

Тема 13. Отделение конденсации установки с твёрдым теплоносителем

В данной теме рассматривается технологическая схема отделения конденсации установки термической переработки мелкозернистого сланца в установке с твёрдым теплоносителем.

Процесс конденсации продуктов полукоксования является завершающей стадией процесса термической переработки горючих сланцев. Количество и качество получаемых продуктов зависят не только от самого метода полукоксования, но и от выбранной системы конденсации, режима ее работы и состояния оборудования.

13.1. Характеристика сланцевых смол.

Групповой состав сланцевых смол наиболее полно отражает ее свойства и определяет пути ее практического использования.

Сланцевая смола, полученная из прибалтийских сланцев, по групповому и индивидуальному составу значительно сложнее нефти за счет высокого содержания гетероатомных соединений, которые придают ей уникальные свойства. Уникальность сланцевой смолы проявляется в первую очередь в ее высокой реакционной способности; биологической активности и полярности.

Технические, физико-химические характеристики, реакционная способность и биологическая активность фракций сланцевой смолы определяются ее составом. С ростом температуры кипения существенно усложняется состав (до нескольких тысяч соединений) и возрастает содержание гетероатомных соединений в сланцевой смоле.

Основная масса сланцевой смолы выпускается в виде топочного мазута, который представляет собой обычно смесь сырых различных масел. Сланцевое масло представляет собой смесь фракций сланцевой смолы и применяется для сжигания в котельных установках и промышленных печах, а также используется на кораблях, плавающих в акватории северных морей. Такое масло выгодно отличается от нефтяных мазутов своей малой вязкостью, низкой температурой застывания и низким содержанием серы (0,5-0,7 %). Оно хорошо смешивается с нефтяным мазутом в любых соотношениях, что не вызывает трудностей при переходе с одного вида топлива на другое. Самыми большими потребителями предприятия являются OVV и Shell. Отличительной особенностью сланцевых смол является практически полное отсутствие ванадия.

13.2. Общая характеристика отделения конденсации

Сырьем конденсационного отделения является парогазовая смесь, поступающая по газопроводу из последней ступени циклонов перегонного отделения.

Целевыми продуктами запроектированного отделения конденсации является:

- ✓ полукоксовый газ для использования в качестве энергетического топлива для заводской ТЭЦ;
- ✓ сланцевое масло (смесь тяжело-средней фракции, дизельной фракции, бензиновой фракции, газового бензина) или отдельные фракций.

В отделение конденсации парогазовая смесь (ПГС) поступает из последнего циклона пылевой камеры агрегата УТТ-3000 перегонного отделения при температуре 480°C с давлением 500 мм рт.ст.

В скрубберах – стояках К – 100/1,2 она орошается тяжелым маслом и частично конденсируется. При этом происходит очистка ПГС от механических примесей. Оросительное масло и конденсат стекают в емкость E-100, из которого насосом Н-100/1,2, через воздушные холодильники ВХ-100/1,2,3 подаются на орошение скрубберов-стояков. Часть отзоленного масла («грязное» тяжелое масло) направляется на пиролиз в реактор перегонного отделения.

