

Реконструкция системы создания вакуума ректификационной колонны К-3 ТПП «Когалымнефтегаз» (ОАО Лукойл – Западная Сибирь)

© Осипов¹⁺ Эдуард Владиславович, Шоипов² Ханпаша Султанович
и Теляков^{1*} Эдуард Шархиевич

¹ Кафедра «Машины и аппараты химических производств». Казанский национальный исследовательский технологический университет. Ул. К. Маркса, 68. г. Казань, 420015.

Республика Татарстан. Россия. Тел.: (843) 231-42-41. E-mail: mahp_kstu@mail.ru

² ООО «Лукойл-НижнегородНИИнефтепроект». Ул. Максима Горького, 147а. г. Нижний Новгород, 603006. Нижегородская область. Россия. Тел.: (831) 421-05-11. E-mail: nnp@nnp.lukoil.com

*Ведущий направление; ⁺Поддерживающий переписку

Ключевые слова: вакуумсоздающие системы, вакуумная ректификация мазута, жидкостно-кольцевой вакуумный насос.

Аннотация

В статье описывается технологическое обследование вакуумной колонны разделения мазута К-3 (установка ЭЛОУ-АВТ ТПП «Когалымнефтегаз»), которое было проведено в августе 2013 года. Данные обследования были интегрированы в расчётные модели. По результатам расчёта были разработаны рекомендации по реконструкции вакуумсоздающей системы колонны и произведён подбор жидкостно-кольцевого вакуумного насоса.

Введение

Установка ЭЛОУ-АВТ-битумная является головной частью нефтеперерабатывающего завода при месторождении «Дружное» г. Когалым. В настоящее время на НПЗ ТПП «Когалымнефтегаз» в составе установки ЭЛОУ-АВТ эксплуатируется вакуумная колонна К-3, предназначенная для разделения мазута под вакуумом с получением дизельной вакуумной фракции и тяжелого остатка.

Технологическим регламентом предусмотрено два варианта эксплуатации установки:

- Использование остатка в качестве сырья для производства дорожного битума;
- Получение гудрона.

Соответственно, при изменении режима меняются и требования к качеству нижнего продукта. Так, при первом варианте работы наибольшее значение для обеспечения качества битума приобретают вязкость и плотность остатка, поскольку именно эти характеристики будут определять качество получаемого битума. Поэтому глубокое извлечение дизельной фракции в К-3 на этом режиме становится нецелесообразным (повышается вязкость остатка и ухудшается качество битума). На втором режиме работы отбор вакуумной дизельной фракции увеличивается. На предприятии переход от одного режима к другому осуществляется за счет изменения давления верха ректификационной колонны.

Загрузка колонны по мазуту составляет 9 м³/ч, при выпуске битума одним реактором – 6.5 м³/ч. По технологическим соображениям в куб колонны вводится перегретый водяной пар в количестве от 100 до 250 кг/ч (по регламенту) с температурой 220 °С.

Вакуум вверху К-3 создаёт вакуумсоздающая система (ВСС), которая представляет собой трехступенчатый парозежекторный насос (ПЭН) с двумя промежуточными вертикальными конденсаторами. Проектная производительность насоса – 100 кг/ч, расчетное давление всасывания – 40 мм Нг.

В качестве рабочего тела в ПЭНе предусмотрено применение насыщенного водяного пара давлением 0.6 МПа (6 кг/см²). На одной площадке перед ВСС установлен вакуумный

конденсатор КВ-1 марки 530 ХПГ – 4.0-М1-25-3-2 ТУ 3612-023-00220302-01, который предназначен для охлаждения и конденсации паров с верха вакуумной колонны.

Реконструкция существующей ВСС связана с необходимостью снижения эксплуатационных затрат и улучшения экологических показателей процесса. Наиболее целесообразно существующий ПЭН заменить на ВСС гидроциркуляционного типа на базе жидкостно-кольцевого вакуумного насоса (ЖКВН).

