

По материалам ранее проведенного обследования колонны разделения мазута К-3 установки ЭЛОУ - АВТ - битумная нефтеперерабатывающего завода при месторождении «Дружное» г. Когалым [1], сделаны следующие выводы: используемая на предприятии система обеспечения качества товарного битума предусматривает работу блока на 2-х режимах работы (выпуск битума и выпуск гудрона) за счет регулирования давления верха колонны; на первом режиме давление верха колонны специально завышается за счет дросселирования рабочего пара, подаваемого на эжекторы пароежекторного насоса (ПЭНа); конденсатор КВ-1 обладает значительным гидравлическим сопротивлением (до 18 мм Нг), что оказывает отрицательное влияние на процесс создания и поддержания вакуума в колонне; ВСС обладает достаточной мощностью для создания проектного значения остаточного давления верха вакуумной колонны, однако высокое гидравлическое сопротивление КВ-1 приводит к завышению давления верха колонны не менее чем на 15 мм Нг. Разработка предложений по реконструкции ВСС. Замена ПЭНа на жидкостно-кольцевой вакуумный насос (ЖКВН) позволяет отказаться от потребления высокопотенциального пара для нужд ВСС. За счет этого мероприятия появляется возможность отключать энергетическую установку (котельную) в летний период эксплуатации, когда из потребителей высокопотенциального пара на предприятии остается только ПЭН. Одновременно на ВСС накладывается ограничение по сохранению возможности 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 [2,3]. Определение требуемой мощности ВСС. Типоразмер ЖКВН определяется количеством среды, поступающей на всасывание и глубиной создаваемого вакуума [4]. В процессе разделения мазута в колонне К-3 имеет место термодеструкция тяжелых углеводородов, сопровождающаяся образованием легких газов разложения, представленных в основном углеводородами С1-С5. 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 образующихся газов разложения составит (0.3% масс. на мазут) 19.29 кг/ч. Данный подход достаточно грубо описывает процесс термической деструкции мазута, поскольку он не учитывает кинетику процесса. По данным, приведённым в [5], расход газов разложения и газов натекания может быть определен по формулам: , (1) (2) где G1 - расход

газов разложения (кг/ч);  $G_2$  - расход газов натекания (кг/ч);  $F_m$  - расход питания вакуумной колонны (ст.м<sup>3</sup>/ч);  $T_c$  - температура мазута на выходе из печи (оС). Зависимости (1) и (2) также мало обоснованы, поскольку константы этих уравнений должны зависеть, как минимум, от типа нефти и от конструкции ректификационной колонны (времени пребывания сырья в колонне). На рис. 1 представлена зависимость выхода газов разложения от температуры нагрева сырья, рассчитанная по формуле (1). Даже для максимальной температуры нагрева нефти (380 оС), допускаемой нормами технологического режима для колонны К-3, выход газов разложения оказывается существенно ниже (двукратно), чем определенный по эмпирическим данным. Зависимость (1) неплохо коррелируется с опытными данными лишь при температурах нагрева свыше 385оС. Поэтому, для обеспечения запаса по производительности ВСС, расход газов разложения был принят  $G_1 = 19.29$  кг/ч. Расход газов натекания при номинальной нагрузке для режима работы с выпуском битума, рассчитанный по уравнению (2) составит  $G_2 = 2.77$  кг/ч. Рис. 1 - Выход газов разложения в зависимости от температуры нагрева

Определение состава парогазовой смеси (ПГС), отходящей с верха К-3. Выход легких углеводородов, образующихся при нагреве мазута, зависит от типа нефти, из которой было получено сырье вакуумного блока (мазут). В работе [5] были проанализированы экспериментальные данные по составу газов разложения, образующихся при разложении мазутов из различных типов нефтей. Для определения расхода и состава парогазовой смеси (ПГС) использовались модели, подробно описанные в работах [4,6]. 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»). Принятая кривая ИТК была преобразована в условную многокомпонентную смесь, состав которой представлен в таблице 1. На расчетной модели вакуумной колонны, синтезированной в универсальной моделирующей программе ChemCad, был проведен расчет состава и расхода ПГС, отходящей с верха вакуумной колонны (табл. 2).

