, а изоамиленов 65 – 67%, чистота продуктов достигает 99% масс.

В Таблице 7 материальный баланс выделения C5-C5" из бензина каталитического крекинга, а также балансы получения МТБЭ и ТАМЭ.

Таблица 7.

<b>МТБЭ</b>			<b>i-C4"=30%</b>
Сырьё		Тыс. т/год	

1. Изобутан-изобутиленовая фракция КК	85.40%	44.50	
2. Метанол	14.60%	7.61	
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>52.11</b>	
Продукты переработки		Тыс. т/год	
МТБЭ	40.22%	20.96	На блендинг Бензина
Фракция С4	59.26%	30.88	Склад LPG
Олигомеры изобутилена	0.51%	0.27	
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>52.11</b>	

#### УДАЛЕНИЕ C5-C5" из Нафты каталитического крекинга

Сырьё		Тыс. т/год	
Нафта каталитического крекинга, C5-205°C	100.00%	361.92	
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>361.92</b>	
Продукты переработки		Тыс. т/год	
Фракция C5-C5" + 5,5% C4	20.00%	72.38	На ТАМЭ
Нафта каталитического крекинга н.к-205°C	80.00%	289.54	На блендинг Бензина
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>361.92</b>	

#### ТАМЭ

Сырьё		Тыс. т/год	
Фракция C5+5,5% C4	64.98%	52.84	
Амиленовая фракция	24.03%	19.54	
Метанол	10.98%	8.93	
<b>Итого</b>	<b>100.00%</b>	<b>81.32</b>	
Продукты переработки		Тыс. т/год	
ТАМЭ	35.04%	28.49	На блендинг Бензина
Фракция С4	3.25%	2.64	Склад LPG
Изопентан-пентеновая фракция (2-пентен)	60.84%	49.47	На реализацию
Олигомеры амиленов	0.89%	0.72	На реализацию
<b>Итого</b>	<b>100.02%</b>	<b>81.33</b>	

Блендинг бензина каталитического крекинга и этерификатов показан в **Приложении 4**. В **Главе 6** будет дан подробный комментарий, что при изменении параметров конечного продукта блендинга количество бензина может быть увеличено.

Основные проектные решения, которые необходимо выполнить по данному блоку, указаны в **Приложении 6**.

Приведенные материальные балансы полностью соответствуют поточной PFD схеме, **Приложение 3**. Материальные балансы вспомогательных производств: сероочистка газов, производство водорода, Мерох не приводятся, так как в количественном соотношении определяются основными балансами.

Материальные балансы составлены с использованием:

- процессов работы завода Рафо на близких составах сырья и полуфабрикатах
- стандартных пакетах: Chemcad, Hysys, Proll, PetroSIM,
- **базового архива процессов** на различном сырье и полуфабрикатах для конкретных заводов и установок: ЕС, РФ, стран Востока, а также частично США и Канады.

### 3. Качество сырья и товарной продукции.

Таблица 8.

