

**Панфилов Павел Юрьевич,**  
магистрант, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: Panfilov\_Pavel83@mail.ru  
тел. 89021742339

**Катульский Юрий Натанович,**  
д.б.н., профессор, Ангарский государственный технический университет,  
e-mail: Kagn47@mail.ru

## **ВОЗМОЖНЫЕ ИСТОЧНИКИ И СЦЕНАРИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ АВАРИЙ НА УСТАНОВКЕ ПРОИЗВОДСТВА СЕРЫ**

**Panfilov P.U., Katulsky Y.N.**

## **POSSIBLE CAUSES AND SCENARIOS OF ACCIDENTS OCCURRENCE AND DEVELOPMENT AT THE SULFUR PRODUCTION PLANT**

**Аннотация.** Сохранение человеческой жизни и здоровья всегда являлись важнейшим приоритетом во всем мире. К числу опасного технологического оборудования относится колонное, емкостное, теплообменное, печное, насосно-компрессорное и другое оборудование, в котором обращаются взрыво-пожароопасные и вредные вещества. Неконтролируемое развитие аварийных ситуаций, связанных с взрывами и пожарами, может привести к значительным разрушениям и к гибели людей. В статье представлены возможные источники и сценарии возникновения и развития аварий на установке производства серы.

**Ключевые слова:** производство серы, сценарии, аварии.

**Abstract.** The preservation of human life and health has always been a top priority throughout the world. Hazardous technological equipment includes columns / towers, tanks, heat exchangers, furnaces, pumps, compressors and other equipment where explosive and hazardous substances are handled. The uncontrolled development of emergency situations associated with explosions and fires can lead to significant destruction and loss of humans life. The article presents possible causes and scenarios of accidents occurrence and development at the sulfur production unit.

**Keywords:** sulfur production, scenarios, accidents.

Установка производства серы (УПС) предназначена для извлечения элементарной серы из сероводородсодержащих (кислых) газов по технологии фирмы «Worley Parsons», основанной на процессе Клауса.

Проектная мощность УПС по продукту – 38 тыс. т/год серы. Диапазон устойчивой работы оборудования установки 60-110 % от номинальной производительности. Режим работы установки – непрерывный с межремонтным пробегом основного оборудования не менее двух лет [1]. По технологической принадлежности оборудование УПС можно разделить на 7 блоков (рисунок 1).

В блоке №1 (сепараторы топливного газа) кислые газы с установок нефтеперерабатывающего производства и производства масел поступают в отбойные сепараторы кислого газа поз. С-102 и С-202. Сюда же поступает и рецикло-вый кислый газ из регенератора амина (блок №5). Далее кислый газ нагревает-

ся в паровых подогревателях и поступает в две одинаковые технологические линии «Извлечения серы» (блоки № 2 и №3)

В каждом из блоков №2 (извлечение серы первая линия) и №3 (извлечение серы вторая линия) происходит поэтапный процесс превращения сероводорода в элементарную серу: сначала в результате термических реакций, происходящих в реакционной печи при высокой температуре, а затем в двух последовательно установленных реакторах Клауса в присутствии катализаторов.

Получаемая сера после конденсаторов направляется на дегазацию (блок №7), а хвостовой газ из конечного конденсатора серы поступает в секцию очистки хвостового газа для дальнейшего извлечения серы (блок №4).

