



HƯỚNG DẪN THỰC HÀNH AN TOÀN CHO NHÀ MÁY TÁCH KHÍ SIÊU LẠNH

SAFE PRACTICES GUIDE FOR CRYOGENIC AIR SEPARATIONS PLANTS

AIGA 056/23

Sửa đổi từ AIGA 056/20
Revision of AIGA 056/20

Hiệp hội Khí Công nghiệp Châu Á
Asia Industrial Gases Association

No 2 Venture Drive, #22-28 Vision Exchange, Singapore 608526
Tel: +65 67055642 Fax: +65 68633379

Internet: <https://asiaiga.org/> LinkedIn Profile: <https://www.linkedin.com/company/asiaigaorg>
<https://www.linkedin.com/company/asiaigaorg> <http://www.asiaiga.org> <https://www.linkedin.com/company/asiaigaorg>



AIGA 056/23

HƯỚNG DẪN THỰC HÀNH AN TOÀN CHO NHÀ MÁY TÁCH KHÍ SIÊU LẠNH

SAFE PRACTICES GUIDE FOR CRYOGENIC AIR SEPARATIONS PLANTS

Là một phần của chương trình hài hòa hóa các tiêu chuẩn ngành, Hiệp hội Khí công nghiệp Châu Á (AIGA) đã xuất bản AIGA 056, “*Hướng dẫn Thực hành An toàn cho Nhà máy Tách khí Siêu lạnh*”, được sản xuất chung bởi các thành viên của Hội đồng Hài hòa Quốc tế và ban đầu được xuất bản bởi Hiệp hội Khí nén (CGA) với tên CGA P-8 “*Hướng dẫn Thực hành An toàn cho Nhà máy Tách khí Siêu lạnh*”.

As part of a program of harmonisation of industry standards, the Asia Industrial Gases Association (AIGA) has published AIGA 056, “Safe Practices Guide for Cryogenic Air Separation Plants”, jointly produced by members of the International Harmonisation Council and originally published by Compressed Gas Association (CGA) as CGA P-8 “Guideline for Safe Practices for Cryogenic Air Separation Plants”.

Ấn phẩm này được dự định là một tiêu chuẩn hài hòa quốc tế để sử dụng và áp dụng trên toàn thế giới cho tất cả các thành viên của Hiệp hội Khí công nghiệp Châu Á (AIGA), Hiệp hội Khí nén (CGA), Hiệp hội Khí công nghiệp Châu Âu (EIGA) và Hiệp hội Khí công nghiệp và Y tế Nhật Bản (JIMGA). Nội dung kỹ thuật của mỗi hiệp hội là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu pháp lý khu vực và các thay đổi nhỏ về định dạng và chính tả.

This publication is intended as an international harmonized standard for the worldwide use and application of all members of the Asia Industrial Gases Association (AIGA), Compressed Gas Association (CGA), European Industrial Gases Association (EIGA), and Japan Industrial and Medical Gases Association (JIMGA). Each association’s technical content is identical, except for regional regulatory requirements and minor changes in formatting and spelling.

Tuyên bố miễn trừ trách nhiệm

Disclaimer

Tất cả các ấn phẩm của AIGA hoặc mang tên AIGA đều chứa thông tin, bao gồm Quy tắc Thực hành, quy trình an toàn và các thông tin kỹ thuật khác được thu thập từ các nguồn mà AIGA tin là đáng tin cậy và/hoặc dựa trên thông tin kỹ thuật và kinh nghiệm hiện có từ các thành viên của AIGA và những người khác tại thời điểm xuất bản. Do đó, chúng tôi không đưa ra bất kỳ tuyên bố hay bảo đảm nào cũng như không chấp nhận bất kỳ trách nhiệm pháp lý nào về tính chính xác, đầy đủ hoặc đúng đắn của thông tin có trong các ấn phẩm này.

All publications of AIGA or bearing AIGA’s name contain information, including Codes of Practice, safety procedures and other technical information that were obtained from sources believed by AIGA to be reliable and/ or based on technical information and experience currently available from members of AIGA and others at the date of the publication. As such, we do not make any representation or warranty nor accept any liability as to the accuracy, completeness or correctness of the information contained in these publications.

Mặc dù AIGA khuyến nghị các thành viên của mình tham khảo hoặc sử dụng các ấn phẩm của mình, việc tham khảo hoặc sử dụng đó của các thành viên hoặc bên thứ ba hoàn toàn là tự nguyện và không mang tính ràng buộc.

While AIGA recommends that its members refer to or use its publications, such reference to or use thereof by its members or third parties is purely voluntary and not binding.

AIGA hoặc các thành viên của mình không đảm bảo về kết quả và không chịu bất kỳ trách nhiệm pháp lý hoặc trách nhiệm nào liên quan đến việc tham khảo hoặc sử dụng thông tin hoặc đề xuất có trong các ấn phẩm của AIGA.

AIGA or its members make no guarantee of the results and assume no liability or responsibility in connection with the reference to or use of information or suggestions contained in AIGA’s publications.

AIGA không có bất kỳ quyền kiểm soát nào đối với hiệu suất hoặc không hiệu suất, việc hiểu sai, sử dụng đúng hoặc không đúng bất kỳ thông tin hoặc đề xuất nào có trong các ấn phẩm của AIGA bởi bất kỳ cá nhân hoặc tổ chức nào (bao gồm các thành viên AIGA) và AIGA từ chối rõ ràng mọi trách nhiệm pháp lý liên quan đến điều đó.

AIGA has no control whatsoever as regards, performance or non performance, misinterpretation, proper or improper use of any information or suggestions contained in AIGA’s publications by any person or entity (including AIGA members) and AIGA expressly disclaims any liability in connection thereto.

Các ấn phẩm của AIGA được xem xét định kỳ và người dùng được khuyến cáo nên lấy phiên bản mới nhất.

AIGA’s publications are subject to periodic review and users are cautioned to obtain the latest edition.

© Được sao chép với sự cho phép của Hiệp hội Khí công nghiệp Châu Âu (EIGA). Bảo lưu mọi quyền.
Reproduced with permission from European Industrial Gases Association (EIGA). All Rights Reserved.

HIỆP HỘI KHÍ CÔNG NGHIỆP CHÂU Á
ASIA INDUSTRIAL GASES ASSOCIATION
No 2 Venture Drive, # 22-28 Vision Exchange, Singapore 608526
Tel: +65 67055642 Fax: +65 68633307
Internet: <https://asiaiga.org/> | LinkedIn Profile: <https://www.linkedin.com/company/asiaiga>

Mục lục / *table of contents*

1.	Lời giới thiệu / <i>Introduction</i>	1
2.	Phạm vi / <i>Scope</i>	1
3.	Các tính năng điển hình của đơn vị tách khí / <i>Typical air separation unit features</i>	2
4.	Định nghĩa / <i>Definitions</i>	4
4.1.	Thuật ngữ xuất bản / <i>Publication terminology</i>	4
4.2.	Định nghĩa kỹ thuật / <i>Technical definitions</i>	4
5.	Các mối nguy về sức khỏe / <i>Health hazards</i>	12
5.1.	Lỏng siêu lạnh / <i>cryogenic liquids</i>	12
5.2.	Sản phẩm khí / <i>gas products</i>	12
5.3.	Gây ngạt / <i>asphyxiation</i>	13
5.4.	Mối nguy của oxy / <i>oxygen hazards</i>	15
5.5.	Quần áo bảo hộ và thiết bị bảo hộ cá nhân / <i>protective clothing and personal protective equipment</i> ...	15
6.	Các cân nhắc chung về nhà máy / <i>General plant considerations</i>	16
6.1.	Lựa chọn địa điểm / <i>site selection</i>	16
6.2.	Các yếu tố an toàn trong bố trí nhà máy / <i>safety factors in plant layouts</i>	17
6.3.	Vật liệu chế tạo / <i>materials of construction</i>	18
6.4.	Vật liệu cách nhiệt—ngoại trừ hộp lạnh / <i>insulation—other than coldbox</i>	19
6.5.	Làm sạch / <i>cleaning</i>	20
6.6.	Yêu cầu về điện / <i>electrical requirements</i>	20
6.7.	Tiếng ồn / <i>noise</i>	21
7.	Chất lượng không khí đầu vào / <i>Intake air quality</i>	21
7.1.	Các tạp chất / <i>contaminants</i>	22
7.2.	Các tạp chất phản ứng có trong oxy / <i>reactive contaminants that concentrate in oxygen</i>	23
7.3.	Các tạp chất có phản ứng tập trung trong nitơ / <i>reactive contaminants that concentrate in nitrogen</i> ...	25
7.4.	Các thành phần gây tắc / <i>plugging components</i>	25
7.5.	Sương mù và khói từ đám cháy / <i>haze and smoke from fires</i>	26
7.6.	Nguồn tạp chất / <i>contaminant sources</i>	27
7.7.	Nhận dạng tạp chất / <i>identification of contaminants</i>	28
7.8.	Vị trí cửa hút khí / <i>location of air intake</i>	28
7.9.	Giám sát khí đầu vào / <i>monitoring intake air</i>	28
8.	Máy nén / <i>Compressors</i>	29
8.1.	Máy nén hướng trục / <i>axial compressors</i>	29

