

АНАЛИЗ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕГАЗАЦИИ СЕРЫ НА УСТАНОВКАХ КЛАУСА

И.А. ГОЛУБЕВА, А.А. КОВАЛЬ

РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина

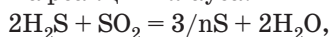
Сера — один из важнейших видов сырья для многих химических производств наряду с углём, углеводородами (нефтью и газом), известняком и поваренной солью. Подсчитано, что для производства 88 из 150 основных химических продуктов используется сера или её соединения.

Серу получают из «кислых» (сероводородсодержащих) газов, выделяемых в результате очистки серосодержащих нефтепродуктов (в России 40 установок гидрообессеривания дизельного топлива) и природных газов. Кислые газы, образующиеся на нефте- и газоперерабатывающих предприятиях, направляют на получение серы методом, запатентованном английским химиком К.Ф. Клаусом в 1883 г.

Россия занимает третье место в мире по объёмам годового производства серы (около 9 млн т/год), благодаря уникальному Астраханскому газоконденсатному месторождению, где содержание сероводорода в газе около 25%.

На предприятии ООО «Газпром добыча Астрахань» сера производится методом Клауса из кислых газов, получаемых в результате аминовой очистки газа от сероводорода, и при этом считается побочным продуктом, в действительности, для завода и страны сера держит марку товарного продукта.

Технологический процесс превращения содержащегося в кислом газе сероводорода в элементную серу основан на реакции Клауса:



где n — количество атомов серы в молекуле, зависящее от температуры реакции (от 2 до 8).

Эта реакция осуществляется в два этапа.

На термической стадии идёт пламенное окисление сероводорода воздухом со стехиометрическим количеством кислорода при температуре 900—1350°C. При этом протекает реакция окисления H_2S до серы

$$2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O} + \Delta\text{H}_1.$$

Одновременно часть сероводорода окисляется до диоксида серы

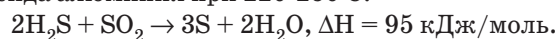


Проходит также окисление образующейся серы

$$\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2 + \Delta\text{H}_3.$$

На термической стадии образуется 60-70% всей серы.

На каталитической стадии происходит реакция между сероводородом и диоксидом серы в присутствии катализатора — боксита или активного триоксида алюминия при 220-250°C:



Технология получения серы методом Клауса реализует указанные выше реакции обычно в три ступени. Следует отметить, что выделение и переработка сероводорода преследуют две цели — охрану окружающей среды от токсичного соединения и производство ценного продукта.

Установка состоит из:

- отделения Клаус, где прямым окислением в реакционных печах сероводорода до элементной серы и диоксида серы (термическая часть) и дальнейшими реакциями сероводорода и диоксида серы на слое катализатора (каталитическая часть) получается основной объём серы;

- отделения Сульфрин, где доочисткой хвостовых газов отделения Клаус на катализаторе достигается 99,6%-я степень извлечения серы из газа;

- печи дожигания остаточных газов на выходе отделения Сульфрин, где все сернистые соединения превращаются в диоксид серы перед сбросом в атмосферу через дымовую трубу;

- узла дегазации жидкой серы, предназначенного для извлечения сероводорода, растворённого в сере, полученной в отделениях Клаус и Сульфрин.

Первая и вторая очереди Астраханского ГПЗ (АГПЗ) имеют по четыре установки получения серы, оборудование идентичное, производительность установок по кислому газу составляет 93640 $\text{нм}^3/\text{ч}$ — номинальная, 107690 $\text{м}^3/\text{ч}$ — максимальная.

Получаемая на установках Клауса сера содержит растворённый сероводород (до 200-300 ppm по массе) в виде свободного сероводорода и химически связанного полисульфида водорода. При перемешивании и понижении температуры полисульфиды, содержащиеся в жидкой сере, разлагаются с выделением сероводорода.

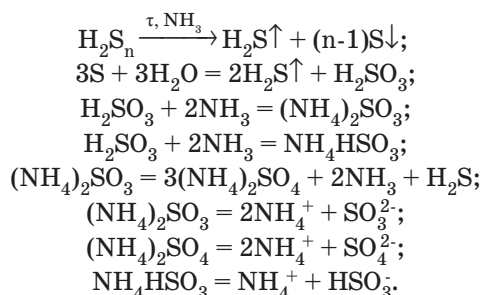
Такое самопроизвольное выделение сероводорода из жидкой серы создаёт опасные ситуации в связи с его токсичностью и взрывоопасностью. Кроме того, недегазированная сера более коррозионно-активна к аппаратуре и оборудованию.

Именно поэтому возникла необходимость проводить дегазацию серы.

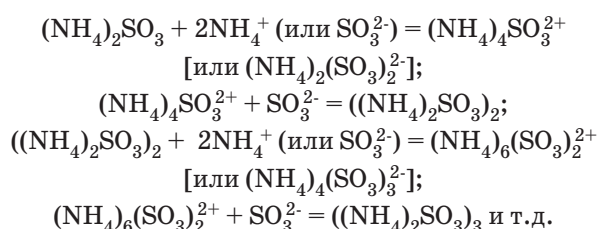
Процесс дегазации серы может быть ускорен применением катализатора, такого как аммиак, соли аммония (например, тиосульфат аммония), органические соединения азота (например, алкиламины), мочевины и другие азотосодержащие соединения. Наиболее широко применяемым катализатором является аммиак, однако образующиеся полисульфи-

ды аммония и особенно четырёхсернистый азот отрицательно влияют на качество серы.

В процессе дегазации серы на установках при подаче аммиака в качестве катализатора протекают следующие реакции:



Образовавшиеся в процессе дегазации аммонийные соли $(\text{NH}_4)\text{HSO}_3$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ находятся в сере в растворённом состоянии. В результате продолжительного времени хранения жидкой серы могут проходить следующие реакции, приводящие к образованию твёрдой фазы:



Аналогично протекают реакции для соединений NH_4HSO_3 и $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

При транспортировке серы данные реакции будут протекать с большей скоростью и с ещё большей скоростью при возникновении турбулентных потоков, например в яме хранения жидкой серы. Поэтому главными задачами при разработке новых технологий дегазации серы сегодня являются полный отказ от применения аммиачного катализатора, поиск путей сокращения времени дегазации при одновременном повышении качества серы и минимальных затратах на реконструкцию узла дегазации.

В последнее время с целью повышения качества серы и снижения её себестоимости фирмами-разработчиками предложены различные варианты модернизации методов дегазации жидкой серы: на установках непрерывного или периодического действия, предусматривающие снижение расхода аммиака как катализатора или исключаяющие его подачу, с различными видами и методами подачи продувочных газов, требующие серьёзной реконструкции действующих установок или основанные на имеющемся оборудовании. Некоторые из них реализованы в промышленности.