Это мероприятие позволит отказаться от применения водяного пара высоких параметров, подаваемого на ПЭН и выключить котельную, которая в настоящее время используется исключительно для подачи пара в эжектора существующего ПЭНа. Кроме того, ВСС на базе ЖКВН характеризуются более высокими технико-экономическими и экологическими показателями в сравнении с ПЭНами и ВСС других типов [1, 2].

Основным показателем, определяющим тип и производительность ВСС, является количество среды, поступающей на всасывание в ВСС. Измерить этот параметр довольно проблематично, однако определить его можно методами математического моделирования с использованием современных универсальных моделирующих программ (УМП) (ChemCad, HYSYS и так далее).

На нагрузку ВСС оказывают влияние следующие факторы:

- Температура нагрева мазута в печи (определяет степень разложения тяжелых углеводородов).
- Температура конденсации дистиллятных паров в конденсаторе (определяет глубину конденсации).
- Гидравлическое сопротивление всех аппаратов и коммуникационных трубопроводов.

Все эти данные можно получить только путем снятия требуемых параметров непосредственно на исследуемой установке при технологическом обследовании. Поэтому для определения состава, параметров и расхода среды, поступающего на откачку в ВСС, было проведено технологическое обследование колонны К-3, которое было проведено с 27.08.2013 по 29.08.2013.

Экспериментальная часть

План обследования состоял из следующих стадий:

- Сбор данных по параметрам основных технологических потоков с замером профилей температур и давлений по тракту движения парогазовой смеси (ПГС).
- Обследование конденсатора КВ-1.
- Обследование существующей ВСС.

Сбор данных осуществлялся путем снятия показаний с установленных на установке приборов («на щите» и по месту), а так же замером требуемых потоков с использованием специального оборудования (пирометра и вакуумметра).

Сбор данных по параметрам основных технологических потоков. Температура процессов замерялась путем записи показаний стационарных приборов на щите оператора.

В тех местах, где стационарные приборы не установлены, показания определялись с помощью пирометра *TESTO*. Места снятия показаний были предварительно очищены от краски до металла, показания прибора заносятся в таблицу.

Основные технологические параметры, которые были измерены в ходе обследования, представлены в табл. 1.

Параметры технологического режима блока при производстве битума назначены усреднением данных режимных листов без приборного измерения. Атмосферное давление в период обследования составляло 742 мм Нг.

Обследование конденсатора КВ-1. Вакуумный конденсатор КВ-1 представляет собой горизонтальный кожухотрубчатый теплообменник с плавающей головкой длиной 3980 мм, диаметром кожуха 530 мм. Длина труб – 3000 мм, трубы – 25х2 мм, число ходов по трубному пространству – 2.

ПГС с верха вакуумной колонны подается в межтрубное пространство конденсатора, конденсат отводится через нижний штуцер.

Перепад давления между конденсатором КВ-1 и верхом колонны К-3 определялся путём замера перепадов давлений между верхом К-3 и входом в ВСС. Давления верха колонны определялось показаниями датчика, установленного на колонне, а давление на входе в ВСС определялось оптическим микроманометром *ОМ-6*, который устанавливался на входе в ПЭН. Вначале показания прибора менялись в интервале 40-100 мм Нг, а потом останавливались на отметке 100 мм Нг.

Табл. 1. Технологические параметры установки

Измеряемый параметр	Единицы измерения	Значение параметра	
		Режим работы блока	
		Выпуск гудрона	Выпуск битума
Расход мазута, поступающего в печь	м ³ /ч	6.9	6.9
Температура мазута, поступающего в печь	°С	325	325
Температура мазута, выходящего из печи	°С	360	360
Расход водяного пара, подающегося в куб К-3	кг/ч	337	337
Давление водяного пара, вводимого в куб К-3	кг/см ²	5.3	5.3
Температура водяного пара, подающегося в куб К-3	°С	166	166
Температура мазута в зоне питания	°С	349	345
Расход товарного вакуумного газойля	м ³ /ч	3	3.8
Температура вакуумного газойля, поступающего в колонну К-3	°С	70.5	70.5
Давление верха К-3	мм Hg	81.6	75
Температура верха К-3	°С	158	185
Давление ПГС, отходящей из конденсатора КВ-1	мм Hg	63	63
Температура ПГС, отходящей из конденсатора КВ-1	°С	43.8	43.8
Температура охлаждающей воды на входе в КВ-1	°С	20.8	20.8
Температура охлаждающей воды на выходе из КВ-1	°С	22	22

