

УДК 661.935::614.841.242

Обеспечение взрывопожаробезопасности воздухоразделительных установок на основе анализа основных опасностей

А.Э. Погодаева^{1*}, А.Т. Волохина¹, Е.В. Глебова¹

¹ РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Российская Федерация, 119991, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 65, к. 1

* E-mail: Pogodaeva2201@mail.ru

Ключевые слова: воздухоразделительная установка, пожароопасность, взрывоопасная система, кислород, авария.

Тезисы. Проблемой предотвращения пожаров и взрывов воздухоразделительных установок начали заниматься много лет назад. Работы в данном направлении продолжаются и в настоящее время. Безопасность при производстве и применении продуктов разделения воздуха (ПРВ) неразрывно связана с технологией: многие требования, содержащиеся в правилах и эксплуатационной документации, не очевидны и могут быть поняты только на основе детальных представлений о протекающих процессах. В данной работе рассмотрены специфические опасности, возникающие при получении ПРВ и работе с ними, взрывоопасные свойства примесей, обстоятельства и причины типичных аварий. Сформулирован алгоритм обеспечения пожарной безопасности объекта, направленный на снижение рисков за счет оптимального управления технологическими и организационно-методическими факторами воздействия.

Научно-технический прогресс и развитие многих важнейших отраслей промышленности связаны с возрастающим применением кислорода, аргона и других газов, получаемых из атмосферного воздуха. В России и странах СНГ создана широкая сеть воздухоразделительных установок (ВРУ) различной производительности. Опыт производства и применения продуктов разделения воздуха показал их высокую потенциальную опасность, связанную с многочисленными специфическими факторами. Поэтому одновременно с развитием и совершенствованием техники низкотемпературного разделения воздуха и расширением сфер применения полученных продуктов отрабатываются научные основы и технологические приемы, обеспечивающие безопасность работ.

В ходе исследований определен круг опасностей, встречающихся на ВРУ [1]. Так, к *первой группе* относятся опасности, связанные с сосудами, работающими под давлением, электрооборудованием, шумом, работой на высоте, а также в помещениях, где расположены грузоподъемные средства и высокие площадки обслуживания оборудования, движущиеся части машин; ко *второй группе* – специфические (технологические) факторы и опасности (рис. 1).

В последней группе выявлены четыре наиболее значимых фактора, реализация которых может привести к образованию взрывоопасных систем:

1) **газообразный кислород и среды с повышенным содержанием кислорода.** Как известно, и жидкий, и газообразный кислород не являются ни пожароопасными, ни взрывоопасными, ни токсичными веществами. Несмотря на это, кислород – это сильный окислитель. В газовых смесях с повышенным по сравнению с воздухом содержанием кислорода интенсивно горят многие материалы, в том числе и металлы, представляя большую опасность.

Для того чтобы произошли возгорание или взрыв, требуется наличие горючего вещества, окислителя и источника зажигания, которые обеспечат энергию, необходимую для воспламенения. Соответственно, возгорания, пожары и взрывы в системах с повышенным содержанием кислорода могут быть исключены только тогда, когда горючие вещества присутствуют в количествах, при которых исключено горение, либо приняты меры, которые обеспечивают безопасность персонала. Оценка таких опасностей должна производиться на этапе проектирования систем, работающих



Рис. 1. Специфические факторы и опасности при производстве и потреблении продуктов разделения воздуха

с повышенным содержанием кислорода, а также производств, имеющих такие системы.

