

УДК 661.939

**В.Л. Бондаренко\*, Н.П. Лосяков, А.Н. Кислый**

ООО «Айсблик», ул. Пастера, 29, г. Одесса, Украина, 65026

\*e-mail: nadia@iceblick.com

**А.А. Грандов**

Одесская государственная академия холода, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, Украина, 65082

**В.В. Тарапата**

Одесская национальная морская академия, ул. Дидрихсона, 8, г. Одесса, Украина, 65029

**А.Г. Шишов**

НПФ «Эргосум», Куликово поле, 1, офис 101, г. Одесса, Украина, 65079

## ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ АВАРИЙ И ПОТЕРЬ ГАЗА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ОЧИСТКИ НЕОНОГЕЛИЕВОЙ СМЕСИ, ВЫЗВАННЫХ КОРРОЗИЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ

*В установке по извлечению неона и гелия из неонгелиевой смеси наблюдается интенсивная коррозия патрубков печи каталитического выжигания водорода и входных участков газовых труб водяных холодильников. Проанализированы причины и механизмы коррозии газового тракта водяных холодильников, которые могут вызывать аварийные остановки системы; изучены недостатки технологической схемы, приводящие к потерям газовой смеси. Сделана оценка экономического ущерба от коррозии холодильников и технологических потерь газа. Разработаны способы снижения интенсивности разрушения металла. С учётом этого создана конструкция нового теплообменника, внесены изменения в технологическую схему, позволяющие повысить надёжность работы линии очистки неонгелиевой смеси и снизить её потери.*

**Ключевые слова:** Неон. Гелий. Примеси. Выжигание водорода. Коррозия. Коррозионностойкая сталь. Водяное охлаждение. Химобработка воды. Дренажное устройство.

**V.L. Bondarenko, N.P. Losyakov, A.N. Kislyy, A.A. Grandov, V.V. Tarapata, A.G. Shishov**

## PREVENTION OF ACCIDENTS AND GAS LOSSES CAUSED BY EQUIPMENT CORROSION AT THE TECHNOLOGICAL LINE OF CLEANING NEON-HELIUM MIXTURES

*In the plant to extract neon and helium from neon-helium mixture there is intensive corrosion of the union coupling of stove of catalytic burning-out of hydrogen and entrance areas of gas pipes of water refrigerators. The reasons and mechanisms of corrosion of gas highway of water refrigerators leading to an emergency stop system, studied the shortcomings of the technological scheme, leading to losses of the gas mixture, are studied. The estimation of economic damage is done from corrosion of refrigerators and technological losses of gas. The methods of decline of intensity of destruction of metal are worked out. Taking into account it the construction of new heat exchanger is created, and changes in the technological scheme, allowing to increase the reliability of the cleaning line neon-helium mixture and reduce its losses are brought in.*

**Keywords:** Neon. Helium. Admixture. Burning out hydrogen. Corrosion. Corrosion-resistant steel. Water cooling. Chemical treatment of water. Drainage system.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Неонгелиевая смесь, получаемая как побочный продукт в крупных воздухоразделительных установках (ВРУ), является единственным сырьём для производства чистого газообразного и жидкого неона, а также важным источником гелия. Потребность в таких газах постоянно растёт [1]. Неон используется в электро-

ламповой, телевизионной промышленности, космической и лазерной технике, научных исследованиях [2]. Области применения гелия весьма обширны: криогеника, сварочные технологии, металлургия, научные исследования, ракетная и атомная техника, авионика и авиация, электровакуумная техника и мн. др.

Сырьё для производства чистых газов производится на специализированных заводах, сеть которых в

настоящее время расширяется. Бедная неонгелиевая смесь частично обогащается в месте её получения в ВРУ, а основные процессы очистки от примесей происходят в установках по разделению неонгелиевых смесей (в частности в компании ООО «Айсблик»), где может возникать ряд технических проблем. В связи с этим актуальным является повышение надёжности работы этого технологического оборудования.