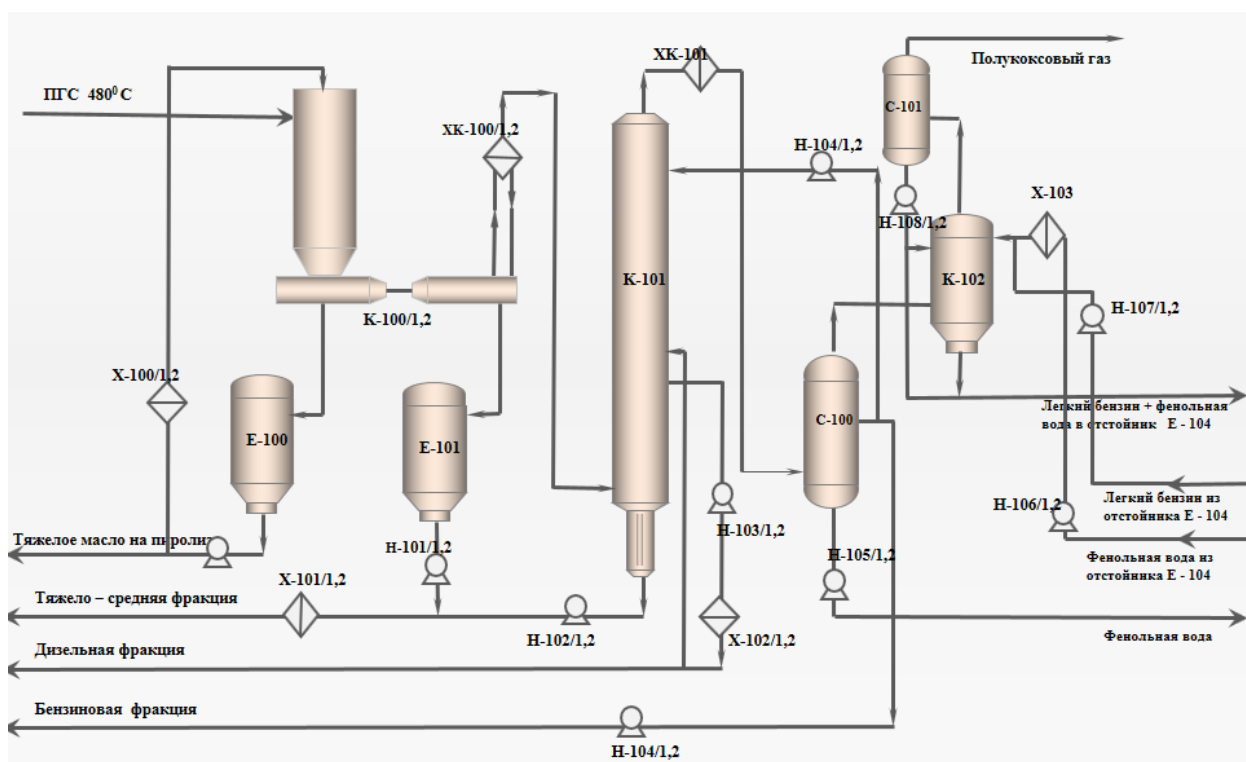


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема отделения конденсации

Основной поток ПГС по газосборнику (барильету) направляется в воздушный холодильник – конденсатор ХК – 100/1,2, где охлаждается до температуры 200°C с конденсацией паров тяжело-средней фракции, которая стекает в емкость E-101. Благодаря предварительной очистке ПГС, содержание примесей в тяжело-средней фракции составляет 0,01-0,06% масс. Из емкости E-101 тяжело-средняя фракция насосами Н-101/1,2 через холодильник X-101/1,2 (в котором охлаждается до 80°C) подается в емкости товарного парка.

ПГС из холодильника – конденсатора ХК – 100/1,2 поступает в низ дистилляционной колонны К-101. В нижней части колонны выделяется тяжело-средняя фракция с

температурой 180⁰С, которая насосом Н-102/1,2 через холодильник Х – 101/1,2 откачивается в емкости товарного парка. В средней части колонны выделяется дизельная фракция, которая насосом Н-103/1,2 через холодильник Х – 102/1,2 откачивается в емкости товарного парка. Часть дизельной фракции используется на орошение колонны.

Из верхней части колонны выходит ПГС, состоящая из полукоксового газа, паров воды и бензина, которая поступает в холодильник – конденсатор ХК – 101, где конденсируется и охлаждается до 45⁰С. Конденсат поступает в сепаратор С-100, где разделяются парогазовая и жидкая фазы.

Парогазовая смесь из сепаратора С-100 отсасывается газодувками и направляется в скруббер К-102.

Бензиновая фракция откачивается из средней части сепаратора С-100 насосом Н-104/1,2. Подается в качестве орошения на верхнюю тарелку колонны К-101. Балансовое количество бензиновой фракции направляется в емкости товарного парка.

Фенольная вода из нижней части сепаратора С-100 насосом Н-105/1,2 откачивается в емкость Е-105 и далее насосом Н-112/1,2 направляется на сжигание в перегонное отделение.

В скруббере К-102 производится абсорбция легкой бензиновой фракцией (или холодной фенольной водой) из полукоксового газа легкой бензиновой фракции при температуре 45⁰С и давлении 0,4-0,45 кгс/см³.

Из верхней части скруббера выходит полукоксовый газ, который пройдя дополнительный сепаратор С-101, либо отправляется потребителю, либо сжигается на факеле (во время пуска и остановки отделения конденсации).

Бензин из нижней части сепаратора С-101 насосом Н-108/1,2 подается на орошение верха колонны К-102 и в емкости товарного парка. В отстойнике Е-104 происходит разделение смеси легкого бензина и фенольной воды на легкий бензин и фенольную воду. Легкий бензин насосом Н-107/1,2 подается вверх абсорбера К-102. Балансовое количество бензиновой фракции направляется в емкости товарного парка. Фенольная вода насосом Н-106/1,2, охлаждаясь в холодильнике Х-103, подается вверх абсорбера К-102. Либо сбрасывается в емкость фенольной воды Е-105, откуда насосом Н-112/1,2 направляется на сжигание в перегонное отделение.

