

СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ГАЗА

Способы транспортировки и хранения газа от компании Витковице Рус

Азот в транспортировке легковопламеняющихся жидкостей

CRYO GAS SYSTEMS - новое имя НПО Мониторинг, интервью и стратегия бизнеса



ОФОРМИТЕ ПОДПИСКУ НА ЖУРНАЛ В ОДИН КЛИК



Криогенные ВРУ иностранного производства: риски, которые раньше не принимали в расчет

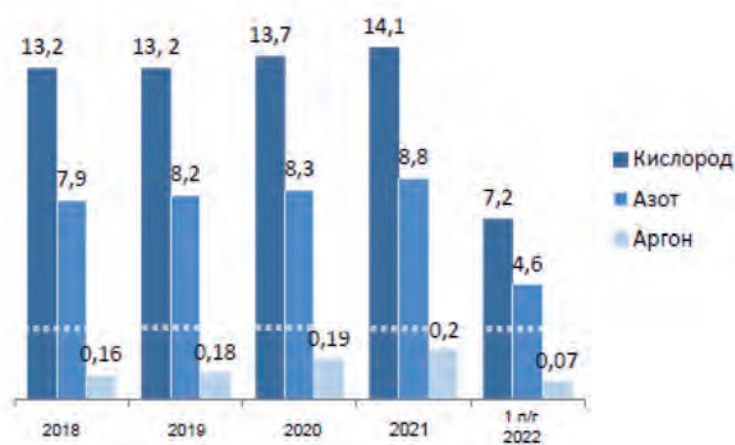
Технические газы находят применение практически во всех отраслях народного хозяйства. Российское криогенное машиностроение обеспечивает решение широкого спектра задач: от снабжения медицинским кислородом учреждений здравоохранения до пожаро-взрывобезопасности промышленных производств, выплавки стали, строительства и эксплуатации стартовых ракетно-космических комплексов, производства редких газов для медицины, космонавтики и микроэлектронной промышленности, создания оборудования для получения, хранения и транспортирования СПГ, сверхпроводящих систем для фундаментальных научных исследований, технологий жидкого водорода и гелия и т.д.

Производство технических газов в Российской Федерации демонстрирует стабильный рост. Производство кислорода,

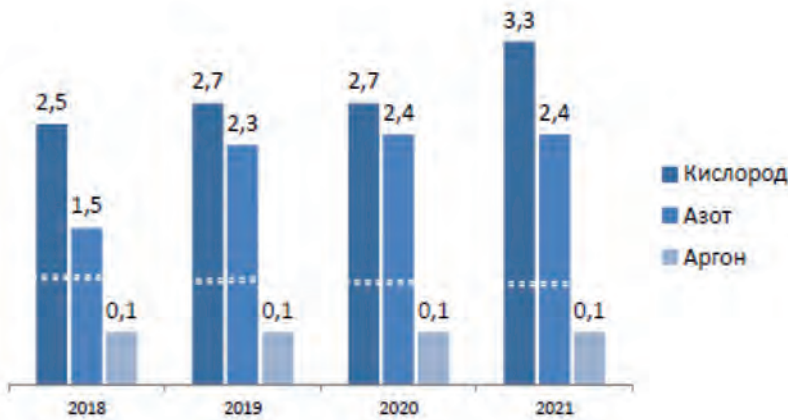
азота и аргона (включая как производство для собственных нужд, так и для поставок на рынок) в 2021 году увеличилось на 3,8% по сравнению с 2020 годом.