8.2.	Máy nén ly tâm / <i>centrifugal compressors</i>	29
8.3.	Các cân nhắc khác về máy nén động lực / <i>other dynamic compressor considerations</i>	29
8.4.	Máy nén piston / <i>reciprocating compressors</i>	31
8.5.	Máy nén màng / <i>diaphragm compressors</i>	34
8.6.	Máy nén kiểu quay dịch chuyển dương / <i>rotary positive displacement compressors</i>	35
8.7.	Máy nén môi chất lạnh / <i>refrigerant gas compressors</i>	35
8.8.	Máy nén trục vít / <i>screw compressors</i>	35
8.9.	Hệ thống bôi trơn / <i>lubrication systems</i>	35
8.10.	Thiết bị làm mát và thiết bị phân tách / <i>coolers and separators</i>	37
8.11.	Bộ lọc hoặc lưới lọc đầu hút / <i>suction filters or screens</i>	38
8.12.	Cân nhắc đặc biệt đối với dịch vụ oxy / <i>special considerations for oxygen service</i>	39
8.13.	Quy trình vận hành và bảo trì / <i>operating and maintenance procedures</i>	39
9.	Loại bỏ tạp chất trong không khí / <i>Air contaminant removal</i>	40
9.1.	Các phương pháp loại bỏ / <i>removal methods</i>	40
9.2.	Các giai đoạn loại bỏ tạp chất / <i>contaminant removal stages</i>	42
9.3.	Vận hành cụm thiết bị tiền tinh chế / <i>prepurification unit operation</i>	44
9.4.	Vận hành bộ trao đổi nhiệt đảo chiều / <i>reverse heat exchanger operation</i>	48
9.5.	Thiết bị làm lạnh cơ học bổ sung / <i>supplemental mechanical chillers</i>	52
9.6.	Thiết bị rửa kiềm / <i>caustic scrubbers</i>	53
10.	Thiết bị giãn nở / <i>Expanders</i>	53
10.1.	Mất tải và quá tốc / <i>loss of loading and overspeed</i>	54
10.2.	Nhiễm bẩn dầu vào quy trình / <i>oil contamination of the process</i>	54
10.3.	Hỏng phốt trục / <i>failure of shaft seals</i>	56
10.4.	Nhiệt độ thấp bất thường / <i>abnormally low temperatures</i>	56
10.5.	Vật thể rắn trong dòng khí / <i>solids in gas stream</i>	57
10.6.	Sự mất bôi trơn / <i>loss of lubrication</i>	57
10.7.	Nhiệt độ ổ trục bất thường / <i>abnormal bearing temperature</i>	58
10.8.	Rung động bất thường / <i>abnormal vibration</i>	58
10.9.	Tốc độ bất thường / <i>abnormal speed</i>	58
10.10.	Tốc độ tới hạn / <i>critical speed</i>	59
10.11.	Sự bám bẩn bộ giãn nở do băng hoặc carbon dioxide / <i>fouling of expander with ice or carbon dioxide</i>	59
10.12.	Khởi động và dừng máy / <i>startup and shutdown</i>	59
10.13.	Quy trình vận hành và bảo trì / <i>operating and maintenance procedures</i>	60
11.	Bơm siêu lạnh / <i>Cryogenic pumps</i>	60
11.1.	Tổng quan / <i>general</i>	60

11.2.	Các loại bơm / <i>types of pumps</i>	61
11.3.	Vật liệu chế tạo / <i>materials of construction</i>	61
11.4.	Thiết kế hệ thống bơm / <i>pump system design</i>	62
11.5.	Cân nhắc đặc biệt đối với ứng dụng oxy / <i>special considerations for oxygen service</i>	63
11.6.	Động cơ bơm / <i>pump motor</i>	63
11.7.	Vận hành bơm / <i>pump operation</i>	64
11.8.	Quy trình vận hành và bảo trì / <i>operating and maintenance procedures</i>	65
12.	Hộp lạnh / <i>Coldbox</i>	65
12.1.	Loại bỏ vật chất dạng hạt / <i>removing particulate material</i>	65
12.2.	Bộ hấp phụ siêu lạnh / <i>cryogenic adsorbers</i>	66
12.3.	Mức lỏng / <i>liquid levels</i>	68
12.4.	Giám sát tạp chất / <i>monitoring contaminants</i>	69
12.5.	Tách và tinh chế argon / <i>argon separation and purification</i>	71
12.6.	Thông thổi khí không ngưng tụ / <i>noncondensable purge</i>	73
12.7.	Vệ sinh coldbox / <i>coldbox cleaning</i>	73
12.8.	Thời gian giữ an toàn cho oxy lỏng / <i>safe holding time for liquid oxygen</i>	73
12.9.	Hóa lỏng không khí trong bộ trao đổi nhiệt chính / <i>liquefaction of air in the main heat exchanger</i>	74
12.10.	Vận hành hệ thống tách khí khi có rò rỉ từ quy trình vào không gian cách nhiệt của vỏ thiết bị siêu lạnh / <i>air separation unit operation with process leaks into the cryogenic enclosure insulation space</i>	74
12.11.	Bộ trao đổi nhiệt nhôm hàn trong chế độ vận hành theo chu kỳ / <i>brazed aluminum heat exchangers (bahxs) in cyclic service</i>	75
12.12.	Sự cố trong quy trình / <i>process upsets</i>	76
12.13.	Vận hành và bảo trì / <i>operation and maintenance</i>	79
13.	Hệ thống điều khiển / <i>Control systems</i>	81
13.1.	Chức năng của hệ thống đo lường/điều khiển / <i>instrumented systems functions</i>	81
13.2.	Hệ thống an toàn trọng yếu / <i>critical safety systems</i>	82
13.3.	Hệ thống an toàn vận hành / <i>operational safety systems</i>	83
13.4.	Hệ thống điều khiển vận hành thông thường của nhà máy / <i>routine plant operation control systems</i> ..	84
13.5.	Vận hành không giám sát hoặc giám sát một phần / <i>unattended or partially attended operation</i>	85
13.6.	Vận hành từ xa / <i>remote operation</i>	85
13.7.	Các lưu ý bổ sung đối với hệ thống điều khiển dựa trên máy tính / <i>additional considerations for computer-based control systems</i>	86
13.8.	Lưu ý bổ sung đối với hệ thống an toàn khi xảy ra lỗi / <i>additional considerations for failsafe systems</i> ..	87
13.9.	Hệ thống cảnh báo / <i>alarm system</i>	87
13.10.	Các lưu ý về quy định / <i>regulatory considerations</i>	88
14.	Thiết bị thao tác sản phẩm / <i>product handling equipment</i>	89

14.1.	Tồn chứa lỏng / <i>liquid storage</i>	89
14.2.	Bồn tồn chứa khí áp cao / <i>high pressure gas storage vessels</i>	90
14.3.	Bộ hóa hơi lỏng / <i>liquid vaporizers</i>	91
15.	Hệ thống làm mát / <i>Cooling systems</i>	91
16.	Đường ống nhà máy / <i>Plant piping</i>	92
16.1.	Các lưu ý thiết kế chung cho đường ống nhà máy / <i>general design considerations for plant piping</i>	92
16.2.	Lưu ý thiết kế chung cho van một chiều / <i>general design considerations for check valves</i>	92
16.3.	Khớp giãn nở / <i>expansion joints</i>	93
16.4.	Mối nguy của đường ống oxy / <i>oxygen piping hazards</i>	93
16.5.	Thiết bị giảm áp / <i>pressure relief devices</i>	93
16.6.	Đường ống siêu lạnh / <i>cryogenic piping</i>	95
16.7.	Đoạn ống chết / <i>dead legs</i>	96
16.8.	Đường ống thép carbon / <i>carbon steel piping</i>	96
16.9.	Xả khí / <i>venting</i>	96
16.10.	Phân phối sản phẩm / <i>product delivery</i>	97
16.11.	Phát hiện và ứng phó rò rỉ trong đường ống/bộ phận của nhà máy / <i>leak detection and response in plant piping/components</i>	97
17.	Quy trình dừng máy / <i>Shutdown procedures</i>	98
17.1.	Ngừng hoạt động hộp lạnh / <i>coldbox shutdown</i>	98
17.2.	Xả lỏng và khí / <i>liquid and gas disposal</i>	98
17.3.	Khử băng cho nhà máy / <i>plant derime</i>	100
18.	Sửa chữa và kiểm tra / <i>Repair and inspection</i>	100
18.1.	Lưu ý chung về bảo trì / <i>general maintenance considerations</i>	100
18.2.	Kiểm soát giám sát / <i>supervisory control</i>	101
18.3.	Lưu ý đặc biệt về xây dựng và sửa chữa / <i>special construction and repair considerations</i>	101
18.4.	Mối nguy của hộp lạnh (coldbox) / <i>coldbox hazards</i>	101
18.5.	Mối nguy khi làm việc trong bầu không khí giàu oxy hoặc thiếu oxy / <i>hazards of working in oxygen-enriched or oxygen-deficient atmospheres</i>	103
18.6.	Làm sạch / <i>cleaning</i>	103
19.	Vận hành và đào tạo / <i>operations and training</i>	103
19.1.	Quy trình vận hành / <i>operating procedures</i>	103
19.2.	Quy trình chạy thử / <i>commissioning procedures</i>	104
19.3.	Quy trình khẩn cấp / <i>emergency procedures</i>	104
19.4.	Quản lý sự thay đổi / <i>management of change</i>	105
19.5.	Đào tạo nhân sự / <i>personnel training</i>	105