Результаты и их обсуждение

При обследовании конденсатора КВ-1 микроманометр *ОМ-6* устанавливался несколько раз, принципиально характер показаний не менялся. Это обстоятельство можно объяснить недостаточной герметизацией в месте подключения прибора к ВСС. Поэтому давление измерялось мерным манометром, который устанавливался в штуцер на входе в ПЭН. Во время замера был отмечен значительный перепад давления (18 мм Hg на режиме выпуска гудрона и 12 мм Hg на режиме выпуска битума).

Температура отходящих из КВ-1 газов оказалась достаточно высокой – 44 °С. Перепад между температурами отходящих газов и возвратной охлаждающей воды достигал при этом 22 °С, что представляется чрезмерно большим, особенно для конденсаторов установок ректификации мазута под вакуумом.

Проведённые в работах [1] и [3] расчёты показывают, что на существующем режиме не обеспечивается достаточно глубокая конденсация не только водяных паров, но даже паров тяжёлых углеводородов (до углеводородов C₅). В результате концентрация водяных паров в газовой фазе, поступающей на ВСС, превышает 90%.

Столь высокая концентрация водяных паров при последующей реконструкции ВСС весьма отрицательно скажется на работе ЖКВН.

Обследование существующей ВСС. При обследовании ВСС были измерены следующие параметры: давление рабочего пара на входе в паровые эжектора; температура охлаждающей воды на входе в промежуточные конденсаторы; температура охлаждающей воды на выходе из промежуточных конденсаторов.

Значения изменённых параметров представлено в табл. 2.

Согласно паспорту пароежекторного насоса [4] номинальное давление рабочего пара на входе в эжектора должно составлять не менее 6 кг/см². Это значение является ключевым при эксплуатации ПЭНа, так как именно оно и определяет величину остаточного давления, достигаемого насосом. Как видно из табл. 2, фактическое значение давления пара существенно отличается от паспортного.

Как выяснилось, на предприятии понижение давления рабочего пара за счет его дросселирования применяется для регулирования давления верха К-3 при переводе установки с одного режима работы на другой.

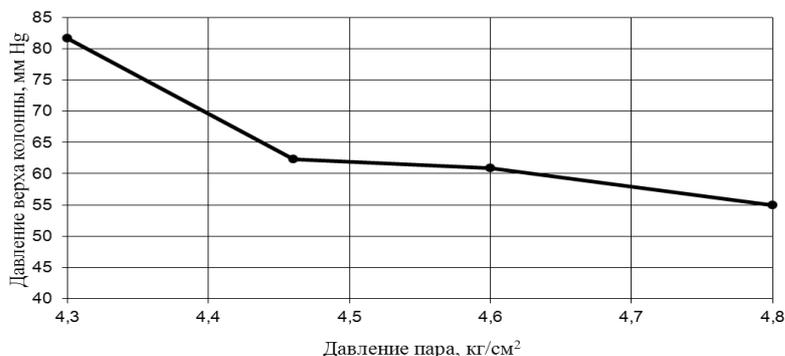
Для оценки влияния давления рабочего пара на давление верха вакуумной колонны был проведен промышленный эксперимент: фиксировалось давление верха колонны при ступенчатом изменении давления рабочего пара, подаваемого в эжекторы ПЭНа. Результаты измерений приведены в табл. 3 и на рис. 1.