Рассмотрим наиболее интересные варианты и необходимые объёмы реконструкции существующих установок дегазации жидкой серы при их реализации.

Периодический процесс дегазации «SNE(A)P» (Нидерланды). Процесс дегазации может быть периодическим или непрерывным, проводят его в стальных ёмкостях или подземных ямах с суточным запасом недегазированной серы.

В случае периодического процесса (рис. 1) сера из сборного колодца установки Клауса откачивается насосом в специальную ёмкость дегазации, в которой установлены насосы для перемешивания и разбрызгивания серы через форсунки. Серу рециркулируют и распыляют в течение нескольких часов для выделения растворённого сероводорода, после чего откачивают в ёмкость для хранения. После окончания дегазации ёмкость освобождают и закачивают новую порцию недегазированной серы. В качестве катализатора применяют аммиак, небольшие количества которого подают на вход циркуляционного насоса.

Резервуар дегазации газоходом соединён с дымовой трубой установки Клауса. Продувочный газ подают в печь сжигания. Сероводород в дымовой трубе при 590°C окисляется до диоксида серы, выбрасываемого в атмосферу. Аналогичная схема дегазации серы действует на Оренбургском ГПЗ.

Недостатки очевидны:

- в газоходах, соединяющих резервуары дегазации с дымовой трубой, из-за присутствия паров

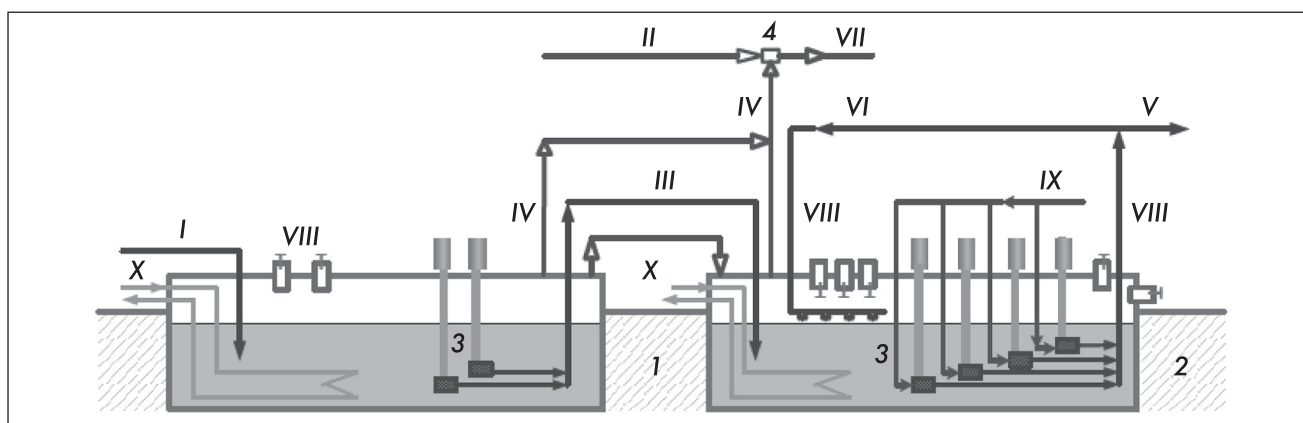


Рис. 1. Процесс дегазации серы фирмы SNE(A)P — установка периодического действия (действует на Оренбургском ГПЗ):

1 — яма суточного хранения серы; 2 — яма дегазации; 3 — насосы; 4 — паровой эжектор.

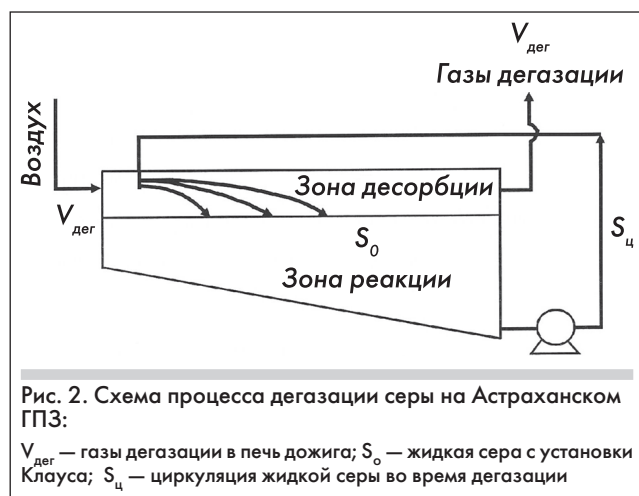
Линии: I — жидкая сера из гидрозатворов установки Клауса; II — водяной пар; III — жидкая сера в яму дегазации; IV — газ дегазации; V — дегазированная сера в резервуар временного хранения; VI — циркуляция жидкой серы во время дегазации; VII — газ дегазации в печь дожига; VIII — забор воздуха; IX — газообразный аммиак; X — пар на обогрев

серы в газах дегазации продолжается окисление сероводорода и скапливается сера;

- температура 590°C явно недостаточна для полного окисления сероводорода и оксидов серы, так как даже при обработке отходящих газов в печи дожигания при температуре $727-800^{\circ}\text{C}$ в отходящем газе присутствует до 10 ppm сероводорода;

- степень окисления сероводорода в оксиды серы в дымовой трубе не превышает 50% и поэтому ёмкости дегазации серы представляют собой источник загрязнения атмосферного воздуха сероводородом.

На Астраханском ГПЗ реализована более современная схема периодической дегазации компании SNE(A)P (рис. 2).



По этой технологии газы дегазации серы подают паровым эжектором в печь дожигания, где весь сероводород сжигается до оксидов серы.