Как следствие, после изготовления и монтажа кислородного оборудования его необходимо надлежащим образом очищать от загрязнений и обезжиривать. Так, например, в 2012 г. на металлургическом предприятии в Индии произошло загорание арматуры и кислородных коммуникаций [2]. Причина аварии заключалась в том, что при первом запуске кислородной системы в работу не был проведен контроль качества процесса очистки и обезжиривания на соответствие требованиям безопасности, регламентируемым нормативными документами, что в результате привело к пожару с большим количеством пострадавших;

2) **жидкий кислород**. При испарении жидких криогенных продуктов (кислорода, азота, аргона) образуется большое количество газа. Это создает опасность значительного возрастания давления в закрытых объемах. Для исключения таких явлений на всех сосудах,

предназначенных для жидких криогенных продуктов, и на участках, отсекаемых с обеих сторон трубопроводов, транспортирующих жидкие криогенные продукты, устанавливают предохранительные клапаны и разрывные мембраны.

Особую опасность при контакте с жидким кислородом представляют такие вещества, как дерево и асфальт, которые пропитываются им и образуют оксидквиты, по своим взрывным свойствам близкие к наиболее сильным взрывчатым веществам. Не менее опасно соприкосновение жидкого кислорода с маслом, жирами и тканями;

3) **среды с пониженным содержанием кислорода**, специфическая опасность которых заключается в возможности образования в них пиррофорных соединений, способных самопроизвольно возгораться при повышении содержания кислорода. Для предотвращения аварий, связанных с пиррофорными свойствами материалов, переход оборудования от работы

с глубоко очищенными от кислорода продуктами разделения воздуха (содержание кислорода менее 10 млн^{-1}) к заполнению воздухом или газами с более высоким содержанием кислорода должен осуществляться медленно;

4) **накопление аппаратных примесей, содержащихся в перерабатываемом воздухе.**

В состав атмосферного воздуха наряду с основными компонентами, концентрации которых постоянны, входят различные примеси, номенклатура и концентрации которых зависят от места забора воздуха и метеорологических условий. В табл. 1 приведены отечественные и зарубежные нормативы в отношении

Таблица 1

Предельные содержания примесей в воздухе, подаваемом в ВРУ

Примесь	Норма, мг/м ³			
	EIGA*	Air Liquide**	Air Product [3]	русская
Углеводороды C ₁ ...C ₃ суммарно	–	–	–	20
Метан	5	8	10	–
Этан	0,1	–	0,1	–
Этилен	0,1	–	0,3	–
Пропан	0,05	–	0,06	–
Пропилен	0,2	–	0,2	–
Углеводороды C ₄₊ суммарно	1	–	–	1
Ацетилен	0,3	0,3	1	1
CO ₂	425	400	400	400
CO	–	0,6	20	0,6
Водород	–	0,7	10	0,5
N ₂ O	0,35	0,6	0,3	0,05
Озон	–	0,2	0,2	–
Сероуглерод	–	–	–	0,06

* IGC EIGA Document 65/06/E. Safe operation of reboilers/condensers in air separation units = Безопасная работа испарителей-конденсаторов воздуходелительных установок. – 30 с.; EIGA Document 147. Safe practices guide for cryogenic air separation plants / European Industrial Gases Association. – Brussels, Belgium. – www.eiga.eu

** Air Liquide Standard DI, GR.231.05-0. Recommendations to control hazards related to hydrocarbons in the operations of air separation units = Рекомендации по обеспечению взрывобезопасности, связанной с углеводородами при работе воздуходелительных установок. – 29 с.

Таблица 2

Аварии на ВРУ

Дата и место	Вид	Описание и основные причины	Число пострадавших, ущерб
20.12.1968, завод «Амурсталь» (Хабаровский край)	Взрыв, пожар	Нарушение герметичности редуктора РК-1500-52 по причине износа уплотнения. Неисправность наполнительной станции баллонов (нарушение герметичности редуктора)	Получил тяжелые ожоги 1 чел.
18.09.1968, Салаватский нефтехимический завод (Башкортостан)	Пожар	Утечка кислорода из трубопровода по причине нарушения техники безопасности при проведении ремонтных работ	Пострадали 5 чел. (1 случай с тяжелым исходом)
06.04.1969, Невинномысский химический комбинат (Ставропольский край)	Взрыв, пожар	Взрыв блока разделения воздуха по причине переохлаждения трубопровода грязного азота в результате нарушения технологии при монтаже оборудования	Разрыв трубопровода грязного азота в момент сброса воздуха с азотного регенератора
1997 г., г. Фусун (Китай)	Взрыв, пожар	Взрыв ВРУ по причине работы конденсаторов-испарителей с чрезвычайно низким уровнем жидкого азота	Погибли 4 чел., ранены 4 чел., задеты 27 чел. Разрушена обечайка аппарата, значительно повреждено окружающее оборудование
25.12.1997, г. Бингулу (Малайзия)	Взрыв, пожар	Взрыв ВРУ по причине ее конструктивного недостатка, который привел к накоплению в паро-генерирующих каналах взрывоопасных примесей	Ранены 12 чел. Разрушение аппарата, значительно повреждено окружающее оборудование