Табл. 2. Параметры материальных потоков ВСС

Измеряемый параметр	Значение	Единицы измерения
Давление пара на входе в паровые эжекторы вакуумного насоса	4.35	кг/см ²
Температура охлаждающей воды на входе в промежуточные конденсаторы;	20.3	°С
Температура охлаждающей воды на выходе из промежуточных конденсаторов	22	°С

Табл. 3. Результаты промышленного эксперимента

Давление рабочего пара, кг/см ²	Давление верха колонны	
	Избыточное	мм Нг
4.3	-0.89	81.62
4.46	-0.916	62.32
4.6	-0.918	60.84
4.8	-0.926	54.9

**Рис. 1.** Экспериментальная зависимость давления верха колонны К-3 от давления рабочего пара, подаваемого в эжекторы

Также было выяснено, что давление верха в К-2 заметно зависит от условий отвода выхлопных газов от ПЭНа: при сбросе газа на факел давление в колонне снижается в сравнении с вариантом отвода газов на сжигание в печь. Это говорит о наличии заметного гидравлического сопротивления в этой линии.

Выводы по результатам обследования вакуумного блока. При режимах эксплуатации вакуумного блока на НПЗ, исходя из задачи обеспечения качества товарного битума, специально завышается давление верха колонны за счет дросселирования рабочего пара, подаваемого на эжекторы ПЭНа, что приводит к уменьшению паспортной производительности существующей ВСС и повышению давления в К-3

Вакуумный конденсатор КВ-1 обладает значительным гидравлическим сопротивлением (до 18 мм Нг), что оказывает отрицательное влияние на процесс создания и поддержания вакуума в вакуумной колонне. Это обстоятельство связано с неудачной конструкцией самого теплообменника, так как в межтрубном пространстве установлены поперечные перегородки с небольшим живым сечением.

По этой причине процесс теплообмена протекает не эффективно, что приводит к повышению температуры отходящих газов (до 44 °С) и недоиспользованию потенциала охлаждающей воды. Завышение достигаемой температуры конденсации ПГС приводит к неудовлетворительной конденсации водяных паров (не более 10% от потенциала), что создает дополнительную нагрузку на ВСС.

Небольшое живое сечение в вырезе перегородок приводит к повышенному гидравлическому сопротивлению и повышает давление в верху колонны.

Разработка предложений по реконструкции ВСС с заменой ПЭНа на ЖКВН. Замена ПЭНа на ЖКВН позволит отказаться от потребления высокопотенциального пара для нужд ВСС. При этом предполагается сохранить возможность корректировки режимов работы блока для обеспечения двух вариантов работы (выпуск битума и выпуск гудрона). Подробно технология создания вакуума в установках ректификации мазута при использовании ВСС на базе ЖКВН описана в работах [1].

Определение нагрузки на ВСС. Расчёт расхода газов разложения. В процессе разделения мазута в колонне К-3 имеет место термодеструкция тяжелых углеводородов, сопровождающаяся образованием легких газов разложения, представленных в основном углеводородами C₁-C₅.

Выход и состав газов разложения определяется типом нефти и временем пребывания мазута в зоне нагрева. Одновременно в вакуумную колонну через неизбежные неплотности (сварные швы, сальниковые уплотнения насосов) поступает и атмосферный воздух (газы натекания).

Как правило, при подборе ВСС для технологических объектов вакуумной перегонки мазута, термическое разложение учитывается при проектировании посредством введения в расчетное сырьё колонны постоянной доли образования газов разложения фиксированного состава (0.15-0.3 % масс. на мазут).

При использовании такого подхода количество образовавшихся газов разложения составит (0.3 % масс. на мазут) 19.29 кг/ч.