<b>Мазут прямогонный.</b>		
Плотность при 15°C	кг/м <sup>3</sup>	939.2
Содержание серы	% масс	1.03
Температура застывания	°C	27
Коэффициент коксуемости (Конрадсона)	% (масс/масс)	5.26
Содержание асфальтенов	% (масс/масс)	2
Кинематическая вязкость при 100°C	мм <sup>2</sup> /с	21.71
<b>Дополнительные показатели качества в Приложении 1.</b>		
<b>Дизельная фракция прямогонная не гидроочищенная.</b>		
Плотность при 15°C	кг/м <sup>3</sup>	830-840
Содержание серы	% масс	н/б 0.5
Цетановое число	°C	н/м 50
<b>Дополнительные показатели качества в Приложении 2.</b>		
<b>Метанол</b>		
Содержание основного в-ва	% масс.	н/м 99.0
Плотность, 20°C	кг/м <sup>3</sup>	791 – 793
Давление паров	кПа	300
Содержание воды	% масс.	н/б 0.5
Содержание альдегидов, спиртов	% масс.	н/б 0.5
<b>Водород на процессы гидроочистки</b>		
Содержание основного в-ва	% об	н/м 99.5
Содержание углеводородов	% об	н/б 0.5
Содержание окиси углерода	ppm	н/б 1
Содержание СО+СО <sub>2</sub>	ppm	н/б 3
Содержание азота	% об	н/б 0.5
Содержание кислорода	ppm	н/б 10
Содержание серы	ppm	н/б 1
<b>Автомобильный бензин, ЕВРО 5 (ЕН 228:2008). Класс 5. ТР от 30.12.2008</b>		
<b>Дизельное топливо, ЕВРО 5 (ЕН 590:2004). Класс 5. ГОСТ Р 52368-2005</b>		
<b>Кокс электродный по спецификации "зеленого" кокса компании ALCOA</b>		
Влажность	% масс	н/б 10
Зольность	% масс	н/б 0.5
Содержание серы	% масс	н/б 2.5
Содержание летучих	% масс	н/б 12
Содержание ванадия	ppm	н/м 8200
Содержание никеля	ppm	н/б 100
Содержание кремния	ppm	н/б 150
Содержание кальция	ppm	н/б 150
Содержание натрия	ppm	н/б 150
Содержание железа	ppm	н/б 250
Размеры частиц кокса до 5 мм	%	0.00

<b>Сера</b>		
Содержание основного в-ва	% масс	н/м 99.0
Влажность	% масс	н/б 1.00
Зольность	% масс	н/б 0.09
Органические вещества	% масс	н/б 0.085
<b>Фракция пропиленовая</b>		
Содержание основного в-ва	% масс.	н/м 96.0
Содержание C1+C2+C2"	% масс.	н/б 1.0
Содержание C3+C4	% масс.	н/б 3.0
Содержание бутиленов	% масс.	н/б 0.2
Давление паров, при 20 °С	кПа	1380
Содержание серы	ppm	н/б 5
<b>Фракция пропановая</b>		
Содержание основного в-ва	% масс.	н/м 92.0
Содержание C2	% масс.	н/б 2.0
Содержание C4	% масс.	н/б 3.0
Содержание пропилена	% масс.	н/б 3.0
Давление паров, при 20 °С	кПа	1560
Содержание серы	ppm	н/б 100
<b>Фракция бутановая (бутан-изобутан-бутеновая)</b>		
Содержание основного в-ва (бутана)	% масс.	н/м 55
Содержание C3	% масс.	н/б 1.0
Содержание C5	% масс.	н/б 1.0
Содержание изобутена	% масс.	н/б 19.0
Содержание изобутана	% масс.	н/м 25
Давление паров, при 20 °С	кПа	н/м 400
Содержание серы	ppm	100
<b>Бензин коксования гидроочищенный</b>		
Плотность при 15°С	кг/м3	720 - 740
Содержание олефинов	% масс.	н/б 3.0
Октановое число (моторное)		н/м 48
Октановое число (исследовательское)		н/м 52
Давление паров, при 20 °С	кПа	50 – 55
Содержание бензола (по требованию покупателя)	% об.	2 - 500
Содержание ароматики (по требованию покупателя)	% об.	20 - 1000
<b>Изопентан - пентеновая фракция (2-пентен)</b>		
Плотность при 15°С	кг/м3	720 - 750
Содержание серы	ppm	н/б 50
Содержание изопентана	% масс.	н/м 60
Содержание олефинов C5	% масс.	н/б 50
Октановое число (моторное)		н/м 82
Октановое число (исследовательское)		н/м 92
Давление паров, при 20 °С	кПа	60-70
<b>Олигомеры изобутилена и амиленов</b>		
ТУ определяются по требованиям покупателя		

#### 4. Расходы энергоресурсов базовые данные для расчета процессинга.

Таблица 9.