Таблица 1 - Расчётный состав мазута

Компонент	Масс. доля	Расход, кг/ч
NBP 270	0.847%	52.1072
NBP 285	0.970%	59.6458
NBP 300	1.147%	70.5310
NBP 315	1.395%	85.8200
NBP 330	2.148%	132.1533
NBP 347	2.930%	180.2432
NBP 359	3.274%	201.4072
NBP 375	3.109%	191.2681
NBP 390	3.322%	204.3353
NBP 405	3.265%	200.8442
NBP 420	3.335%	205.1404
NBP 442	7.381%	454.0403
NBP 470	11.344%	697.7961
NBP 495	12.278%	755.2706
NBP 523	8.909%	548.0383
NBP 551	6.931%	426.3121
NBP 579	5.772%	355.0252
NBP 607	5.582%	343.3349
NBP 635	5.109%	314.2530
NBP 684	10.951%	673.6337
Итого	100%	6151.2000

Таблица 2 - Расчётный состав и расход ПГС

Компонент	Масс. доля	Расход, кг/ч
CH <sub>4</sub>	0.3419%	1.93208
C <sub>2</sub>	0.4617%	2.60882
C <sub>3</sub>	0.6965%	3.93556
C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	0.2658%	1.50176
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.4198%	2.37228
C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	0.3996%	2.25770
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.3091%	1.74640
C <sub>6</sub> +*	0.1264%	0.71422
H <sub>2</sub> S	0.2806%	

1.58572 Н2 0.0044% 0.02472 CO2 0.0552% 0.31186 O2 0.1189% 0.67192 N2  
0.3766% 2.12781 Н2O 53.0830% 299.93902 NBP 270 8.8511% 50.01228 NBP 285  
9.6634% 54.60188 NBP 300 9.5546% 53.98724 NBP 315 6.7050% 37.88593 NBP 330  
4.1068% 23.20501 NBP 347 2.0056% 11.33266 NBP 359 1.1393% 6.43758 NBP 375  
0.5039% 2.84706 NBP 390 0.2706% 1.52872 NBP 405 0.1318% 0.74495 NBP 420  
0.0649% 0.36654 NBP 442 0.0461% 0.26027 NBP 470 0.0146% 0.08227 NBP 495  
0.0026% 0.01496 NBP 523 0.0001% 0.00032 Итого: 100% 565.0375

Анализируя данные таблицы 2, можно сделать вывод о том, что в состав ПГС, отходящей с верха вакуумной колонны входят: § газы разложения и натекания (4% от общего количества ПГС); § водяные пары (53%), вводимые в колонну; § дистиллятные компоненты - фр.360 оС (43%). Как видим, несконденсированные газы разложения составляют относительно небольшую часть ПГС, а в основном парогазовая смесь состоит из водяных паров. Определение суммарной нагрузки на ВСС. Общее количество несконденсированной ПГС, поступающей в ВСС, будет определяться температурой и давлением в межтрубном пространстве конденсатора КВ-1. Количество отходящих из КВ-1 несконденсированных газов при принятом давлении 40 мм Нг в основном определяется количеством несконденсированных водяных паров, содержащихся в ПГС (рис. 2). Рис. 2 - Объёмный расход среды, поступающей на ВСС, в зависимости от температуры

При прорыве части конденсируемых газов через КВ-1 они будут конденсироваться непосредственно в насосе, что будет сопровождаться ростом температуры рабочей жидкости во вращающемся жидкостном кольце и снижением достигаемой производительности насоса. Для исключения неоправданного завышения производительности вакуумного насоса, температура газов, поступающих в ЖКВН, должна быть доведена до уровня (27-30) оС, что в принципе достижимо при использовании существующей системы обратного водоснабжения. Таким образом, из рисунка 2 следует, что ВСС должна обеспечивать откачку 1300 м3/ч смеси при температуре 30 оС и давлении всасывания 40 мм Нг. Температура рабочей жидкости, подаваемой в насос - 25 оС. 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. Паспортная характеристика ЖКВН была пересчитана на рабочие условия по методике [4]. Результаты представлены на рис. 3. Из рис. 3 видно, что рабочая производительность ЖКВН при давлении 40 мм Нг будет составлять 1450 м3/ч, что обеспечивает запас по производительности ЖКВН примерно 12%. Рис. 3 - Паспортная (ряд 1) и рабочая (ряд 2) характеристики насоса P2L 85340 Y4B