Технологическая цепочка и оборудование, применяемое для обогащения смеси, описаны ранее [2,3]. Один из основных процессов — каталитическое гидрирование, в присутствии кислорода, в печи выжигания водорода. Реакция проводится при температуре 550...650 °С в присутствии катализатора. Реагенты — примесный водород и дозированный кислород; продукт реакции — водяной пар. Следующая стадия обработки смеси — охлаждение оборотной водой до температуры 35...40 °С (рис. 1) с конденсацией образовавшегося водяного пара и сбросом жидкости; затем дальнейшая осушка газа в адсорберах перед криогенным этапом очистки.

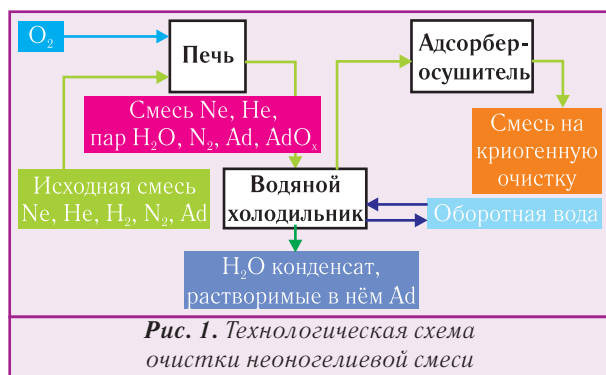


Рис. 1. Технологическая схема очистки неонгелиевой смеси

В поступающей в установку газовой смеси могут присутствовать в малых количествах примеси промышленных выбросов в атмосферу. С учётом этого схему реакции гидрирования можно представить следующим образом:



где Ad, AdO<sub>x</sub> — примеси, содержащиеся в неонгелиевой смеси, и продукты их окисления.

Влияние загрязнения воздуха в районе воздухозабора ВРУ на её работу и продукты разделения отмечалось в [4]. Ранее высказывалось мнение, что такие примеси не оказывают ощутимого влияния на работу установки получения чистого неона [5]. В то же время, в процессе эксплуатации системы очистки неонгелиевой смеси выявилась повышенная коррозия выходных патрубков печи и входных участков газовых трубок водяных холодильников. Следствием коррозии явилась необходимость достаточно частой замены змеевиков, неритмичность работы и простои оборудования, а также потери газовой смеси и т.п.

Все эти обстоятельства привели к необходимости более тщательного анализа сложившейся ситуации.

## 2. ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА

Как будет показано далее, при коррозии трубок водяного холодильника из стали 12Х18Н10Т в их стенках образовывались каналы диаметром до 1,6...1,8 мм. В первом приближении (без учёта гидравлического сопротивления канала, сопротивления водной среды и т.п.) потери неонгелиевой смеси через них можно оценить по модели истечения сжимаемого газа через отверстие в стенке сосуда [6]. Принимаем следующие исходные данные:

- состав смеси, %: неон — 59, гелий — 19, кислород — 2, азот — 14, вода — 5,7, другие примеси — 0,3;
- избыточное давление смеси — 1,5 МПа;
- условия снаружи трубки (сосуда): атмосферное давление, температура 20 °С.

Скорость истечения  $\omega$ , приведённая к наружным условиям, вычисляется как звуковая, так как отношение давлений больше критического. С учётом этого

$$\omega = \sqrt{\frac{2k_{cm}RT}{(k+1)M_{cm}}},$$

где  $k_{cm}$  — показатель адиабаты газовой смеси;  $R$  — универсальная газовая постоянная;  $M_{cm}$  — молярная масса газовой смеси;  $T$  — абсолютная температура газовой смеси.