Для сбора конденсата, выделяющегося в газодувках В-100/1,2 и газопроводах, предусмотрена емкость Е-102, из которой конденсат погружным насосом Н-109 периодически откачивается в отстойник Е-103, где происходит разделение смеси легкого газового бензина и фенольной воды на легкий газовый бензин и фенольную воду. Легкий газовый бензин насосом Н-111/1,2 откачивается по общему коллектору в емкости товарного парка, а фенольная вода насосом Н-110/1,2 откачивается в емкость фенольной воды Е-105, откуда насосом Н-112/1,2 направляется на сжигание в перегонное отделение

[1]

13.2. Расчет колонны дистилляции

Расчет физико-химических свойств смолы, материальный и тепловой балансы произведены по методике А. А. Гайле, Б. В. Пекаревский. [3]

Расчет относительной плотности, молярной массы, удельной энтальпии жидких нефтепродуктов, число теоретических тарелок произведены по методике, описанной в книге И. Л. Гуревича. [4]

Расчет характеризующего фактора произведен по методике, описанной в книге А. А. Хамухина. [5]

Расчет высоты, число теоретических и действительных тарелок и КПД тарелок рассчитаны по методике, описанной в книге М. А. Танатарова. [6]

Согласно производственным данным, технический выход сланцевой смолы с установки УТТ – 3000 в среднем составляет 11-12,5% с 1 тонны перерабатываемого сланца. В сутки перерабатывается 3000 тонн сланца.

Производительность колонны дистилляции по сырью составляет 25660 кг/ч. Выход получаемых продуктов представлен в таблице 1. Выход получаемых жидких углеводородов при разложении сланца представлен в таблице 2.

Таблица 1

Выход продуктов в технологии УТТ – 3000

Фракции	Выход, %	Массовый выход, кг/ч
Полукоксовый газ	25,68	6589,49
Фенольная вода	13,64	3500,02
Бензиновая фракция	2,51	644,07
Дизельная фракция	6,83	1752,58
Легкий мазут	18,53	4754,80
Тяжелый мазут	4,67	1198,32
Остаток	28,14	7220,72
	100,00	25660,00

Таблица 2

Выход жидких углеводородов

Фракции	Выход, %
Бензиновая фракция	4,14
Дизельная фракция	11,26
Легкий мазут	31,54
Тяжелый мазут	7,70
Остаток дистилляции	46,37
	100,00

$$25660,00 - 6589,49 - 3500,02 = 15570,49 \text{ кг/ч}$$

Для расчета примем: технический выход смолы 12,47%, мощность колонны (по выходу жидких углеводородов) 15570,49 кг/ч, температура ПГС 480⁰С, содержание дизельной фракции в дистилляте не менее 70 %, в кубовом остатке не более 0,2%.

1. Определение физико-химических свойств компонентов.

Поскольку представленные компоненты не являются индивидуальными углеводородами, а представляют собой смеси углеводородов, выкипающих в определенном диапазоне температур, то для оценки физико-химических свойств используем средние температуры выкипания фракций (или псевдокомпонентов).

Так как жидкие сланцевые продукты аналогичны нефтяным, то при расчетах используем методику, применимую для нефтей и получаемых из них продуктов.

1.1. Относительная плотность фракций d_4^{20}

Относительная плотность жидкого нефтепродукта – это безмерная величина, представляющая собой отношение его истинной плотности к плотности дистиллированной воды, взятых при определенных температурах (для нефтепродукта при 20⁰С, для воды при 4⁰С). Определяется по уравнению:

$$d_4^{20} = \frac{\rho_{20}}{\rho_4}, [4]$$

т.к. плотность дистиллированной воды при 4⁰С равна 1, тогда относительная плотность будет равна истинной плотности взятых фракций, т.е. $\rho_{20} = d_4^{20}$

Для расчета примем следующие значения плотностей фракций (по регламенту):

Бензиновая фракция	$d_4^{20} = 0,830 \text{ г/см}^3$
Дизельная фракция	$d_4^{20} = 0,910 \text{ г/см}^3$
Легкий мазут	$d_4^{20} = 1,000 \text{ г/см}^3$
Тяжелый мазут	$d_4^{20} = 1,085 \text{ г/см}^3$
Остаток дистилляции	$d^{75} = 1,000 \text{ г/см}^3$

Относительную плотность атмосферного остатка при 20⁰С рассчитаем по формуле:

$$d_4^{20} = d_4^t + a \cdot (t - 20), [4]$$

где a - средняя температурная поправка на 1⁰С, примем $a = 0,000515$, тогда

$$d_4^{20} = 1,000 + 0,000515 \cdot (75 - 20) = 1,028 \text{ г/см}^3$$

1.2. Относительная плотность псевдокомпонентов d_{15}^{15}

Рассчитаем по уравнению: $d_{15}^{15} = d_4^{20} + 5 \cdot (9,1 \cdot 10^{-4} - 1,3 \cdot 10^{-5} \cdot d_4^{20}), [3]$