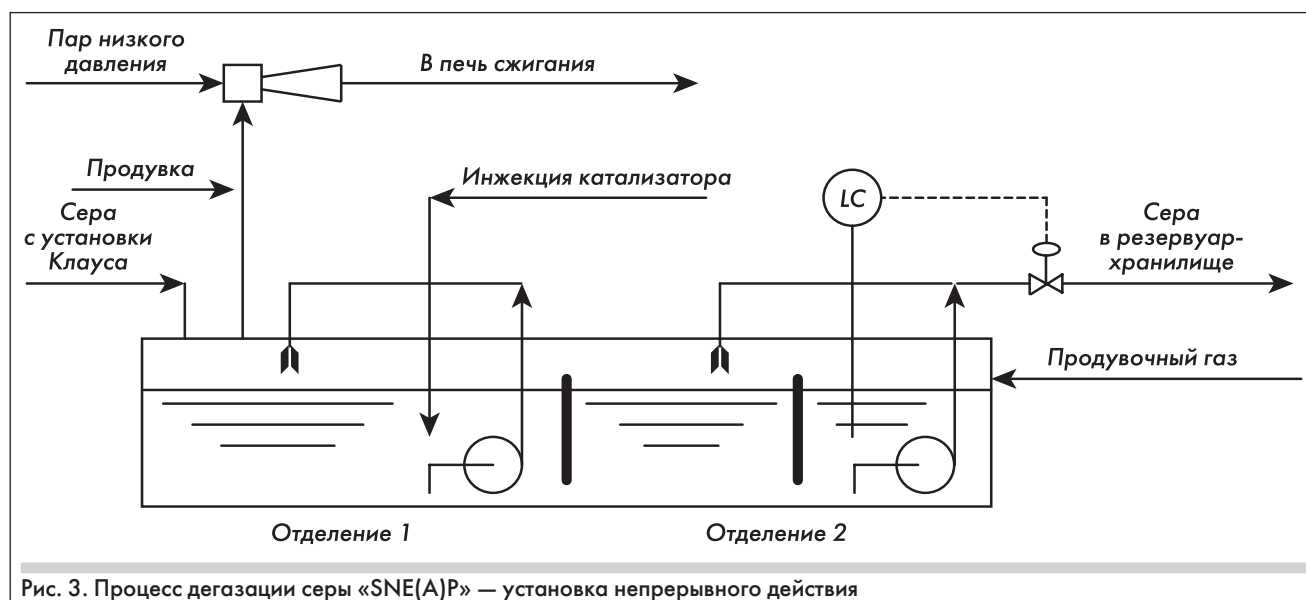
Качество дегазации серы в обоих вариантах обеспечивается в соответствии с нормой — не более 10 ppm. Однако и эта технология имеет серьёзные недостатки: протяжённая, громоздкая система обогретаемых циркуляционных серопроводов, трубо-

проводов отсоса газов, работающих в коррозионно-активной среде, и в настоящее время на многих установках требуется частичная или полная их замена. За время эксплуатации в результате капитального ремонта серных ям их полезный объём значительно сократился, поэтому допустимое время дегазации в расчёте на максимальную проектную производительность уменьшилось в 1,5 раза. В то же время неиспользуемый («мёртвый») остаток серы в ямах увеличился с проектных 13 до 22-44%, что также отрицательно влияет на процесс.

Непрерывный процесс дегазации фирмы SNE(A)P (Нидерланды). В непрерывном процессе дегазации этой фирмы камера дегазации состоит из одного или нескольких отсеков (рис. 3). Выбор числа отсеков зависит от времени пребывания серы и скорости её рециркуляции. Серу, поступающую с установки Клауса, собирают в секции, откуда её забирает рециркуляционный насос и подаёт в форсунку для распыления. Вследствие того, что общий объём серы в дегазаторе регулируется поддержанием постоянного уровня серы, поступает такое же количество серы в секцию, что и перетекает во вторую. Второй насос, расположенный в этой секции, рециркулирует повторно жидкую серу в систему распыления. Дегазированная сера непрерывно отводится в ёмкость для хранения через клапан, управляемый регулятором уровня серы.

Дегазацию проводят по непрерывной схеме в ёмкости для сбора серы установки Клауса. Собственно процесс дегазации происходит в отпарной колонне, где сера интенсивно перемешивается барботирующим воздухом.

Процесс дегазации серы фирмы EXXON Research and Engineering Co (США). В этом процессе непрерывного действия катализатор вводят в ёмкость для сбора серы в жидком виде инжектором. Время пребывания серы в ёмкости дегазации порядка 3-4 сут. Процесс реализован на нескольких промышленных установках (рис. 4).



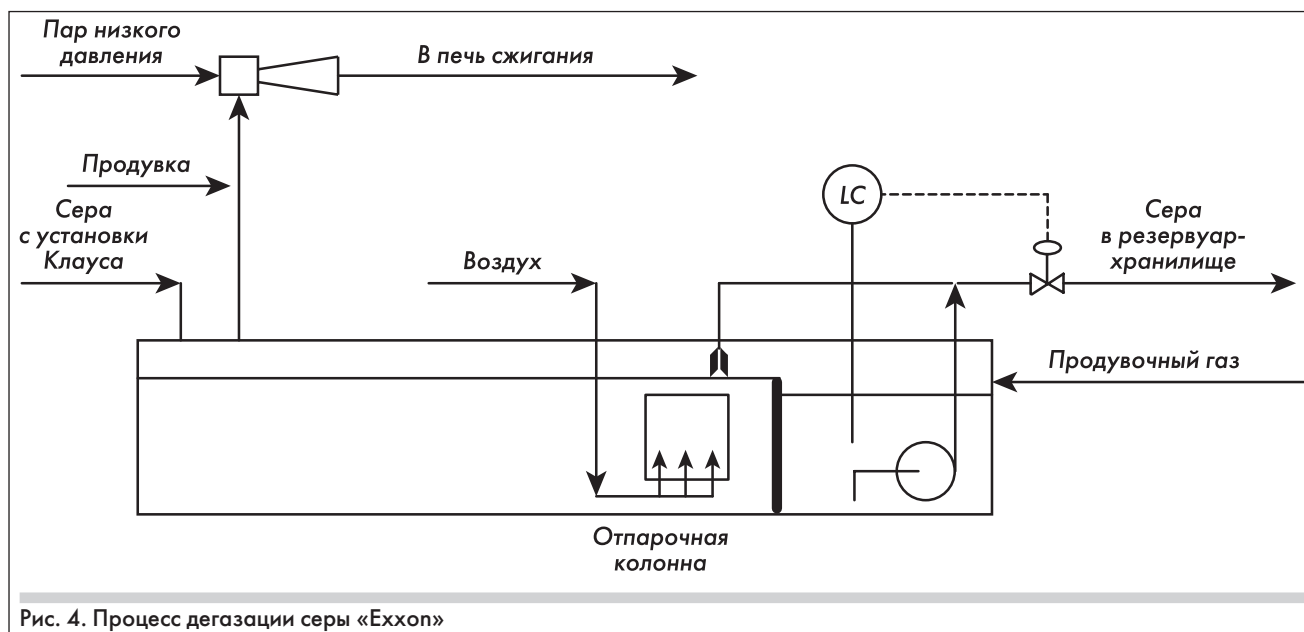


Рис. 4. Процесс дегазации серы «Еххон»

В усовершенствованном процессе дегазации фирмы Еххон воздух барботирует через специальную форсунку, что обеспечивает перемешивание серы и облегчает десорбцию сероводорода с поверхности серы. Процесс проводится с добавлением катализатора или без него. Недостатки — длительность процесса и расходы на монтаж специальных форсунок.

Процесс дегазации серы фирмы Texasgulf (дочерняя компания в Германии). В процессе дегазации фирмы Texasgulf жидкая сера циркулирует через скруббер (колонну), который располагается на ёмкости для серы (рис. 5). Внутри скруббера предусмотрены отбойные тарелки (перегородки), которые располагаются по высоте таким образом, чтобы обеспечить каскадное перетекание серы сверху вниз.