20.	Tài liệu tham khảo / <i>References</i>	106
-----	--	-----

Hình / *Figures*

Hình 1—Ví dụ về sơ đồ quy trình của nhà máy tách khí	3
<i>Figure 1—Example of an air separation plant flow diagram</i>	
Hình 2—Ví dụ về các biện pháp giảm thiểu hiện tượng ngược dòng	79
<i>Figure 2—Example of mitigations against backflow/reverse flow</i>	

Bảng biểu / *Tables*

Bảng 1—Ảnh hưởng ở các mức độ thở oxy khác nhau	19
<i>Table 1—Effects at various oxygen breathing levels</i>	
Bảng 2—Các chất gây tắc, phản ứng và ăn mòn trong không khí.....	22
<i>Table 2—Plugging, reactive, and corrosive contaminants in air</i>	
Bảng 3—Cơ sở thiết kế chất lượng không khí mặc định điển hình	23
<i>Table 3 - Typical default air quality design basis</i>	
Bảng 4—Loại bỏ điển hình trong quy trình PPU	43
<i>Table 4—Typical removal in PPU process</i>	
Bảng 5—Loại bỏ điển hình trong quy trình REVEX	44
<i>Table 5—Typical removal in REVEX process</i>	
Bảng 6—Tên bộ hấp phụ siêu lạnh	66
<i>Table 6—Cryogenic adsorber names</i>	

LƯU Ý—Những thay đổi kỹ thuật so với phiên bản trước được gạch chân.
NOTE—Technical changes from the previous edition are underlined.

1. Lời giới thiệu / Introduction

- Ấn phẩm này cung cấp hướng dẫn về vận hành an toàn các nhà máy tách khí siêu lạnh. Nó dựa trên kinh nghiệm của các công ty thành viên CGA vận hành các đơn vị tách khí siêu lạnh (ASU).

This publication provides guidance on the safe operation of cryogenic air separation plants. It is based on the experience of CGA member companies that operate cryogenic air separation units (ASUs).

- Quá trình tách khí siêu lạnh công nghiệp có một số mối nguy tiềm ẩn phải được nhận biết và giải quyết. Các mối nguy bao gồm điện, khí nén, nhiệt độ rất thấp, khả năng oxy đẩy nhanh quá trình cháy, và tính chất gây ngạt của nitơ, argon và các khí hiếm [1].¹

Industrial cryogenic air separation has some potential hazards that must be recognized and addressed. The hazards include electricity, gases under pressure, very low temperatures, the ability of oxygen to accelerate combustion, and the asphyxiant properties of nitrogen, argon, and the rare gases [1].

- Công nghệ tách khí siêu lạnh không tĩnh; nó đã và đang phát triển trong nhiều thập kỷ và sẽ tiếp tục như vậy nhờ những nỗ lực phát triển kỹ thuật. Do đó, chu trình quy trình nhà máy, thiết bị và điều kiện vận hành có thể và đang có nhiều loại khác nhau. Vì vậy, ấn phẩm này bao gồm các tuyên bố và khuyến nghị chung về những vấn đề có sự đa dạng về ý kiến hoặc thực tiễn. Người dùng hướng dẫn này nên nhận ra rằng nó được trình bày với sự hiểu biết rằng nó không thể thay thế cho sự đánh giá kỹ thuật hợp lý, đào tạo và kinh nghiệm. Nó không cấu thành, và không nên được hiểu là, một bộ quy tắc hoặc quy định.

Cryogenic air separation technology is not static; it has been progressing for decades and will continue to do so because of engineering development efforts. Consequently, plant process cycles, equipment, and operating conditions can be and are of varying kinds. Therefore, this publication includes generalized statements and recommendations on matters for which there is a diversity of opinion or practice. Users of this guide should recognize that it is presented with the understanding that it cannot take the place of sound engineering judgment, training, and experience. It does not constitute, and should not be construed to be, a code of rules or regulations.

2. Phạm vi / Scope

- Ấn phẩm này phục vụ lợi ích của những người liên quan hoặc quan tâm đến hoạt động của nhà máy tách khí và áp dụng cho an toàn trong thiết kế, vị trí, xây dựng, lắp đặt, vận hành và bảo trì các nhà máy tách khí siêu lạnh. Trọng tâm được đặt vào các tính năng thiết bị, vận hành và bảo trì đặc thù cho các quy trình tách khí siêu lạnh. Phạm vi giới hạn được đưa ra đối với các thiết bị nhà máy như máy nén khí, vốn được sử dụng trong các ứng dụng công nghiệp khác và các thực hành an toàn trong thiết kế, lắp đặt và sử dụng đã được thiết lập ở nơi khác. Hơn nữa, vì ấn phẩm này không nhằm mục đích trở thành sổ tay thực hành an toàn phổ quát cho các tính năng thiết kế và an toàn cụ thể, điều quan trọng là phải tham khảo sổ tay vận hành của các nhà cung cấp thiết bị.

This publication serves the interest of those associated or concerned with air separation plant operations and applies to safety in the design, location, construction, installation, operation, and maintenance of cryogenic air separation plants. Emphasis is placed on equipment and operational and maintenance features that are specific to cryogenic air separation processes. Limited coverage is given to plant equipment such as air compressors, which are used in other industrial applications and for which safe practices in design, installation, and use have already been established elsewhere. Further, as this publication is not intended as a universal safe practice manual for specific design and safety features, it is also important to refer to the operating manuals of the equipment suppliers.

- Bất kỳ yêu cầu thiết kế và lắp đặt mới nào có trong ấn bản này chỉ áp dụng cho các lắp đặt mới bắt đầu sau thời điểm xuất bản chứ không áp dụng cho các lắp đặt hiện có. Tuy nhiên, các yêu cầu và khuyến nghị mới có thể được người dùng xem xét cho các đơn vị vận hành hiện có hoặc những đơn vị đang trong giai đoạn dự án.

Any new design and installation requirements contained in this edition only apply to new installations begun after the time of publication and not to existing installations. However, new requirements and recommendations may be considered by the user for existing operating units or those in the project phase.

- Những điều sau đây được loại trừ khỏi ấn phẩm này:

The following are excluded from this publication:

- cơ sở chiết nạp chai;
cylinder filling facilities;
- hệ thống tinh chế khí hiếm; và

¹ Tài liệu tham khảo được thể hiện bằng số trong ngoặc vuông và được liệt kê theo thứ tự xuất hiện trong phần tài liệu tham khảo.
References are shown by bracketed numbers and are listed in order of appearance in the reference section.

rare gas purification systems; and

- đường ống truyền tải sản phẩm bên ngoài ranh giới nhà máy.
product transmission piping outside the plant boundaries.

3. Các tính năng điển hình của đơn vị tách khí / *Typical air separation unit features*

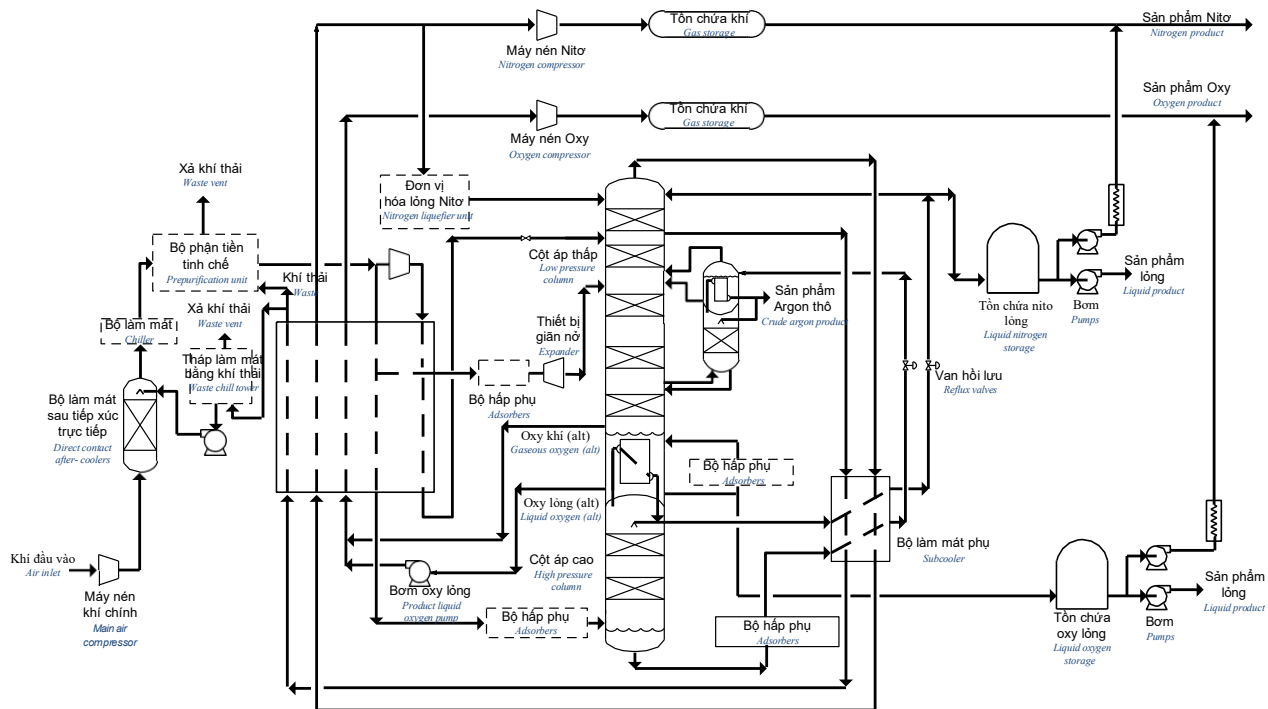
- Các ASU siêu lạnh có các tính năng sau:

Cryogenic ASUs have these features:

- nén khí;
air compression;
- loại bỏ tạp chất không khí;
air contaminant removal;
- trao đổi nhiệt;
heat exchange;
- chưng cất; và
distillation; and
- giãn nở (hoặc các nguồn làm lạnh khác).
expansion (or other refrigeration sources).

- Hình 1 là một ví dụ về lưu đồ để tách khí bằng phương pháp chưng cất siêu lạnh tạo ra các sản phẩm oxy, nitơ và argon. Không khí được nén trong máy nén khí chính (MAC) đến áp suất từ 4 atm đến 10 atm. Sau đó nó được làm mát đến nhiệt độ môi trường. Các tạp chất vết như nước, carbon dioxide và hydrocarbon nặng được loại bỏ bằng các hệ thống như bộ phận tiền tinh chế (PPU) hoặc bộ trao đổi nhiệt đảo chiều (REVEX). Bộ trao đổi nhiệt chính làm mát không khí đến gần nhiệt độ hóa lỏng của nó trước khi đi vào tháp chưng áp suất cao. Một phần không khí được giảm áp trong bộ giãn nở để tạo ra sự làm lạnh, khắc phục rò rỉ nhiệt và sự kém hiệu quả của quy trình. Nitơ dạng khí từ đỉnh tháp áp suất cao được ngưng tụ bằng bộ đun sôi lại và lỏng được sử dụng để hồi lưu cả hai tháp. Nitơ ngưng tụ giải phóng nhiệt để hóa hơi oxy lỏng trong đáy tháp áp suất thấp, sau đó được lấy làm sản phẩm hoặc được gửi làm khí tước (stripping gas) đến tháp áp suất thấp.

Figure 1 is an example of a flow diagram for separating air by cryogenic distillation producing oxygen, nitrogen, and argon products. Air is compressed in the main air compressor (MAC) to between 4 atm and 10 atm. It is then cooled to ambient temperature. Trace contaminants such as water, carbon dioxide, and heavy hydrocarbons are removed using systems such as a prepurification unit (PPU) or a reversing heat exchanger (REVEX). The main heat exchanger cools the air to near its liquefaction temperature before entering the high pressure distillation column. Some of the air is reduced in pressure in the expander to produce refrigeration, overcoming heat leak and process inefficiencies. Gaseous nitrogen from the top of the high pressure column is condensed by the reboiler and the liquid used to reflux both columns. Condensing nitrogen releases heat to vaporize liquid oxygen in the low pressure column sump, which is then taken as product or sent as stripping gas to the low pressure column.



Hình 1—Ví dụ về sơ đồ dòng chảy của nhà máy tách khí

Figure 1—Example of an air separation plant flow diagram

- Oxy có điểm sôi cao nhất trong ba thành phần chính và được lấy ra từ đáy tháp áp suất thấp. Nitơ được lấy ra từ đỉnh tháp áp suất thấp hoặc áp suất cao. Dòng giàu argon có thể được rút ra từ giữa tháp áp suất thấp và được tinh chế thành sản phẩm tinh khiết trong các tháp chưng cất khác. Các dòng sản phẩm được làm ấm đến nhiệt độ môi trường bằng cách trao đổi nhiệt với không khí đi vào trong bộ trao đổi nhiệt chính để thu hồi sự làm lạnh. Cũng có thể loại bỏ các sản phẩm khỏi hệ thống chưng cất dưới dạng lỏng, nếu có đủ sự làm lạnh. Việc sản xuất số lượng lớn sản phẩm lỏng đòi hỏi phải có thêm sự làm lạnh, thường được cung cấp bởi một đơn vị hóa lỏng nitơ. Chất lỏng có thể được lưu trữ để dự phòng đường ống hoặc bán thương mại.

Oxygen has the highest boiling point of the three main components and is taken from the bottom of the low pressure column. Nitrogen is taken from the top of the low pressure or high pressure columns. An argon-rich stream can be withdrawn from the middle of the low pressure column and refined to a pure product in other distillation columns. The product streams are warmed to ambient temperature against incoming air in the main heat exchanger to recover the refrigeration. It is also possible to remove the products from the distillation system as liquid, if sufficient refrigeration is available. Producing large quantities of liquid products requires extra refrigeration, often supplied by a nitrogen liquefier unit. Liquid may be stored for pipeline backup or merchant sales.

- Có hai cấu hình ASU điển hình để sản xuất oxy có áp suất. Trong cấu hình nhà máy khí (còn gọi là quy trình oxy dạng khí hoặc quy trình khí cổ điển), oxy được lấy dưới dạng hơi từ đáy tháp áp suất thấp và được làm ấm bằng không khí đi vào trong bộ trao đổi nhiệt chính. Nếu cần sản phẩm oxy áp suất cao, nó sẽ được nén đến áp suất yêu cầu. Một dòng thông thổi oxy lỏng được lấy từ đáy tháp áp suất thấp để ngăn các tạp chất vết tập trung vượt quá giới hạn an toàn cho phép. Trong quy trình oxy lỏng được bơm (còn được gọi là quy trình nén bên trong), oxy được lấy dưới dạng lỏng từ đáy tháp áp suất thấp, được bơm đến áp suất yêu cầu và được hóa hơi trong bộ trao đổi nhiệt chính bằng cách trao đổi nhiệt với không khí áp suất cao từ máy nén khí tăng áp. Dòng oxy được bơm loại bỏ các tạp chất vết khỏi đáy tháp áp suất thấp, do đó có thể loại bỏ một dòng thông thổi oxy lỏng riêng biệt từ đáy tháp áp suất thấp.

There are two typical ASU configurations for producing pressurized oxygen. In the gas plant configuration (also called gaseous oxygen process or classic gas process), oxygen is taken as a vapor from the bottom of the low pressure column and warmed by incoming air in the main heat exchanger. If a high pressure oxygen product is needed, it is compressed to the required pressure. A liquid oxygen purge stream is taken from the sump of the low pressure column to prevent the trace contaminants from concentrating above allowable safety limits. In the pumped liquid oxygen process (also known as the internal compression process), oxygen is taken as a liquid

from the low pressure column sump, pumped to the required pressure, and vaporized in the main exchanger against high pressure air from the booster air compressor. The pumped oxygen stream removes trace contaminants from the low pressure column sump, so a separate liquid oxygen purge stream from the low pressure column sump may be eliminated.

- Có nhiều cấu hình khác của quy trình ASU được điều chỉnh đặc biệt cho các hỗn hợp sản phẩm và nhu cầu khách hàng khác nhau. Việc thảo luận chi tiết về những điều này nằm ngoài phạm vi của ấn phẩm này.

There are many other configurations of the ASU process that are specifically tailored for different products mixes and customer needs. A detailed discussion of these is beyond the scope of this publication.

4. Định nghĩa / Definitions

- Vì mục đích của ấn phẩm này, các định nghĩa sau được áp dụng.
For the purpose of this publication, the following definitions apply.

4.1. Thuật ngữ xuất bản / Publication terminology

4.1.1. Phải / Shall

- Chỉ ra rằng quy trình là bắt buộc. Nó được sử dụng ở bất cứ nơi nào tiêu chí tuân thủ các khuyến nghị cụ thể không cho phép sai lệch.
Indicates that the procedure is mandatory. It is used wherever the criterion for conformance to specific recommendations allows no deviation.

4.1.2. Nên / Should

- Chỉ ra rằng một quy trình được khuyến nghị.
Indicates that a procedure is recommended.

4.1.3. Có thể / May

- Chỉ ra rằng quy trình là tùy chọn.
Indicates that the procedure is optional.

