

УДК 614.83:66.02

ПРОБЛЕМА ВЫБОРА НАИБОЛЕЕ ОПАСНОГО АППАРАТА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЗРЫВООПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО БЛОКА НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ И НЕФТЕХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВАХ

канд. техн. наук Ю.А. БУЛАВКА
(Полоцкий государственный университет)

Рассматривается проблема, связанная с выбором наиболее опасного аппарата для оценки взрывоопасности технологического блока на нефтеперерабатывающих и нефтехимических производствах. На примере установок гидроочистки дизельных и реактивных топлив осуществлена количественная оценка взрывоопасности технологических блоков по значениям приведенной массы паров, относительному энергетическому потенциалу, категории взрывоопасности технологического блока и базовому радиусу возможных разрушений на действующих технологических установках нефтеперерабатывающего завода. Анализ полученных данных показал, что для исключения возможности недооценки либо переоценки взрывоопасности технологического блока требуется разработка рекомендаций по унификации группировки аппаратов для типовых технологических процессов нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств и применение современных методов принятия решений по выбору наиболее опасного аппарата в блоке.

Ключевые слова: взрывоопасность, технологический блок, нефтепереработка и нефтехимия.

Введение. Технологические процессы нефтепереработки и нефтехимии ведутся в закрытых герметичных аппаратах, что исключает выделение опасных веществ в атмосферу при нормальном режиме работы, однако физический износ оборудования, нарушение технологического процесса при обслуживании установок могут привести к разгерметизации оборудования с последующим выбросом продукта. Последствиями разгерметизации могут быть: пожар пролива, факельное горение, «огненный шар», дефлаграция, детонационный взрыв, токсикоз, формирование возможной взрывоопасной зоны. Аварийная ситуация может привести к огромным разрушениям и многочисленным человеческим жертвам, а также загрязнению обширных территорий [1]. Взрывы газоздушных смесей представляют существенную опасность: под воздействием ударной волны возможно разрушение оборудования, трубопроводов и травмирование людей. «Огненный шар» может причинить смертельные ожоги. Пожары проливов в силу их больших площадей опасны в основном как очаги возникновения вторичных пожаров. Возможная взрывоопасная зона, образуемая при разрушении оборудования и дрейфе облака углеводородных газов и паров, может выходить за пределы установок и при наличии источника воспламенения приводить к взрыву. Токсикозны несут опасность острого отравления персонала [1–3].

Анализ последствий аварий в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности показывает, что основную опасность для территории объектов представляют: аварийная загазованность; пожары и взрывы, при этом пожары составляют большую долю (около 59% от общего числа опасных ситуаций); загазованность – около 18%; взрывы – около 15%, прочие опасные ситуации – до 8% [1].

На рисунке 1 отражены результаты статистического анализа состояния аварийности на наиболее мощном по количеству перерабатываемого сырья белорусском нефтеперерабатывающем предприятии (НПЗ), а именно динамика состояния аварийности по видам последствий аварийных ситуаций. Наблюдается тенденция снижения числа пожаров и взрывов за десятилетние периоды изучения, а с 2010 года не регистрировались случаи пожаров и взрывов, что, возможно, обусловлено совершенствованием работы по обеспечению пожаровзрывобезопасности оборудования и технологического процесса на предприятии. За весь период эксплуатации рассматриваемого НПЗ около 51% аварийных ситуаций от общего числа привели к пожарам и около 10% – к взрывам [4–7].

Ведущим методом снижения взрывоопасности, а также тяжести последствий взрывов и пожаров установок нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности является разделение всей технологической установки на отдельные технологические блоки с установкой между ними быстродействующих запорных органов. При разделении систем на блоки предусматривается максимальное, с учетом технологической возможности, ограничение объемов обращающихся в блоке опасных веществ, чтобы в случае аварийного отключения отдельного блока не возникли пожаровзрывоопасные инциденты и не развились аварии в смежных блоках [8–10].

В качестве базового критерия взрывоопасности технологического блока приняты относительный энергетический потенциал и приведенная масса парогазовой среды, которые определяются по полной энергии сгорания парогазовой фазы, выделившейся при полной разгерметизации аварийного аппарата.

До 2013 года в Республике Беларусь основным документом, регламентирующим порядок расчета относительного энергетического потенциала, были «Общие правила взрывобезопасности химических производств и объектов (ОПВ-96), утвержденные Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь 28 июля 1996 г. (последняя редакция – Постановление МЧС от 16 ноября 2007 г. № 100)».

