

**Казанский Федеральный Университет**  
**Кафедра высоковязких нефтей и природных битумов**  
**Kazan Federal University,**  
**Department of high-viscosity oils and natural bitumen**  
**Анализ установки атмосферно вакуумной трубчатки на примере**  
**Оренбургской нефти**  
**Analysis of the Atmospheric Vacuum Tubing Installation on the Example of**  
**Orenburg Oil**

Алфаяд Ассим Гани Хашим, Alfayyadh Assim Gheni Hashim <sup>a</sup>

Кемалов Руслан Алимович, Kemalov Ruslan Alimovich <sup>b</sup>

Валиев Динар Зиннурович, Valiev Dinar Zinnurovich <sup>c</sup>

Кемалов Алим Фейзрахманович, Kemalov Alim Feizrahmanovich <sup>d</sup>

магистрант группы 03-018 <sup>a</sup>

кандидат технических наук, доцент кафедры высоковязких нефтей и природных битумов,

Член Экспертного совета РГО, и.о. руководителя группы «Водородная и альтернативная  
энергетика» <sup>b</sup>

старший преподаватель <sup>c</sup>

доктор технических наук, профессор кафедры высоковязких нефтей и природных битумов<sup>d</sup>

Казань, Россия

E-mail: [assemalfayad@gmail.com](mailto:assemalfayad@gmail.com) <sup>a</sup>, [kemalov@mail.ru](mailto:kemalov@mail.ru) <sup>b</sup>, [valievdz@bk.ru](mailto:valievdz@bk.ru) <sup>c</sup>

**Аннотация:** Будет проведен обзор способов совершенствования установки АВТ в связи с тенденцией ухудшения качества сырья. Приняты меры по уменьшению экономических затрат при производстве. Будут предложены способы по нестандартному воздействию на нефтяную эмульсию, поступающую на установку АВТ. Также будет проведен расчет материальный баланс установки АВТ.

**Ключевые слова:** бензин, керосин, нефть, сера, ректификационная колонна, стриппинг-секция.

**Abstract:** a review will be made of ways to improve the AVT installation in

connection with the trend of deterioration in the quality of raw materials. Measures have been taken to reduce economic costs in production. Methods will be proposed for non-standard effects on the oil emulsion entering the AVT unit. The material balance of the AVT installation was also calculated.

**Key words:** gasoline, kerosene, oil, sulfur, distillation column, stripping section.

### **Введение (Introduction)**

Выпуск разнообразной продукции в нефтеперерабатывающей отрасли зависит как от качества нефти, так и от потребности в ассортименте нефтепродуктов в каждом конкретном регионе. Однако, качество получаемых продуктов зависит от технологических процессов переработки, и контроля проведения каждого процесса.

На данный этап развития нефтеперерабатывающей промышленности имеются множество инновационных решений и модернизаций технологии и оборудования, но ни один НПЗ не может обойтись без установки АВТ – головного процесса нефтепереработки, от которой зависит работа всех вторичных процессов [1].

В настоящее время 60% добываемой нефти характеризуется высоким содержанием серы. Из такого сырья получается меньше дорогостоящих светлых нефтепродуктов (бензина, солярки, авиационного топлива) и больше мазута и битума, цена на которые невысока. Сера наносит ущерб окружающей среде, поэтому нормы на её содержание в топливе с каждым годом сокращаются. В связи с этим необходимо проектировать установки для переработки серосодержащих нефтей, а особенно для – высокосернистых нефтей [2].

Как и на любом другом НПЗ, головным процессом переработки нефти на нефтехимическом комплексе «ТАНЕКО» является атмосферно- вакуумная перегонка (АВТ) (рис.1), скомбинированная с установкой ЭЛОУ. ЭЛОУ-АВТ-7 предназначена для переработки сернистых и высокосернистых высоковязких нефтей Татарстана и других регионов, суммарная мощность которой составляет 7 млн. тонн в год. Высокая единичная мощность установки имеет ряд

неоспоримых преимуществ: высокая производительность труда и низкие капитальные и эксплуатационные затраты по сравнению с установками малой производительности [2].