Еще более впечатляющая динамика в поставках

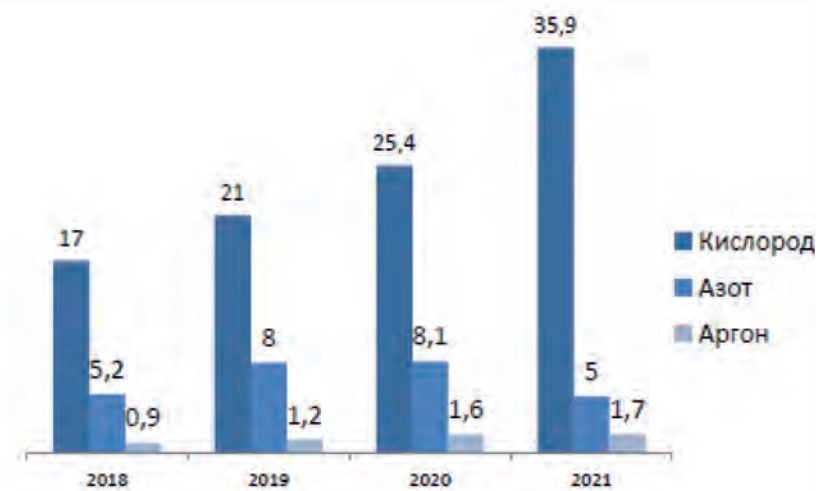
технических газов: количество произведенной для рынка продукции выросло на 16,5% в 2021 году по сравнению с предыдущим. В первую очередь, такая динамика связана с вводом в эксплуатацию новых проектов по снабжению техническими



Производство кислорода, азота, аргона в РФ (в том числе для собственных нужд крупными предприятиями), 2018 - 1-е полугодие 2022, млрд. м³. Источник: Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС)



Поставки кислорода, азота, аргона в РФ, 2018-2021, млрд. м³
 Источник: ЕМИСС



Продажи кислорода, азота, аргона в РФ, 2018-2021, млрд. руб.
 Источник: ЕМИСС (с учетом средних цен)

газами по принципу on-site.

Ориентируясь на статистику по средним ценам продуктов разделения воздуха, можно оценить объем продаж кислорода, азота и аргона в РФ в 2021 году минимум в 42,6 млрд. рублей, что на 21,4% превышает показатели 2020 года.

Выручка почти пятисот

компаний, указавших в качестве одного из видов деятельности код ОКВЭД 20.11: «Производство промышленных газов», также показывает значительный рост. Примерно 2/3 этой выручки — продажи кислорода, азота и аргона как якорным потребителям по трубопроводу в газообразном виде, так и в

виде криогенных жидкостей и в компримированном виде в баллонах. Причем по сравнению с доковидным 2019 годом наибольший рост показали компании, работающие с редкими газами, крупнейшая российская компания, оперирующая проектами on-site, и независимые производители.

Основная часть кислорода, азота и аргона произведена на криогенных воздуходелительных установках. В РФ работают 235 средних и крупных (перерабатывают более 1500 м³/час воздуха) криогенных ВРУ, из них 128 штук или 54% произведены российским «Криогенмашем».

Анализ возрастной структуры ВРУ иностранного производства показывает, что в РФ эксплуатируются 15 установок 1990 г.в. и старше, которые в значительной степени превысили назначенный производителем срок эксплуатации. Еще 6 ВРУ в ближайшие год-три выработают назначенный срок.

Еще 18 установкам в ближайшие три года предстоит капитальный ремонт. Среди них есть особо крупные ВРУ. 35-40 криогенным ВРУ предстоят крупные плановые ремонты. Все установки должны проходить плановые остановы с отогревом, в ходе которых должен проводиться текущий ремонт, каждые 2-3 года. Периодичность определяется инструкциями поставщиков оборудования и режимом эксплуатации.

Ситуация с обслуживанием ▶

	2019	2020	2021	Рост, 2021/2019
Иностранные компании	21,8	25,1	32,1	+47%
Российская компания	2,8	4,8	6,1	+114%
Независимые производители	17,1	19,9	29,1	+70%
Редкие газы	1,4	1,9	3,3	+141%
Итого	43,2	51,8	70,7	+64%

Выручка компаний, занимающихся продажами технических газов, млрд. руб.
 Источник: отчетность компаний

► ВРУ российского производства понятна, ПАО «Криогенмаш» обеспечивает сервисную поддержку поставленному оборудованию как минимум на все время назначенного срока эксплуатации. Предприятие является и разработчиком, и производителем оборудования ВРУ, обладает собственным Сервисным центром, самостоятельно изготавливает ключевое оборудование, а также может подобрать аналоги недоступным импортным комплектующим, если такие имеются.