В 2013 году взамен ОПВ-96 введен ТКП 506-2013 (02300) «Взрывобезопасность химических производств и объектов. Общие требования», утвержденный постановлением Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь от 23 декабря 2013 г. № 72а, который действует на данный момент. Обязанность по выполнению расчета относительного энергетического потенциала взрывоопасных технологических блоков и определению категории их взрывоопасности возложена на организации, которые осуществляют разработку проектов производств.

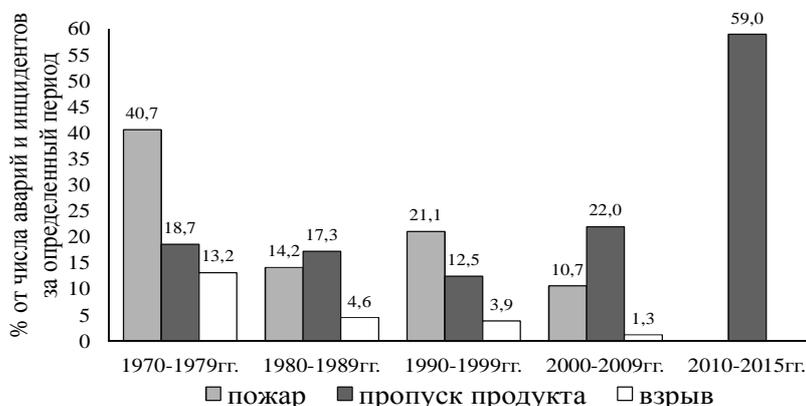


Рисунок 1. – Вклад пропусков продуктов, пожаров и взрывов в общее количество аварийных ситуаций на белорусском НПЗ

Категорирование технологических блоков по взрывоопасности производится в соответствии с общими принципами количественной оценки взрывоопасности технологических объектов в зависимости от значений относительных энергетических потенциалов Q_B и приведенной массы взрывоопасной парогазовой среды m технологических блоков в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 – Категорирование технологических блоков по взрывоопасности

Категория взрывоопасности	Относительный энергетический потенциал Q_B	Приведенная масса взрывоопасной парогазовой среды m , кг
I	Более 37	Более 5000
II	27...37	2000...5000
III	Менее 27	Менее 2000

Если в технологическом блоке с $Q_B > 10$ обращаются вещества, относящиеся к 1 и (или) 2 классам опасности или обладающие механизмом остронаправленного действия, способные при аварийных ситуациях накапливаться в рабочей зоне с концентрацией более пороговой токсодозы, категория блока принимается на одну выше.

В свою очередь, относительный энергетический потенциал и приведенную массу парогазовой среды рассчитывают по значениям общего энергетического потенциала взрывоопасности, который определяется полной энергией сгорания парогазовой фазы, находящейся в блоке, с учетом величины работы ее адиабатического расширения и значения энергии полного сгорания испарившейся жидкой фазы с максимально возможной площади ее пролива. При этом в расчете учитывается более двадцати различных параметров, таких как: масса, компонентный состав, теплоемкость, давление насыщенных паров, время испарения, плотность, удельная теплота сгорания парогазовой среды и пролитой жидкой фазы, а также температура воздуха и среды, давление, теплопроводность, плотность и теплоемкость материала твердой поверхности, скорость ветра, площадь зеркала испарения и другие параметры. Приведенные массы парогазовых сред (массы паров, участвующих во взрыве) применяются для расчета тротилового эквивалента и радиусов зон разрушений.

При компоновке технологического блока выполняется анализ различных вариантов аварийных ситуаций, связанных с полной разгерметизацией одного из аппаратов или участка трубопровода между аппаратами. В качестве окончательного варианта выбирается тот, при котором установлены наихудшие последствия – максимальное количество взрывоопасных веществ, поступивших в окружающую среду.

Результаты количественной оценки взрывоопасности технологических объектов важны для дальнейшего проектирования производства – на их основе *определяются* требования к системам управления технологическим процессом, автоматизации, технологические параметры защиты объекта, расстояния от взрывопожароопасных объектов до операторных (помещений управления установкой), бытовых и адми-

нистративных зданий; обосновывается применение технологического оборудования; осуществляется выбор типа отключающих устройств и мест их установки и др. [8–10].