Бензиновая фракция	$d_{15}^{15} = 0,830 + 5 \cdot (9,1 \cdot 10^{-4} - 1,3 \cdot 10^{-5} \cdot 0,830) = 0,834$
Дизельная фракция	$d_{15}^{15} = 0,910 + 5 \cdot (9,1 \cdot 10^{-4} - 1,3 \cdot 10^{-5} \cdot 0,910) = 0,914$
Легкий мазут	$d_{15}^{15} = 1,000 + 5 \cdot (9,1 \cdot 10^{-4} - 1,3 \cdot 10^{-5} \cdot 1,000) = 1,004$

$$\text{Тяжелый мазут} \quad d_{15}^{15} = 1,085 + 5 \cdot (9,1 \cdot 10^{-4} - 1,3 \cdot 10^{-5} \cdot 1,085) = 1,089$$

$$\text{Остаток дистилляции} \quad d_{15}^{15} = 1,028 + 5 \cdot (9,1 \cdot 10^{-4} - 1,3 \cdot 10^{-5} \cdot 1,058) = 1,032$$

1.3. Среднее значение относительной плотности сырья

$$\text{Рассчитаем по правилу аддитивности: } d_{15}^{15} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{F_i}}{(d_{15}^{15})_i} \right)}$$

$$d_{15}^{15} = \frac{1}{\frac{0,041}{0,834} + \frac{0,113}{0,914} + \frac{0,305}{1,004} + \frac{0,077}{1,089} + \frac{0,464}{1,032}} = 1,004$$

1.4. Характеризующий фактор K

Характеризующий фактор K является условной величиной, отражающий химическую природу и степень парафинистости нефтепродуктов, применяется в расчетах для повышения их точности.

Характеризующий фактор K определяется по уравнению:

$$K_i = \frac{1,216 \cdot \sqrt[3]{T_{cp}}}{d_{15}^{15}}, [5]$$

где T_{cp} - средняя молярная температура кипения, d_{15}^{15} - относительная плотность нефтепродукта.

Это уравнение достаточно точно характеризует прямогонные нефтяные фракции.

$$\text{Бензиновая фракция} \quad K_i = \frac{1,216 \cdot \sqrt[3]{0,5 \cdot (45 + 157) + 273}}{0,834} = 10,50$$

$$\text{Дизельная фракция} \quad K_i = \frac{1,216 \cdot \sqrt[3]{0,5 \cdot (155 + 223) + 273}}{0,914} = 10,28$$

$$\text{Легкий мазут} \quad K_i = \frac{1,216 \cdot \sqrt[3]{0,5 \cdot (243 + 355) + 273}}{1,004} = 10,05$$

$$\text{Тяжелый мазут} \quad K_i = \frac{1,216 \cdot \sqrt[3]{0,5 \cdot (296 + 360) + 273}}{1,089} = 9,42$$

$$\text{Остаток дистилляции} \quad K_i = \frac{1,216 \cdot \sqrt[3]{0,5 \cdot (350 + 370) + 273}}{1,032} = 10,11$$

1.5. Молярная масса

Молярная масса нефтей и получаемых из них продуктов – один из важнейших показателей, широко используемый при подсчете теплоты парообразования, объемов паров, парциального давления, а также при определении химического состава узких нефтяных фракций и т.д. Нефть и нефтепродукты характеризуются средним молярным весом, т.к. представляют собой смеси индивидуальных углеводородов и некоторых других соединений.

Молярные массы нефтяных фракций тем больше, чем выше их температура кипения. Наряду с этим выделенные из различных нефтей фракции, выкипающие в одном и том же интервале температур, имеют разные молекулярные массы, т.к. углеводородный состав этих фракций различен.

В расчетной практике молярную массу часто определяют по эмпирическим формулам. Из них наибольшее применение получила формула Б. П. Воинова:

$$M = a + b \cdot t_{\text{н.д.и.е}} + c \cdot t_{\text{н.д.и.е}}^2, [4]$$

где a, b, c – постоянные, значения, которых различны для каждой группы углеводородов;
 t – средняя молярная температура кипения продукта, $^{\circ}\text{C}$.

Результаты вычисления по этой формуле отличаются от экспериментально полученных данных на 3-5%. А. С. Эйгенсон уточнил формулу Б. П. Воинова для нефтяных фракций подбором постоянных величин a, b, c в зависимости от характеризующего фактора K .

Для расчета возьмем среднее значение характеризующего фактора, тогда $K = 10$ и формула Б. П. Воинова будет иметь вид:

$$M = 56 + 0,23 \cdot t_{\text{н.д.и.е}} + 0,0008 \cdot t_{\text{н.д.и.е}}^2$$

Бензиновая фракция

$$M = 56 + 0,23 \cdot 0,5 \cdot (45 + 157) + 0,0008 \cdot (0,5 \cdot (45 + 157))^2 = 87,39 \text{ кг/кмоль}$$

Дизельная фракция

$$M = 56 + 0,23 \cdot 0,5 \cdot (155 + 223) + 0,0008 \cdot (0,5 \cdot (155 + 223))^2 = 128,05 \text{ кг/кмоль}$$

Легкий мазут

$$M = 56 + 0,23 \cdot 0,5 \cdot (243 + 355) + 0,0008 \cdot (0,5 \cdot (243 + 355))^2 = 196,29 \text{ кг/кмоль}$$