В то же время предприятиям, эксплуатирующим криогенные ВРУ иностранного производства, уже сейчас необходимо найти ответы на важнейшие вопросы: кто будет осуществлять ремонт данного оборудования? Где брать запасные части, подлежащие замене? В случае недоступности оригинальных запчастей и аппаратов, как подобрать аналоги и согласовать замену?

Вопросы совсем не праздные. Нельзя забывать, что кислородная станция является опасным

производственным объектом, и эксплуатация подобного оборудования требует наличия высокопрофессионального персонала и строгого соблюдения правил и норм безопасности. Все многообразие опасностей, встречающихся на воздуходелительных станциях и при работе с продуктами разделения воздуха, можно условно разделить на две группы: общетехнические

и специфические для рассматриваемых производств. Вопросы, связанные с обеспечением безопасности, подробно рассмотрены в профессиональной литературе.

Предотвращение взрывов – одна из основных задач, требующих постоянного решения с начала освоения технологий низкотемпературного разделения воздуха. Гарантированное обеспечение взрывобезопасности воздуходелительных установок потребовало выполнения большого числа научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, проводившихся в течение десятков лет как в нашей стране, так и за рубежом, создания нормативных материалов (правил безопасности и стандартов системы безопасности) и обеспечения повсеместного их выполнения.



Производители средних и крупных криогенных ВРУ, установленных в РФ, доля,%. Источник: ПАО «Криогенмаш»



Специфические факторы и опасности при производстве и потреблении продуктов разделения воздуха. Источник: Файнштейн В.И. "Кислород, азот, аргон — безопасность при производстве и применении".

В целом, результаты проведенных исследований и опыт эксплуатации ВРУ показали, что предотвращение взрывов, обусловленных накоплением взрывоопасных компонентов, содержащихся

в перерабатываемом воздухе, достигается оснащением ВРУ специальными системами, предусматривающими глубокую очистку перерабатываемого воздуха от опасных примесей, необходимую доочистку

технологических потоков, непрерывную адсорбционную очистку жидкого кислорода. Также положительно на взрывобезопасности ВРУ сказалось применение адсорбционной очистки перерабатываемого воздуха на синтетических цеолитах в блоках комплексной очистки (БКО), располагаемых на входе воздуха в низкотемпературную часть установки. Кроме того, снижение интенсивности накопления взрывоопасных примесей до минимально возможного уровня достигается надлежащей проточностью и созданием в конденсаторах-испарителях так называемого "благоприятного" гидродинамического режима, при котором все парогенерирующие каналы достаточно интенсивно промываются жидким кислородом.

Принципы и рекомендации по обеспечению взрывобезопасности конденсаторов-испарителей, сформулированные ведущими специалистами западных фирм, практически не отличаются от принципов и технических решений, реализуемых отечественными предприятиями в течение последних 30 лет. Однако, на наш взгляд, уделяется недостаточно внимания процессу образования взрывоопасных условий при испарении кислорода в конденсаторах-испарителях, условиям уменьшения интенсивности этого процесса и учета его интенсивности в конкретных условиях.

Из всех примесей воздуха ▶

	1963 г и ранее	1964- 1969	1970- 1974	1975- 1979	1980- 1984	1985- 1995
Установки низкого давления. Крупные взрывы		5	4	3		
Установки среднего и высокого давления. Крупные взрывы	95	15	16	7		
Установки среднего давления с БКО. Крупные взрывы					2	
Микровзрывы в конденсаторах		47	178	176	31	3

Число взрывов, связанных с накоплением углеводородов, в России и странах СНГ. Источник: Файнштейн В.И.

"Кислород, азот, аргон — безопасность при производстве и применении".

▶ наиболее опасным для воздухоразделительных установок считается ацетилен. Взрыв смеси 100 г масла с жидким кислородом эквивалентен взрыву около 30 г тринитротолуола. Известно, что даже небольшой взрыв углеводородов может инициировать возгорание тонкостенных алюминиевых конструкций пластинчато-ребристых теплообменников (ПРТ) в конденсаторах-испарителях, а затем и насадки ректификационной колонны.