Результаты расчёта показывают, что возможные потери достигают 4,7 м<sup>3</sup>/ч. Если принять во внимание, что утечка под водой обнаруживается в течение примерно часа, то в течение этого времени можно потерять около 4 м<sup>3</sup> смеси, в которой 2,36 м<sup>3</sup> неона и 0,76 м<sup>3</sup> гелия. Причём, эти потери могут многократно возрасти, если утечка незаметно возникает на воздушном участке трубки. Такие случаи возможны, как будет показано ниже.

Потери происходят и при других технологических операциях, где присутствуют процессы выжигания примесей. Их можно считать частично неизбежными. Технически трудно выделить долю каждого вида в общих потерях газов, но сократить выявленные потери газа за счёт модернизации технологического процесса — целесообразно. К ним, в частности, относятся потери при ручном сливе конденсата из конденсатосборника водяного холодильника. Слив производится до 8-ми раз в смену, при этом в конце процесса в течение 1-3 с вырывается струя газа. При проходном сечении крана 20 мм<sup>2</sup> потери газа могут составить до 39 л за один слив.

Нетрудно подсчитать, что за 2 месяца работы установки (период между заменами вышедших из строя змеевиков холодильника) потери, вызванные коррозией трубок и сливом конденсата, составляют более 28 м<sup>3</sup> неонгелиевой смеси.

Количество нержавеющей трубки, используемой для изготовления новых змеевиков, можно оценить примерно в 36 м в год. К этому прибавляется демонтаж старых, изготовление и монтаж новых теплооб-

менников, а также предотвращение повышенного износа соединений

Можно также учесть время простоев оборудования. Для замены теплообменников нужно вывести из рабочего режима и остановить установку, на что требуется 3 ч. По регламенту замена змеевика с испытаниями производится в течение 1 ч. Затем установка включается и выводится на режим за 2 ч. Таким образом, в год теряется до 200 ч рабочего времени. К этому можно прибавить срыв ритма работы из-за частых неожиданных остановок, возможные задержки поставки продукции, переполнение участка приёма сырья и т.д.

Нужно отметить, что потери от коррозии в водяных холодильниках происходят и на компрессорном участке подачи продукционной смеси на рампу. Там замены змеевиков требуются до 12 раз в год.

В стоимостном выражении все эти потери составляют примерно 80...90 тыс. грн/год.

### 3. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИН КОРРОЗИИ И КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Причины коррозии, на наш взгляд, заключаются в совместном влиянии высокой температуры, а также сред, в которых находятся трубки: газовой смеси внутри и оборотной воды снаружи трубок. Коррозия от наведённых токов маловероятна, так как вблизи установки отсутствуют мощные источники магнитного или электрического полей. Тщательные обследования контура заземления на наличие электрического потенциала в широком частотном диапазоне подтвердили это предположение.

Для исследования причин коррозии и природы образующихся коррозионных повреждений в трубках теплообменников были проведены химический, макро- и микроскопический анализы в трёх независимых лабораториях.

По данным химического анализа, состав материала трубок соответствует коррозионностойкой стали аустенитного класса 12X18H10T.

Внешний осмотр проводился с целью выявления наиболее нагруженного участка змеевика. Он показал (рис. 2), что повреждённые трубки имеют три чётко

выраженные зоны. Кратко охарактеризуем их.

- В верхней части змеевика следов накипеобразования не выявлено. На поверхности металла имеется лишь плотная оксидная плёнка, образовавшаяся в результате взаимодействия нагретой до 400...500 °С поверхности трубки с кислородом свободно поступающего в холодильник воздуха в течение длительного времени. Длина этой зоны (рис. 2,а) в большинстве случаев составляла 2...3 шага навивки\*. Вместе с тем, нами в первой зоне был обнаружен участок с чётко выраженными следами выхода коррозионных повреждений в виде цепочки тёмных точек, окаймлённых светлым ореолом на фоне тёмной плотной оксидной плёнки (рис. 3). Это обстоятельство, как будет показано ниже, позволило однозначно установить первопричину выхода из строя трубок теплообменников.

