

Мазут является остаточным продуктом перегонки нефти и по сравнению с дистиллятным сырьем характеризуется более высоким содержанием серо-, азот- и металлоорганических соединений, смол, асфальтенов, золы. Поиск новых методов выделения сернистых соединений из нефтепродуктов с разработкой рациональных технологий для их осуществления относятся к первостепенным задачам современных исследований в области нефтехимии. Для удаления сернистых соединений из мазута авторами была разработана и испытана электродуговая установка, представленная на рис. 1. [1].

Рис. 1 - Схема установки для обессеривания мазута в электродуговом реакторе

Установка включает в себя: 1 – электродуговой реактор; 2 – напорный бак; 3 – линию топлива; 4 – абсорбер; 5 – холодильник; 6 – барботер; 7 – газовый счетчик; 8 – сливной бак; 9 – насос байпасной линии; 10 – преобразователь электрического тока. Электродуговой реактор имеет: 11 – графитовый электрод; 12 – основание; 13 – перфорированную изолирующую решетку; 14 – штуцер с перфорированным диском-решеткой; 15 – тройник; 16 – неподвижный положительный электрод; 17 – неподвижный неподключенный электрод; 18 – неподвижный отрицательный электрод; 19 – крышка реактора; 20 – переливной штуцер; 21 – штуцер подачи обессеренного топлива; 22 – штуцер для выхода газа.

В процессе разработки электродугового реактора установки были поставлены следующие задачи: конструкция реактора должна гарантировать стабильность технологических параметров и устойчивость температурного режима обессеривания мазутов при интенсивном тепло- и массообмене в системе; эффективное перемешивание с целью исключения локальных перегревов массы мазута, находящегося в реакторе; устойчивая работа реактора обеспечивающая, высокую степень удаления серы из мазута без побочных процессов смолообразования [1, 5, 3].

Технологический процесс, протекающий в электродуговом реакторе, в соответствии со схемой, приведенной на рис. 1., заключается в следующем. Мазут, предварительно подогретый в напорном баке до температуры 90 °С, поступая из линии топлива 3, попадает в напорный бак 2, после чего, за счет разности гидростатических давлений напорного бака 2 и электродугового реактора 1, направляется по трубопроводу в тройник 15, а за тем в штуцер с перфорированным диском-решеткой 14, для подачи мазута в электродуговой реактор 1. Для поддержания и возможного увеличения давления мазута в случае снижения его температуры до нижнего предела текучести, установлен насос байпасной линии 9. Температура мазута в напорном баке и в электродуговом реакторе, измеряется медными термометрами сопротивления ТСМ-1187 (класс точности 1,5), сигнал с которых преобразуется в унифицированный 0-5 мА с помощью нормирующих преобразователей Ш-705И. Далее эти сигналы поступают на щит управления, где установлен вторичный показывающий двухканальный прибор типа «Овен ТРМ200». Измерение уровня мазута в напорном баке осуществляется при помощи магнитного поплавкового

уровнемера «ПДУ-И» установленном непосредственно по месту. Магнитный поплавковый уровнемер конструктивно состоит из измерительного стержня и магнитного поплавка, перемещающегося вдоль стержня. В качестве чувствительного элемента в последнем используются магниточувствительные герконы в герметичных пластиковых корпусах с шагом 1 геркон на 10 мм длины. При изменении вертикального положения поплавка вдоль чувствительного стержня в результате подъема или спада уровня жидкости изменяется выходное сопротивление датчика, которое обрабатывается измерительной схемой и преобразуется в аналоговый токовый сигнал 4-20 мА. Таким образом, выходной сигнал аналогового уровнемера прямо пропорционален уровню жидкости. Затем этот сигнал направляется на прибор для автоматического регулирования жидкости «САУ-М2». Регулирующее воздействие с «САУ-М2» поступает на пускатель ПБР-2М, который управляет исполнительным механизмом, регулирующим подачу мазута на напорном трубопроводе мазута. Контроль уровня мазута в электродуговом реакторе производится по аналогичной схеме. При повышении уровня мазута в электродуговом реакторе, регулирующее воздействие с «САУ-М2» поступает на пускатель ПБР-2М, который управляет исполнительным механизмом, регулирующим подачу мазута непосредственно на входе в электродуговой реактор. В электродуговом реакторе 1 обессеривание мазута происходит в электрической дуге, вызванной колебательными движениями подвижных графитовых электродов 11, имеющих форму шарика, между неподвижными электродами 16, 17, 18 из нержавеющей стали. В электродуговом разряде под воздействием высоких температур, достигающих в искре 1500 °С, происходит избирательное разрушение сернистых соединений с последующим их переходом в парогазовое состояние. Для зажигания дуги между неподвижными и подвижными электродами необходимо постоянно подводить мазут, который в свою очередь приводит графитовые шарики (подвижные электроды) в движение. В месте контакта, обладающем очень большим сопротивлением, выделяется тепло проходящее через графитовые шарики. Поверхности графитовых шариков сильно разогреваются, и этого достаточно для того, чтобы при их движении между ними вспыхнула дуга [1-5]. Реактор содержит четыре положительных, четыре отрицательных и четыре неподключенных неподвижных электродов из нержавеющей стали, верхние концы которых закреплены непосредственно в его крышке 19, а их нижние концы находятся над слоем подвижных графитовых частиц 11, выполняющих функцию подвижных электродов. Такой порядок размещения электродов стабилизирует микроразряды, увеличивая их в объеме, поскольку одновременно возникает множество центров параллельных и перекрестных микродуг в промежутках между соседними электродами. Более того, плотность электрических разрядов в объеме мазута увеличивается за счет образования множества электродуг не только около нижних концов токопроводящих