4.1.4. Sẽ / Will

- Chỉ được sử dụng để chỉ tương lai, không phải mức độ yêu cầu.
Is used only to indicate the future, not a degree of requirement.

4.1.5. Có thể / Can

- Chỉ ra một khả năng hoặc năng lực.
Indicates a possibility or ability.

4.2. Định nghĩa kỹ thuật / Technical definitions

4.2.1. Khí axit / Acid gas

- Các tạp chất trong không khí như Clo, NOx và SOx có thể tạo thành axit khi kết hợp với nước.

Air contaminants such as chlorine, NOx, and SOx that can form acid when combined with water.

LƯU Ý—Các khí axit có thể tạo ra điều kiện ăn mòn trong các bộ trao đổi nhiệt nhôm hàn (BAHX) và các thiết bị khác.

NOTE—Acid gases can create corrosive conditions in brazed aluminum heat exchangers (BAHXs) and other equipment.

4.2.2. Hấp phụ / Adsorption

- Quá trình tinh chế trong đó một hoặc nhiều thành phần từ khí hoặc lỏng được hấp phụ ưu tiên lên chất hút ẩm rắn hoặc chất hấp phụ khác.

Purification process in which one or more components from a gas or liquid is preferentially adsorbed onto a solid desiccant or other adsorbent.

- LƯU Ý—Các chất hấp phụ điển hình bao gồm:

NOTE—Typical adsorbents include:

- sàng phân tử—chất hấp phụ dạng hạt (thường là 13X) được sử dụng trong các thiết bị PPU không khí để loại bỏ nước, carbon dioxide và hydrocacbon;
molecular sieve—granular adsorbent (typically 13X) used in air PPUs for water, carbon dioxide, and hydrocarbon removal;

- alumina—chất hấp phụ dạng hạt thường được sử dụng trong các thiết bị PPU không khí hoặc máy sấy để loại bỏ nước; và
alumina—granular adsorbent typically used in air PPUs or dryers for water removal; and
- silica gel—chất hấp phụ dạng hạt thường được sử dụng trong máy hấp phụ siêu lạnh để loại bỏ carbon dioxide và hydrocacbon.
silica gel—granular adsorbent typically used in cryogenic adsorbers for carbon dioxide and hydrocarbon removal.

4.2.3. Ngạt thở / *Asphyxiation*

- Trở nên bất tỉnh hoặc chết do thiếu oxy.
To become unconscious or die from lack of oxygen.

4.2.4. Thông thổi / *Blow out*

- Quy trình bảo trì hoặc chạy thử trong đó một chất lỏng, thường là không khí khô, được thổi qua đường ống và thiết bị để loại bỏ bụi bẩn, hơi ẩm hoặc các tạp chất khác.
Maintenance or commissioning procedure in which a fluid, typically dry air, is blown through piping and equipment to eliminate dirt, moisture, or other contaminants.

4.2.5. Thiết bị trao đổi nhiệt nhôm hàn (BAHX) / *Brazed aluminum heat exchanger (BAHX)*

- Thiết bị trao đổi nhiệt dạng tấm và cánh nhôm bao gồm các tấm lượn sóng được phân tách bằng các tấm phân cách và khung ngoài bao gồm các thanh có lỗ cho đầu vào và đầu ra của chất lỏng, được trang bị các đầu nối và vòi phun để kết nối với đường ống bên ngoài.
Aluminum plate and fin heat exchanger consisting of corrugated sheets separated by parting sheets and an outer frame consisting of bars with openings for the inlets and outlets of fluids, equipped with headers and nozzles to connect to external piping.
- LƯU Ý—Độ dày gần đúng của các tấm lượn sóng là 0,2 mm đến 0,5 mm, trong khi các tấm phân cách có độ dày từ 1,0 mm đến 2,4 mm. Thông tin chi tiết có trong AIGA 057, Sử dụng an toàn thiết bị trao đổi nhiệt nhôm hàn để sản xuất oxy điều áp [2].
NOTE—The approximate thickness of the corrugated sheets is 0.2 mm to 0.5 mm, while the parting sheets have thicknesses between 1.0 mm and 2.4 mm. More information is provided in AIGA 057, Safe Use of Brazed Aluminum Heat Exchangers for Producing Pressurized Oxygen [2].

4.2.6. Vỏ / *Casing*

- Các bức tường bên ngoài của hộp lạnh hoặc ống dẫn siêu lạnh. Mặt cắt ngang có thể là hình tròn hoặc hình chữ nhật.
Outside walls of a coldbox or cryogenic piping duct. The cross section can be circular or rectangular.

4.2.7. Chất xúc tác / *Catalyst*

- Vật liệu giúp thúc đẩy phản ứng nhưng bản thân nó không bị thay đổi.
Material that helps promote a reaction but is not changed itself.

4.2.8. Sự xâm thực / *Cavitation*

- Hiện tượng này xảy ra khi áp suất của chất lỏng giảm xuống thấp hơn áp suất hơi của chất lỏng ở một nhiệt độ nhất định. Tại thời điểm này, chất lỏng bốc hơi, do đó tạo ra bọt hơi. Những bong bóng này có thể khiến máy bơm mất áp hoặc bị rung và hư hỏng nặng.
This phenomenon occurs when the pressure of a liquid drops to less than the vapor pressure of the liquid at a certain temperature. At this point, liquid vaporizes, thereby creating vapor bubble. These bubbles can cause a pump to lose prime or suffer heavy vibration and damage.

4.2.9. Ly tâm / *Centrifugal*

- Máy nén hoặc bơm động hoạt động bằng cách tăng tốc chất lỏng trong một cánh quạt quay với sự chuyển đổi tiếp theo của năng lượng này thành áp suất.
Dynamic compressor or pump that works by accelerating a fluid in a rotating impeller with subsequent conversion of this energy into pressure.

4.2.10. Làm sạch / *Cleanup*

- Loại bỏ các tạp chất dầu vết khỏi dòng hoặc khỏi thiết bị xử lý.
Removing trace contaminants from a stream or from process equipment.

4.2.11. **Hộp lạnh / Coldbox**

- Cấu trúc chứa các cột chưng cất siêu lạnh, các thiết bị xử lý khác, đường ống và lớp cách nhiệt. Nó cũng có thể đề cập đến phần siêu lạnh của một ASU.
Structure that contains cryogenic distillation columns, other process equipment, piping, and insulation. It can also refer to the cryogenic portion of an ASU.

4.2.12. **Hệ thống điều khiển / Control system**

- Hệ thống phản hồi các tín hiệu đầu vào từ quy trình, người vận hành hoặc cả hai và tạo ra một đầu ra khiến quy trình hoạt động theo cách đã định.
System that responds to input signals from the process, operator, or both and generates an output that causes the process to operate in the intended manner.

4.2.13. **Hệ thống tinh chế argon thô / Crude argon purification system**

- Thiết bị ấm bao gồm máy nén, bộ phản ứng xúc tác, bộ trao đổi nhiệt, bộ sấy và thiết bị làm mát được sử dụng để loại bỏ oxy khỏi argon thô.
Warm equipment including compressors, catalytic reactors, heat exchangers, dryers, and chillers used for removing oxygen from crude argon.

4.2.14. **Chất lỏng siêu lạnh / Cryogenic liquid**

- Chất lỏng cực lạnh, dưới -130°F (-90°C).
Liquid that is extremely cold, less than -130°F (-90°C).

4.2.15. **Sự sôi ở điểm chết (sôi hồ, sôi nổi) / Dead end boiling (pool boiling, pot boiling)**

- Điều kiện xảy ra trong các bộ đun sôi tuần hoàn nhiệt, do tắc nghẽn, dòng lỏng bị hạn chế trong các kênh của bộ đun sôi, do đó làm giảm việc loại bỏ các tạp chất bằng tác động rửa trôi của chất lỏng. Còn được gọi là sôi hồ hoặc sôi nổi. Hiện tượng này cũng có thể xảy ra trong các khoang và các phần của đường ống, nơi chất lỏng giàu oxy có thể bị giữ lại và bốc hơi do rò rỉ nhiệt.
Condition occurring in thermosyphon reboilers where, due to blockages, the flow of liquid is restricted within the channels of the reboiler, thereby reducing the removal of contaminants by the flushing action of the liquid. Also known as pool or pot boiling. This phenomenon can also occur in cavities and sections of piping where oxygen-enriched liquid can be trapped and vaporized by heat leak.
- LƯU Ý—Quá trình này đặc biệt nguy hiểm khi lỏng giàu oxy chứa hydrocacbon bị cô đặc trong quá trình bốc hơi.
NOTE—This process is particularly hazardous when the oxygen-enriched liquid contains hydrocarbons that become concentrated during vaporization.

4.2.16. **Khử oxy hoặc deoxo / Deoxidation or deoxo**

- Sự loại bỏ bằng xúc tác tạp chất vết oxy khỏi khí bằng phản ứng với hydro, thường là trong sản xuất argon ấm trong ASU.
Catalytic removal of trace oxygen contaminant from a gas by a reaction with hydrogen, typically in warm argon production in ASUs.