Секция АВТ, скомбинированная с установкой ЭЛОУ, на предприятии ОАО «ТАНЕКО» реализована по схеме двухкратного испарения с применением частичного отбензинивания в колонне К-1. Однако особенностью данной схемы по сравнению с другими является то, что у колонны отбензинивания отсутствует поддержание температуры низа с помощью горячей струи, так как переработка высокосернистой нефти предполагает высокую коррозионную активность сырья, которая многократно увеличивается при сильном нагреве (технологическая схема с горячей струей предполагает нагрев отбензиненной нефти до 350 – 360 °С). Данное решение существенно снижает затраты на энергию – отсутствует печь нагрева после первой колонны, но в то же время необходим более интенсивный и равномерный нагрев нефти до входа в колонну в теплообменниках.

В виду современности установки ЭЛОУ-АВТ- 7 предприятия ОАО «ТАНЭКО», довольно сложно выявить какие-либо недостатки, т.к. на данной установке были реализованы весь комплекс современных инновационных технологических решений, внедрены совершенные аппараты и оборудование. Тем менее существуют несколько перспективных решений по модернизации АВТ-7.

Интенсификация прямой перегонки нефти направлена, прежде всего, на повышение отбора дистиллятных фракций, а также на обеспечение четкости ректификации, то есть уменьшение наложения температур конца кипения предыдущей и начала кипения последующей фракции [1].

В первом варианте рассматривается разделение нефти в двух колоннах, ввод нагретого потока первой колонны в зону питания второй колонны, подачу водяного пара в низ второй колонны. С целью увеличения отбора «светлых» нефтепродуктов из середины первой колонны выводят 5-15% на нефть паровой фазы и вводят ее в середину отгонной секции второй колонны (паровую фазу передвводом во вторую колонну можно подогреть до 400°С) [1].

Второй вариант интенсификации предполагает подачу верхнего бокового погона вакуумной колонны на орошение этой же колонны с целью увеличения выхода «светлых» и повышения их качества, а оставшуюся часть направляют в колонну К-2, в ее сечение между выводами дистиллятов: в нижнюю и вышерасположенную отпарные секции. Следующий боковой погон вакуумной колонны подают в верхнюю часть нижней отпарной секции К-2. Пары верха нижней отпарной секции направляют в вакуумную колонну между отбираемыми боковыми погонками [2].

Одними из наиболее современных способов увеличения выхода дистиллятов являются способы воздействия на коллоидно-дисперсное состояние нефти, в частности кавитационное воздействие. Данный метод заключается в физическом воздействии ультразвуковых волн на нефтяную эмульсию. Установка представляет собой участок трубопровода с фланцами, с наружной стороны которого установлены ультразвуковые излучатели. Такая установка не вносит дополнительного сопротивления в систему, надежно функционирует при любой скорости течения жидкости и степени ее агрессивности, проста в обслуживании и обладает возможностью тонкой электронной регулировки интенсивности кавитационной обработки. Результаты работы установки предполагают снижение на 10% температуры начала кипения нефтяных фракций и увеличения выхода фракций при одинаковой температуре отгона.

Воздействие постоянного магнитного поля перед началом вакуумной перегонки позволяет увеличить выход дистиллятов на 3% мас. Линии напряженности постоянного магнитного поля при этом направлены перпендикулярно вектору потока жидкости.

Необходимо уделять внимание на повышение эффективности нагрева сырой нефти перед блоком АВТ, так как энергозатраты на нагрев оказывают существенное влияние на экономику процесса. Также, при нагреве сырой нефти происходит существенное загрязнение теплообменников, что является одной из главных экономических проблем производства.

Наиболее современными теплообменниками, не допускающими

загрязнения и обеспечивающими необходимую интенсивность теплообмена, являются спиральные теплообменники. В данных теплообменниках осуществляется 100%-ный противоток. Движение потоков происходит по криволинейным каналам, близким по форме к концентрическим окружностям. Направление векторов скоростей движения потоков постоянно претерпевают изменения. Шпильки в каналах и их кривизна создают сильную турбулентность, что интенсифицирует теплоотдачу, уменьшает загрязнение.