Подходы к оценке уровня опасности содержаний углеводородов в жидком кислороде в России и за рубежом разнятся. Специалисты ПАО «Криогенмаш»

считают, что неправильно оценивать только суммарное содержание углеводородов. С нашей точки зрения, давно доказана необходимость хроматографического определения состава и содержаний углеводородов в жидком кислороде с последующей группировкой суммарного содержания по группам углеводородов, имеющих достаточно близкие показатели растворимости, как с целью оценки приближения к взрывоопасным пределам, так и для оценки эффективности систем очистки. Иногда оценку интенсивности накопления углеводородов на теплоотдающих поверхностях конденсаторов испарителей можно производить

по суммарному содержанию в жидком кислороде углеводородов без метана.

С современной точки зрения, значительное число взрывов, происходивших в 60-70 годы на установках средней и большой производительности, было обусловлено определенными конструктивными недостатками и отсутствием руководящих материалов по вопросам обеспечения взрывобезопасности ВРУ.

В нашей стране с середины 80-х годов прошлого века после завершения модернизации всех ранее созданных ВРУ и ввода в действие «Правил безопасности при производстве и потреблении продуктов разделения воздуха» (ПБПРВ-88) практически не наблюдалось взрывов, связанных с накоплением взрывоопасных примесей, поступающих с перерабатываемым воздухом. Для примера, в Китайской Народной Республике с 1973 года произошли 8 крупных взрывов криогенных ВРУ.

Две крупные аварии, произошедшие в Юго-Восточной Азии в 1997 г. на оснащенных БКО одной из крупнейших в то время ВРУ в г. Бинтулу (Малайзия) и установке средней производительности в г. Фусун (Китай) были вызваны экстремальной загрязненностью воздуха. Тяжелые последствия взрывов обусловлены возгораниями алюминиевых конструкций ПРТ основных конденсаторов — испарителей и насадки колонны низкого давления, инициированных

углеводородными взрывами.

Из опубликованных материалов следует, что эти аварии произошли при форс-мажорных обстоятельствах, не рассмотренных в руководствах по эксплуатации. На первой — в результате длительной работы в условиях лесных пожаров и значительной загрязненности перерабатываемого воздуха горючими аэрозолями (около 20-50 мг/м³), на второй ВРУ — в связи с аварийным режимом работы основного химического производства предприятия и снижением производительности установки.

В то же время практически отсутствовал систематический контроль содержания опасных примесей в жидком кислороде, и не обеспечивалась работа конденсаторов-испарителей в безопасном гидродинамическом режиме. Для предотвращения подобных взрывов необходима организация периодического мониторинга загрязненности воздуха и состава выходных продуктов ВРУ. Следует также понимать, что современные металлургические, химические и др. производства характеризуются постоянным и быстрым развитием, что может привести к появлению новых технологических процессов, способных значительно изменить состав перерабатываемого воздуха.

За последние 4 года в мире произошли еще как минимум два взрыва, связанные с эксплуатацией криогенных ВРУ, в очередной раз показавшие,

что при эксплуатации опасных производственных объектов необходимо обязательное соблюдение всех норм и правил. 10.11.2018 в г. Темиртау (Республика Казахстан) произошло разрушение технологических трубопроводов продуктов разделения воздуха кислородного цеха. Пострадали четыре человека. «Разрушение технологических трубопроводов произошло по следующим причинам: значительные динамические нагрузки на трубопроводы из-за больших колебаний величин расхода и давления в трубопроводах кислорода высокого давления и азота высокого давления с 6.11.2018 до момента аварии, вследствие чего произошел разрыв сварного соединения отвода под углом 90° С прямолинейным участком трубы кислородопровода высокого давления диаметром 720 мм, изготовленного из стали 20 ГОСТ 1050-84 вместо стали 09Г2С и установленного в 2003 году между опорами 126к и 127к» - констатируется в «Итогах расследования аварии на АО «Арселормиттал Темиртау».