Тяжелый мазут

$$M = 56 + 0,23 \cdot 0,5 \cdot (296 + 360) + 0,0008 \cdot (0,5 \cdot (296 + 360))^2 = 217,51 \text{ кг/кмоль}$$

Остаток дистилляции

$$M = 56 + 0,23 \cdot 0,5 \cdot (350 + 370) + 0,0008 \cdot (0,5 \cdot (350 + 370))^2 = 242,48 \text{ кг/кмоль}$$

1.6. Средняя молярная масса

Рассчитаем по правилу аддитивности: $M_F = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{F_i}}{M_i} \right)}$

$$M_F = \frac{1}{\frac{0,041}{87,39} + \frac{0,113}{128,05} + \frac{0,305}{196,29} + \frac{0,077}{217,51} + \frac{0,464}{242,48}} = 193,26 \text{ кг/кмоль}$$

1.7. Мольные доли компонентов

Рассчитаем по формуле: $x'_F = \frac{x_{F_i}}{M_i} \cdot M_F$

$$\begin{aligned}
 \text{Бензиновая фракция} \quad x'_F &= \frac{0,041}{87,39} \cdot 193,26 = 0,091 \\
 \text{Дизельная фракция} \quad x'_F &= \frac{0,113}{128,05} \cdot 193,26 = 0,170 \\
 \text{Легкий мазут} \quad x'_F &= \frac{0,305}{196,29} \cdot 193,26 = 0,301 \\
 \text{Тяжелый мазут} \quad x'_F &= \frac{0,077}{217,29} \cdot 193,26 = 0,068 \\
 \text{Остаток дистилляции} \quad x'_F &= \frac{0,464}{242,48} \cdot 193,26 = 0,370
 \end{aligned}$$

Полученные расчетные данные сведем в таблицу 3.

Таблица 3

Физико-химические свойства компонентов

Фракции	Массовая доля, x_F	Мольная доля, x'_F	d_4^{20}	d_{15}^{15}	Молярная масса, M , кг/кмоль
Бензиновая фракция	0,041	0,091	0,830	0,834	87,39
Дизельная фракция	0,113	0,170	0,910	0,914	128,05
Легкий мазут	0,305	0,301	1,000	1,004	196,29
Тяжелый мазут	0,077	0,068	1,085	1,089	217,51
Остаток дистилляции	0,464	0,370	1,028	1,032	242,48

2. Материальный баланс колонны

Материальный баланс колонны составляется с целью определения количества получаемых продуктов по известным данным об исходном сырье и заданной четкости разделения.

При ректификации сложных смесей материальный баланс колонны составляется только по общему количеству внешних материальных потоков, с помощью метода ключевых компонентов.

Сырье

1. Мольный расход сырья

$$F' = \frac{F}{M_F} = \frac{15570,49}{193,26} = 80,57 \text{ кмоль/ч}$$

2. Массовый F_i и мольный F'_i расходы каждого компонента в сырьевом потоке

Расчет произведем по формулам:

$$F_i = F \cdot x_{F_i}$$

$$F_i' = F' \cdot x_{F_i}'$$

Бензиновая фракция	$F_i = 15570,49 \cdot 0,041 = 644,07$ кг/ч
Дизельная фракция	$F_i = 15570,49 \cdot 0,113 = 1752,58$ кг/ч
Легкий мазут	$F_i = 15570,49 \cdot 0,305 = 4754,80$ кг/ч
Тяжелый мазут	$F_i = 15570,49 \cdot 0,077 = 1198,32$ кг/ч
Атмосферный остаток	$F_i = 15570,49 \cdot 0,464 = 7220,72$ кг/ч

Бензиновая фракция	$F_i' = 80,57 \cdot 0,091 = 7,37$ кмоль/ч
Дизельная фракция	$F_i' = 80,57 \cdot 0,170 = 13,69$ кмоль/ч
Легкий мазут	$F_i' = 80,57 \cdot 0,301 = 24,22$ кмоль/ч
Тяжелый мазут	$F_i' = 80,57 \cdot 0,068 = 5,51$ кмоль/ч
Атмосферный остаток	$F_i' = 80,57 \cdot 0,370 = 29,78$ кмоль/ч

Полученные результаты сведем в таблицу 4.

Таблица 4

Состав и расходы компонентов сырья

Фракции	Массовая доля, x_F	Мольная доля, x_F'	Массовый расход, F , кг/ч	Мольный расход, F' , кмоль/ч
Бензиновая фракция	0,041	0,091	644,07	7,37
Дизельная фракция	0,113	0,170	1752,58	13,69
Легкий мазут	0,305	0,301	4754,80	24,22
Тяжелый мазут	0,077	0,068	1198,32	5,51
Остаток дистилляции	0,464	0,370	7220,72	29,78
Всего	1,000	1,000	15570,49	80,57

Дистиллят

1. Массовый расход дистиллята

$$D = \frac{x_{F_i} - x_{W_i}}{y_{D_i} - x_{W_i}} \cdot F = \frac{0,113 - 0,002}{0,700 - 0,002} \cdot 15570,49 = 2466,24 \text{ кг/ч}$$