Наименование	Единицы измерения	Удельный расход на 1 тонну сырья
<b>АВТ</b>		

Электроэнергия	кВтч/т	
Оборотная вода	м3/т	
Природный газ	Нм3/т	
Пар, потребление 14 бар	т/т	
Пар, потребление 4 бар	т/т	
Воздух КИП	м3/т	
Деминерализованная вода	м3/т	
Пар, производство 4 бар	т/т	
Количество сточных вод	м3/т	
<b>ГО Дизельного топлива</b>		
Электроэнергия	кВтч/т	
Оборотная вода	м3/т	
Природный газ	Нм3/т	
Пар, потребление 14 бар	т/т	
Пар, производство 14 бар	т/т	
Конденсат водяного пара	м3/т	
Деминерализованная вода	м3/т	
Воздух КИП	м3/т	
Количество сточных вод	м3/т	
<b>ГО Вакуумного газойля</b>		
Электроэнергия	кВтч/т	
Оборотная вода	м3/т	
Природный газ	Нм3/т	
Пар, потребление 14 бар	т/т	
Пар, потребление 4 бар	т/т	
Воздух КИП	м3/т	
Конденсат водяного пара	м3/т	
Количество сточных вод	м3/т	
<b>Производство ТАМЭ и МТБ. Расходы на тонну (ТАМЕ+МТБЕ)</b>		
Электроэнергия	кВтч/т	
Оборотная вода	м3/т	
Пар, потребление 35 бар	т/т	
Пар, потребление 14 бар	т/т	
Пар, потребление 4 бар	т/т	
Воздух КИП	м3/т	
Деминерализованная вода	м3/т	
Количество сточных вод	м3/т	
<b>Замедленное коксование</b>		
Электроэнергия	кВтч/т	
Природный газ	м3/т	
Оборотная вода	м3/т	
Воздух КИП	м3/т	
Пар, потребление 35 бар	т/т	
Пар, потребление 14 бар	т/т	
Пар, потребление 4 бар	т/т	
Азот	м3/т	
Деминерализованная вода	м3/т	
Пар, производство 35 бар	т/т	
Пар, производство 14 бар	т/т	
Пар, производство 4 бар	т/т	
Количество сточных вод	м3/т	
<b>Каталитический крекинг</b>		
Электроэнергия	кВтч/т	
Оборотная вода	м3/т	
Пар, потребление 5 бар	т/т	
Пар, потребление 14 бар	т/т	
Пар, потребление 35 бар	т/т	
Природный газ	м3/т	
Деминерализованная вода	м3/т	
Воздух КИП	м3/т	



Пар, производство 18 бар	т/т	
Пар, производство 37 бар	т/т	
Пар, производство 4 бар	т/т	
Количество сточных вод	м3/т	
<b>Отпарка кислых вод с процесса Клауса и процессов НПЗ. Расход на 1 м3</b>		
Электроэнергия	кВтч/м3	
Оборотная вода	м3/м3	
Пар, потребление 4 бар	т/м3	
Воздух КИП	м3/м3	
Количество сточных вод	м3/м3	
<b>Сероочистка газов – процесс Клауса. Расхода на 1 тонну серы.</b>		
Электроэнергия	кВтч/т	
Оборотная вода	м3/т	
Природный газ	Нм3/т	
Пар, потребление 14 бар	т/т	
Пар, потребление 4 бар	т/т	
Воздух КИП	м3/т	
Конденсат водяного пара	м3/т	
Деминерализованная вода	м3/т	
Пар, производство 4 бар	т/т	
Количество сточных вод	м3/т	
<b>Гидроочистка бензина коксования</b>		
Электроэнергия	кВтч/т	
Оборотная вода	м3/т	
Пар, потребление 35 атм	т/т	
Природный газ	Нм3/т	
Воздух КИП	Нм3/т	
Количество сточных вод	м3/т	
<b>Производство водорода. Расход на 1 тонну H2</b>		
<b>Энергоресурсы</b>		
Оборотная вода	м3/т	
Обессоленная вода	м3/т	
Охлажденная вода	м3/т	
Деминерализованная вода		
Пар, потребление 4 бар	т/т	
Пар, потребление 14 бар	т/т	
Пар, производство 18 бар	т/т	
Воздух КИП	Нм3/т	
Электричество	кВтч/т	
Газ Метан	Нм3/т	
Количество сточных вод	м3/т	
<b>Газ Метан на сырье и топливо производства водорода, в соотношении 70/30</b>		