4.2.17. **Thiết bị Deoxo / Deoxo unit**

- Hệ thống dựa trên chất xúc tác được sử dụng trong một số hệ thống tinh chế argon để loại bỏ oxy. Hydro được thêm vào dòng argon thô và sau đó phản ứng với oxy để tạo thành nước.
Catalytic-based system used in some argon refining systems to remove oxygen. Hydrogen is added to the crude argon stream and then reacts with oxygen to form water.

4.2.18. **Rã đông / Deriming**

- Quy trình bảo trì phòng ngừa định kỳ, trong đó thiết bị xử lý được làm ấm lên đồng thời được quét bằng khí khô sạch để loại bỏ mọi hơi ẩm, carbon dioxide và các tạp chất trong khí quyển tích tụ.
Periodic preventive maintenance procedure where the process equipment is warmed up while simultaneously being swept with clean dry gas to remove any accumulated moisture, carbon dioxide, and atmospheric contaminants.

- LƯU Ý—Còn được gọi là rã đông, khử băng và làm tan băng.
NOTE—Also known as defrosting, de-icing, and thawing.

4.2.19. **Chênh lệch nhiệt độ (ΔT) / Differential temperature (ΔT)**

- Chênh lệch nhiệt độ giữa hai dòng trong một bộ trao đổi nhiệt, đây là một chỉ số về hiệu suất và hiệu quả của bộ trao đổi.
Temperature difference between two streams in a heat exchanger, which is an indicator of the exchanger's performance and efficiency.

4.2.20. **Miếng đệm / Distance piece**

- Miếng đệm kéo dài, giá đỡ trung gian hoặc khung đỡ cách ly đầu quy trình của máy bơm hoặc máy nén khối động cơ hoặc vòng bi của nó để ngăn chặn sự di chuyển của chất lỏng quy trình, dầu, nhiệt hoặc làm lạnh.
Extended spacer, intermediate support, or carrier frame that isolates the process end of a pump or compressor from its motor or bearings to prevent migration of process fluid, oil, heat, or refrigeration.

4.2.21. **Khóa kép và xả / Double block and bleed**

- Sắp xếp đường ống hoặc dụng cụ kết hợp hai van chặn (hoặc cách ly) nối tiếp với một van xả ở giữa các van chặn như một phương tiện giải phóng áp suất giữa các van chặn với mục đích cung cấp khả năng cách ly dương.
Piping or instrument arrangement that combines two block (or isolation) valves in series with a vent valve in between the block valves as a means of releasing pressure between the block valves with the intent to provide positive isolation.

4.2.22. **Sôi khô / Dry boiling**

- Điều kiện xảy ra khi lỏng giàu oxy đi vào các khoang và các phần của đường ống hoặc thiết bị và bị bay hơi hoàn toàn, do đó cô đặc bất kỳ tạp chất kém bay hơi nào với hệ số cực cao.
Condition occurring where oxygen-enriched liquid enters cavities and sections of piping or equipment and is totally vaporized, thereby concentrating any less volatile contaminants by extremely high factors.
- LƯU Ý—Còn được gọi là bay hơi khô.
NOTE—Also known as dry vaporization.

4.2.23. **Tỏa nhiệt / Exothermic**

- Phản ứng tạo ra nhiệt.
Reaction that produces heat.

4.2.24. **Thiết bị giãn nở / Expander**

- Máy giãn nở chất lỏng từ áp suất cao xuống áp suất thấp hơn, do đó loại bỏ năng lượng (công) và tạo ra quá trình làm lạnh.
Machine that expands a fluid from higher to lower pressure thereby removing energy (work) and creating refrigeration.

4.2.25. **An toàn / Failsafe**

- Khi một thành phần của hệ thống bị hỏng, tình huống kết quả không gây ra lo ngại về an toàn.
When a failure of a component of the system occurs, the resulting situation does not present a safety concern.
- LƯU Ý—Một ví dụ là các van cách ly đóng lại khi nguồn cung cấp khí hoặc điện của nhà máy bị hỏng.
NOTE—One example is isolation valves closing when the plant air or power supply fails.

4.2.26. **Thiết bị lọc / Filtering device**

- Thiết bị loại bỏ và giữ lại các hạt từ dòng lỏng hoặc khí.
Device that removes and retains particles from a liquid or gas stream.

- LƯU Ý—Kích thước hạt bị loại bỏ phụ thuộc vào thiết kế thiết bị thực tế. Các thuật ngữ bộ lọc, lưới lọc và bộ lọc đôi khi được sử dụng thay thế cho nhau; tuy nhiên, chúng có thể được phân loại theo kích thước hạt bị loại bỏ như sau:

NOTE—The particle size removed is dependent on the actual device design. The terms filter, screen, and strainer are sometimes used interchangeably; however, they can be classified by the particle size removed as follows:

- bộ lọc—thiết bị loại bỏ và giữ lại các hạt tương đối thô;
strainer—device that removes and retains relatively coarse particles;
- lưới lọc—thiết bị loại bỏ và giữ lại các hạt mịn; hoặc
screen—device that removes and retains fine particles; or
- bộ lọc—thiết bị loại bỏ và giữ lại các hạt rất mịn.
filter—device that removes and retains very fine particles.

4.2.27. **Bám bẩn / Fouling**

- Sự tắc nghẽn hoặc lớp phủ bề mặt bằng bất kỳ tạp chất nào trong bất kỳ thiết bị nhà máy nào (ví dụ: bộ trao đổi nhiệt, bộ giãn nở, v.v.) có thể ảnh hưởng xấu đến độ sụt áp hoặc hiệu suất nhiệt của nó.

Blockage or surface coating with any contaminants in any plant equipment (for example, heat exchanger, expanders, etc.) that can adversely affect its pressure drop or thermal performance.

- LƯU Ý—Trong một ASU, sự tắc nghẽn hoặc bít kín thường do carbon dioxide, nước hoặc hydrocarbon bị đóng băng trong các bộ trao đổi siêu lạnh gây ra. Bám bẩn cũng là một vấn đề đáng lo ngại đối với các bộ trao đổi nhiệt trong hệ thống làm mát.

NOTE—In an ASU, blocking or plugging is usually caused by frozen carbon dioxide, water, or hydrocarbons in cryogenic exchangers. Fouling is also a concern with heat exchangers within the cooling system.

4.2.28. **Chất hấp thụ (Getter)/ Getter**

- Vật liệu phản ứng loại bỏ các tạp chất vết khỏi khí.

Reactive material that removes trace contaminants from a gas.

- LƯU Ý—Vì tạp chất được chất hấp thụ hấp phụ hóa học, nên các chất hấp thụ có thể bị tiêu hao hoặc được tái sinh.

NOTE—Since the contaminant is chemically adsorbed by the getter, getters can be either consumed or regenerated.

4.2.29. **Khí / lỏng trơ / Inert gas/Inert liquid**

- Các chất lỏng không dễ phản ứng với các vật liệu khác trong điều kiện nhiệt độ và áp suất bình thường.

Fluids that do not readily react with other materials under normal temperatures and pressures.

- LƯU Ý—Nitrogen, argon và helium là các ví dụ về khí trơ.

NOTE—Nitrogen, argon, and helium are examples of inert gases.

4.2.30. **Cánh hướng dòng đầu vào / Inlet guide vanes**

- Thiết bị ở đầu vào của máy nén giúp thay đổi công suất của máy hiệu quả hơn van tiết lưu hút.

Device on the inlet of a compressor that changes the capacity of the machine more efficiently than a suction throttling valve.

4.2.31. **Vòi phun đầu vào / Inlet nozzle**

- Thiết bị ở đầu vào của bộ giãn nở, là một phần của quá trình giãn nở.

Device on the inlet of an expander that is part of the expansion process.

- LƯU Ý—Các vòi phun đầu vào di động có thể được sử dụng để điều chỉnh công suất của bộ giãn nở.

NOTE—Movable inlet nozzles can be used to adjust the capacity of the expander.

4.2.32. **Hệ thống thiết bị đo lường / Instrumented system**

- Hệ thống bao gồm các cảm biến (ví dụ: bộ truyền áp suất, lưu lượng, nhiệt độ), bộ giải quyết logic hoặc hệ thống điều khiển (ví dụ: bộ điều khiển lập trình, hệ thống điều

khuyến phân tán) và các phần tử cuối cùng (ví dụ: van điều khiển) được thiết kế để thực hiện một chức năng cụ thể.

System composed of sensors (for example, pressure, flow, temperature transmitters), logic solvers or control systems (for example, programmable controllers, distributed control systems), and final elements (for example, control valves) designed to perform a specific function.

- LƯU Ý—Để biết thêm thông tin, hãy xem ANSI/ISA/IEC 61511-1, An toàn chức năng—Hệ thống thiết bị an toàn cho Lĩnh vực Công nghiệp Quy trình—Phần 1: Khung, định nghĩa, hệ thống, phần cứng và các yêu cầu lập trình ứng dụng [3].

NOTE—For more information, see ANSI/ISA/IEC 61511-1, Functional safety—Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector—Part 1: Framework, definitions, system, hardware and application programming requirements [3].