2. Массовый расход дизельной фракции (легкого ключевого компонента) в дистилляте

$$D_{\text{aëç.ôð}} = \phi_{\text{aëç.ôð}} \cdot D = 0,700 \cdot 2266,24 = 1726,37 \text{ кг/ч}$$

3. Массовый расход бензиновой фракции

В соответствии с методом ключевых компонентов, компоненты более легкокипящие, чем легкий ключевой (в нашем случае дизельная фракция), полностью переходят в дистиллят. Следовательно, для бензиновой фракции справедливо соотношение:

$$D_{\text{ááíçëí.ôð}} = F_{\text{ááíçëí.ôð}} = 644,07 \text{ кг/ч}$$

4. Массовый расход легкого мазута (тяжелый ключевой компонент)

Так как более высококипящие компоненты по сравнению с тяжелыми компонентами полностью переходят в кубовой остаток, их расходы в дистилляте принимаю равными 0, и расход тяжелого ключевого компонента (легкий мазут) в дистилляте можно найти как разность между расходом дистиллята и суммарным расходом бензиновой и дизельной фракций в дистилляте.

$$D_{\text{ôð.ëääì}} = D - (D_{\text{ááíçëí.ôð}} + D_{\text{aëç.ôð}}) = 2466,24 - (644,07 + 1726,37) = 95,81 \text{ кг/ч}$$

5. Массовый расход кубового остатка находим по уравнению:

$$W = F - D = 15570,49 - 2466,24 = 13104,25 \text{ кг/ч}$$

6. Массовые доли компонентов дистиллята

$$\text{Бензиновая фракция} \quad D_i = (0,700 \cdot 644,07) / 1726,37 = 0,261$$

$$\text{Дизельная фракция} \quad D_i = 0,700 \text{ по условию}$$

$$\text{Легкий мазут} \quad D_i = (0,700 \cdot 95,81) / 1726,37 = 0,039$$

7. Среднее значение относительной плотности дистиллята (d_{15}^{15})_D

$$(d_{15}^{15})_D = \frac{1}{\frac{0,261}{0,834} + \frac{0,700}{0,914} + \frac{0,039}{1,004}} = 0,895$$

8. Средняя молярная масса дистиллята

$$M_D = \frac{1}{\frac{0,261}{87,39} + \frac{0,700}{128,05} + \frac{0,039}{196,29}} = 115,57 \text{ кг/кмоль}$$

9. Мольные доли компонентов дистиллята

$$\text{Бензиновая фракция} \quad y'_{Di} = \frac{0,261}{87,39} \cdot 115,57 = 0,345$$

$$\text{Дизельная фракция} \quad y'_{Di} = \frac{0,700}{128,05} \cdot 115,57 = 0,632$$

$$\text{Легкий мазут} \quad y'_{Di} = \frac{0,039}{196,29} \cdot 115,57 = 0,023$$

10. Мольный расход дистиллята

$$D' = \frac{D}{M_D} = \frac{2466,24}{115,957} = 21,34 \text{ кмоль/ч}$$

11. Мольный расход компонентов дистиллята

$$\text{Бензиновая фракция} \quad D_i' = 21,34 \cdot 0,345 = 7,37 \text{ кмоль/ч}$$

$$\text{Дизельная фракция} \quad D_i' = 21,34 \cdot 0,632 = 13,48 \text{ кмоль/ч}$$

$$\text{Легкий мазут} \quad D_i' = 21,34 \cdot 0,023 = 0,49 \text{ кмоль/ч}$$

Все расчеты сведем в таблицу 5

Таблица 5

Состав и расходы компонентов дистиллята

$$(d_{15}^{15})_D = 0,895 \quad M_D = 115,57 \text{ кг/кмоль}$$

Фракции	Массовая доля, y_D	Мольная доля, y_D'	Массовый расход, D , кг/ч	Мольный расход, D' , кмоль/ч
Бензиновая фракция	0,261	0,345	644,07	7,37
Дизельная фракция	0,700	0,632	1726,37	13,48
Легкий мазут	0,039	0,023	95,81	0,49
Всего	1,000	1,000	2466,24	21,34

Кубовый остаток

Расходы всех компонентов в кубовом остатке найдем по разности между их расходами в сырье и дистилляте.