- Вторая зона — зона интенсивного накипеобразования, характеризующаяся наличием достаточно толстого (до 1...1,5 мм) и плотного слоя накипи, в некоторых местах имеющего обрывы до поверхности металла. Выполненный анализ показал, что основу фазового состава накипи представляют карбонаты и сульфаты, обычно образующиеся в системе оборотного водоснабжения с недостаточной водоподготовкой. Адгезия накипи к материалу трубки достаточно высока и может быть оценена в 10...20 МПа. Характерным отличием этого участка змеевика является наличие «ржавых» участков в местах обрывов и тёмных точек (сквозных отверстий), которые произвольно располагаются под слоем накипи в количестве 2...3 на см<sup>2</sup>. Длина этой зоны — 0,5 ...1,5 шага навивки.

- Третья зона имеет самую большую протяжённость, составляющую не менее 5 шагов навивки. Накипь рыхлая, слой толщиной до 0,2...0,3 мм. Адгезия невелика, и накипь легко отделяется от трубки рукою. Оставшаяся поверхность имеет характерную для стали 12X18H10T светлую блестящую поверхность без каких-либо видимых коррозионных повреждений.

Из данных проведённого макроанализа установлено, что в наиболее тяжёлых условиях работает вторая зона змеевика, в связи с чем именно она стала в дальнейшем объектом более тщательного изучения.

В ходе микроскопического анализа, выполненного при увеличениях  $\times 70...360$  с использованием мик-



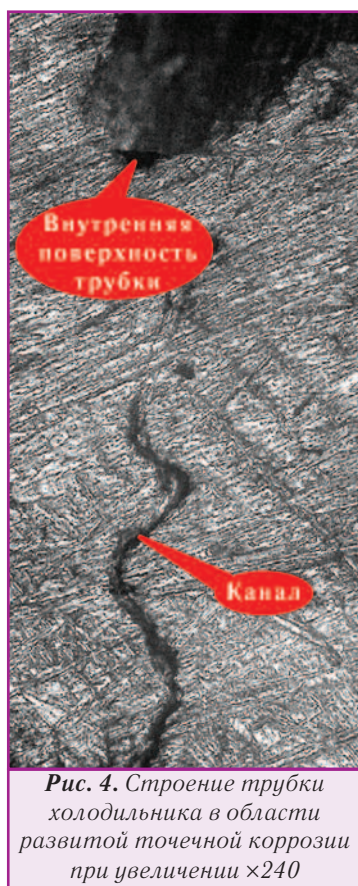
Рис. 2. Внешний вид трубки водяного холодильника и его фрагментов: а — общий вид; б — фрагмент верхней части на границе раздела «воздух — оборотная вода»; в — зона повышенного накипеобразования; г — отслоение образовавшейся накипи

\*) Шаг навивки 50...60 мм при диаметре змеевика примерно 150 мм.

роскопа «Neofot 2» и специальной цифровой камеры-видеоокуляра DCM310 3.0MPix для наблюдений на компьютере, были изучены наружные и внутренние поверхности трубок, в которых обнаружены каналы протечки газа, а также микрошлифы их поперечных сечений в месте расположения сквозных отверстий (рис. 4).



**Рис. 3.** Внешний вид переходного участка между первой (слева) и второй (справа) зонами змеевика, изготовленного из шовной трубы



**Рис. 4.** Строение трубки холодильника в области развитой точечной коррозии при увеличении  $\times 240$

Полученные результаты позволяют утверждать, что на внутренних поверхностях трубок холодильника отсутствуют какие-либо отложения, однако имеются следы локальной точечной коррозии (питтинга). Наружная поверхность подверглась незначительной неравномерной общей коррозии и после механического удаления накипи сохранила светлую поверхность — за исключением отдельных тёмных точек (питтинга), аналогичных по внешнему виду и, в первом приближении, зеркально расположенных по отношению к обнаруженным на внутренней поверхности трубок.