4.2.33. **Giãn nở Joule–Thomson / Joule–Thomson expansion**

- Quá trình trong đó chất lỏng được giãn nở đoạn nhiệt (không loại bỏ công) từ áp suất cao xuống áp suất thấp hơn, thường thông qua van.

Process by which a fluid is expanded adiabatically (no work removed) from high pressure to lower pressure, usually through a valve.

- LƯU Ý—Đối với các ứng dụng khí trong các nhà máy tách khí, điều này dẫn đến sự giảm nhiệt độ.

NOTE—For gas applications in air separation plants, this results in a temperature drop.

4.2.34. **Mê cung (Labyrinth) / Labyrinth**

- Loại phốt khí sử dụng một loạt răng để giảm thiểu rò rỉ lỏng trong quy trình.

Type of gas seal that uses a series of teeth to minimize leakage of the process fluid.

4.2.35. **Khóa cách ly / Lockout**

- Tình trạng mà một thiết bị không thể vận hành nếu không có hành động cố ý, có ý thức để làm như vậy nhằm đảm bảo an toàn bằng cách cách ly tích cực các nguồn năng lượng (áp suất, điện, nhiệt độ và hóa chất).

Condition where a device cannot be operated without a willful, conscious action to do so to ensure safety by positively isolating energy sources (pressure, electrical, temperature, and chemical).

- LƯU Ý—Một ví dụ là khi điện bị ngắt và không thể được khôi phục nếu không tháo thiết bị bảo vệ như ổ khóa khỏi thiết bị truyền động. Một ví dụ khác là van đã tháo tay cầm và cất giữ an toàn cho đến khi vận hành van an toàn.

NOTE—An example is when electricity is turned off and cannot be regained without removing a protective device such as a padlock from the actuating device. Another example is a valve where the handle is removed and stored securely until it is safe to operate the valve.

4.2.36. **Giới hạn nổ dưới (LEL) / Lower explosive limit (LEL)**

- Nồng độ thấp nhất của khí dễ cháy trong chất oxy hóa mà sẽ lan truyền khi được đốt cháy.

Lowest concentration of a flammable gas in an oxidant that will propagate when ignited.

- LƯU Ý—LEL đôi khi được gọi là giới hạn cháy dưới (LFL).

NOTE—LEL is sometimes referred to as lower flammability limit (LFL).

4.2.37. **Cột áp hút dương thực (NPSH) / Net positive suction head (NPSH)**

- Biên độ chênh lệch (được đo bằng chiều cao) giữa áp suất thực tế của chất lỏng chảy vào máy bơm và áp suất hơi của chất lỏng.

Margin of difference (measured in height) between the actual pressure of a liquid flowing into a pump and the vapor pressure of the liquid.

4.2.38. **Nitrogen NF**

- Nitrogen đáp ứng các yêu cầu của Dược điển Hoa Kỳ và Công thức Quốc gia (USP–NF) [4].

Nitrogen that meets United States Pharmacopeia and National Formulary (USP–NF) requirements [4].

- LƯU Ý—Xem CGA G-10.1, Đặc điểm kỹ thuật hàng hóa cho Nitrogen, để biết thêm thông tin [5].

NOTE—See CGA G-10.1, Commodity Specification for Nitrogen, for additional information [5].

4.2.39. **Vòi phun / Nozzle**

- Ống được kết nối với bất kỳ bình chứa nào.
Pipe connected to any vessel.

4.2.40. **Môi trường thiếu oxy / Oxygen-deficient atmosphere**

- Bầu khí quyển trong đó nồng độ oxy theo thể tích nhỏ hơn 19,5%.
Atmosphere in which the oxygen concentration by volume is less than 19.5%.

4.2.41. **Môi trường giàu oxy / Oxygen-enriched atmosphere**

- Bầu khí quyển trong đó nồng độ oxy vượt quá 23,5%.
Atmosphere in which the oxygen concentration exceeds 23.5%.

4.2.42. **Oxygen USP**

- Oxygen đáp ứng các yêu cầu của USP–NF [4].
Oxygen that meets USP–NF requirements [4].
- LƯU Ý—Xem CGA G-4.3, *Đặc điểm kỹ thuật hàng hóa cho Oxygen* để biết thêm thông tin [6].
NOTE—See CGA G-4.3, Commodity Specification for Oxygen for additional information [6].

4.2.43. **Chất kết tủa / Precipitate**

- Sự hình thành chất rắn từ dung dịch lỏng hoặc hơi khi vượt quá giới hạn độ hòa tan của một thành phần.
Formation of a solid from a liquid or vapor solution when the solubility limit for a component is exceeded.

4.2.44. **Thiết bị giảm áp (PRD) / Pressure relief device (PRD)**

- Thiết bị độc lập được thiết kế để bảo vệ bình chứa hoặc đường ống khỏi đạt áp suất cao hơn hoặc thấp hơn (chân không) so với thiết kế của nó nhằm ngăn ngừa sự cố của đường ống hoặc bình chứa; nó bao gồm van an toàn và đĩa nổ.
Self-contained device designed to protect a vessel or piping from achieving pressures higher or lower (vacuum) than its design to prevent failure of the piping or vessel; includes safety relief valves and rupture disks.

4.2.45. **Thông thổi / Purge**

- Loại bỏ tạp chất không mong muốn bằng cách thay thế bằng chất lỏng khác.
Elimination of an undesirable contaminant by displacement with another fluid.
- LƯU Ý—Việc thông thổi nitrogen vào thiết bị quy trình ngăn chặn sự tiếp xúc của hơi ẩm với thiết bị siêu lạnh. Oxy lỏng chứa hydrocarbon được thông thổi ra khỏi bể chứa đáy nổi hơi bằng oxy lỏng sạch.
NOTE—A nitrogen purge of process equipment prevents the contact of moisture with cryogenic equipment. Liquid oxygen containing-hydrocarbons are purged from the reboiler sump with clean liquid oxygen.

4.2.46. **Khí hiếm / Rare gases**

- Neon, krypton và xenon được coi là khí hiếm.
Neon, krypton, and xenon are considered rare gases.
- LƯU Ý—Các khí hiếm krypton và xenon đôi khi được thu hồi ở nồng độ thấp từ các nhà máy tách khí siêu lạnh. Krypton và xenon có thể được chiết xuất từ chất lỏng đáy cột áp suất thấp thông qua quá trình xử lý tiếp theo.
NOTE—The rare gases krypton and xenon are sometimes recovered at low concentrations from cryogenic air separation plants. Krypton and xenon can be extracted from the low pressure column sump liquid through further processing.

4.2.47. **Chuyển động tịnh tiến / Reciprocating**

- Máy nén, bộ giãn nở hoặc máy bơm kiểu dịch chuyển tích cực sử dụng piston.
Positive displacement-type compressor, expander, or pump that uses pistons.

4.2.48. **Tái sinh / Regeneration**

- Sự tái hoạt hóa một bình hấp phụ đã sử dụng hoặc đã bão hòa bằng cách sử dụng khí nóng và/hoặc áp suất thấp.
Reactivation of a spent or loaded adsorbent vessel using a hot and/or low pressure gas.

4.2.49. Khu vực an toàn / Safe area

- Vị trí nơi khí được xả an toàn để ngăn ngừa tổn hại cho nhân viên hoặc tài sản.
Location where gases are vented safely to prevent harm to personnel or property.
- LƯU Ý—Trong khu vực an toàn, các vật liệu xung quanh phải tương thích với khí thải.
NOTE—In a safe area, the surrounding materials should be compatible with the exhaust gas.

4.2.50. Bảng dữ liệu an toàn (SDS) / Safety data sheet (SDS)

- Các tài liệu mô tả vật liệu và các mối nguy liên quan của nó theo quy định của chính phủ và được nhà cung cấp vật liệu cung cấp.
Documents describing a material and its associated hazards mandated by the government and made available by the material supplier.

4.2.51. Hệ thống thiết bị an toàn (SIS) / Safety instrumented system (SIS)

- Hệ thống được sử dụng để thực hiện một hoặc nhiều chức năng cần thiết nhằm ngăn chặn mối nguy phát sinh và/hoặc giảm thiểu hậu quả của nó.
System used to implement one or more functions necessary to prevent a hazard from arising and/or to mitigate its consequences.
- LƯU Ý—SIS bao gồm bất kỳ sự kết hợp nào của các cảm biến (ví dụ: bộ truyền áp suất, lưu lượng, nhiệt độ), bộ giải quyết logic hoặc hệ thống điều khiển (ví dụ: bộ điều khiển lập trình, hệ thống điều khiển phân tán) và các phần tử cuối cùng (ví dụ: van điều khiển). Việc sử dụng thuật ngữ SIS ngụ ý rằng IEC 61511 đã được sử dụng để thiết kế, vận hành và bảo trì hệ thống an toàn [3].
NOTE—A SIS is composed of any combination of sensors (for example, pressure, flow, temperature transmitters), logic solvers or control systems (for example, programmable controllers, distributed control systems), and final elements (for example, control valves). Use of the term SIS implies IEC 61511 has been used to design, operate, and maintain the safety system [3].