1. Массовый расход компонентов кубового остатка

$$\text{Дизельная фракция} \quad W_{\text{д.о.д}} = F_{\text{д.о.д}} - D_{\text{д.о.д}} = 1752,58 - 1726,37 = 26,21 \text{ кг/ч}$$

$$\text{Легкий мазут} \quad W_{\text{л.о.л}} = F_{\text{л.о.л}} - D_{\text{л.о.л}} = 4754,80 - 95,81 = 4658,99 \text{ кг/ч}$$

$$\text{Тяжелый мазут} \quad F_{\text{т.о.т}} = W_{\text{т.о.т}} = 1198,32 \text{ кг/ч}$$

$$\text{Остаток дистилляции} \quad F_{\text{а.д.м}} = W_{\text{а.д.м}} = 7220,72 \text{ кг/ч}$$

2. Массовые доли компонентов кубового остатка

$$\text{Дизельная фракция} \quad x_W = 26,21 / 13104,25 = 0,002$$

$$\text{Легкий мазут} \quad x_W = 4658,99 / 13104,25 = 0,356$$

$$\text{Тяжелый мазут} \quad x_W = 1198,32 / 13104,25 = 0,091$$

$$\text{Остаток дистилляции} \quad x_W = 7220,72 / 13104,25 = 0,551$$

3. Среднее значение относительной плотности кубового остатка

$$(d_{15}^{15})_w = \frac{1}{\frac{0,002}{0,914} + \frac{0,356}{1,004} + \frac{0,091}{1,089} + \frac{0,551}{1,032}} = 1,027$$

4. Средняя молярная масса кубового остатка

$$M_w = \frac{1}{\frac{0,002}{128,05} + \frac{0,356}{196,29} + \frac{0,091}{217,51} + \frac{0,551}{242,48}} = 221,25 \text{ кг/кмоль}$$

5. Молярные доли компонентов кубового остатка

$$\text{Дизельная фракция} \quad x'_w = 0,002 / 128,05 \cdot 221,25 = 0,003$$

$$\text{Легкий мазут} \quad x'_w = 0,356 / 196,29 \cdot 221,25 = 0,401$$

$$\text{Тяжелый мазут} \quad x'_w = 0,091 / 217,51 \cdot 221,25 = 0,093$$

$$\text{Остаток дистилляции} \quad x'_w = 0,551 / 242,48 \cdot 221,625 = 0,503$$

6. Молярный расход кубового остатка

$$W' = W / M_w = 13104,25 / 221,25 = 59,23 \text{ кмоль/ч}$$

7. Молярный расход компонентов кубового остатка

$$\text{Дизельная фракция} \quad W'_i = 59,23 \cdot 0,003 = 0,20 \text{ кмоль/ч}$$

$$\text{Легкий мазут} \quad W'_i = 59,23 \cdot 0,401 = 23,74 \text{ кмоль/ч}$$

$$\text{Тяжелый мазут} \quad W'_i = 59,23 \cdot 0,093 = 5,51 \text{ кмоль/ч}$$

$$\text{Остаток дистилляции} \quad W'_i = 59,23 \cdot 0,503 = 29,78 \text{ кмоль/ч}$$

Все полученные расчеты сведем в таблицы 6

Таблица 6

Состав и расходы компонентов кубового остатка

$$(d_{15}^{15})_w = 1,027 \quad M_w = 221,25 \text{ кг/кмоль}$$

Фракции	Массовая доля, x_w	Молярная доля, x'_w	Массовый расход, W , кг/ч	Молярный расход, W' , кмоль/ч
Дизельная фракция	0,002	0,003	26,21	0,20
Легкий мазут	0,356	0,401	4658,99	23,74
Тяжелый мазут	0,091	0,093	1198,32	5,51
Остаток дистилляции	0,551	0,503	7220,72	29,78
Всего	1,000	1,000	13104,25	59,23

Сводный материальный баланс колонны дистилляции

Приход	кг/ч	Расход	кг/ч
Смола, в т.ч. - бензиновая фракция - дизельная фракция - легкий мазут - тяжелый мазут - остаток дистилляции	644,07 1752,58 4754,80 1198,32 7220,72	Дистиллят, в т.ч. - бензиновая фракция - дизельная фракция - легкий мазут Кубовый остаток - дизельная фракция - легкий мазут - тяжелый мазут - остаток дистилляции	644,07 1726,37 95,81 26,21 4658,99 1198,32 7220,72
Итого:	15570,49	Итого:	15570,49

3. Тепловой баланс колонны

1. Количество тепла жидких углеводородов при термической переработке горючих сланцев

$$q_t^{\text{ж}} = \frac{1}{\sqrt{d_{15}^{15}}} \cdot (0,403 \cdot t + 0,000405 \cdot t^2), [4]$$

где $q_t^{\text{ж}}$ - количество тепла, ккал/кг;

t - температура, при которой определяется теплоемкость, °C;

d_{15}^{15} - относительная плотность нефтепродуктов

Для расчета примем следующую температуру кипения жидких углеводородов при разложении сланца:

Фракции	Температура начала кипения, °C	Температура конца кипения, °C	Средняя температура кипения, °C
Бензиновая фракция	45	157	101
Дизельная фракция	155	223	189
Легкий мазут	243	355	249
Тяжелый мазут	296	360	328