В ходе дальнейшего изучения было установлено, что точечные повреждения на наружной и внутренней поверхностях трубки связаны между собою каналами, поперечные размеры которых неравномерны и достигают 1,6...1,8 мм, причём больше — на внутренней, со стороны охлаждаемых газов, меньше — на наружной, водоохлаждаемой. Их расположение по отношению к поверхности трубок — произвольное в трёхмерном пространстве, что не даёт возможности детально изучить их в плоскости микрошлифа по всему сечению трубки (рис. 4). Помимо этого, на сечениях микрошлифов со стороны внутренней поверхности располагается ряд «цепочек» из тёмных точек, идущих по направлению к внутренней поверхности и имеющих, по нашему мнению, коррозионную природу.

Для анализа среды были проведены исследования химического состава примесей конденсата, образующегося при охлаждении газовой смеси после печи, и самой охлаждающей оборотной воды. Одновременно собрана информация о других исследованиях воды данной системы оборотного водоохлаждения и о возможных загрязнениях атмосферы в районах воздухозаборов ВРУ.

Из результатов химического анализа (табл. 1) следует, что оборотная вода является коррозионно-активной (много хлоридов) и способствует образованию накипи (много сульфатов, большая жёсткость).

**Таблица 1.** Данные химического анализа охлаждающей воды и конденсата

Показатель	Ед. изм.	Оборотная вода	Конденсат
Реакция pH	б/р	8,55	4,05...4,20
Нитраты	мг/л	36,44	0,35...0,44
Окисляемость	мг O <sub>2</sub> /л	4,16	0,4...1,1
Жёсткость	мг-экв/л	6,5...8,2	менее 1,0
Щёлочность общая (CaCO <sub>3</sub> )	ppm	57	—
Сульфаты	мг/л	179,8	4,53...5,20
Хлориды	мг/л	81	2,0...30,0
Фториды	мг/л	0,28	4,28
Силикаты	мг/л	7,8	—
Железо	мг/л	0,1	0,18...0,60

Конденсат содержит растворённые в нём примеси, содержащиеся в газовой смеси, а также продукты коррозии металла. В результате чего их концентрация многократно увеличивается. Образовавшаяся кислая среда в сочетании с высокой температурой приводит к разрушению стенок трубок.

Из анализа состава примесей конденсата и информации о входном контроле неонегелиевой смеси можно определить примерный состав примесей в разделяемой сырьевой смеси (табл. 2).

Из состава примесей видно, что многие из них растворимы и имеют кислую реакцию в водном растворе. Это может, особенно при высоких температу-

**Таблица 2.** Состав возможных примесей в охлаждаемой неонгелиевой смеси

Примеси, обнаруженные в газовых смесях непосредственно и по анализам конденсата	Дополнительно возможные примеси от выбросов в месте расположения ВРУ [4,7]
В исходной смеси: N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , углеводороды, CF <sub>4</sub> , HCl, Cl <sub>2</sub> , легко окисляемые вещества, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> . После печи: NO <sub>x</sub> , HCl, SO <sub>x</sub> , CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, продукты коррозии стали.	В исходной смеси: CS <sub>2</sub> , HCN, CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> ; H <sub>2</sub> S, CO <sub>2</sub> , SF <sub>6</sub> , C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> , CF <sub>4</sub> , другие фтористые соединения, пары смолы, фенолы, бензол. После печи: примеси и продукты их неполного окисления.

рах, вызывать коррозию стали.