В виду недостатков использования водяного пара как испаряющего агента, необходимо ограничивать его использование. Существует схема получения керосина через стриппинг-секцию без применения водяного пара. Принцип работы заключается в использовании тепла перетекающей флегмы для однократного ее испарения и создания перепада давления между основной колонной и стриппингом за счет вывода отпаренных бензиновых и водяных паров в шлемовую линию основной ректификационной колонны.

Среди наиболее прогрессивных и эффективных контактных устройств стоит выделить комбинированные тарелки. Так, S-образная тарелка с клапаном работает как при низких скоростях (при этом работают S-образные элементы), так и при высоких скоростях барботирования газа, когда включается в работу клапан. Такая двухстадийная работа тарелки позволяет повысить производительность ректификационной колонны на 25-30% и сохранить высокую эффективность разделения в широком диапазоне рабочих нагрузок.

Из модернизированных клапанных тарелок необходимо отметить эжекционные тарелки (рис.1), которые представляют собой полотно с отверстиями и переливными устройствами. В отверстия полотна тарелок устанавливаются клапаны, представляющие собой вогнутый диск с просечными отверстиями для эжекции жидкости. Клапан имеет четыре ограничительные ножки и двенадцать эжекционных каналов [1].

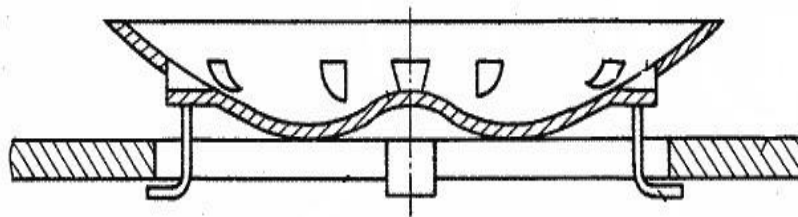


Рисунок 1. Эжекционная тарелка

При решении вопросов оптимизации и модернизации установок АВТ необходимо учитывать, что лишь комплексное решение всех проблем даст улучшение качества выпускаемой продукции, снизит экономические затраты и позволит продвигать дальнейшие технологические решения [1].

### **Материалы и методы исследования (Materials and Methods)**

Работа выполнена в соответствии со стандартными методами теоретических, а также со стандартными и разработанными методиками проведения расчетов процесса производства водорода. Обработка данных проводилась с помощью методов математической статистики использованием компьютерных программ MathCAD и Excel.

Установки первичной перегонки нефти играют на нефтеперерабатывающих заводах большую роль. От показателей их работы зависит эффективность последующих процессов — очистки, газоразделения, каталитического крекинга, коксования и др. Поэтому работники нефтеперерабатывающей промышленности, сотрудники научных, научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций должны стремиться к усовершенствованию технологии отдельных узлов установки, повышению ее производительности, улучшению качества получаемых товарных продуктов. Весьма существенным является также улучшение технико-экономических показателей установок, что достигается повышением производительности труда, снижением себестоимости товарной продукции, сокращением энергетических затрат, удельного расхода металла, капиталовложений и эксплуатационных расходов. До 1950 г. максимальная

мощность наиболее распространенных установок первичной переработки нефти АТ и АВТ составляла 500—600 тыс. т/год [4]. Такая мощность не могла удовлетворить растущую потребность промышленности, обусловленную бурным ростом нефтедобычи. В 1950—1960 гг. были созданы более мощные промышленные установки — производительностью 1, 1,5, 2 и 3 млн. т/год нефти, а в 1967 г. ввели в действие установки АТ и АВТ мощностью 6 млн. т/год нефти. В настоящее время мощность установки ЭЛОУ-АТ на одном из нефтеперерабатывающих заводов увеличена с 6 до 7,3 млн. т/год нефти [5].

Большие экономические преимущества достигаются при строительстве комбинированных установок первичной перегонки нефти, включающих ряд технологически и энергетически связанных процессов ее подготовки и переработки. Такими процессами являются электрообезвоживание, электрообессоливание, атмосферная перегонка нефти, вакуумная перегонка мазута, стабилизация легких бензинов, абсорбция газов, выщелачивание компонентов светлых продуктов, вторичная перегонка бензиновых фракций и др.