Общее потребление энергоресурсов, на основании **Таблицы 9**, а также **Приложения 3**, с указанием мощностей основных установок приведены в **Таблице 10**.

**Таблица 10.**

<b>Энергоресурсы. Общее потребление и производство в год.</b>		
<b>Энергоресурсы</b>		
Оборотная вода	м3	
Деминерализованная вода	м3	
Конденсат водяного пара	м3	
Пар, потребление 4 бар	т	
Пар, потребление 14 бар	т	

Пар, потребление 35 бар	т	
Пар, производство 4 бар	т	
Пар, производство 14 бар	т	
Пар, производство 35 бар	т	
Воздух КиП	Нм3	
Азот	Нм3	
Электричество	кВтч	
Газ Метан, топливо	Нм3	
Газ Метан, сырье	Нм3	
Количество сточных вод	м3	

В таблицу не включены расходы энергоресурсов:

- на прием мазута и хранение темных нефтепродуктов
- очистные сооружения
- производство сжатого воздуха и азота

И если двумя последними расходами можно пренебречь или принять не более 5% от расхода завода по электроэнергии, то прием и хранение могут составлять значительную цифру, не менее 10 – 15 % от расхода метана, как топлива в **Таблице 10**.

### 5. Капитальные затраты по установкам завода Рафо.

Капитальные затраты на изменение конфигурации завода Рафо при переработке прямогонных мазутов с выпуском моторных топлив Евро 5.

**Таблица 11.**

Наименование установок	Подрядчики	Рафо	Всего		Примечание
<b>Установка Вакуумной дистилляции DV</b>					
Ремонт футеровки печей					
Ремонт дымовой трубы, предписание ISPE					
Ремонт и торкретирование колонн					
Материалы, в т.ч трубки для т/о					
Ремонт и изготовление т/о					
Система управления DCS					
Электрика и КИП и систем управления компрессоров					
Закупка насосов 100 P16a,г 100 P17a,г и монтаж					
Перевод печей на газовое топливо					
Ремонт резервуаров T15,T16					
Ремонт резервуаров R271,R272					
Ремонт резервуаров T125					
Ремонт резервуаров					

T115,T116					
Ремонт резервуаров Т11,Т12					
Работы по пусконаладке					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					
<b>Установка ГО дизеля НМ</b>					
Материалы трубного пучка 122S5					
Покупка насосов 122 P10 A, R					
Ремонт печей С1					
Ввод в эксплуатацию парогенератора.					
Замена горелок на печах с контролем пламени					
Стоимость распред. тарелок Equi-flow					
Катализаторы и химикаты					
Монтаж нового реактора					
Монтаж трубопроводов электрики и КиП					
Аминная очистка к реактору, новый проект					
Электрика и КИП и систем управления компрессоров					
Работы по пусконаладке					
Ремонт резервуаров Т105,106					
Ремонт резервуаров блендирования дизеля R251,252,261,263,264 Т75, 76					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					
<b>Установка ГО дизеля НМ2</b>					
Материалы, в т.ч трубки для т/о, тарелки					
Монтаж тарелок					
Изготовление т/о					
Катализаторы и химикаты					
Стоимость распред. тарелок Equi-flow					
Замена горелок на печах с контролем пламени					
Торкретирование печи					
Ремонт емкостного, т/о и насосного оборудования					
Электрика и КИП и систем управления компрессоров					
Работы по пусконаладке					
Ремонт резервуаров R342,R333,R343					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					
<b>Установка ГО вакуумного газойля HDV</b>					
Материалы, в т.ч трубки для т/о					