В настоящее время в гидроциркуляционных ВСС (жидкостные эжекторы, ЖКВН) в качестве рабочей жидкости рекомендуется применять дистиллятные продукты самих ректификационных колонн [2]. Применительно к вакуумным блокам установок АВТ - это фракция вакуумного

дистиллята или дизельная фракция АВТ. Однако этот прием термодинамически оправдан только в случае использования в К-3 «сухого» вакуума, когда в систему ректификации не вводится водяной пар. В противном случае водяные пары все равно будут поступать в ВСС, а значит, в процессе сжатия откачиваемых газов будет иметь место конденсация водяных паров в самих откачных устройствах за счет повышения давления в системе. Это приведет к образованию в ЖКВН эмульсии «вода - тяжелые углеводороды». 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. Кроме того, учитывая некоторую растворимость углеводородных компонентов в водной фазе [7], в сепараторе ЖКВН необходимо отделять углеводородную фазу от рабочей жидкости. На рис. 4 представлена принципиальная схема реконструированной ВСС колонны К-3. ЖКВН подключается к линии отвода несконденсированных газов из конденсатора КВ-1 через обратный клапан КО-1, который исключает обратное поступление перекачиваемой среды в колонну К-2 из вакуумнасоса и из сепаратора С-1 при внештатной (аварийной) остановке насоса. В ЖКВН помимо откачиваемого газа также подается сервисная (рабочая) жидкость, предварительно охлажденная в теплообменнике Т-1 до требуемой температуры. Смесь сжатого в ЖКВН откачиваемого газа, образовавшегося конденсата тяжелых углеводородов и воды, а также избытка рабочей жидкости сбрасывается в сепаратор С-1. В сепараторе происходит разделение смеси на две жидкие (углеводородная и водная) и газовую фазы. Газовая фаза из сепаратора отводится в выхлопной трубопровод, который соединен или с существующим сепаратором БЕ-1, или непосредственно с линией отвода выхлопа ВСС на дожиг (или на факельную линию). Рис. 4 - Принципиальная схема реконструированной ВСС: КО-1 - отсечной клапан; КР-1 - регулирующий клапан; ЖКВН - жидкостно-кольцевой вакуумный насос; С-1 - сепаратор; Т-1 - теплообменник рабочей жидкости (р.ж.) Две жидкие фазы в сепараторе С-1 расслаиваются. В сепараторе контролируются уровни раздела фаз «газ - жидкость» и «легкая жидкость (углеводородная фаза) - тяжелая жидкость (вода)». Водная фаза по уровню раздела фаз отводится из сепаратора через нижний штуцер. Часть жидкой фазы через теплообменник Т-1 с заданной температурой возвращается в ЖКВН в виде сервисной жидкости для поддержания определенной температуры среды в насосе, а балансовый избыток сбрасывается в промканализацию. Углеводородная фаза по уровню раздела фаз

сбрасывается в сепаратор БЕ-1. Для регулирования процесса на существующих режимах выхлопная газовая линия из сепаратора С-1 через регулирующий клапан КР-1 связана байпасной линией с линией подвода откачиваемого газа из КВ-1 в ЖКВН (после обратного клапана). Открытием (закрытием) клапана КР-1 обеспечивается изменение производительности ЖКВН, а значит и давление в колонне К-3. Заключение Проведённое обследование показало, что существующий ПЭН обладает достаточной мощностью для создания заданного вакуума в К-3. Однако по технологическим соображениям производительность ПЭНа искусственно занижается за счет снижения давления рабочего пара, подаваемого в эжекторы, 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. Предложен энергосберегающий вариант реконструкции ВСС вакуумной колонны К-3, обеспечивающий выполнение ограничений по поддержанию двух существующих режимов работы К-3 с возможностью перехода с одного режима на другой и определены технические требования к новой ВСС (производительность - 1300 м<sup>3</sup>/ч при температуре парогазовой смеси 30 оС и предельном давлении откачки 40 мм Нg). 2. В качестве вакуумсоздающей системы в вакуумной колонне разделения мазута К-3 предлагается использовать двухступенчатый жидкостно-кольцевой вакуумный насос SIHI P2L 85340 Y4B