Сопоставляя полученные результаты, можно утверждать, что первопричина возникновения свищей в трубках — зарождение коррозионных повреждений именно на внутренних поверхностях трубки, вызванное повышенной химической активностью охлаждаемой неонгелиевой смеси (см. табл. 2). Действительно, в стали 12X18H10T во время эксплуатации, при длительном воздействии (3...4 месяца) достаточно высоких температур (~400 °С), в результате ускорения процессов диффузии происходит перераспределение углерода между Fe и Cг в пользу последнего как более сильного карбидообразователя. Это вызывает обеднение хромом отдельных участков матрицы (в первую очередь межзёрненных границ) и, как следствие, понижение коррозионной стойкости стали. Данное утверждение подтверждается обнаруженными при больших увеличениях (порядка ×1000) карбидах Cг и не противоречит известным литературным данным [8-10].

Именно об этом свидетельствуют выявленные нами свищи на переходном участке между первой и второй зонами змеевика (см. рис. 3). Действительно, воздействие окружающего установку воздуха на наружную поверхность первой зоны змеевика может привести в результате химической коррозии только к образованию сплошной плотной пленки оксида хрома тёмного цвета, характерной для этой коррозионно-стойкой стали. В то же время, на внутренней поверхности трубки по мере снижения температуры охлаждаемого газа начинается конденсация влаги, приводящая к образованию агрессивной среды, включая сильные кислоты, а также началу химической и электрохимической коррозии, конечным результатом которых и являются выявленные свищи. Свой негативный «вклад» вносит и водород, который, диффундируя в сталь, создаёт внутренние расклинивающие напряжения и способствует развитию коррозии. Образование ореолов вокруг свищей свидетельствует о прорыве находящихся в трубке под более высоким давлением агрессивных компонентов охлаждаемой среды и «разъедании» термодинамически устойчивой поверхностной оксидной пленки Cг<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ( $\Delta G^{\circ}_{298} = -1042,8$  кДж/моль), что приводит к дополнительным неконтролируемым потерям получаемого газа. Следует отметить, что в шовных трубах вероятность возникновения подобного дефекта намного больше, чем в бесшовных, из-за повышенного энергетического уровня материала в местах деформации.

Дополнительно нужно учесть возможность снижения по этой же причине коррозионной стойкости сталей данного типа во время предварительного нагрева трубки перед навивкой и медленного охлаждения

после неё. Возникновение таких дефектов может быть обусловлено неправильно выбранными режимами электродуговой сварки.

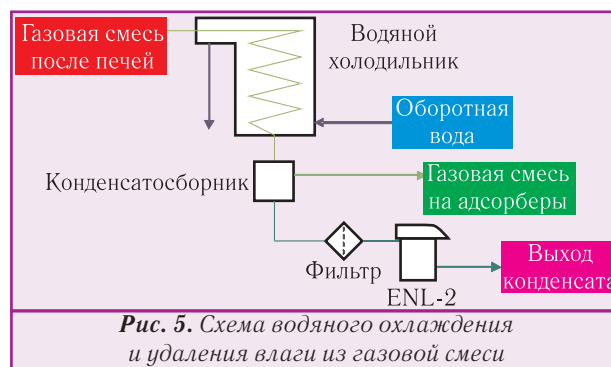
Что касается негативной роли накипи на наружной поверхности змеевика во второй зоне, то она заключается в возникновении в связи с низкой теплопроводностью неблагоприятных условий, способствующих развитию в материале трубки диффузионных процессов и зарождению дефектов на её внутренней поверхности.

С учётом исходных и полученных в результате проведённых исследований данных, а также невозможности полностью «подавить» коррозионные процессы, представляется целесообразным рассмотрение ряда путей повышения долговечности теплообменника с учётом экономической целесообразности их внедрения.

#### 4. ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ

Исходя из вышеизложенного, для повышения экономической эффективности и надёжности работы системы очистки неонгелиевой смеси необходимо снизить потери газовой смеси при удалении конденсата, а также интенсивность коррозионных процессов в элементах установки.

Первую часть проблемы достаточно просто решить конструктивно, введя в схему установки автоматическое дренажное устройство ENL-2 (Electric No Loss), хорошо зарекомендовавшее себя при работе в системах сжатого воздуха (рис. 5).