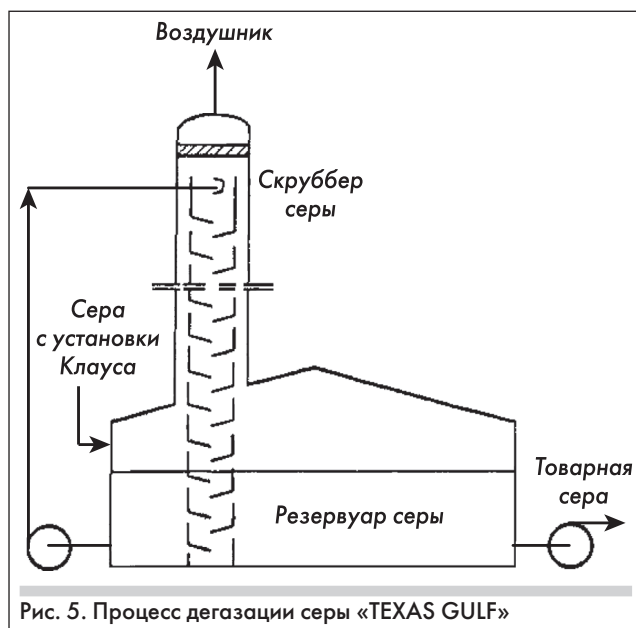


Рис. 5. Процесс дегазации серы «TEXAS GULF»

Жидкая сера перемешивается, создаётся достаточная поверхность раздела фаз для десорбции сероводорода, что ускоряет дегазацию H_2S . В связи с

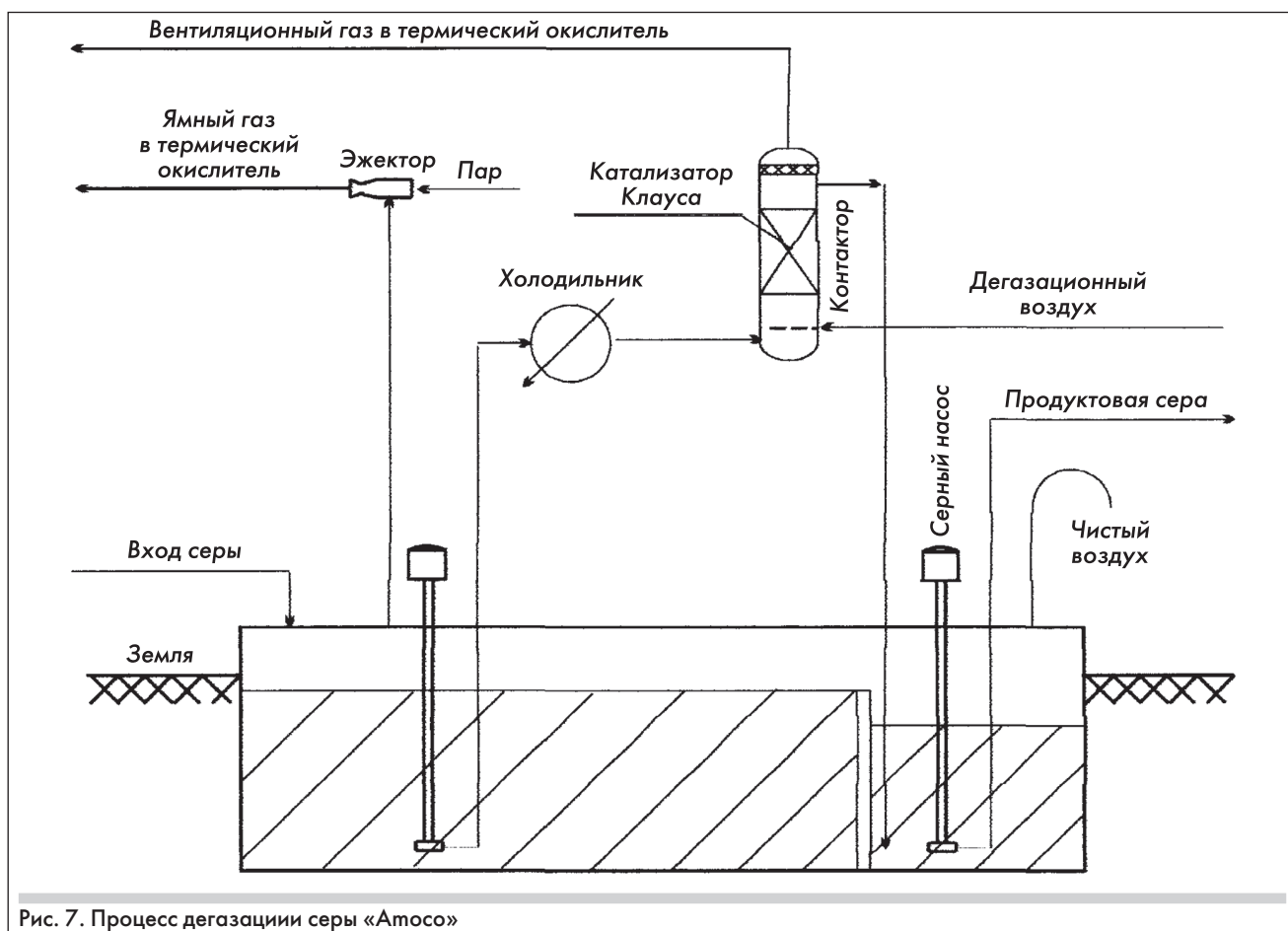
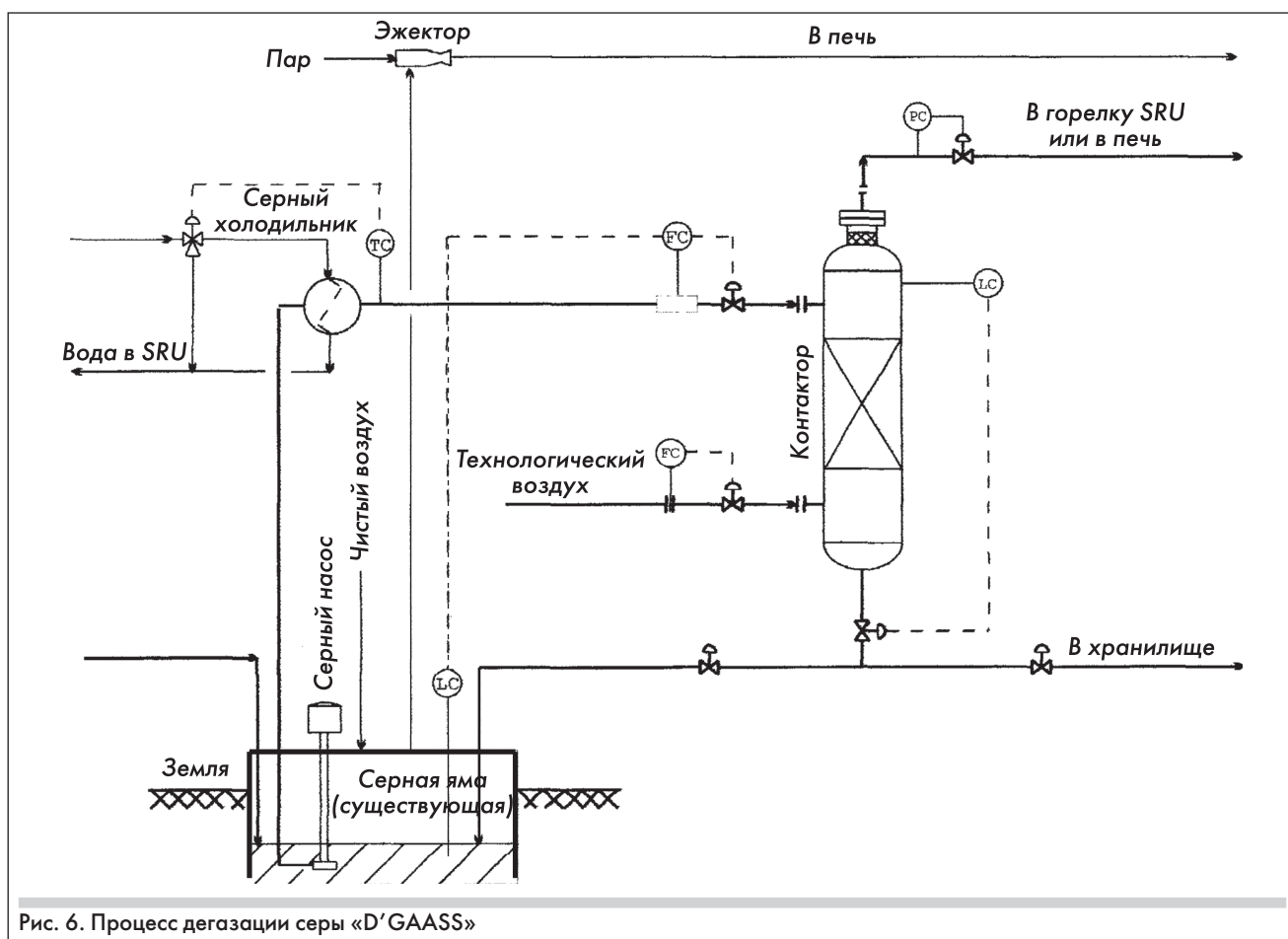
этим количество аммиака, применяемого в качестве катализатора, невелико.