Иногда процессы первичной перегонки комбинируют с вторичными процессами — каталитического крекинга, коксования и др. При комбинировании процессов на нефтеперерабатывающих заводах достигается компактное размещение объектов основного производства, уменьшается количество технологических и энергетических коммуникаций, сокращается объем энергетического, общезаводского хозяйства, уменьшается число обслуживающего персонала. На комбинированных установках удельные расходы энергии, металла, капитальных вложений по сравнению с предприятиями с индивидуальными технологическими установками намного меньше.

Наипростейшей схемой первичной перегонки нефти является атмосферная трубчатая установка (АТ). Из сырых нестабильных нефтей извлекают компоненты светлых нефтепродуктов — бензина, керосина, дизельных топлив. Остатком атмосферной перегонки является мазут.

На атмосферных нефтеперегонных установках нефть обычно разделяют

на четыре дистиллятных фракции и остаток – мазут. Побочным продуктом является смесь углеводородных газов, часто содержащая сероводород, который образуется из нестойких соединений серы при нагреве нефти [7].

Наиболее распространенной в нашей стране является установка АТ по схеме двукратного испарения и двукратной ректификации (рис. 2).

Обезвоженная и обессоленная на ЭЛОУ нефть дополнительно подогревается в теплообменниках и поступает на разделение в колонну частичного отбензинивания (К-1). Уходящие с верха этой колонны углеводородный газ и легкий бензин конденсируются и охлаждаются в аппаратах воздушного и водяного охлаждения и поступают в емкость орошения. Часть конденсата возвращается на верх колонны К-1 в качестве флегмы. Отбензиненная нефть с низа колонны К-1 подается в трубчатую печь, где нагревается до требуемой температуры и поступает в атмосферную колонну (К-2). С верха К-2 отбирается тяжелый бензин, а сбоку, через отпарные колонны выводятся топливные фракции: керосиновая, легкая и тяжелая дизельные.

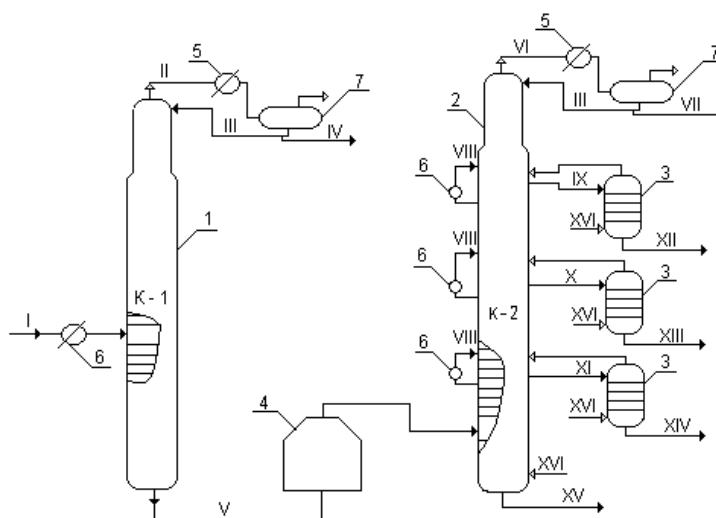


Рисунок 2. Принципиальная схема атмосферного блока: 1 – отбензинивающая колонна; 2 – атмосферная колонна; 3 – отпарная клон; 4 – трубчатая печь; 5 – конденсатор-холодильник; 6 – теплообменник; 7 – рефлюксная емкость; I – нефть с ЭЛОУ; II – пары бензина; III – флегма; IV – легкий бензин; V – отбензиненная нефть; VI – пары тяжелого бензина; VII – тяжелый бензин; VIII – циркуляционное орошение; IX, X, XI – боковые погоны; XII –



керосиновая фракция; XIII – легкая дизельная фракция; XIV – тяжелая дизельная фракция; XV – мазут; XVI – водяной пар; XVII – газы.