электродов 16, 18, но и при контакте их по всей рабочей длине с взвешенными в жидкой фазе графитовыми твердыми частицами – подвижными электродами. Значительная часть графитовых подвижных электродов постоянно находится во взвешенном состоянии под действием восходящего потока мазута, поступающего в реактор снизу через изолирующую перфорированную решетку 13, которая имеет отверстия достаточные для прохождения мазута, но меньшие размером по сравнению с графитовыми шариками, что исключает попадание шариков в трубопровод при остановке реактора и изолирует его основание. Установка четырех промежуточных контактирующих неподвижных электродов 17, неподключенных к токоподводу, способствует равномерному распределению электрических дуг по контурам в искровых промежутках токопроводящих электродов 16, 18. Наличие постоянных контактирующих электродов, между противостоящими основными токоподводящими электродами повышает кратность контактирования с подвижными электродами – твердыми графитовыми частицами, следовательно, возрастает надежность дискретной разрядки в системе. При прохождении мазута через электродуговой реактор, происходит его разделение на две части – жидкую и газообразную. Жидкая составляющая представляет собой обессеренный мазут, который направляется через штуцер подачи обессеренного топлива 21 в сливной бак 8. В случае неконтролируемого расхода мазута предусмотрен переливной штуцер 20, позволяющий эффективно регулировать процесс прохождения последнего через электродуговой реактор. Газообразная часть имеет низкую плотность – 1,25 кг/м³ (определена по ГОСТ 17310-2002) и направляется в расположенный в крышке реактора 19 штуцер для выхода газа 22, далее в холодильник 5, где происходит его охлаждение, после чего газ проходит первичную очистку в барботере 6, и после газового счетчика 7, направляется на вторичную очистку в абсорбер 4. Для проведения эксперимента в качестве объекта исследования был использован топочный мазут марки М100 Нижнекамского НПЗ, соответствующий ГОСТ 10585-99 (табл. 1). Таблица 1 - Паспортные характеристики мазута М100 соответствующего ГОСТ 10585-99

Параметр	Значение	Метод испытания
Условная вязкость при 80 °С, °ВУ	16	ГОСТ 6258
Содержание серы, %	3,5	ГОСТ 3877
Содержание воды, %	1,0	ГОСТ 2477
Температура застывания, °С	25	ГОСТ 20287
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	39900	ГОСТ 21261
Плотность при 20 °С, кг/м ³	980	ГОСТ 3900

Состав образовавшихся газов при обессеривании мазута в электродуговом реакторе определялся в соответствии с ГОСТ 23781-87. В результате обессеривания исследуемого мазута в электродуговом реакторе образовавшаяся газообразная смесь содержит: C₂H₄ (этилен) – 7,87 %, CH₄ (метан) – 6,95 %, C₂H₆ (этан) – 3,18 %, H₂S (сероводород) – 2,62 %, H₂ (водород) – 51,64 %, C₂H₂ (ацетилен) – 27,74 %. Большое количество водорода и ацетилена указывает на высокую калорийность образовавшейся газообразной смеси. После очистки от серосодержащих соединений полученная газообразная смесь может

быть использована в качестве эффективного и экологически чистого топлива [1-4]. В таблице 2. приведены фактические физико-химические показатели исследуемого мазута М100 до и после обработки в электродуговом реакторе, которые определялись согласно методам испытания, представленным в таблице 1. Таблица 2 - Физико-химические характеристики мазута М100 до и после обессеривания в электродуговом реакторе

Параметр	Значение До обессеривания	После обессеривания
Условная вязкость при 80 °С, °ВУ	10,0	8,69
Содержание серы, %	3,5	0,42
Содержание воды, %	1,0	Нет
Температура застывания, °С	25,5	18,9
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	36870	42800
Плотность при 20 °С, кг/м ³	978	931,4

Из данных таблицы 2. следует, что после обработки в электродуговом реакторе, физико-химические характеристики исследуемого мазута в значительной степени изменились, о чем свидетельствуют: снижение вязкости от 10 °ВУ до 8,69 °ВУ или на 13,1 %; плотности от 978 кг/м³ до 931,4 кг/м³ или на 4,6 % и концентрации серы от 3,5 % до 0,42 % соответственно. При этом температура застывания понизилась от 25,5°С до 18,9 °С или на 25,9 %. В ходе исследования стало известно, что низшая теплота сгорания мазута до обессеривания в электродуговом реакторе была равна 36870 кДж/кг, а после обессеривания изменилась и стала равна 42800 кДж/кг. Конструкция электродугового реактора, позволяет сократить время контактирования мазута в области высоких температур, обеспечивает необходимые условия тепломассообмена для осуществления термоллиза без локального перегрева при оптимальном режиме обессеривания мазута. Высокая стабильность электрических дуг обеспечивает максимальную селективность процесса. Простота и надежность конструкции реактора, высокая турбулизация жидкой среды, отсутствие ограничений размеров и производительности реактора открывают широкие возможности его использования для осуществления гетерофазного процесса в системе жидкость-твердое тело, в частности, при обессеривании жидких органических топлив используемых в энергетических котлах тепловых электрических станций и промышленно-отопительных котельных [1, 6]. Выводы 1. Разработан новый электродуговой метод удаления сернистых соединений из нефтепродуктов. 2. Получены результаты исследования физико-химических характеристик мазута М100 после обессеривания в электродуговом реакторе. 3. Технология обессеривания мазута в микроразрядах может найти широкое применение при подготовке жидкого органического топлива к сжиганию в энергетических котлах тепловых электрических станций.