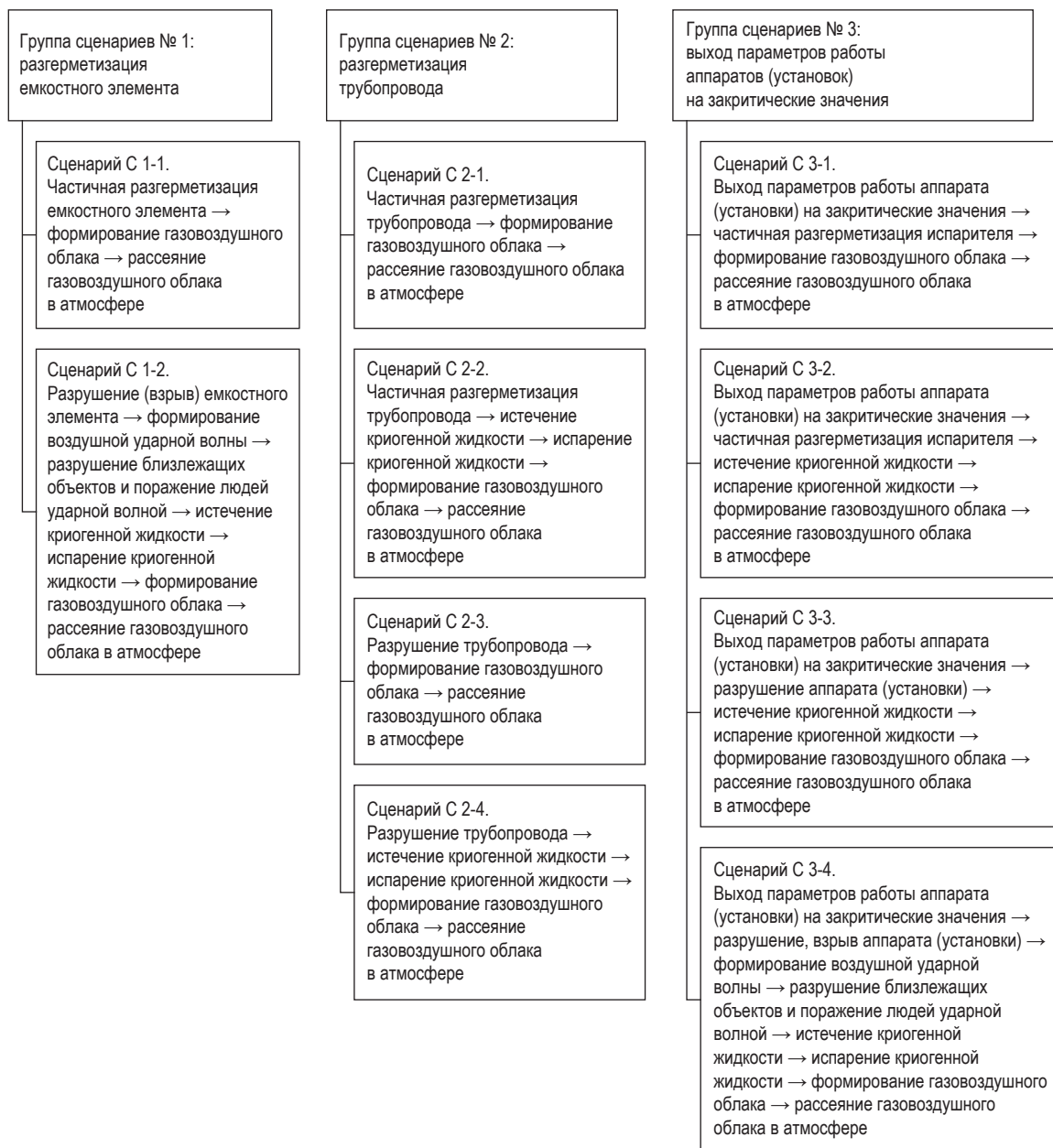


Рис. 2. Группы сценариев аварий

загрязнения воздуха техническими установками. В расчетных оценках загрязненности воздуха должны быть учтены все имеющиеся на промышленной площадке источники загрязнения воздуха взрывоопасными примесями как в ситуации нормальной работы технологических установок, так и в аварийных ситуациях с учетом показателей розы ветров для рассматриваемого района и рельефа местности.

К базовым факторам загрязнения воздуха относятся: расположение источника эмиссии по отношению к месту отбора проб, мощность источника и режим его работы, рельеф местности и условия выброса углеводородов

в атмосферу, различные метеорологические явления. Основное количество углеводородов выделяют в атмосферу предприятия, перерабатывающие природный газ и нефтепродукты, тепловые электростанции и котельные, металлургические предприятия, полигоны для хранения и сжигания промышленных и бытовых отходов. На основании выявленных специфических факторов проанализированы аварии, имевшие место на объектах получения продуктов разделения воздуха (табл. 2) [4].

Анализ статистических данных позволил установить механизм накопления во ВРУ взрывоопасных примесей, приводящих

