

УДК 661.93

**С.В. Кардаков\*, А.В. Фёдорова**

ОАО «Гипроокислород», 2-й Амбулаторный проезд, 8, г. Москва, РФ, 125315

\*e-mail: kardakov@giprokislorod.ru

## ОЦЕНКА ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВ ПРОДУКТОВ РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА

*Методы обеспечения взрывобезопасности технологического оборудования для разделения воздуха достаточно хорошо изучены. Меньше внимания уделяется вопросам взрывобезопасности самих производств продуктов разделения воздуха. Излагаются принципиальные подходы к проблемам анализа и обеспечения взрывоустойчивости и взрывобезопасности производств продуктов разделения воздуха с системами хранения жидких криопродуктов и сжатых газов. Приводится перечень мероприятий, обеспечивающих взрывобезопасность объектов, размещаемых на территории производств продуктов разделения воздуха.*

**Ключевые слова:** Воздух. Кислород. Азот. Аргон. Жидкие криопродукты. Сжатые газы. Взрывобезопасность. Взрывоустойчивость. Взрыв. Мощность взрыва. Поражающие факторы взрыва.

**S.V. Kardakov, A.V. Fyodorova**

## ESTIMATION OF EXPLOSION SAFETY OF MANUFACTURES OF AIR SEPARATION PRODUCTS

*Methods of maintenance of explosion safety of air separation are well known. Less attention is given for questions of explosion safety of air separation products at whole. Basic approaches to problems of the analysis and maintenance of pressure relief are stated to explosion safety of manufactures of air separation products with systems of storage liquid cryoproducts and compressed gases. The list of the actions providing explosion safety of objects placed in territory of manufactures of air separation products is resulted.*

**Keywords:** Air. Oxygen. Nitrogen. Argon. Liquid cryoproducts. Compressed gases. Explosion safety. Pressure relief. Explosion. Capacity of explosion. Amazing factors of explosion.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время основные вопросы обеспечения взрывобезопасности технологического оборудования достаточно хорошо изучены. Этой проблемой на протяжении многих лет занимаются разработчики и производители установок разделения воздуха и систем хранения сжиженного газа. Данная статья затрагивает проблемы взрывобезопасности в целом производств продуктов разделения воздуха (ППРВ).

Количественная оценка вероятности взрывов на ППРВ и анализ соответствующих рисков на сегодняшний день недостаточно обеспечены статистическим материалом и методиками расчёта.

Вместе с тем, анализ имеющихся даже ограниченных статистических данных, публикаций и требований действующих нормативных документов, а также изучение опыта эксплуатации позволяют рассматривать взрывы на ППРВ как события, вероятность

возникновения которых необходимо учитывать на всех стадиях жизненного цикла производства, включая проектирование, создание и изготовление основного технологического оборудования, строительство и эксплуатацию объекта.

### 2. АНАЛИЗ ФАКТИЧЕСКОЙ ВЗРЫВОУСТОЙЧИВОСТИ ППРВ

Оценка взрывоустойчивости зданий и сооружений в составе объектов ППРВ должна основываться на следующем:

- моделирование аварийных ситуаций в условиях конкретного проектируемого объекта;
- оценка поражающих факторов взрыва как расчётных нагрузок и воздействий на объекты (здания, сооружения, оборудование, устанавливаемое снаружи, и внешние трубопроводные и электрические сети);

- детальный анализ прочности и устойчивости объектов с учетом воздействия поражающих факторов взрыва;
- анализ компоновочных решений и генплана с учётом минимизации воздействия поражающих факторов;
- дифференцированный подход к определению основного критерия оценки взрывоустойчивости — «защита персонала / минимизация ущерба».

### 2.1. Классификация потенциальных источников взрыва

В производствах продуктов разделения воздуха можно идентифицировать следующие источники аварийных взрывов:

- блоки разделения воздуха (БРВ);
- реципиентные отделения и КРП (кислородно (азотно)-регулирующие пункты);
- система хранения жидких продуктов разделения воздуха.

При эксплуатации ВРУ возможно возникновение ситуаций, приводящих к разрушению отдельных технологических аппаратов внутри БРВ, что может инициировать разрушение и самого блока. Причины и особенности таких аварий достаточно хорошо изучены и описаны, например, в [1], и поэтому нами не рассматриваются.

С учётом конструктивных особенностей современных установок, — независимо от причин взрыва и наименования аварийного аппарата, — результатом аварии является быстро нарастающее давление газов внутри кожуха БРВ. Таким образом, под событием «взрыв БРВ» понимается разрушение кожуха БРВ. Давление, при котором происходит разрушение кожуха, полностью зависит от его прочности. Современные методы анализа прочности и устойчивости металлоконструкций позволяют с высокой степенью точности определять расчётное давление разрушения с учётом конструктивных особенностей каждого отдельного блока разделения воздуха.

Более подробный анализ взрывоопасности БРВ выходит за рамки данной статьи и будет изложен нами в последующих публикациях.

Мощность взрывов реципиентов и систем хранения, выраженная в тротиловом эквиваленте, представлена в табл. 1 [2,3].

При проведении расчётов с гарантированным запасом по объёму инженерных мероприятий в качестве исходного принимается такой случай, когда возникший взрыв может вызвать максимальное поражающее воздействие [4]. Таким случаем является полное разрушение резервуара.