Атмосферная колонна, кроме острого орошения (флегмы), имеет три циркуляционных орошения (или два), которые отводят тепло ниже тарелок отбора боковых погоннов. В нижние части атмосферной и отпарных колонн (под нижние тарелки) подается перегретый водяной пар для отпарки легко кипящих фракций. С низа К-2 выводится мазут, который направляется на блок вакуумной перегонки [10].

## Результаты (Results)

### *Материальный баланс отбензинивающей колонны К-1*

В отбензинивающую колонну поступает обессоленная и обезвоженная нефть в количестве  $G_n = \frac{5 \cdot 10^9}{340 \cdot 24} = 612745,098 \text{ кг/ч}$ . Сверху К-1 выходит фракция: газ+100% н.к.-70°C + 40% 70-140°C (60% остаётся в бензине, уходящим с нефтью). Рассчитаем материальный баланс К-1. Т.к. доля отгона равна  $e = 3.29 \cdot 10^{-6}$ , то в материальном балансе топливный газ отдельно учитывать не надо. Массовая доля фракции газ+н.к. – 140°C и составляет 0,08892 или 8,892%. Тогда выход отбензиненной нефти составит:  $100 - 8,892 = 91,108\%$ . Полученные результаты сводим в таблицу 1.

Таблица 1

### Материальный баланс К-1

Продукты	%масс. на сырьё	кг/ч	%масс. на нефть
Взято: нефть обессоленная и обезвоженная	100,000	612745,098	100,000
Получено: газ+н.к. – 140°C	8,89	54473,039	8,89
нефть отбензиненная	91,11	558272,059	91,11
Итого:	100,000	612745,098	100,000

### *Материальный баланс основной атмосферной колонны К-2*

Сверху выходит фракция 85-180°C, которая состоит из 85-140°C (60% от потенциала) и 140-180°C. Из-за нечеткой ректификации в мазуте остаётся 4-8% (на мазут) дизельной фракции, которые отгоняются в вакуумной колонне.

Результаты расчета сводим в таблицу 2.

Таблица 2

#### **Материальный баланс К-2**

Продукты	%масс. на сырьё	%масс. на нефть	кг/ч
Взято: нефть отбензиненная	100,000	91,11	558272,06
Получено: фр.85-180°C	15,39	14,02	85906,86
фр.180-360°C	35,9	35,99	220526,96
мазут (>360°C)	45,11	41,1	251838,24
Итого:	100,00	91,11	558272,06

### *Материальный баланс вакуумной колонны К-5*

В гудроне может оставаться до 10% (на гудрон) масляных фракций из-за нечеткости разделения. Принимаем 8%.

Полученные результаты сводим в таблицу 3.

Таблица 3

#### **Материальный баланс К-5**

Продукты	%масс. на сырьё	%масс. на нефть	кг/ч
Взято: мазут (>360°C)	100,00	41,1	251838,24
Получено: газы разложения вакуумный газойль	0,20	0,08	490,20
VD-1 (фр.360-430°C)	5	2,06	12622,55
VD-2 (фр.430-500°C)	22,19	9,12	55882,35
	20,83	8,56	52450,98

VD-3 (фр.500-560°C)	18,47	7,59	46507,35
Гудрон (>560°C)	33,31	13,66	83700,98
Итого:	100,000	41,1	251838,24

#### *Материальный баланс стабилизационной колонны К-4*

В колонну К-4 поступает объединённая фракция газ+н.к.-140°C из ёмкости орошения Е-1 и бензин К-2.

Результаты сводим в таблицу 4.

Таблица 4

#### **Материальный баланс К-4**

Продукты	%масс. на сырьё	%масс. на нефть	кг/ч
Взято:			
газ+н.к.-140°C	38,9	8,9	54534,31
фр.85-180°C	61,1	14,0	85784,31
Итого:	100,0	22,9	140318,62
Получено:			
газы(на ГФУ)+рефлюкс	4,4	1,0	6372,55
н.к.-180°C	95,6	21,9	134191,07
Итого:	100,0	22,9	140318,62

#### *Материальный баланс К-6*

В К-6 происходит разделение стабильного бензина на фракции н.к.-70°C и 70-180°C.

Результаты сводим в таблицу 5.