Также специальной комиссией установлено, что несвоевременное отключение подачи продуктов разделения воздуха от блоков ВРУ способствовало распространению аварии и увеличению масштабов разрушений. Комиссия пришла к выводу «о стопроцентной вине в произошедшей аварии должностных лиц предприятия». 19.07.2019 в городе Yima,

провинция Henan, Китай, произошел взрыв ВРУ KDONAg 20800/11000/720, находившейся в эксплуатации с 2007 года. До аварии 23 дня шла утечка кислорода внутри холодного блока ВРУ. В результате нескольких взрывов разрушены сама ВРУ и система хранения жидкого кислорода объемом 500 м³, повреждены объекты в радиусе 3000 м, 15 человек погибло, 16 тяжело ранено, 236 человек госпитализировано. Прямые финансовые потери составили 12 млн. долларов США.

В современных условиях угроза возникновения взрывов, в первую очередь, будет связана с экстремальной загрязненностью воздуха взрывоопасными примесями, что требует постоянного внимания ответственных за взрывобезопасность специалистов эксплуатирующей ВРУ организации и также должно отражаться в соответствующих разделах руководства по эксплуатации установок.

Отмеченные выше ПБПРВ-88 были выпущены Госгортехнадзором СССР в 1988 г. Они готовились специалистами НПО "Криогенмаш" и "Гипрокислород" и редактировались большой группой сотрудников из Госгортехнадзора СССР, а также организаций металлургической и химической промышленности. Эти правила базировались на многолетнем опыте эксплуатации ВРУ и ▶

кислородного оборудования, материалах расследования многочисленных аварий и результатах большого числа научно-исследовательских, опытно-конструкторских и проектных работ.

В дальнейшем ПБПРВ-88 были переработаны Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). В 2003 г. были изданы "Правила безопасности при производстве и потреблении продуктов разделения воздуха" ПБ 11-544-03. Эти правила безопасности в 2014 г. заменены на Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности "Правила безопасности при получении, транспортировании, использовании расплавов черных и цветных металлов и сплавов на основе этих расплавов". Для этого в них внесен раздел "Требования безопасности при производстве и потреблении продуктов разделения воздуха". При последующей переработке в Федеральные нормы и правила (ФНП ПБ ПРВ 2017 г.) содержание документа практически не изменилось. В 2020 и 2021 гг. произошли следующие изменения: в ФНП "Правила безопасности процессов получения и применения металлов" появилась глава V "Требования безопасности при производстве и потреблении продуктов разделения воздуха", в "Правилах безопасности химически опасных производственных объектов"

— раздел "Химически опасные производственные объекты, связанные с производством и потреблением продуктов разделения воздуха".

В целом, в отмеченных выше ФНП многократно подчеркивается необходимость выполнения закрепленных в соответствующих инструкциях требований безопасности организаций-разработчиков оборудования. Поэтому, в первую очередь, следует обращать внимание на наличие подробных инструкций по эксплуатации и требований безопасности, а также на соответствие или адаптацию их к федеральным нормам и правилам.

ПАО «Криогенмаш» при проектировании современных воздуходелительных установок предусматривает:

- комплексную очистку разделяемого воздуха от опасных примесей на синтетических цеолитах;
- адсорбционную очистку жидкого кислорода в циркуляционном контуре;
- непрерывную проточность конденсаторов-испарителей;
- работу конденсаторов-испарителей в благоприятном гидродинамическом режиме;
- систематические отогревы аппаратов, работающих при повышенных содержаниях взрывоопасных примесей;
- контроль содержания взрывоопасных примесей в местах наибольшего обогащения ими технологических потоков;
- исключение попадания во внутриблочное пространство

любых органических материалов;

- исключение возможности поступления криогенной жидкости в детандерные фильтры;
- выполнение специальных требований при монтаже трубопроводов и другое.