Однако предлагаемый подход достаточно грубо описывает процесс термической деструкции мазута. По данным, приведённым в [5], расход газов разложения и газов натекания определяются по следующим формулам:

$$G_1 = 1.525 \cdot \exp[0.0495 \cdot (T_c - 385)] \cdot F_m \quad (1)$$

$$G_2 = 2.72 \cdot \sqrt{0.151 \cdot F_m} \quad (2)$$

где: G_1 – расход газов разложения (кг/ч); G_2 – расход газов натекания (кг/ч);
 F_m – расход питания вакуумной колонны (ст. м³/ч); T_c – температура выхода из печи (°C).

На рис. 2 представлена зависимость выхода газов разложения, рассчитанная по формуле (1).

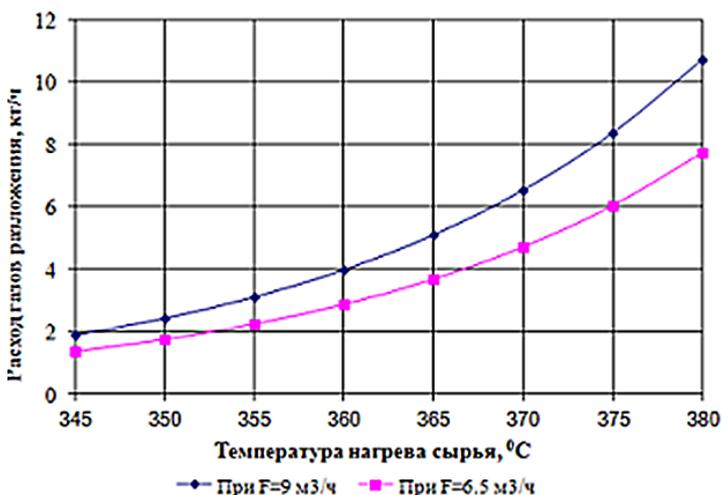


Рис. 2. Зависимость выхода газов разложения в зависимости от температуры нагрева

Определение состава газов разложения. Состав образующихся при нагреве мазута легких углеводородов зависит от типа нефти, из которой было получено сырьё вакуумного блока (мазут). В работе [6] был определен экспериментальный состав газов разложения, образующихся при разложении мазутов из различных типов нефтей.

На основе этих экспериментальных данных для мазута западносибирской нефти был рассчитан состав газов разложения при нагреве в печи до 380 °C (табл. 4).

Табл. 4. Расчётный состав газов разложения

Компонент	Масс. доля %	Компонент	Масс. доля %	Компонент	Масс. доля %
CO ₂	1.64	C ₂	13.72	C ₅ H ₁₀	11.88
H ₂	0.13	C ₃	20.70	C ₅ H ₁₂	9.19
H ₂ S	8.34	C ₄ H ₈	7.90	C ₆ +	3.76
CH ₄	10.16	C ₄ H ₁₀	12.48	Итого	100

Определение состава и расхода ПГС, отходящей с верха вакуумной колонны. Для определения расхода и состава ПГС использовались модели, подробно описанные в работах [3] и [7]. В эти модели вводились исходные данные, которые были определены во время технологического обследования К-3.

В качестве сырья К-3 был принят типовой фракционный состав мазута (данные ООО «Лукойл-Волгограднефтепереработка»), который представлен в табл. 5 (ИТК обозначает кривую истинных температур кипения, а ASTM D86 – кривую разгонки по Энглеру).

Табл. 5. Фракционный состав сырья колонны

Наименования	Параметр	
Стандартная удельная плотность при 15.5 °С, кг/м ³	932.3	
Фракционный состав сырья (фр.>360 °С)	ИТК (масс.)	ASTM D86 (об.)
Начало кипения	262.5	230.6
5%	327.7	323.8
10%	354.2	360.3
30%	444.4	431.8
50%	493.4	468
70%	554.4	521.9
90%	654.5	641.5
95%	686.8	658.8
Конец кипения	706.7	670.1