В настоящее время компоновкой технологического блока занимаются эксперты-проектировщики, основываясь на собственном опыте и знаниях, что характеризуется значительной долей субъективизма. Кроме того, отсутствуют четкие правила и рекомендации по унификации группировки оборудования на технологические блоки по взрывоопасности, что не позволяет однозначно и количественно точно оценить уровень взрывоопасности блока.

Цель настоящего исследования – установление существующей проблемы выбора наиболее опасного аппарата для оценки взрывоопасности технологического блока на основе анализа результатов количественной оценки взрывоопасности технологических блоков на действующих технологических установках наиболее мощного по количеству перерабатываемого сырья белорусского НПЗ на примере установок гидроочистки дизельных и реактивных топлив.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрено разбиение на блоки трех технологических установок гидроочистки (ГО) дизельных и реактивных топлив, эксплуатируемых на нефтеперерабатывающем заводе, на основании данных промышленных технологических регламентов: № 2 (тип Л-24/7); № 3 (тип ЛЧ-24/7) равной проектной мощности около 1,2 миллиона тонн в год; № 4 (тип Л-24-9х2РТ) – производительностью 2 миллиона тонн в год. Три установки с одинаковой технологической схемой разбиты на разное количество блоков: ГО № 2 и ГО № 3 на 6 блоков (установки двухпоточные); ГО № 4 – на 7 (резервуары хранения топлива со всех трех установок и блок смешения с присадкой есть только на данной установке). В таблице 2 представлены обобщенные данные по взрывоопасности схожих блоков установок.

Таблица 2 – Обобщенные данные по взрывоопасности блоков установок гидроочистки дизельных и реактивных топлив

Стадия процесса, (отдельный технологический блок)	1. Приведенная масса паров (m). 2. Относительный энергетический потенциал (Q_b). 3. Категория взрывоопасности технологического блока. 4. Базовый радиус возможных разрушений (R_0)		
	ГО № 2 (тип Л-24/7)	ГО № 3 (тип ЛЧ -24/7)	ГО № 4 (тип Л-24-9х2РТ)
Блок 1: Смешение поступающего сырья (фракции 180...360 °С) с циркулирующим водородосодержащим газом, нагрев смеси, гидроочистка топлива в среде водородосодержащего газа от соединений серы, азота и кислорода; охлаждение газопродуктовой смеси и отделение водородосодержащего газа от продуктов реакции	1) m = 18697,5 кг 2) $Q_b = 57,5$ 3) I категория 4) $R_0 = 20,4$ м	m = 7317 кг $Q_b = 42,1$ I категория $R_0 = 14,9$ м	m = 14545,6кг $Q_b = 52,9$ I категория $R_0 = 18,9$ м
Блок 2: Стабилизация, обезвоживание, отпарка бензина и сероводорода из гидрогенизата (фракции 180...360 °С)	1) m = 6252,4 кг 2) $Q_b = 39,9$ 3) I категория 4) $R_0 = 14,1$ м	m = 6918,3 кг $Q_b = 41,3$ I категория $R_0 = 14,6$ м	m = 39076,6 кг $Q_b = 73,5$ I категория $R_0 = 26$ м
Блок 3: Смешение поступающего сырья фракции 140...240 °С с циркулирующим водородосодержащим газом, нагрев смеси, проведение процесса деструктивной гидрогенизации, охлаждение газопродуктовой смеси и отделение водородосодержащего газа от продуктов реакции	1) m = 21204,8 кг 2) $Q_b = 60$ 3) I категория 4) $R_0 = 21,2$ м	m = 5765,5 кг $Q_b = 38,9$ I категория $R_0 = 13,8$ м	Параметры не указаны
Блок 4: Стабилизация, обезвоживание, отпарка бензина и сероводорода из гидрогенизата (фракции 140...240 °С)	1) m = 6591,1 кг 2) $Q_b = 40,6$ 3) I категория 4) $R_0 = 14,4$ м	m = 6321,8кг $Q_b = 40,1$ I категория $R_0 = 14,2$ м	Параметры не указаны
Блок 5: Очистка углеводородного газа от сероводорода водным раствором моноэтаноламина	1) m = 114,4 кг 2) $Q_b = 10,5$ 3) III категория 4) $R_0 = 0,94$ м	m = 81,8 кг $Q_b = 9,4$ III категория $R_0 = 0,76$ м	m = 1069,3 кг $Q_b = 22,2$ III категория $R_0 = 4,17$ м
Блок 6: Десорбция сероводорода из водного раствора моноэтаноламина	1) m = 33,5 кг 2) $Q_b = 7$ 3) III категория 4) $R_0 = 0,42$ м	m = 104,7 кг $Q_b = 10,2$ III категория $R_0 = 0,89$ м	m = 42,6 кг $Q_b = 7,6$ III категория $R_0 = 0,49$ м