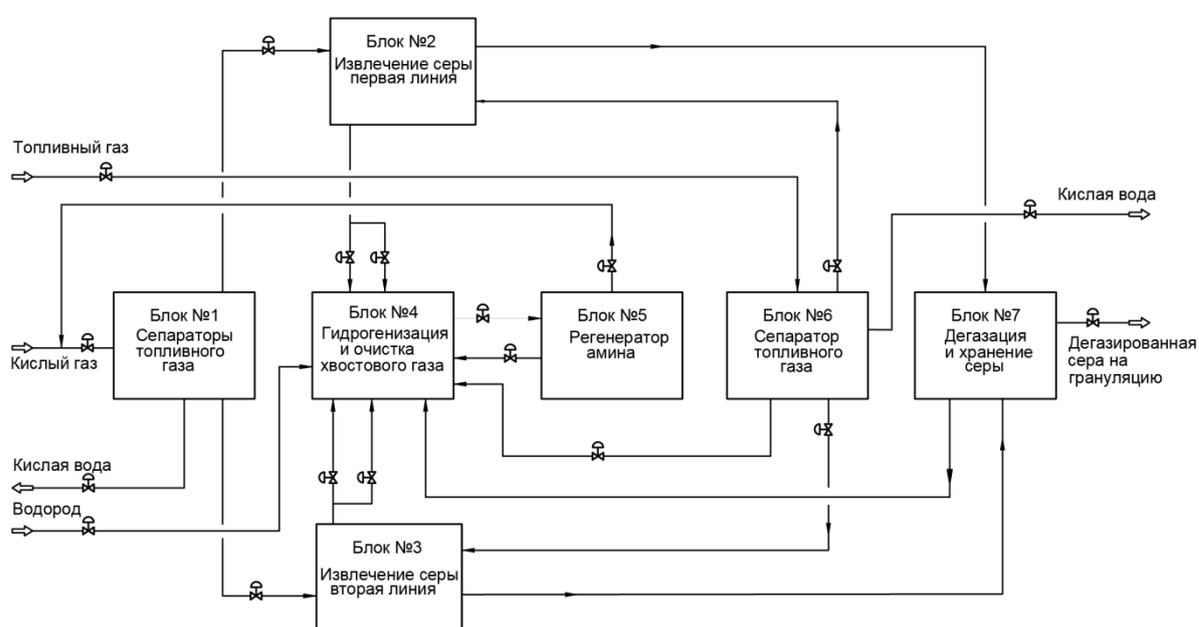


Рисунок 1 – Блок-схема установки производства серы

Дегазация жидкой серы осуществляется путем барботажа воздуха и отстаивания в блоке №7 (дегазация и хранение серы). Удаление сероводорода из емкости дегазации производится с помощью парового эжектора, а дегазированная сера откачивается насосом в секцию грануляции.

Очистка хвостового газа осуществляется в блоке №4 (гидрогенизация и очистка хвостового газа) в реакторе гидрогенизации по технологии «Бивон», где происходит восстановление всех соединений серы, включая пары серы, до сероводорода.

Охлажденный технологический газ после реактора гидрогенизации/гидролиза направляется на очистку от сероводорода в аминовый абсорбер, где содержащийся в нем сероводород поглощается 45 %-ным раствором метилдиэтанолamina (МДЭА) и далее направляется в блок №5.

В блоке №5 (регенератор амина) насыщенный сероводородом амин регенерируется в регенераторе (десорбере), из верхней части которого выводится сероводородсодержащий газ (рециркулят) с содержанием  $H_2S \sim 85\%$  об., возвращаемый в сырьевой поток кислого газа. (блок №1)

Блок №6 (Сепаратор топливного газа) является вспомогательным. Здесь происходит отделение топливного газа от конденсата, нагрев газа в подогревателе и дальнейшая его очистка от механических примесей при помощи фильтра. Далее топливный газ направляется на горелки печей где используется в качестве топлива.

На установке производства серы можно ожидать возникновение и развитие аварии по модели взрыва парового облака. Кроме того, авария может сопровождаться факельным горением или пожаром-вспышкой или, при отсутствии воспламенения, образованием в атмосфере облака, содержащего вредные вещества.

Высвободившаяся при разгерметизации оборудования или трубопровода парогазовая фаза успевает перемешаться с воздухом с образованием горючей смеси. При последующем воспламенении происходит сгорание (взрыв) парогазового облака с образованием ударной волны. Последствиями воздействия ударной волны являются разрушения и повреждения зданий, сооружений, соседних аппаратов.

При крупных авариях могут образоваться взрывопожароопасные облака большого объема, содержащие углеводороды в газовой или паровой фазах, способные перемещаться по территории промплощадки и за ее пределы.

Кроме этого, теоретически возможно поражение людей осколками оборудования, обломками сооружений и конструкций при их обрушении под действием ударной волны. Однако, в связи с тем, что средняя плотность распределения производственного персонала на территории предприятия достаточно мала, а количество разлетающихся осколков не превышает 10, расчетное количество людей, пораженных разлетающимися осколками, практически равно нулю.

Оборудование установки производства серы, в основном, расположено на открытых этажерках, а образование взрывоопасной смеси в открытом помещении маловероятно.

Внешние воздействия природного и техногенного характера в качестве причин аварий не рассматриваются, так как проектирование установки произведено с учетом сейсмичности и метеоусловий г. Ангарска.

При составлении описаний возможных вариантов возникновения и развития аварии с переходом в пожар (взрыв) каждому показателю пожарной опасности (событию) присвоили идентификатор. Буква идентификатора обозначает

уровень аварии, а цифра - возможную последовательность смены одних событий другими.

При разгерметизации аппаратов и трубопроводов происходит выброс горючей жидкости или горючего газа в атмосферу. В случае наличия источника воспламенения происходит поджигание. Выходящая с большой скоростью струя углеводородов будет интенсивно гореть (факельное горение) и нагревать оборудование, расположенное вблизи от места аварии, в результате чего может произойти дальнейшее разрушение оборудования с выбросом значительных количеств углеводородов в окружающее пространство с последующим взрывом и/или пожаром [2].