Катализаторы и химикаты					
Стоимость распред. тарелок Equi-flow					
Монтаж нового реактора					
Монтаж трубопроводов электрики и КиП					
Аминная очистка к реактору, новый проект					
Замена горелок на печах с контролем пламени					
Электрика и КИП и систем управления компрессоров					
Закупка насосов и монтаж 125P2a,r, 125P7a,r					
Ремонт емкостного и т/о и насосного оборудования					
Закупка новых приборов КиП и ремонт					
Работы по пусконаладке					
Ремонт резервуаров Т19, 20, 21, 22					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					
<b>Установка каталитического крекинга ССЗ</b>					
Материалы, в т.ч трубки для т/о, насосы 138FE24a,b, 145GE12, 138FE9, 145GE21					
Катализаторы и химикаты					
Покупка ABO 145 GE 22,23; 138 FE6;FE13					
Ремонт СО бойлера					
Ремонт реактора, главной колонны итд проект UOP					
Электрика и КИП и систем управления компрессоров					
Капитальный ремонт печи подогрева сырья					
Работы по пусконаладке					
Резервуары Т92,93,123,124,107					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					
<b>Установка МТБЭ и TAME</b>					
Расширение мощности ТАМЕ					
Ремонт резервуаров МТБЭ R235, 236, 237, 238					
Ремонт резервуаров TAME Т49, Т50, Т51, Т53, Т54					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					
<b>Установка замедленного коксования Сх</b>					
Проектирование					
Строительные работы в т.ч фундаменты					

Новая Градирня №3 установки Сх					
Новый факел, иные системы безопасности					
Монтаж оборудования и трубопроводов					
Электрика монтаж					
КиП и система управления					
Изоляция, защита, покраска, вентиляция					
Строительство печи нагрева сырья коксования					
Ремонт резервуаров R1, R3, R37, R38, R85, R86, 147, 148					
Строительство новых резервуаров, складов и рампы отгрузки кокса					
Строительство узла очистки сточных вод от фенола					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					
<b>Установки производства водорода № 1,2,3</b>					
Катализаторы и химикаты					
Материалы, в т.ч трубки для т/о, емкости, включая монтаж					
Ремонт емкостного и т/о и компрессорного оборудования					
Закупка новых приборов КиП и ремонт					
<b>Установки производства водорода № 4</b>					
Катализаторы и химикаты					
Завершение монтажа трубопроводов					
Стоимость покупки водородного компрессора					
Завершение электромонтажа					
Завершение КиП и системы управления					
Подземные сети и бетонирование площадки					
Ремонт буллитов хранения водорода					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					
<b>Установка сероочистки газов DGRS без TGT</b>					
Катализаторы и химикаты					
Материалы, в т.ч трубки для т/о, насосы, трубы, клапана. Включая монтаж					
Завершение монтажа трубопроводов и строительных работ					
Закупка новой т/п и расключение					
Система управления и КиП					



Капитальный ремонт инсерторов					
Изоляция после монтажа					
Ремонты, включая электрообогрев					
Проект Репер на расширение адсорбции					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					
<b>Система водооборота, свежей и деминерализованной воды</b>					
<b>Градирня №1.</b> Покупка и загрузка наполнителя					
Ремонт насосов водооборота, включая надземное электропитание					
Ремонт насосной					
Вынос трубопроводов на поверхность					
<b>Градирня №2</b> Ремонт насосов водооборота					
Ремонт насосной					
Вынос трубопроводов на поверхность					
Химикаты					
Электрообогрев трубопровода свежей воды					
Дополнительное емкости хранения деминерализованной воды.					
Замена трубопровода свежей воды					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					
<b>Обеспечение газом.</b>					
Закупка системы регулирования и измерения					
Подключение к системе регулирования и учета					
Ремонтные работы					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					
<b>Обеспечение паром</b>					
Кип и система управления котла GA2					
Ремонт оборудования котла					
Химикаты					
Магистральные трубопроводы пара, включая подключение СО бойлера					
Восстановление изоляции					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					