Отверстия под тарелками служат каналами для отвода газообразного сероводорода, который удаляется через наружный кожух колонны.

Процесс дегазации серы фирмы D'GAASS (Канада). Процесс дегазации «Texasgulf» был усовершенствован компанией Goar, Alison&Assotiates, Inc.: в вертикальный скруббер подаётся воздух в противотоке стекающей вниз сере. Для преодоления гидравлического сопротивления серы в скруббере поддерживают повышенное давление. В результате увеличения скорости процесса и, как следствие, сокращения продолжительности дегазации, уменьшаются размеры скруббера. Процесс проводят без добавления катализатора. Процесс получил название «D'GAASS» (рис. 6), он достаточно прост и компактен, обеспечивает содержание сероводорода в дегазированной сере до 10 ppm. Его отличает от многих других процессов дегазации сокращение времени дегазации до нескольких минут.

Первые установки процесса «D'GAASS» начали работать в сентябре 1996 г. Процесс внедрён на Тенгизском НПЗ (Казахстан).

Процесс дегазации серы фирмы Атосо (США). В этом процессе сера из ямы дегазации насосом прокачивается через расположенный над ямой контактор со стационарным слоем катализатора (рис. 7). Сама яма дегазации имеет два отделения, разделённые перегородкой, для дегазированной и недегазированной серы. Сера поступает вниз контактора, прямоотком сере в контактор подаётся воздух. Вверху контактора дегазированная сера через гидрозатвор под действием силы тяжести спускается в отделение дегазированной серы в яме дегазации. В газовое пространство ямы дегазации подаётся продувочный газ. Газ, выходящий из контактора и ямы дегазации, направляется в термическое отделение Клауса или в печь дожига дымовых газов.