Процесс возникновения и развития аварии на УПС можно представить следующим образом:

- группа сценариев С1 - взрыв облака паровоздушной смеси: разгерметизация оборудования с истечением горючих газов → образование, распространение большого облака газовой смеси → воспламенение → взрыв (сгорание с повышением давления) → образование воздушной ударной волны → воздействие на соседние аппараты, здания, сооружения и на персонал;

- группа сценариев С2 - пожар-вспышка (выгорание облака газовой смеси): разгерметизация оборудования с истечением газа → образование, распространение облака газовой смеси в неограниченном пространстве → воспламенение → сгорание без повышения давления в режиме дефлаграции («пожар вспышка») → воздействие на персонал горячих продуктов сгорания;

- группа сценариев С3 - пожар пролива: поступление горючей жидкости из разрушенного оборудования → воспламенение паров продукта от постороннего источника зажигания → устойчивое горение паров пролива над поверхностью жидкости → мощное тепловое излучение → воздействие на соседние аппараты, здания, сооружения и на персонал;

- группа сценариев С4 - факельное горение: образование трещин в трубопроводах и аппаратах, нарушение герметичности разъемных соединений, уплотнений насосов или арматуры до момента срабатывания защитных систем → локальное струйное истечение продукта → воспламенение (самовоспламенение или наличие источников поджигания) → локальный факел → воздействие на соседние аппараты, здания, сооружения и на персонал;

- группа сценариев С5 - рассеяние (образование зоны загазованности): разгерметизация технологического оборудования или арматуры → образование облака газовой смеси → распространение облака без воспламенения и взрыва → образование зоны загазованности → токсическое воздействие на персонал → рассеяние облака газовой смеси. Реализуется при отсутствии источников воспламенения;

- группа сценариев С6 - образование пролива: разгерметизация технологического оборудования или трубопроводов → выброс жидких веществ на подстилающую поверхность → образование пролива → частичное испарение жидкости → образование облака паровоздушной смеси → рассеяние облака паровоздушной смеси → воздействие пролитой жидкости на подстилающую поверхность → ликвидация пролива.

Установка производства серы разбита на отдельные технологические блоки быстродействующей отсечной арматурой - клапанами с временем срабатывания 12 с. В случае полной разгерметизации в окружающее пространство может выйти все содержимое блока, а также масса продукта из соседних блоков, натекающая в течение 12 с.

Сценарии возможных аварий, сопровождающихся взрывными явлениями или токсическим поражением, представлены для 6 расчетных блоков (см. рисунок 1):

- расчетный блок 1 - основной аппарат отбойный сепаратор кислого газа С-102;
- расчетный блок 2 (3) - основной аппарат первый конденсатор серы Т-101 (Т201);
- расчетный блок 4 - основной аппарат аминовый абсорбер К-302;
- расчетный блок 6 - основной аппарат сепаратор топливного газа С-002;
- расчетный блок 7 - основной аппарат емкость дегазации Е-001.

При разгерметизации оборудования 5 блока аварий, сопровождающихся взрывными явлениями и токсичным поражением, не будет, так как хвостовой газ содержит незначительное количество сероводорода и не является горючим.

В таблице 1 представлены основные поражающие факторы при возможных различных сценариях аварий на УПС.

Таблица 1

Основные поражающие факторы при аварии

№ Сценария	Последствия, опасное вещество	Основной поражающий фактор
С1	Взрыв ТВС	Ударная волна
С2	Пожар-вспышка	Воздействие горячих продуктов горения
С3	Пожар пролива	Тепловое излучение
С4	Факельное горение	Тепловое излучение
С5	Загазованность	Токсическое поражение
С6	Пролив	Токсическое поражение

Таким образом, при возникновении и развитии аварии на установке, наиболее опасными являются группа сценариев С1 из-за воздействия такого поражающего фактора как ударная волна. Ударная волна образуется в результате взрыва, представляющего собой кратковременный процесс весьма быстрого превращения вещества с выделением большого количества энергии в небольшом объеме. Она молниеносно распространяется во все стороны от центральной точки взрыва, что может привести к разрушению оборудования и коммуникаций установки УПС и гибели персонала как от самой ударной волны, так и от разлетающихся осколков (летающие обломки зданий и сооружений, камни, битые стекло и другие предметы, увлекаемые взрывной волной).

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Временный технологический регламент. Установка производства серы, объект 207, цеха 201, Служба эксплуатации новых объектов (СЭНО), г. Ангарск, 2019 г.

2. План мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий на опасном производственном объекте «Установка производства серы», г. Ангарск.