В отличие от ГО № 2, на установке ГО № 3 в расчете не учитываются (не входят в состав блоков № 1 и № 3) емкости прямого питания (но входят в состав блока № 2), сырьевые насосы, ряд теплообменных аппаратов. Несмотря на близкие скорости срабатывания отсечной арматуры, приведенная масса паров на установке ГО № 3 на блоках 1 и 3 получилась в 2,5...3,7 раза меньше, чем на аналогичном блоке установки ГО № 2, что, вероятно, связано с работой эксперта, который принял в качестве наиболее опасного аппарата для характеристики всего блока различные объекты. Это также подтверждается на примере пятого блока: в качестве наиболее опасного аппарата принят сепаратор выделения углеводородного газа из гидрогенизата на установке ГО № 4, а на установках ГО № 2 и ГО № 3 для расчета принят абсорбер для поглощения сероводорода из углеводородного газа.

На установке ГО № 4, в отличие от ГО № 2, в расчете не учитываются (не входят в состав блока № 1 сырьевые насосы, поршневые компрессоры подачи водородосодержащего газа.

Следует отметить, что полученные показатели взрывоопасности по первому блоку на установке ГО № 4 ниже, чем на ГО № 2, несмотря на то, что производительность установки по сырью выше на 67%. Кроме того, для рассмотренных объектов, схожих по технологическому процессу, наиболее опасными с точки зрения последствий взрыва являются разные блоки. На установке ГО № 4 это блок стабилизации гидрогенизата, на установке ГО № 3 – блок гидроочистки дизельного топлива, а на установке ГО № 2 – блок гидроочистки топлива для реактивных двигателей.

Заключение. Полученные результаты подтверждают, что у специалистов-экспертов имеются *проблемы выбора наиболее опасного аппарата* для отдельного блока, характеризующего последствия при наихудших вариантах развития аварийных ситуаций, группировкой различных аппаратов при схожих технологических схемах установок.

Данный факт может привести к неверным результатам выбора наиболее опасного аппарата:

- к искажению истинных данных при оценке взрывоопасности технологического блока и, как следствие, к неверному выбору расстояния от взрывопожароопасных объектов до операторных, бытовых и административных зданий на основании полученных значений радиусов возможных разрушений;

- к необоснованному определению типов отключающих устройств, мест их установки, а также систем автоматизации и управления технологическим процессом и т.п.

Для исключения возможности недооценки либо переоценки взрывоопасности блока требуется разработка рекомендаций по унификации группировки аппаратов на типовых технологических процессах нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств, а также применение современных методов принятия решений в выборе наиболее опасного аппарата в блоке.

В настоящее время в условиях многокритериального выбора используются различные методы экспертных оценок для принятия решений, в частности: метод исследования операций, метод теории полезности, метод анализа иерархий, использование элементов теории нечетких множеств, их комбинации (например, метод нечеткого анализа иерархий) и другие, каждый из которых характеризуется своими преимуществами и недостатками.

Перспективными, на наш взгляд, в выборе наиболее опасного аппарата в технологическом блоке являются метод анализа иерархий [10] и методы теории нечетких множеств [11–13]. Однако метод анализа иерархий характеризуется ограниченным количеством одновременно сравниваемых показателей, длительностью самой процедуры парных сравнений, а также допущением о взаимной независимости параметров. Рационально в выборе наиболее опасного аппарата в технологическом блоке применять метод теории нечетких множеств, позволяющий учитывать критерии как количественного, так и качественного характера, а также работать с объективными данными и экспертными оценками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булавка, Ю.А. Оценка риска от воздействия вредных и опасных производственных факторов на состояние здоровья работающих нефтеперерабатывающего предприятия (на примере производства смазочных масел, битумов и присадок) : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.01 / Ю.А. Булавка ; Полоц. гос. ун-т : Новополоцк, 2013. – 187 с.
2. Покровская, С.В. Моделирование последствий аварий на опасных производственных объектах нефтеперерабатывающей промышленности с использованием программного комплекса ТОХИ^{+Risk} / С.В. Покровская, Ю.А. Булавка, Д.В. Галкина // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2016. – № 3. – С. 173–178.
3. Булавка, Ю.А. Концептуальный подход к оценке профессионального риска на опасных производственных объектах / Ю.А. Булавка, О.О. Смиловенко // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2013. – Т. 8, № 1. – С. 125–131.