Табл. 6. Расчетный состав мазута

Компонент	Масс. доля	Расход, кг/ч	Компонент	Масс. доля	Расход, кг/ч
NBP 270	0.847%	52.1072	NBP 442	7.381%	454.0403
NBP 285	0.970%	59.6458	NBP 470	11.344%	697.7961
NBP 300	1.147%	70.5310	NBP 795	12.278%	755.2706
NBP 315	1.395%	85.8200	NBP 523	8.909%	548.0383
NBP 330	2.148%	132.1533	NBP 551	6.931%	426.3121
NBP 347	2.930%	180.2432	NBP 579	5.772%	355.0252
NBP 359	3.274%	201.4072	NBP 607	5.582%	343.3349
NBP 375	3.109%	191.2681	NBP 635	5.109%	314.2530
NBP 390	3.322%	204.3353	NBP 684	10.951%	673.6337
NBP 405	3.265%	200.8442	Итого	100.0%	6151.2000
NBP 420	3.335%	205.1404			

Табл. 7. Расчетный состав ПГС, отходящей с верха вакуумной колонны

Компонент	Масс. доля	Расход, кг/ч	Компонент	Масс. доля	Расход, кг/ч
CH ₄	0.3419%	1.93208	NBP 285	9.6634%	54.60188
C ₂	0.4617%	2.60882	NBP 300	9.5546%	53.98724
C ₃	0.6965%	3.93556	NBP 315	6.7050%	37.88593
C ₄ H ₈	0.2658%	1.50176	NBP 330	4.1068%	23.20501
C ₄ H ₁₀	0.4198%	2.37228	NBP 347	2.0056%	11.33266
C ₅ H ₁₀	0.3996%	2.25770	NBP 359	1.1393%	6.43758
C ₅ H ₁₂	0.3091%	1.74640	NBP 375	0.5039%	2.84706
C ₆ ⁺ *	0.1264%	0.71422	NBP 390	0.2706%	1.52872
H ₂ S	0.2806%	1.58572	NBP 405	0.1318%	0.74495
H ₂	0.0044%	0.02472	NBP 420	0.0649%	0.36654
CO ₂	0.0552%	0.31186	NBP 442	0.0461%	0.26027
O ₂	0.1189%	0.67192	NBP 470	0.0146%	0.08227
N ₂	0.3766%	2.12781	NBP 495	0.0026%	0.01496
H ₂ O	53.0830%	299.93902	NBP 523	0.0001%	0.00032
NBP 270	8.8511%	50.01228	Итого:	100.0%	565.0375

*Примечание: C₆⁺ – тяжелые углеводороды.

Представленные в табл. 5 данные по кривой ИТК были внесены в модель ректификационной колонны, после чего был смоделирован фракционный состав исходного сырья, который представлен в табл. 6.

Поступление в систему газов разложения и натекания было смоделировано подачей в систему после печи дополнительных потоков: газов разложения, определенных по эмпирическому соотношению (0.3% на мазут) с составом, соответствующим табл. 4, и газов натекания (уравнение (2)). Расход мазута при этом был соответственно уменьшен.

На расчетной модели вакуумной колонны был проведен расчет состава ПГС, отходящей с верха вакуумной колонны, результаты которого приведены в табл. 7.

Анализируя данные, представленные в табл. 7, можно сделать вывод о том, что в состав ПГС, помимо газов разложения и натекания (4% от общего количества ПГС), входят водяные пары (53%), вводимые в колонну, а так же дистиллятные компоненты – фр. <360 °С (43%). Как видим, неконденсируемые газы разложения составляют относительно небольшую часть ПГС.

Определение суммарной нагрузки на ВСС. Общее количество смеси, поступающей в откачку в ВСС, будет определяться температурой в межтрубном пространстве конденсатора КВ-1 (зависимость доли конденсации от температуры и давления показана на рис. 3).