Остаток дистилляции	350	370	360
------------------------	-----	-----	-----

Бензиновая фракция

$$q_{85}^e = \frac{1}{\sqrt{0,834}} \cdot (0,403 \cdot 101 + 0,000405 \cdot 101^2) = 49,08 \text{ ккал/кг}$$

$$49,08 \text{ ккал/кг} \cdot 4,184 \text{ Дж} / 10^3 = 0,205 \text{ МДж/кг}$$

Дизельная фракция

$$q_{127,5}^e = \frac{1}{\sqrt{0,914}} \cdot (0,403 \cdot 189 + 0,000405 \cdot 189^2) = 94,78 \text{ ккал/кг}$$

$$94,78 \text{ ккал/кг} \cdot 4,184 \text{ Дж} / 10^3 = 0,397 \text{ МДж/кг}$$

Легкий мазут

$$q_{220}^e = \frac{1}{\sqrt{1,004}} \cdot (0,403 \cdot 249 + 0,000405 \cdot 249^2) = 125,18 \text{ ккал/кг}$$

$$125,18 \text{ ккал/кг} \cdot 4,184 \text{ Дж} / 10^3 = 0,524 \text{ МДж/кг}$$

Тяжелый мазут

$$q_{270}^e = \frac{1}{\sqrt{1,089}} \cdot (0,403 \cdot 328 + 0,000405 \cdot 328^2) = 168,38 \text{ ккал/кг}$$

$$168,38 \text{ ккал/кг} \cdot 4,184 \text{ Дж} / 10^3 = 0,705 \text{ МДж/кг}$$

Остаток дистилляции

$$q_{275}^e = \frac{1}{\sqrt{1,032}} \cdot (0,403 \cdot 360 + 0,000405 \cdot 360^2) = 194,44 \text{ ккал/кг}$$

$$194,44 \text{ ккал/кг} \cdot 4,184 \text{ Дж} / 10^3 = 0,814 \text{ МДж/кг}$$

2. Тепловой расход компонентов в сырьевом потоке

$$Q = F \cdot q_i^e$$

Бензиновая фракция $Q = 644,07 \cdot 0,205 = 132,26 \text{ МДж/ч}$

Дизельная фракция $Q = 1752,58 \cdot 0,397 = 694,98 \text{ МДж/ч}$

Легкий мазут $Q = 4754,80 \cdot 0,524 = 2490,28 \text{ МДж/ч}$

Тяжелый мазут $Q = 1198,32 \cdot 0,705 = 844,24 \text{ МДж/ч}$

Остаток дистилляции $Q = 7220,72 \cdot 0,814 = 5874,18 \text{ МДж/ч}$

3. Тепловой расход компонентов в дистилляте

Бензиновая фракция $Q = 644,07 \cdot 0,205 = 132,26$ МДж /ч

Дизельная фракция $Q = 1726,37 \cdot 0,397 = 684,58$ МДж /ч

Легкий мазут $Q = 95,81 \cdot 0,524 = 50,18$ МДж /ч

4. Тепловой расход компонентов в кубовом остатке

Дизельная фракция $Q = 26,21 \cdot 0,397 = 10,39$ МДж /ч

Легкий мазут $Q = 4658,99 \cdot 0,524 = 2440,10$ МДж /ч

Тяжелый мазут $Q = 1198,32 \cdot 0,705 = 844,24$ МДж /ч

Остаток дистилляции $Q = 7220,72 \cdot 0,814 = 5874,18$ МДж /ч

Все полученные расчеты сведем в таблицу 8

Таблица 8

Сводный тепловой баланс колонны конденсации

Приход	МДж/ч	Расход	МДж/ч
Смола в т.ч.		Дистиллят в т.ч.	
✓ бензиновая фракция	132,26	✓ бензиновая фракция	132,26
✓ дизельная фракция	694,98	✓ дизельная фракция	684,58
✓ легкий мазут	2490,28	✓ легкий мазут	50,18
✓ тяжелый мазут	844,24		
✓ остаток дистилляции	5874,18	Кубовый остаток	
		✓ дизельная фракция	10,39
		✓ легкий мазут	2440,10
		✓ тяжелый мазут	844,24
		✓ остаток дистилляции	5874,18
Итого:	10035,94	Итого:	10035,94

Источники

1. Роокс И.Х. «Технология переработки горючих сланцев»), изд. «Химия», Ленинград, 1987 г.

2. «Предварительный проект строительства УТТ – 3000 в городе Кохтла –Ярве». Нефтехимическая часть, Санкт – Петербург, 2005 г.
3. А.А.Гайле, Б.В. Пекаревский « Расчет ректификационных колонн», Санкт – Петербург, 2007 г.
4. И.Л.Гуревич «Технология переработки нефти и газа», часть 1, изд. «Химия», Москва, 1972 г.
5. А. А. Новиков, А. А. Хамухин « Введение в информатику процессов первичной переработки нефти», изд. ТПУ, 2008 г.
6. М. А. Танатаров, А. А. Кондратьев, М. Н. Ахметшина, М. И. Медведева «Проектирование установок первичной переработки нефти», изд. «Химия», Москва, 1975 г.