**Рис. 5.** Схема водяного охлаждения и удаления влаги из газовой смеси

В этом случае конденсат, образовавшийся в линии сжатого газа, поступает в специальный контейнер устройства с установленным в нём ёмкостным датчиком уровня жидкости. В момент заполнения контейнера по сигналу датчика электронная система открывает диафрагму управляющего клапана и выпускает жидкость в дренажную трубку. В момент опорожне-

ния контейнера (при минимальном уровне жидкости) клапан автоматически закрывается, предотвращая потери газа.

Отличиями схемы применения ENL-2 в системе очистки неонгелиевой смеси от типового варианта являются значительно большая текучесть газовой среды и необходимость включения в линию подачи механического фильтра. При этом особое внимание следует уделять предотвращению засорения фильтра.

Вторая часть проблемы, — борьба с коррозией теплообменников, — не нова. В каждом конкретном случае успех обеспечивается комплексом принятых мер по ликвидации этого неприятного явления. Это, как правило, химподготовка воды охлаждающего оборотного цикла, использование ингибиторов коррозии, применение специальных марок сталей при изготовлении теплообменного оборудования и т.д. Нами были выбраны три способа уменьшения коррозии: химводоподготовка, переход на жаростойкую сталь и модернизация конструкции теплообменника.

Ввиду отсутствия возможностей умягчения и обессоливания охлаждающей воды оборотного цикла, были использованы специальная присадка для предотвращения формирования слоя накипи и коррозионных процессов и органический оксидант-биоцид, активированный пероксидом водорода, которые дали положительный результат.

С целью повышения надёжности была проведена замена наиболее корродированных участков теплообменников (места сварки, места пластической деформации материала труб при гнутье) с использованием прямолинейных участков трубы в месте входа в зеркало воды в существующих теплообменниках на компрессорном участке подачи продукционной смеси на рампу.

На наиболее проблемном участке выжигания водорода водяной холодильник заменили на экспериментальный теплообменник новой конструкции (рис. 6). Его главная особенность состоит в том, что входной участок газовой трубы выполнен прямолинейным из коррозионностойкой стали 06ХН28МДТ (вместо стали 12Х18Н10Т). Новая сталь характеризуется сниженным содержанием углерода в 2 раза и увеличением содержания сильных карбидообразователей (в 6...8 раз за счёт дополнительного легирования молибденом), что резко снижает вероятность расхода Cr на образование его карбидов. Таким образом, в стали остаётся достаточное количество растворённого хрома, обеспечивающего коррозионную стойкость как матрицы сплава, так и его межзёрненных границ.

Длина прямого участка выбрана несколько больше длины повреждённой трубки существующего холодильника для того, чтобы захватить весь коррозионно-опасный участок.

Кроме того, в конструкцию теплообменника были внесены следующие изменения.

- Межтрубное (водное) пространство теплообменника герметично закрыто. Этим обеспечивается отсутствие контакта трубок с воздухом и увеличение скорости обтекания трубок водой.

- Вход газовой трубы в корпус теплообменника, заполненный охлаждающей водой, осуществляется через высокотемпературное сальниковое уплотнение. При этом исключается контакт трубок с воздухом на границе с водой на самом нагретом участке теплообменника.

- Увеличен диаметр трубок, что позволило удовлетворить более жёсткие требования по гидравлическим потерям в системе очистки газовой смеси.

- Конденсатосборник вынесен за пределы теплообменника. Этим обеспечивается технологичность сборки.



**Рис. 6.** Экспериментальный водяной холодильник: а — общий вид; б — вид сверху; 1 — входной прямолинейный участок; 2 — прозрачная крышка с прижимным фланцем; 3 — входной прямолинейный участок; 4 — змеевик

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Детальный анализ исходных данных и результаты выполненных затем исследований позволили сделать следующие выводы.