Как видно из табл. 1, взрывы систем хранения

сжиженного газа характеризуются весьма высокими тротиловыми эквивалентами и поэтому их последствия будут являться разрушительными практически для всего производства. Принимая во внимание повышенную взрывоопасность сжиженных продуктов разделения воздуха, разработчики систем хранения, поставляемых сегодня на рынок, применяют особые меры предотвращения аварийного повышения давления внутри криогенного резервуара за счёт резервирования и высокой надёжности защитных и предохранительных устройств, а также использования избыточного запаса прочности резервуаров к внешнему механическому и тепловому воздействию.

С учётом конструктивных особенностей современных систем хранения криогенных продуктов ситуация разрушения криогенного резервуара вследствие повышения давления не рассматривается. При этом в современных условиях существенно ужесточаются требования к надёжности и охранных систем связи, и сигнализации, а также к планированию антитеррористических мероприятий на объектах, оборудованных системами хранения жидких криопродуктов.

### 2.2. Основные характеристики поражающих факторов взрыва

Поражающие факторы взрыва на ППРВ характеризуются следующими параметрами:

- избыточное давление во фронте ударной волны (разность между максимальным давлением во фронте воздушно-ударной волны и нормальным атмосферным давлением);
- давление скоростного напора воздуха во фронте ударной волны (динамическая нагрузка, создаваемая потоком масс воздуха, следующих за фронтом ударной волны, и как следствие, — поражение, наносимое за счёт метательного действия скоростного напора).

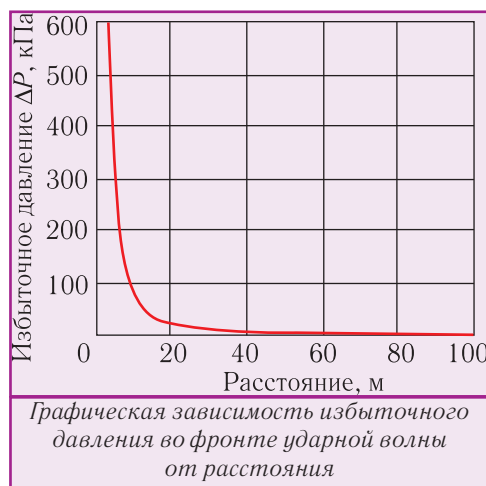


Таблица 1. Мощность аварийных взрывов

Составляющая объекта	Вещество	Фазовое состояние	Тротиловый эквивалент, кг
Ресивер с объёмом 100 м³	азот	газ	49,5
Система хранения БСХ-63/0,6	аргон	жидкость	115,3
Система хранения РЦГ-250/0,6	кислород	жидкость	437,3

Энергией, высвобождающейся при разрушении резервуара под давлением со сжиженными или сжатыми продуктами разделения воздуха, является энергия адиабатического расширения. Поэтому особенность взры-

**Таблица 2.** Уровни разрушения зданий и сооружений и характер поражений людей в зависимости от величины избыточного давления

Характеристика повреждения здания	Характер поражений людей		Избыточное давление $\Delta P$ , кПа	Расстояние от места взрыва, м
Полное разрушение здания	Крайне тяжёлые	Крайне тяжёлые травмы и контузии, возможен смертельный исход	$\geq 100$	9
Тяжёлые повреждения (здание подлежит сносу)	Тяжёлые	Сильная контузия всего организма, тяжёлые переломы, внутренние кровоизлияния	70	11
	Средней тяжести	Травмы головы с потерей сознания, переломы и вывихи конечностей, потеря слуха		
Средние повреждения (возможно восстановление здания)	Лёгкие	Лёгкая контузия, вывихи и ушибы	28	18
Разрушение оконных проёмов, легкобросываемых конструкций			14	29
Частичное разрушение остекления			$\leq 2$	>400

вов на ППРВ — отсутствие такого поражающего фактора как тепловое воздействие, возникающее как следствие возгорания в очаге взрыва.

Для оценки возможных последствий взрыва количественно определяется избыточное давление во фронте ударной волны и рассматривается его зависимость от расстояния. На рисунке представлен график зависимости избыточного давления от расстояния при модельном взрыве резервуара объёмом 100 м<sup>3</sup>, предназначенного для хранения газообразного азота под давлением 0,8 МПа.

Зная избыточное давление, создаваемое взрывом, можно определить уровни разрушения зданий и сооружений, а также характер поражений людей (см. табл. 2) [2,3].

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В качестве практических конструктивных мероприятий, обеспечивающих взрывоустойчивость объектов, размещаемых на площадках ППРВ и баз хранения сжиженных криогенных продуктов, можно рассматривать:

- оснащение зданий легкобросываемыми конструкциями, расчёт допустимого процента остекления зданий для предупреждения обрушения несущих

конструкций;

- детальный анализ форм и собственной частоты колебаний конструкций с учётом профиля ударной волны в конкретной аварийной ситуации;

- подробный анализ предельного состояния конструкций, возникающего вследствие аварийного воздействия взрыва;

- использование (в строго обоснованных случаях) дополнительных защитных сооружений, снижающих расчётные параметры воздействия поражающих факторов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Файнштейн В.И.** Кислород, азот, аргон — безопасность при производстве и применении. — М.: Интермет Инжиниринг, 2008. — 192 с.

2. **Иванов Б.А., Розовский А.С.** Безопасность работы с жидким кислородом. — М.: Химия, 1989. — 192 с.

3. Методики оценки последствий аварий на опасных производственных объектах. Сборник документов. — М.: ОАО «НТЦ Промышленная безопасность», 2006. — 208 с.

4. Оперативное прогнозирование состояния объектов при аварии со взрывом. — М.: МЧС РФ, 2007. — 24 с.