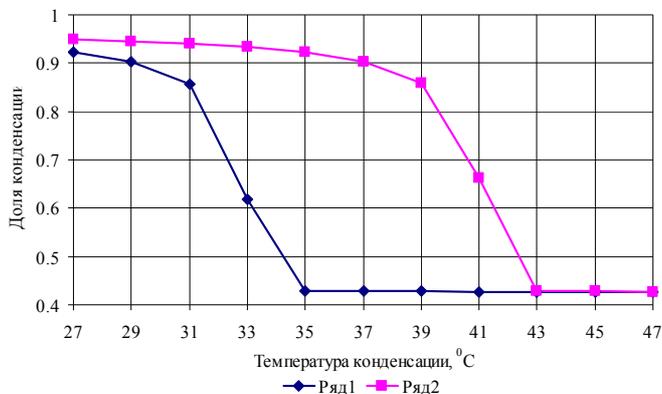


Рис. 3. Доля конденсации ПГС в конденсаторе КВ-1 в зависимости от достигаемой температуры конденсации при разных давлениях: (ряд 1 – P_{конд.} = 40 мм Нг, ряд 2 – P_{конд.} = 63 мм Нг)

Количество отходящих из КВ-1 неконденсированных газов, откачиваемых ВСС, в основном определяется количеством неконденсированных водяных паров, содержащихся в ПГС (рис. 4).

В ЖКВН эти газы будут конденсироваться непосредственно в насосе, что будет сопровождаться ростом температуры рабочей жидкости во вращающемся жидкостном кольце и снижением достигнутой производительности насоса. Для исключения неоправданного завышения производительности ЖКВН температура газов, поступающих в ЖКВН, должна быть доведена до уровня (27-30) °С, что в принципе достижимо при использовании системы обратного водоснабжения.

Таким образом, из рис. 4 следует, что ВСС должна обеспечивать откачку 1300 м³/ч смеси при температуре 30 °С и давлении всасывания 40 мм Нг. Температура рабочей жидкости, подаваемой в насос – 25.

Подбор ЖКВН. В соответствии с проведенными расчетами для реконструируемой ВСС предлагается использовать двухступенчатый ЖКВН SINI P2L 85340 Y4B. Паспортная производительность насоса при давлении 40 мм Нг составляет 1950 м³/ч. Пересчитанная на рабочие условия эксплуатации характеристика представлена на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что рабочая производительность ЖКВН при 40 мм Нг будет составлять 1450 м³/ч, что обеспечивает запас по производительности 12%.

В настоящее время в гидроциркуляционных вакуумсоздающих системах (жидкостные эжекторы, ЖКВН) в качестве рабочей жидкости рекомендуется применять дистиллятные продукты самих ректификационных колонн [3]. Применительно к вакуумным блокам установок АВТ – это фракция вакуумного дистиллята или дизельная фракция АВТ. Однако этот прием термодинамически оправдан только в случае использования «сухого» вакуума, когда в систему ректификации не вводится водяной пар.



Рис. 4. Объемный расход среды, поступающей на ВСС, в зависимости от температуры конденсации ПГС (P_{конд.} = 40 мм Нг)

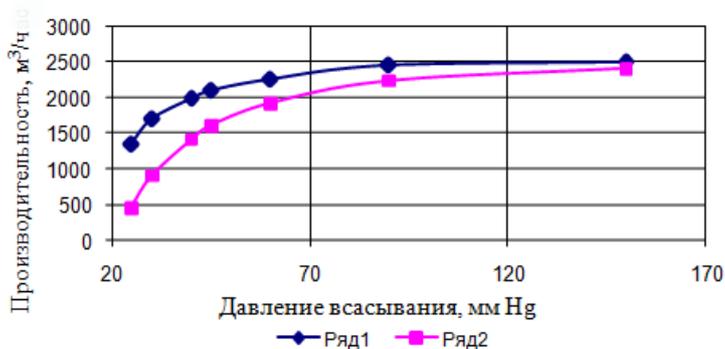


Рис. 5. Паспортная (ряд 1) и рабочая (ряд 2) характеристики насоса P2L 85340 Y4B

В противном случае водная фаза все равно поступает в вакуумсоздающую систему, поскольку в процессе сжатия откачиваемых газов происходит конденсация водяных паров при повышении давления в самих откачных устройствах. Это приведет к образованию эмульсии вода – тяжелые углеводороды (фракция вакуумного дистиллята).