1. Первопричиной разрушения элементов существующего технологического оборудования является наличие в составе охлаждаемой неонгелиевой смеси агрессивных примесей, которые, в результате обеднения границ стали 12Х18Н10Т хромом при высокой температуре и обусловленного этим снижения её коррозионной стойкости, вызывают активное химическое и электрохимическое взаимодействие со сталью на внутренних поверхностях и развитие межкристаллитной коррозии.

Низкое качество охлаждающей оборотной воды способствует интенсификации негативных процессов из-за образования накипи.

2. Экономическая оценка потерь, связанных с утратой части подготовленной газовой смеси, аварийными остановками системы её очистки, заменой отказавших элементов и пр., подтвердила целесообразность проведения ряда конструктивных и технологических мероприятий, которые носят последовательный, многоэтапный характер и учитывают специфику производства.

3. Анализ эффективности уже выполненных первоочередных шагов (химическая обработка охлаждающей воды, изменения в конструкции действующих холодильников и разработка нового водяного охладителя с применением стали 06ХН28МДТ с более высокой коррозионной стойкостью, установка фильтра и устройства ENL-2) и эксплуатации опытного образца

в течение нескольких месяцев показали, что направление работ выбрано правильно.

В дальнейшем, по результатам более длительной эксплуатации опытного образца, будет определён оптимальный вариант мероприятий по повышению долговечности водяных охладителей, используемых в технологических линиях очистки смесей инертных газов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Снабдить весь мир: интервью с Iceblick// Gasworld. — 2010. — № 11. — С. 12-15.
2. Поколение новой техники для криогенного производства неона и гелия высокой чистоты// **В.Л. Бондаренко, Н.П. Лосяков, В.Н. Рура и др.**// Технические газы. — 2001. — № 3. — С. 37-44.
3. **Фастовский В.Г., Ровинский А.Е., Петровский**

**Ю.В.** Инертные газы. — М.: Атомиздат, 1972. — 352 с.

4. **Кононов Н.А., Большаков Г.Н.** Из опыта пуска в эксплуатацию воздуходелительных установок КА-0,45// Технические газы. — 2001. — № 3. — С. 19-25.
5. **Бондаренко В.Л., Чех Ю.А., Рура В.Н.** Контроль газового состава в производстве неона высокой чистоты// Технические газы. — 2005. — № 1. — С. 46-52.
6. **Идельчик И.Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям. — М.: Машиностроение, 1992. — 672 с.
7. **Бретшнайдер Б., Курфюрст И.** Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль. Пер. с англ./ Под ред. **А.Ф. Туболкина.** — Л.: Химия, 1989. — 288 с.
8. **Ульянин Е.А.** Коррозионностойкие стали и сплавы. Справочник. — М.: Металлургия, 1980. — 208 с.
9. Сварка в машиностроении: справочник. В 4-х т. — М.: Машиностроение, 1978. — Т.2. — 462 с.
10. Коррозия металлов. Книга 1. — Пер. с англ.



**ОАО "Сумское НПО им.М.В.Фрунзе" -**  
одно из старейших предприятий в мире  
по изготовлению тяжелых поршневых компрессоров

[www.frunze.com.ua](http://www.frunze.com.ua)

- широкая номенклатура;
- высокая эффективность и надежность;
- ресурс работы до капитального ремонта - 40 тыс. часов;
- автоматизированная система контроля, управления и защиты;
- гарантийное обслуживание.

Ваше точное попадание в цель -



размещение заказов в ОАО

Украина, 40004, г.Сумы, ул.Горького, 58  
[www.frunze.com.ua](http://www.frunze.com.ua), [snpo@frunze.com.ua](mailto:snpo@frunze.com.ua)  
**управление продаж:**  
 т. +38 0542 78 84 64, ф. +38 0542 22 63 62  
**отдел маркетинга:**  
 т. +38 0542 78 05 71