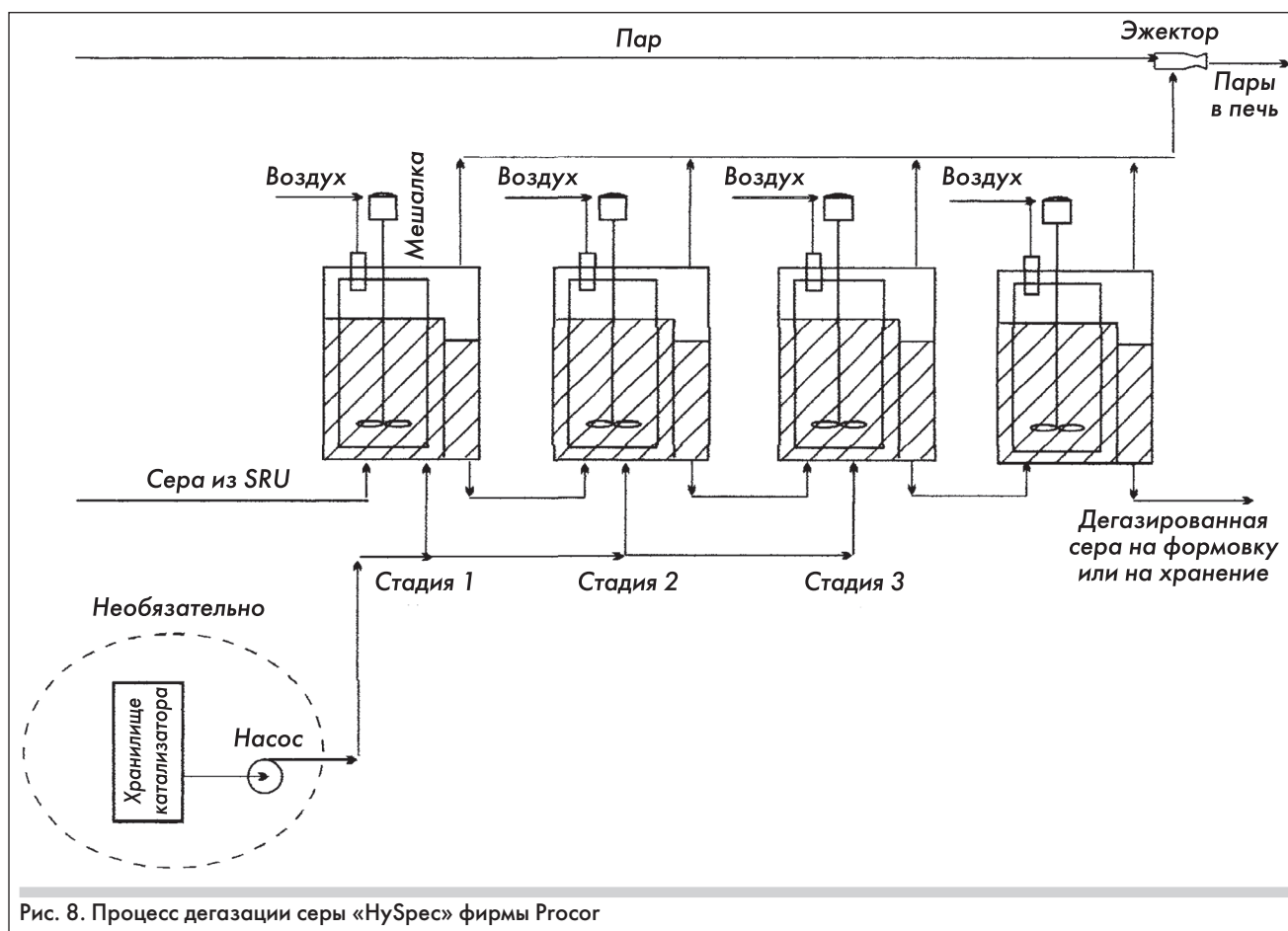


Рис. 8. Процесс дегазации серы «HySpec» фирмы Procor

Процесс дегазации серы «HySpec» (фирма Procor Sulfur Service, Канада). Для ускорения процесса дегазации фирма предложила новый каталитический процесс — добавлять небольшое количество аминового катализатора, увеличивающего скорость разложения H_2S_x , снижающего общее содержание H_2S в жидкой сере ниже 5 ppm.

В процессе «HySpec» для дегазации серы используется серия реакторов (рис. 8). Реактор представляет собой открытый резервуар с электромешалкой, для обеспечения интенсивного перемешивания серы с воздухом и аминовым катализатором, который вводится на каждой ступени дегазации в реактор. Сера перетекает из реактора в реактор под действием силы тяжести. Газ дегазации отсасывается паровым эжектором в печь дожигания. Время дегазации — несколько минут, недостаток — сложность и дороговизна аппаратного оформления процесса.

Процесс фирмы ELF Aquitane (Франция, сейчас TOTAL) — каталитический, в качестве катализатора используется аммиак. Проводят дегазацию в яме или стальной ёмкости путём прокачивания циркулирующей жидкой серы через форсунки в газовую фазу. Процесс проводят при температуре 140-150°C. Процесс может быть периодическим или непрерывным. В первом случае достаточно только одна яма или ёмкость. Полный цикл процесса составляет около 12 ч.

Непрерывный процесс предпочтительней для управления, но требует более сложного оборудова-

ния. При этом яма разделена на два или более отсеков, которые работают поочерёдно. Каждый отсек снабжён насосом и системой разбрызгивания. Основной недостаток процесса — использование аммиачного катализатора, приводящее к ухудшению качества серы.

Процесс дегазации серы «Aquisulf» фирмы ELF Aquitane, сейчас TOTAL (Франция).

Французской фирмой ELF Aquitane в 1980-х годах был предложен ещё один процесс дегазации серы — «Aquisulf», в котором вместо аммиачного катализатора, ухудшающего качество серы и вызывающего проблему закупоривания и коррозии оборудования, предложен более эффективный органический жидкий катализатор, действие которого основано на способе разрушения полисульфидов водорода органическими соединениями азота. Процесс осуществляется непрерывно. Катализатор вводится в начале ступени разбрызгивания.

Применение жидкого катализатора минимизирует размеры оборудования и ограничивает окисление серы, он является недорогим и доступным. Фирма выполнила порядка 50 проектов производительностью от 15 до 1200 т серы в сутки. В качестве катализатора процесса разрушения полисульфидов водорода, существенно увеличивающего скорость процесса дегазации, предлагается использовать незамещённые гетероциклические соединения азота (хинолин, изохинолин, дипиридил и др.). Данные со-

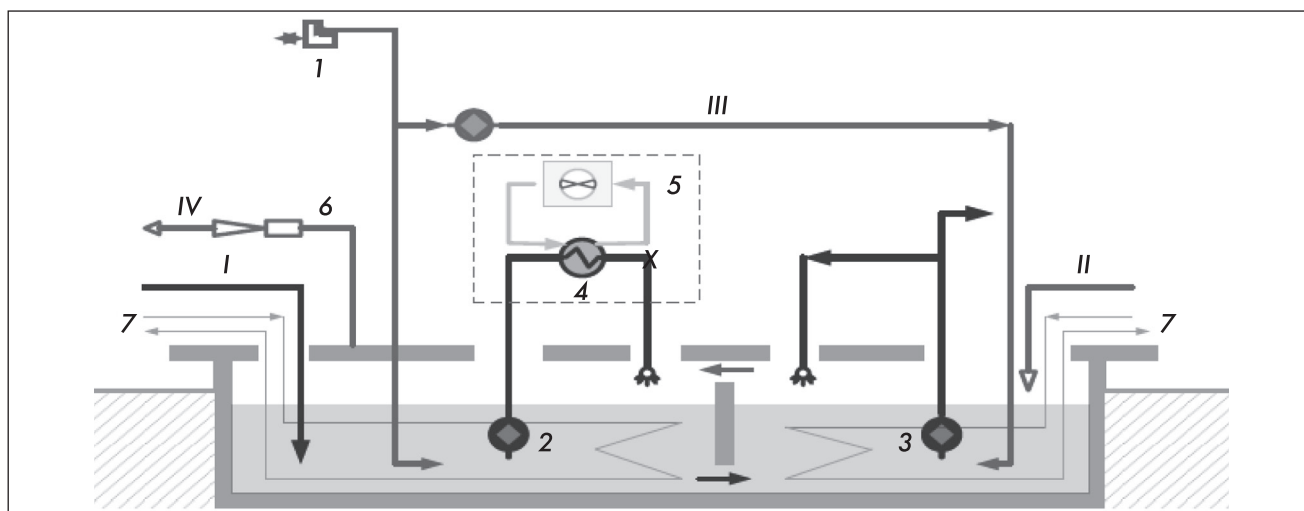


Рис. 9. Принципиальная технологическая схема процесса «Aquisulf»:

1 — насос подачи жидкого катализатора; 2, 3 — насосы жидкой серы; 4 — теплообменник для охлаждения жидкой серы; 5 — воздушный конденсатор пара; 6 — паровой эжектор; 7 — паровой теплообменник.