Таблица 5

#### **Материальный баланс К-6**

Продукты	%масс. на сырьё	%масс. на нефть	кг/ч
Взято: н.к.-180°C	100,0	21,9	134191,18

Получено: н.к.-	10,5	2,3	14093,14
70°С	89,5	19,6	120098,04
70-180°С	100,000	21,9	134191,18
Итого:			

### *Материальный баланс установки АВТ*

На основании материальных балансов отдельных колонн составляем материальный баланс установки в целом, представленный в таблице 6. Фракции дизельного топлива после блока теплообмена объединяются.

Таблица 6

### **Материальный баланс установки АВТ-2**

Продукты	%масс. на нефть	кг/ч
Взято: нефть	100,000	612745,1
Получено:		
газ (на ГФУ)+рефлюкс	1,04	6372,55
газы разложения	0,08	490,20
н.к.-70°С	2,30	14093,14
70-180°С	19,60	120098,04
фр.180-360°С	35,99	220526,96
вакуумный газойль	2,06	12622,55
Фр.360-430°С	9,12	55882,35
Фр.430-500°С	8,56	52450,98
Фр.500-560°С	7,59	46507,35
гудрон (>560°С)	13,66	83700,98
Итого:	100,00	612745,1

### **Дискуссия (Discussion)**

Был получен результат расчета материального баланса установки АВТ, проведен обзор способов совершенствования установки АВТ в связи с тенденцией ухудшения качества сырья. Приняты меры по уменьшению

экономических затрат при производстве. Были предложены способы по нестандартному воздействию на нефтяную эмульсию, поступающую на установку АВТ.

При решении вопросов оптимизации и модернизации установок АВТ необходимо учитывать, что лишь комплексное решение всех проблем даст улучшение качества выпускаемой продукции, снизит экономические затраты и позволит продвигать дальнейшие технологические решения.

### **Заключение (Conclusions)**

В данной работе была рассчитана и спроектирована установка АВТ для переработки Оренбургской нефти.

Для заданной нефти произведен расчет материальный баланс АВТ, выбор и обоснование ассортимента получаемых продуктов, выбор и обоснование технологической схемы установки.

В общем, выполнение работы способствовало дальнейшему углублению моих знаний в области первичной перегонки нефти. Кроме того, при выполнении курсового проекта, закрепились знания о схематическом начертании типовых аппаратов и машин, а также приобретены дополнительные навыки работы в прикладных программах Microsoft.

### **Список литературы (References):**

1. О. С. Михайлов, Д. А. Халикова. Совершенствование установки АВТ // Вестник казанского технологического университета. 2013. № 15(16). С. 308-310.
2. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа / С.А.Ахметов. – Уфа: Гилем, 2002. – 672 с.
3. Официальный сайт компании ОАО «ТАНЕКО», [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.nnpz.ru>, свободный, проверено 20.01.2022.
4. Гречухина, А.А., Елпидинский А.А., Пантелеева А.Е. Совершенствование работы установок перегонки нефти / А.А. Гречухина. – Казань: КГТУ, 2008. – 120 с.
5. База знаний Allbest. [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://allbest.ru/>, свободный, проверено 20.01.2022.
6. Бацелев А.В., Лясевич П.Н. Этапы реконструкции, осуществляемой в ОАО "Мозырский НПЗ" // Нефтепереработка и нефтехимия. - №11 1999 – с 6-10.
7. Хорошко С.И. Нефти северных регионов: Справочник. Новополюцк, 2004. 125с

8. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справ. изд./ К.М.Бадыштова, Я.А.Берштадт, Ш.К.Богданов и др.; Под ред. В.М.Школьникова. – М.: Химия, 1989. – 432с.
9. Мановян А.К. Технология первичной переработки нефти и природного газа: Учебное пособие для вузов.- М.: Химия, 2001.- 568с.
10. Бацелев А.В., Елизаров А.С.и др. Модернизация вакуумной колонны К-1 установки получения битумов // Нефтепереработка и нефтехимия. - №11 1999 – с.12-15.
11. Дунюшкина Е.И. Рекомендации по оптимизации технологии обессоливания нефти. // Нефтепереработка и нефтехимия. - №6, 2002. - с.23.