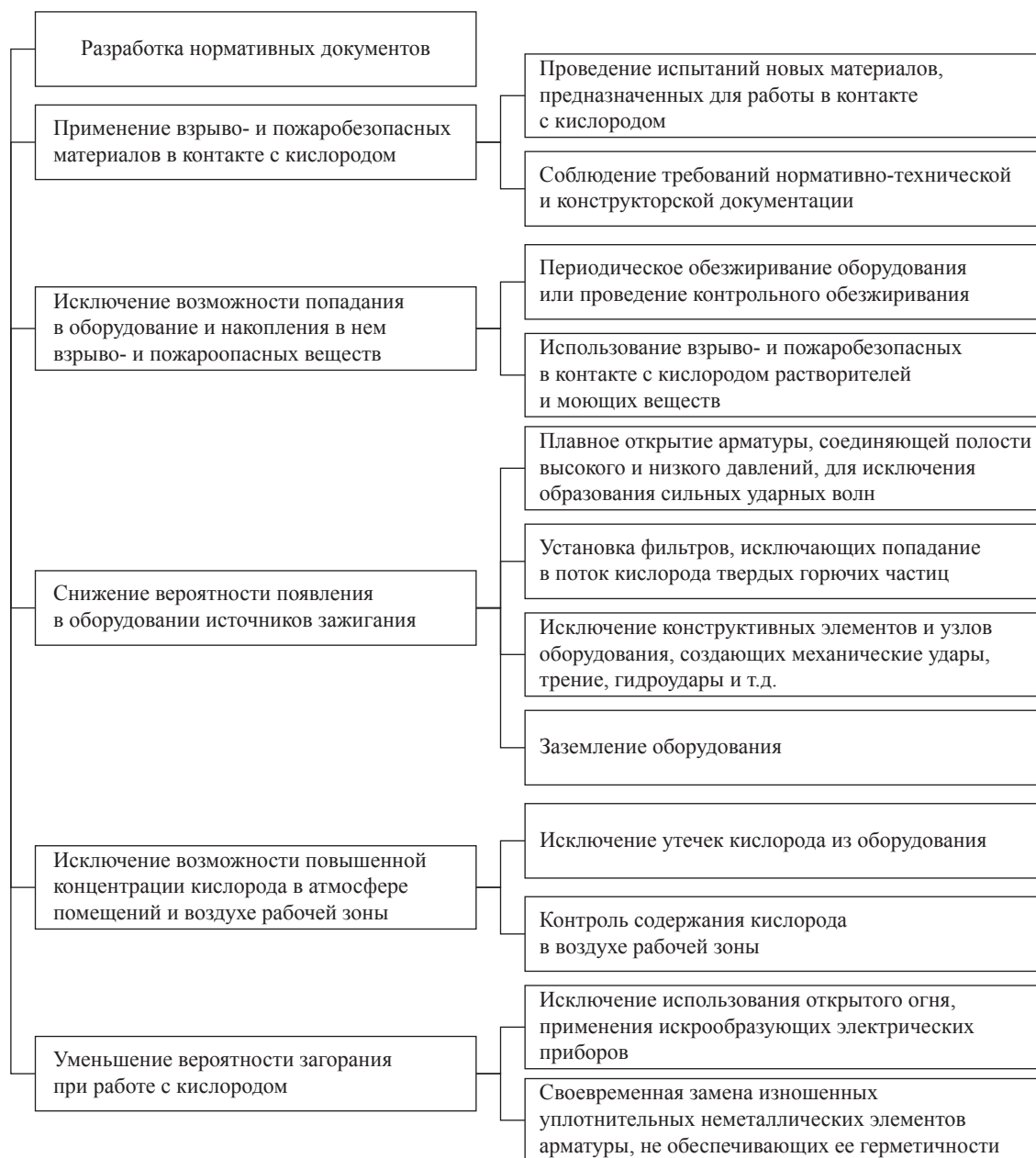


Рис. 3. Меры обеспечения взрывопожаробезопасности кислородного оборудования

к взрывам. Данная задача является немаловажной, так как при работе установок особое внимание уделяется проблеме обеспечения взрывобезопасности [5].

В ходе исследования сделан вывод, что взрывы, имевшие место при эксплуатации ВРУ, можно разделить на 2 группы. К первой из них относятся взрывы вне технологических аппаратов, обусловленные образованием смесей «жидкий кислород – органические вещества» в местах, где при нормальной работе присутствие жидкого кислорода или органических веществ должно быть исключено. Возникновение взрывов данной группы

обусловлено конструктивными недостатками отдельных установок или грубыми нарушениями правил эксплуатации. Число таких взрывов составляет 2...3 % из общего числа известных случаев. Ко второй группе относятся взрывы, произошедшие в результате накопления в технологических аппаратах в среде жидкого кислорода взрывоопасных веществ, поступавших в установки с перерабатываемым воздухом (более 95 % от общего числа известных взрывов).

На основе анализа специфических факторов, опасностей и причин аварий с учетом особенностей технологических процессов, свойств и распределения опасных веществ

по оборудованию сценарии аварий на объекте воздухоразделения могут быть разбиты по группам (рис. 2). Изучение указанных групп сценариев позволило разработать алгоритм обеспечения пожарной безопасности объекта защиты, включающий следующие этапы:

- 1) анализ пожарной опасности объектов воздухоразделения;
- 2) анализ всех пожарных рисков, присутствующих данному объекту;
- 3) оценку значений всех пожарных рисков;
- 4) определение допустимых значений всех пожарных рисков;
- 5) разработку методов и технологий управления пожарными рисками, позволяющих уменьшать их значение;
- 6) использование методов и технологий управления пожарными рисками для снижения их значений до уровня допустимых;
- 7) обеспечение пожарной безопасности объекта.

Для реализации 5-го этапа алгоритма (см. выше) определены технические, технологические и организационные мероприятия, обеспечивающие безаварийную работу оборудования и безопасность персонала (рис. 3).