Линии: I — жидкая сера из гидрозатворов установки получения серы; II — воздух (или отходящий газ установки получения серы); III — жидкий катализатор «Aquisulf»; IV — газ дегазации в печь дожига

единения обладают высокой температурой кипения (больше 200°C) и не образуют твердой фазы при реакции с производными серы. Катализатор добавляется в количестве 5-120 ppm по отношению к сере.

Процесс «Aquisulf» непрерывный, протекает в бетонной яме или в другой ёмкости для дегазации серы, разделённой на две секции (рис. 9). Первая секция оборудована насосом циркуляции 2, теплообменником 4 для охлаждения жидкой серы и системой её диспергирования. Вторая секция оборудована насосом циркуляции и перекачки жидкой серы 2 и системой диспергирования жидкой серы. Узел дегазации также оборудован системой подачи жидкого катализатора 1 и эжектором для отвода газов дегазации 6.

Сера непрерывно поступает в первую секцию, где происходит циркуляция и диспергирование жидкой серы. Для достижения оптимальной температуры дегазации жидкая сера охлаждается в теплообменнике. В качестве теплоносителя используется вода. В процессе теплообмена образуется пар низкого давления, который направляется в воздушный конденсатор.

Во вторую секцию сера попадает через отверстие в нижней части перегородки между секциями. Во второй секции осуществляется циркуляция и диспергирование жидкой серы с последующей перекачкой дегазированного продукта на склад или отгрузкой потребителю. Газы дегазации направляются в печь дожига или на вход печи процесса Клауса.

По всему миру эксплуатируются или находятся в состоянии разработки более 80 установок дегазации серы по технологии «Aquisulf».

Процесс дегазации жидкой серы «Aquisulf» интегрируется с существующими процессами дегазации серы на российских ГПЗ, но для осуществления технологии дегазации по процессу «Aquisulf» применительно, например, к условиям ГПЗ ООО «Газпром

добыча Астрахань» необходима реконструкция ям дегазации с установкой дополнительных узлов и оборудования.

Таблица 1

Перечень существующего (АГПЗ) и дополнительного оборудования для процесса дегазации «Aquisulf»

Оборудование	Основное или находящееся в эксплуатации	Дополнительное
Ямы дегазации	+	Реконструируемая
Ёмкость хранения катализатора	—	+
Дозирующее устройство для подачи катализатора	—	+
Линия подачи жидкого катализатора	+ (Линия подачи аммиака)	—
Испаритель для охлаждения жидкой серы	—	+
Воздушный конденсатор пара низкого давления	—	+
Диспергирующее устройство для распределения жидкой серы в газовом пространстве	+ (Форсунки)	—
Эжектор	+	—
Насосы циркуляции и перекачки жидкой серы	+	—

При проектировании (интегрировании) процесса дегазации «Aquisulf» применительно к условиям ГПЗ ООО «Газпром добыча Астрахань» необходимо учитывать возможность использования существующего

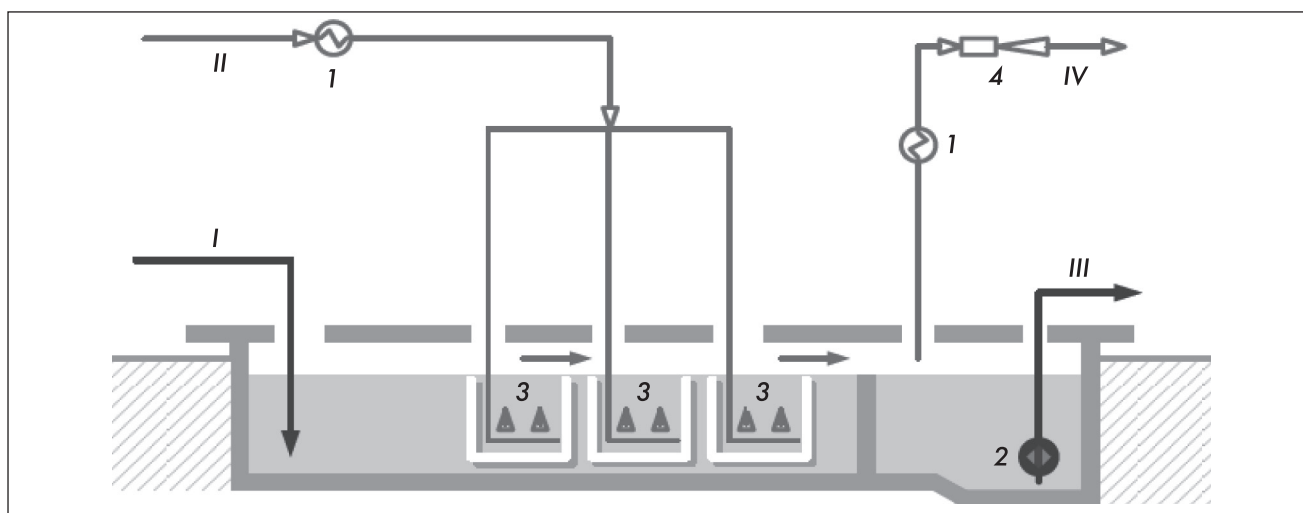


Рис. 10. Принципиальная схема процесса фирмы Shell:

1 — теплообменник; 2 — насос дегазированной серы; 3 — отпарная колонна; 4 — паровой эжектор.

Линии: I — жидкая сера из гидрозатворов установки получения серы; II — воздух; III — дегазированная сера; IV — газ дегазации в печь дожига

на ГПЗ оборудования. В табл. 1 представлен перечень существующего и дополнительного оборудования, необходимого для осуществления дегазации по процессу «Aquisulf».

Процесс дегазации фирмы SHELL (Нидерланды, фирма Comprimo, установка для отпарки серы фирмы Shell). Непрерывный процесс, в зависимости от проектного задания его проводят без катализатора или в присутствии небольшого количества катализатора, например аммиака или диизопропаноламина (ДИПА).

Избыточное давление воздуха, подаваемого в отпарную колонну, составляет примерно 0,05 МПа, чтобы преодолеть статический напор серы в колонне. Во многих случаях для этого можно использовать избыток воздуха, отводимый из воздуходувок установок Клауса. Этот барботажный воздух, а также дополнительно подаваемый воздух служат продувочными газами; вместе с выделенным сероводородом газы отсасывают эжектором и подают на сжигание. Дегазированную серу откачивают насосом в ёмкость для хранения в соответствии с уровнем серы в дегазаторе. Поскольку низ и верх отпарной колонны открыты, обеспечивается многократная рециркуляция серы в отпарной колонне (подъём серы).

В процессе дегазации «Shell» жидкая сера непрерывно поступает в заглублённую ёмкость (яму) дегазации (рис. 10). Процесс может быть осуществлён также в наземной стальной ёмкости, разделённой на две секции. В первой секции располагаются барботажные колонны 3, через которые осуществляется циркуляция серы продувкой воздуха. Количество барботажных колонн в секции зависит от производительности установки и размера ёмкости дегазации.