<b>Обеспечение электричеством</b>					
Замена дефектных участков магистральных кабелей, замена ячеек на 110 и 0,4 кВ					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					
<b>Газометр и факел</b>					
Замена магистральных трубопроводов факела, включая покупку труб					
Градирня системы факела					
Бетонирование площадок гидрозатвора					
Ремонт кладки факела					
Ремонт емкостного и насосного оборудования					
Работы по пусконаладке					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					
<b>Рампы слива и налива</b>					
Рампа слива нефти (мазута, ВГО)					
Рампа слива нефти					
Рампа слива дизеля					
Рампа слива метанола					
Авторампа жидких продуктов					
Авторампа газов					
Ж/д рампа газов					
Ж/д рампа жидких продуктов					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					
<b>Локомотивы и ж/д пути</b>					
Ремонт локомотивов					
Ремонт ж/д путей					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					
<b>Хранение жидких товарных продуктов</b>					
Ремонт и наладка насосных станций 200В+С;200G;200E;200H;35-1/2; авто-платформа; 200I2; 200 K, 200 K1 200 D					
Ремонт и наладка насосных станций 200F,200 A,200H1,200I,200 I, платформа приемки нефти, 221/4 , 221/1					
Резервуары хранения биоэтанола, биодизеля аддитивов, включая насосные					
Объединение насосных бензина 200I2 и 200В+С в единую электроэнергетическую систему					
Хранение дизельного топлива в резервуарах Т100,101,102					
Ремонт Т100,101,102					
Изоляция Т100,101,102					

Электрика и КИП					
Хранения RMK, RMG, RMH 380 в резервуарах T111,112,113 или судового топлива MDO					
Ремонт T111,112,113					
Монтаж змеевика T111					
Изоляция T111,112,113					
Электрика и КИП					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					
<b>Хранение сжиженных газов</b>					
Склад бутана, сферы: T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T135, T136, T137, T138, T481A, 482A, 483A, 484A, 485A, 486A					
Электрообогрев					
Отсекающие клапана					
Электрика и КиП					
Ремонтные работы					
Склад бутана, танки: T131, T132, T133, T134, T139, T140					
Электрообогрев					
Отсекающие клапана					
Электрика и КиП					
Ремонтные работы					
Склад пропана, сфера T130					
Электрообогрев					
Отсекающие клапана					
Электрика и КиП					
Ремонтные работы					
Склад пропана, танки V1, V2, V1A, V1B, V1C					
Электрообогрев					
Отсекающие клапана					
Электрика и КиП					
Ремонтные работы					
Склад пропилена, сферы: T127, T128, T129					
Электрообогрев					
Отсекающие клапана					
Электрика и КиП					
Ремонтные работы					
<b>Итого, Lei</b>					
<b>Итого, EURO</b>					
<b>Авторизации, получение разрешений ИСЧИР, экспертизы</b>					
<b>Работы по обеспечению безопасности</b>					
Вынос на поверхность линий воды и пены к складам хранения					
Система огнетушения (на- сосные станции и пожарные резер- вуары B1,B2,B3) и подземные сети гидрантов					
<b>Итого, Lei</b>					