Изложенные результаты лягут в основу разработки методического подхода к управлению пожарной и взрывной безопасностью

ВРУ на базе расчета пожарных рисков, который должен в полной мере подтверждать пожарную безопасность объекта защиты с учетом причинно-следственной логики возникновения и развития аварий, а также влияния на показатели риска различных технологических факторов.

Список литературы

1. Файнштейн В.И. Кислород, азот, аргон – безопасность при производстве и применении / В.И. Файнштейн. – М.: Интернет Инжиниринг, 2014. – 224 с.
2. Петин В.Г. Радиофобия и радиационный гермезис / В.Г. Петин // Нева. – 2013. – № 4. – С. 136–147.
3. Schmidt W.P. Safe design and operation of a cryogenic air separation unit / W.P. Schmidt, K.S. Wenegardner, M. Dennehy, et al. // Process Safety Progress. – Dec. 2001. – Т. 20. – № 4: Career and Technical Education. – С. 269.
4. Борисов Л.М. Анализ аварий на предприятиях разделения воздуха и получения ацетилена 1, 1(3), 1(5), 2 / Л.М. Борисов, Л.Н. Дриголенко; под ред. Л.М. Борисова. – М.: Группа технической поддержки, б.г.
5. Беляков В.П. Взрывобезопасность воздухоразделительных установок / В.П. Беляков, В.Ф. Густов, В.И. Файнштейн и др.; под ред. В.П. Белякова и В.И. Файнштейна. – М.: Химия, 1986. – 224 с.

Support of explosive and fire safety of air separation units through analysis of main hazards

A.E. Pogodayeva^{1*}, A.T. Volokhina¹, Ye.V. Glebova¹

¹ National University of Oil and Gas “Gubkin University”, Bld. 1, Est. 65, Leninskiy prospect, Moscow, 119991, Russian Federation

* E-mail: Pogodaeva2201@mail.ru

Abstract. Means of fire and explosion prevention at the air separation units have been studied for many years and until the present time. Safety of manufacturing and application of air products symbiotically relates to technologies. Lots of requirements in guidelines and operation instructions are not obvious and can be understood only through the detailed knowledge of the proceeding processes. This article examines the specific hazards occurring during manufacturing and operation of air products, explosively dangerous properties of the additives, situations and objectives of the typical accidents. Authors formulated an algorithm of fire safety support for industrial facilities. This algorithm is aimed at risk reduction due to optimal regulation of technological and administrative impacts.

Keywords: air separation unit, fire hazard, potentially explosive system, oxygen, emergency.

References

1. FAYNTSHEYN, V.I. *Oxygen, nitrogen, argon: safe production and application* [Kislород, azot, argon – bezopasnost pri proizvodstve i primeneni]. Moscow: Internet Inginig, 2014. (Russ.).
2. PETIN, V.G. *Radiophobia and radiological hormesis* [Radiofobiya i radiatsionny germezis]. Neva. 2013, No. 4, pp. 136–147. ISSN 0130-741X. (Russ.).
3. SCHMIDT, W.P., K.S. WENEGARDNER, M. DENNEHY, et al. Safe design and operation of a cryogenic air separation unit. *Process Safety Progress*. Dec. 2001, vol. 20, no. 4: Career and technical education, p. 269. ISSN 1066-8527. (Russ.).
4. BORISOV, L.M., L.N. DRIGOLENKO. *Analysis of accidents at the plants for separation of air and production of acetylene 1, 1(3), 1(5), 2* [Analiz avari na predpriyatiyakh razdeleniya vozdukha i polucheniya atsetilena 1, 1(3), 1(5), 2]. (Russ.).
5. BELYAKOV, V.P., V.I. GUSTOV, V.I. FAYNSHTEYN, et al. *Explosive safety of air separation units* [Vzryvobezopasnost vozdukorazdelitelnykh ustanovok]. Moscow: Khimiya, 1986. (Russ.).