4. Булавка, Ю.А. Динамика состояния аварийности на нефтеперерабатывающем предприятии / Ю.А. Булавка // Проблемы техносферной безопасности-2012 : материалы междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов. – М. : Аккад. ГПС МЧС России, 2012. – С. 149–152.
5. Булавка, Ю.А. Роль апостериорного анализа происшествий в управлении охраной труда и промышленной безопасностью на опасном производственном объекте / Ю.А. Булавка, Е.В. Сташевич // Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности и защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях : сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф., Ставрополь, 12–13 апр. 2012 г.). – Ставрополь : СевКавГТУ, 2012. – С. 23–25.
6. Булавка, Ю.А. Анализ инцидентов на нефтеперерабатывающем предприятии / Ю.А. Булавка, О.О. Смиловенко, Е.В. Сташевич // Вестн. Командно-инженерного ин-та МЧС. – 2012. – № 2(16). – С. 69–76.
7. Апостериорная оценка состояния аварийности на нефтеперерабатывающем предприятии / Ю.А. Булавка [и др.] // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2012. – № 9. – С. 122–128.
8. Стряпков, А.В. Варианты снижения пожаровзрывоопасности нефтехимических объектов / А.В. Стряпков, И.Н. Паршина, Д.В. Коваленко // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. – 2004. – № 12. – С. 124–128.
9. Взрывобезопасность технологических блоков и категория взрывоопасности. Меры и технические средства противоаварийной защиты / Т. Больгерт [и др.] // ТехНадзор. – 2016. – № 3 (112). – С. 106–107.
10. Манайчева, В.А. Применение метода анализа иерархий для определения центра технологического блока установок нефтепереработки [Электронный ресурс] / В.А. Манайчева, М.Х. Хусниязов // Нефтегазовое дело. – 2006. – № 2. – Режим доступа: http://ogbus.ru/authors/Manajcheva/Manajcheva_1.pdf.
11. Нечетко-множественный подход в управлении рисками и безопасностью в техносфере / Ю.А. Булавка // Системы обеспечения техносферной безопасности : материалы Всерос. конф. и школы для молодых ученых. – Таганрог : ЮФУ, 2015. – С. 57–59.
12. Булавка, Ю.А. Элементы нечеткой логики в выборе наиболее опасного аппарата для оценки взрывоопасности технологического блока на нефтеперерабатывающих производствах / Ю.А. Булавка, А.В. Кодис // Инновационные технологии в промышленности: образование, наука и производство : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием : в 2 т. Т. 1. – Уфа : Изд-во «Нефтегазовое дело», 2016. – С. 288–290.
13. Нечетко-множественный подход в управлении рисками и безопасностью на промышленных предприятиях / Ю.А. Булавка // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций : сб. ст. по материалам VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Воронеж, 28–29 апр. 2016 г. : в 2-х ч. Ч. 1 / ФГБОУ ВО Воронеж. ин-т ГПС МЧС России. – Воронеж, 2016. – С. 71–76.

Поступила 04.08.2016

THE PROBLEM OF CHOICE THE MOST DANGEROUS OBJECT FOR EVALUATION OF EXPLOSION OF PROCESS UNIT FOR REFINING AND PETROCHEMICAL INDUSTRIES

YU. BULAUKA

This article discusses the problems associated choosing the most dangerous device for assessing the explosion of process unit in refineries and petrochemical plants are presented. The analysis of the quantitative assessment of the results of the explosion of technological units Belarusian refineries is executed. For eliminate the possibility of underestimating any revaluation explosion unit is required to develop recommendations on unifying groups of devices on typical technological processes of oil refining and petrochemical industries, as well as the use of modern methods of decision-making in the selection of the most dangerous device in the unit.

Keywords: explosion hazards, process unit, refining and petrochemicals.