Эта эмульсия характеризуется свойством инверсии: при использовании в качестве рабочей жидкости воды будет образовываться эмульсия «углеводороды в воде», а при использовании в качестве рабочей жидкости дистиллятной фракции – «вода в углеводородах», что будет затруднять отвод углеводородной фазы из сепаратора на возвратную циркуляцию в ЖКВН.

В свете изложенного, в качестве предпочтительного варианта при эксплуатации блока на существующем режиме в качестве рабочей жидкости ЖКВН предлагается использовать водную фазу, а при переходе на технологию «сухого» вакуума – фракцию вакуумного дистиллята.

Заключение

Проведённое обследование показало, что существующая ВСС обладает достаточной мощностью для создания вакуума в вакуумной колонне. Однако по технологическим соображениям производительность искусственно занижается за счет снижения давления рабочего пара, подаваемого в ПЭН, что приводит к повышению давления в К-3. Предлагаемая ВСС обладает сопоставимой производительностью при рабочих условиях, а регулирование давления верха колонны будет достигаться путем байпасирования откачиваемого газа с нагнетания на всасывание. Замена существующего ПЭНа на ЖКВН позволит снизить эксплуатационные затраты на проведение процесса вакуумирования К-3, при обеспечении существующих режимов ведения технологического процесса.

Выводы

1. Задачей реконструкции вакуумной колонны разделения мазута К-3 являлось замена существующей вакуумсоздающей системы (ВСС) парожеторного типа на жидкостно-кольцевой вакуумный насос, с наложением ограничения по поддержанию двух существующих режимов работы К-3 с возможностью перехода с одного режима на другой. По результатам технологического обследования вакуумной колонны К-3 были определены технические требования к новой ВСС (производительность – 1300 м³/ч при температуре парогазовой смеси 30 °С и предельном давлении откачки 40 мм Hg).
2. В качестве вакуумсоздающей системы в вакуумной колонне разделения мазута К-3 предлагается использовать двухступенчатый жидкостно-кольцевой вакуумный насос SINI P2L 85340 Y4B.

Благодарности

Работы выполнены в рамках договора ТА 68-13/13С1179-1 между ООО «Лукойл-Нижегородниинептепроект» и ООО «Системы верхнего уровня».

Литература

- [1] Осипов Э.В., Теляков Э.Ш., Поникаров С.И. Модернизация вакуумсоздающих систем установок ректификации мазута. *Бутлеровские сообщения*. 2011. Т.28. №20. С.109-115.
- [2] Осипов Э.В., Поникаров С.И., Э.Ш. Теляков, К.С. Садыков, Теляшев Р.Г., Обрывалина А.Н., Шоипов Х.С. Энергосберегающая технология создания вакуума в ректификационной колонне установки АВТ. *Мир нефтепродуктов*. 2011. №12. С.31-35.
- [3] Осипов Э.В., Поникаров С.И., Теляков Э.Ш., Совершенствование вакуумсоздающих систем (ВСС) установок АВТ. *LAP, Saarbrücken*. 2012. 130с.
- [4] Парожеторные вакуум-насосы. *Гипронефтемаш. М.* 1965. 129с.
- [5] Rro/P. Tutorial Guide. Process engineering suite. *USA*. 2003.
- [6] Креймер М.Л., Трупанов Н.В., Ганзя М.Г., Бердникова Л.И. Состав и выход газов разложения и низкипящих фракций при вакуумной перегонке мазутов сернистых и высокосернистых нефтей на АВТ. *Труды БашНИИИП*. 1975. Вып.14. С.92-100.
- [7] Осипов Э.В., Теляков Э.Ш., Поникаров С.И. Системное моделирование установок вакуумной ректификации. *Бутлеровские сообщения*. 2011. Т.28. №20. С.81-88.