Итого, EURO			
Всего, Lei			
Всего, EURO			

## 6. Выводы по комплексу переработки мазута:

### В зависимости от состава сырья:

- содержание серы и тяжелых металлов в мазуте определяет качество коксов. При содержании серы более 1,2-1,3% масс. получаемые коксы перестанут удовлетворять требованиям электродных, что резко снизит экономику комплекса, аналогичная ситуация и в отношении Ni и V так как они в большинстве случаев коррелируют с содержанием серы
- коэффициент Конрадсона (коксуемости) определяет соотношение нагрузок между КК и УЗК. Чем меньше коэффициент коксуемости, тем больше нагрузка на КК и соответственно выше выход бензина, и меньше выход кокса, но уменьшается выход дизеля. Чем выше коэффициент Конрадсона, тем больше нагрузка на УЗК, выше выход дизеля (почти в два раза), а соотношение бензина и кокса можно регулировать.
- в случае, если коэффициент Конрадсона в прямогонном мазуте, не превышает 3-3,5 (что не является редкостью и уникальностью), то в схеме переработки исключается вакуумная колонна, что значительно улучшает ОПЕХ
- асфальтены в прямогонных мазутах редко превышают 1-1.2%, если в них искусственно не были добавлены тяжелые нефтяные остатки, в любых случаях, содержание асфальтенов не должно превышать 2%, но и эта величина уже заставит обращать внимание на состояние катализатора гидроочистки ВГО
- содержание дизельной фракции в прямогонных мазутах варьирует от 5 до 13%, что определяется эффективностью работы атмосферной перегонки нефтей. Чем больше содержание дизельной фракции в прямогонных мазутах (но не более параметров определенных ГОСТом) тем легче осуществляется слив мазута в зимнее время. Если для работы по схеме – только КК, содержание дизельной фракции в мазуте имеет определяющее значение для качества товарного дизельного топлива, то в случае схемы КК-УЗК содержание дизеля в мазуте не оказывает ни какого влияние на качество товарного ДТ.

### В зависимости от номенклатуры продукции.

- переход по бензинам от стандарта Евро к стандарту РФ, т.е. снижение октанового числа до 92, позволяет осуществлять выпуск не менее 10.000 тонн бензинов дополни-

тельно, а снижение до октанового числа 80 позволит увеличить выпуск бензинов не менее чем на 80 тыс. тонн, тем самым практически исключив полупродукты из схемы - качество коксов может быть улучшено, при малом коэффициенте Конрадсона, как за счет подачи на коксование части прямогонного мазута совместно с вакуумным остатком, так и за счет некоторых дополнительных компонентов: пеков, тяжелых газойлей каткрекинга, масляных остатков. Соотношение компонентов, как сырья коксования определяется в каждом конкретном случае

**Приложение 1.** Показатели качества прямогонного мазута ////////////// НПЗ (Россия).

**Приложение 2.** Показатели качества дизельной фракции не гидроочищенной.

**Приложение 3.** Поточная схема переработки мазута завода Рафо.

**Приложение 4.** Блендинг бензинов завода Рафо

**Приложение 5.** Блендинг дизеля завода Рафо.

**Приложение 6.** Основные проектные решения.

Наименование блока	Перечень критичных проектных решений
1. Вакуумная колонна	1. Вывод дизельной фракции с верха колонны 2. Система управления процессом 3. Подогрев сырья
2. ГО ВГО	1. Фильтра очистки тяжелого дизеля коксования
3. Каталитический крекинг	1. Замена внутренних устройств реактора 2. Капитальный ремонт печи нагрева сырья 3. Капитальный ремонт СО-бойлера
4. Замедленное коксование	1. Полный комплект детального инжиниринга
5. ГО ДТ	1. Колонна аминной очистки
6. ГО бензина коксования	1. Выбор катализатора и схемы переработки в зависимости от направления продаж
7. МТБЭ ТАМЭ	Нет
8. Сероочистка газов	1. Аминная очистка и отпарка сточных вод 2. Каталитическое окисление сбросных газов
9. Производство водорода	1. Система управления фабрика №4.
10. Водооборот	1. Вынос трубопроводов оборотной воды на поверхность
11. Факельное хозяйство	1. Принятие решение о конфигурации завода, после реализации схемы переработки мазута.
12. Очистные сооружения	1. Очистка сточных вод УЗК