Если вы эксплуатируете криогенную ВРУ иностранного производства, проверьте:

- Какой сорбент нужен вашей ВРУ? Где его можно купить? Учтите, что у многих иностранных производителей ВРУ сорбент защищен патентом, и приобретение его без разрешения правообладателя может стать невозможным. Замена сорбента на российский в большинстве случаев потребует радикальной модернизации криогенной ВРУ, сравнимой по стоимости с ценой новой установки.
- Как организован поток безопасности? Какие показатели вы можете контролировать? Как вы сможете управлять эксплуатацией оборудования и определять необходимость останова для отогрева или ремонта/замены узлов и аппаратов?
- Какие инструкции по работе ВРУ у вас есть? Они же подробнее, чем 3 листа текста с припиской «по остальным вопросам обращайтесь к производителю оборудования»?
- Кто вас проконсультирует по работе в нештатных режимах? Например, в случае изменения состава воздуха или при изменении баланса выдачи продуктов в жидком и

газообразном виде?

Конечно, все эти вопросы известны службам эксплуатации криогенных ВРУ, и сервисная поддержка иностранных производителей в большинстве случаев готова была оказывать консультации по телефону или присылать специалистов для помощи на месте. В условиях санкций и объявленных планов по уходу из России западных производителей возможность продолжения подобной поддержки вызывает опасения.


И еще одно направление — возможность дистанционного мониторинга и управления ВРУ. Такая возможность широко распространена за границей, она позволяет экономить ресурсы, организуя центры управления с мобильными бригадами обслуживания, из которых управляются и обслуживаются несколько криогенных ВРУ в радиусе нескольких сотен километров. Подобная опция предлагалась при поставках оборудования в РФ, и даже есть примеры реализации.

Проверьте, может ли иностранный поставщик ВРУ или организация, получившая доступ к такой возможности, дистанционно повлиять на работу вашей установки? Или совершить иные несанкционированные действия? Известен пример с дистанционным отключением компрессоров LMF в 2012 году. А где еще есть такая возможность?

АСУ ТП криогенной ВРУ может относиться к значимым объектам

критической информационной инфраструктуры (КИИ) и, соответственно, подпадать под действие ФЗ № 187 «О безопасности критической информационной инфраструктуры», т.к., как правило, имеет возможность дистанционного управления режимами работы вплоть до полной остановки или возникновения аварийной ситуации, приводящей к разрушению установки, вплоть до взрыва.

Первые примеры требования разработки криогенного оборудования, соответствующего ФЗ № 187, уже есть.

В заключение хочу констатировать, что отечественное криогенное машиностроение как минимум не уступает иностранному, и наличие всего спектра криогенных технологий внутри страны позволяет решать вопросы обеспечения продуктами разделения воздуха любой сложности. Многолетняя практика и глубокие знания позволяют разобраться и в иностранном оборудовании, уже есть примеры, когда российские специалисты обеспечивают ввод в эксплуатацию иностранного криогенного оборудования, оставшегося без поддержки производителя. Но каждый раз это решение нестандартной задачи с опорой на многолетний опыт, наличие собственных технологий и научной школы. Гораздо эффективнее решать подобные вопросы на этапе выбора поставщика. 

Список литературы:

1. Файнштейн В.И. Кислород, азот, аргон – безопасность при производстве и применении. Балашиха, 2019.
2. Взрывобезопасность воздуходелительных установок / Под ред. В.П.Белякова и В.И. Файнштейна. М.: Химия, 1986.
3. Safe Practices Guide for Cryogenic Air Separation Plants (Руководство по безопасности для криогенных воздуходелительных установок) // IGC EIGA Document 704/05.
4. Harveld R.M., Groeneveld M.J., Lehman J.-Y., Bull D.C. Investigation of an Air Separation Unit Explosion // Journal of Loss in Prevention Process Industries. – 2001.
5. Investigation of the Fushun ASU explosion in 1997 J.-Y. Lehman (a), X.C. Wei (b), Q.X. Hua (b), G. Delannoy (c) a Air Liquide, France; b Fushun Petrochemical Company, No. 2 Refinery, China, c SME (SNPE Materiaux Energetiques), France
6. Министерство индустрии и инфраструктурного развития РК (miid.gov.kz). Итоги расследования аварии на АО «Арселормиттал Темиртау»
7. Yima City Gasification Plant Incident, EUROPEAN INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION, TP № 63/21

АВТОР СТАТЬИ

Мазин А. Н., директор по стратегическому развитию ПАО «Криогенмаш»