Воздух предварительно подогревается в теплообменнике 1. После теплообменника подогретый воздух подаётся на распределительное устройство, расположенное в основании колонн. Отходящие газы

дегазации удаляются через эжектор 4 и направляются в печь дожига. Через перелив дегазированная сера поступает во вторую секцию, откуда насосом 2 отправляется на склад или отгрузку.

Преимущество процесса — отсутствие движущихся частей и катализатора.

В мире эксплуатируется свыше 200 установок дегазации, работающих по данной технологии мощностью 3-4 тыс. т/сут. Процесс дегазации жидкой серы фирмы Shell интегрируется с существующим процессом дегазации ГПЗ.

Таблица 2

Перечень существующего (АГПЗ) и дополнительного оборудования для процесса «Shell»

Оборудование	Основное или находящееся в эксплуатации	Дополнительное
Ямы дегазации	+	Реконструируемая
Узел подогрева и подачи воздуха	—	+
Узел подогрева отходящих газов дегазации	—	+
Барботажные колонны	—	+
Распределители воздуха	+	(Реконструкция форсунок)
Эжектор	+	—
Насосы циркуляции и перекачки жидкой серы	+	—

В табл. 2 представлен перечень существующего и дополнительного оборудования, необходимого для осуществления дегазации по процессу фирмы Shell.

Для осуществления технологии дегазации по процессу «Shell» применительно к условиям ГПЗ ООО «Газпром добыча Астрахань» необходима реконструкция ям дегазации с установкой дополнительных узлов и оборудования.

Предварительный анализ рассмотренных технологий дегазации жидкой серы показывает, что наиболее экономичными из известных процессов дегазации (по критерию минимальных капитальных вложений и возможности интеграции с существующим на АГПЗ процессом) являются технологии дегазации фирмы Shell и «Aquisulf» фирмы Elf Aguitane. Реализация других процессов потребует или существенных капитальных затрат, в том числе на замену или ликвидацию имеющегося оборудования и серных ям, подготовку площадки, или не даст возможности повысить качество серы из-за использования в процессе аммиачного катализатора.

Эти два альтернативных варианта дегазации жидкой серы — процесс «Aquisulf» и «Shell» интегрируются с существующим процессом дегазации на ГПЗ, но необходима реконструкция ям дегазации — объединение ям Т01 и Т02 в одну с разделением на две секции. В качестве разделительной перегородки может выступать существующая стена, в основании которой необходимо проделать специальное отверстие для циркуляции серы.

Оптимальным вариантом по технико-экономическим показателям является технология дегазации «Shell». Однако для её внедрения требуется реализация следующих мероприятий:

- экономическое обоснование инвестиций на реконструкцию установок дегазации жидкой серы;
- технологический регламент на проектирование установок дегазации жидкой серы;
- проект реконструкции установок дегазации жидкой серы с максимальным учётом существующей инфраструктуры и оборудования.

Имеются различные отечественные разработки дегазации серы, которые до промышленного внедрения не были доведены. Так, предложено проводить освобождение серы от сероводорода путём контактирования её с диоксидом серы, который подадут в избытке к растворённому H_2S , непрореагировавший диоксид серы рециркулируется (ВУНИПИГаз, г. Оренбург). Разработан непрерывный процесс дегазации, в котором разбрызгивание серы достигается с помощью вращающихся лопаток (ВНИПИСера).

Ещё в 2004 г. на Астраханском ГПЗ были поставлены следующие задачи:

- отказ от применения аммиачного катализатора;
- вывод процесса дегазации серы из подземной серной ямы.

Решить эти задачи было предложено различными путями: заменой аммиака титаноксидными катализаторами АОК-1, CRS-31 и КТК-3, применением в качестве продувочного газа воздуха или азота, быстрым удалением свободного H_2S продувкой воздухом с последующим химическим связыванием H_2S

химическим реагентом — смесью этилендиамина с формальдегидом, осуществлением процесса дегазации серы в аппарате идеального смешения (конструкция дегазатора, совмещающая функции погружного насоса и эффективного распыления серы в воздушном пространстве ёмкости дегазации).

Однако промышленная реализация этих процессов не осуществлена.

Для нахождения оптимального варианта дегазации ВНИИГАЗ были опробованы два варианта на Астраханском ГПЗ:

- дегазация жидкой серы на действующем оборудовании узла дегазации жидкой серы. Расход катализатора (аммиака) уменьшается на 50%. Необходимо интенсификация процесса за счёт работы на циркуляцию насосов ямы Т01 в процессе её заполнения;

- дегазация жидкой серы на действующем оборудовании узла дегазации жидкой серы без применения катализатора, но с усовершенствованной системой перемешивания, интенсификацией процесса, направив на циркуляцию работу насосов ямы дегазации в процессе её заполнения, использование форсунок и системы барботирования продувочного газа.

Было установлено, что осуществление процесса дегазации на существующих мощностях российских ГПЗ возможно без подачи аммиака.

Поэтому до внедрения технологии дегазации фирмы Shell возможна реализация варианта дегазации жидкой серы с уменьшением или исключением подачи аммиака на существующих мощностях ГПЗ, что позволит снизить финансовые затраты на закупку аммиака и избежать его отрицательного влияния на качество серы, но при этом необходимо интенсифицировать перемешивание и разбрызгивание жидкой серы с целью эффективности дегазации сероводорода.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

Липидус А.Л., Голубева И.А., Жагфаров Ф.Г. Газохимия: Учебник. — М.: Издательский центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2013. — 402 с.

Кидни А.Дж., Парриш У.Р., Маккартни Д. Основы переработки природного газа: Перевод с англ. / Под ред. О.П. Лыкова, И.А. Голубевой. — Санкт-Петербург: Изд-во Профессия, 2014. — 663 с.

Технология переработки сернистого природного газа. Справочник / А.И. Афанасьев, В.М. Стрючков, И.И. Подлегаев, Н.Н. Кисленко и др.; Под ред. А.И. Афанасьева — М.: Недра, 1993. — 152 с.

Грунвальд В.Р. Технология газовой серы. — М.: Химия, 1992. — 272 с.

Сингалов Ю.А., Карчевский С.Г., Теляшев Р.Г. Элементная сера. Состояние, проблемы и направления развития. Сера, высокосернистые соединения и композиции на их основе. — Уфа: Изд-во ГУП ИНХС РБ, 2010. — 136 с.

Исмагилова З.Ф. Разработка процесса очистки жидкой серы от сероводорода / Автореферат дис. на соискание уч. ст. к.т.н. — Астрахань, 2004. — 24 с.

Федотов Д.П. Разработка технологии дегазации жидкой серы: Дис. на соискание уч. ст. к.т.н. — М., 2010. — 141 с.