4.2.52. Độ hòa tan / Solubility

- Lượng của một thành phần có thể duy trì hòa tan trong chất lỏng hoặc hơi mà không kết tủa thành chất rắn.
Amount of a component that can remain dissolved in a liquid or vapor without precipitating out as a solid.

4.2.53. Đệm có cấu trúc / Structured packing

- Các tấm kim loại lượn sóng được sắp xếp trong tháp chưng cất để thúc đẩy sự tiếp xúc gần gũi giữa hơi chảy lên và chất lỏng chảy xuống.
Sheets of corrugated metal arranged in a distillation column to promote intimate contact between vapor flowing upward with liquid flowing downward.

4.2.54. Hồ thu / Sump

- Đáy của tháp chưng cất hoặc bình chứa khác có thể chứa lượng chất lỏng tồn kho, lượng giữ lại, hoặc mức dự trữ.
Bottom of a distillation column or other vessel that can contain a liquid inventory, hold-up, or reserve level.

4.2.55. Gắn thẻ cấm vận hành / Tagout

- Thông báo bằng văn bản rằng một thiết bị đã ngừng hoạt động và không thể vận hành nếu không có sự cho phép từ nhân sự được ủy quyền.
Written notification that a piece of equipment is out of service and cannot be operated without clearance from authorized personnel.
- LƯU Ý—Thiết bị đã được gắn thẻ cấm vận hành thường có một thẻ giấy được gắn trực tiếp vào nó, cho biết mục đó đã ngừng hoạt động.
NOTE—Equipment that has been tagged out typically has a paper tag attached directly to it indicating that the item is out of service.

4.2.56. Giấy phép làm việc / *Work permits*

- Các tài liệu quy trình nêu bật các cân nhắc an toàn đặc biệt được ban hành để cho phép công việc bắt đầu tại một địa điểm cụ thể.
Procedural documents highlighting special safety considerations that are issued to allow work to commence in a specific location.

5. Các mối nguy về sức khỏe / *Health hazards*

- Một số mối nguy về sức khỏe liên quan trực tiếp đến ngành công nghiệp khí nén. Tính chất của một số sản phẩm khí có thể khiến nhân sự tiếp xúc với nhiệt độ cực lạnh, bầu khí quyển thiếu oxy (gây ngạt), hoặc bầu khí quyển giàu oxy (tăng nguy cơ cháy). Kiến thức cơ bản về tính chất của khí và việc thực hiện các biện pháp phòng ngừa như mặc thiết bị bảo hộ sẽ giảm thiểu rủi ro từ các mối nguy này. Tham khảo các bảng dữ liệu an toàn (SDS) của nhà sản xuất để biết thông tin cụ thể về các vật liệu được thao tác trong các nhà máy phân tách khí.

Some health hazards are directly associated with the compressed gas industry. Properties of certain gas products can subject personnel to extreme cold temperatures, oxygen-deficient (asphyxiating) atmospheres, or oxygen-enriched (increased fire risk) atmospheres. A basic knowledge of the gas properties and taking precautions such as wearing protective equipment minimizes the risks of these hazards. Refer to the producer's safety data sheets (SDS) for specific information on materials handled in air separation plants.

5.1. Lỏng siêu lạnh / *Cryogenic liquids*

- Các sản phẩm của nhà máy phân tách khí siêu lạnh có các mối nguy liên quan như:
The products of a cryogenic air separation plant have associated hazards such as:
 - Chấn thương hoặc bỏng siêu lạnh do da tiếp xúc với hơi, chất lỏng hoặc bề mặt rất lạnh. Các tác động tương tự như bỏng nhiệt. Mức độ nghiêm trọng khác nhau tùy thuộc vào nhiệt độ và thời gian tiếp xúc. Các bộ phận cơ thể bị lộ hoặc được bảo vệ không đầy đủ có thể dính vào các bề mặt lạnh do độ ẩm có sẵn bị đóng băng nhanh chóng, và da thịt có thể bị rách khi gỡ ra;
Cryogenic injuries or burns resulting from skin contact with very cold vapor, liquid, or surfaces. Effects are similar to those of a heat burn. Severity varies with the temperature and time of exposure. Exposed or insufficiently protected parts of the body can stick to cold surfaces due to the rapid freezing of available moisture, and skin and flesh can be torn on removal;
 - Nguy cơ bị tê cóng hoặc hạ thân nhiệt (cơ thể bị lạnh toàn thân) trong môi trường lạnh. Có thể có các dấu hiệu cảnh báo, trong trường hợp tê cóng, trong khi các bộ phận cơ thể bị đóng băng. Khi nhiệt độ cơ thể giảm xuống, những dấu hiệu đầu tiên của hạ thân nhiệt là hành vi kỳ lạ hoặc bất thường, sau đó, thường là nhanh chóng, là mất ý thức;
Risk of frostbite or hypothermia (general cooling of the body) in a cold environment. There can be warning signs, in the case of frostbite, while the body sections freeze. As the body temperature drops, the first indications of hypothermia are bizarre or unusual behavior followed, often rapidly, by loss of consciousness;
 - Các vấn đề về hô hấp do hít phải khí lạnh. Tiếp xúc ngắn hạn thường gây khó chịu; tuy nhiên, hít phải kéo dài có thể dẫn đến các tác động gây ra bệnh nghiêm trọng như phù phổi hoặc viêm phổi; và
Respiratory problems caused by the inhalation of cold gas. Short-term exposure generally causes discomfort; however, prolonged inhalation can result in effects leading to serious illness such as pulmonary edema or pneumonia; and
 - Nồng độ nguy hiểm và/hoặc tầm nhìn giảm cũng có thể xảy ra ở khoảng cách đáng kể so với điểm xả, tùy thuộc vào địa hình và điều kiện thời tiết. Khí lạnh nặng hơn không khí, có xu hướng lắng xuống và chảy đến các mức thấp, và có thể tạo ra sương mù hơi nước dày đặc.
Hazardous concentrations and/or reduced visibility can also occur at considerable distances from the point of discharge, depending on topography and weather conditions. Cold gases are heavier than air, tend to settle and flow to low levels, and can create a dense water vapor fog.
- Xem CGA P-12, *Thao tác An toàn với Lỏng Siêu lạnh*, để biết thêm chi tiết [7].
See CGA P-12, Safe Handling of Cryogenic Liquids, for additional details [7].

5.2. Sản phẩm khí / *Gas products*

- Nitơ và argon là chất gây ngạt đơn giản và nếu có đủ số lượng, chúng có thể làm giảm oxy trong bầu khí quyển cục bộ xuống dưới mức cần thiết để duy trì sự sống. Nếu có bất kỳ lượng đáng kể nào của tạp chất hydrocarbon, có thể xảy ra buồn nôn, mê man hoặc chóng mặt. Việc loại bỏ khỏi sự tiếp xúc thường dẫn đến sự trở lại các chức năng cơ thể và hành vi bình

thường. Bầu khí quyển giàu oxy làm tăng tính dễ bắt lửa và tốc độ cháy có thể gấp nhiều lần so với bầu khí quyển bình thường.

Nitrogen and argon are simple asphyxiants and if present in sufficient quantity can reduce the oxygen in the local atmosphere to less than that required to support life. If there are any significant quantities of hydrocarbon contaminants, there can be some nausea, narcosis, or dizziness. Removal from exposure generally results in return to normal body and behavioral functions. Oxygen-enriched atmospheres increase susceptibility to ignition and combustibility rates can be many times that of normal atmospheres.

5.3. Gây ngạt / Asphyxiation

- Nồng độ oxy bình thường trong không khí là khoảng 21% theo thể tích. Khí chứa ít hơn 19,5% oxy tạo thành môi trường làm việc nguy hiểm theo định nghĩa của Tiêu đề 29 của Bộ Quy tắc Liên bang Hoa Kỳ (29 CFR) Phần 1910.146 [8]. Sự suy giảm lượng oxy trong một thể tích không khí nhất định do bị thay thế bằng khí trơ là một mối nguy tiềm ẩn đối với nhân sự, xem CGA P-12, 29 CFR và AIGA 008, Các mối nguy của Bầu khí quyển Thiếu Oxy [7, 8, 9]. Cũng xem các tài liệu của Ủy ban Điều tra và An toàn Mối nguy Hóa chất Hoa Kỳ (CSB) về các mối nguy gây ngạt nitơ [10, 11, 12].

The normal oxygen concentration in air is approximately 21% by volume. Gas containing less than 19.5% oxygen constitutes a hazardous working environment as defined by Title 29 of the U.S. Code of Federal Regulations (29 CFR) Part 1910.146 [8]. The depletion of the quantity of oxygen in a given volume of air by displacement with an inert gas is a potential hazard to personnel, see CGA P-12, 29 CFR and AIGA 008, Hazards of Oxygen- Deficient Atmospheres [7, 8, 9]. Also see the U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board (CSB) materials on the hazards of nitrogen asphyxiation [10, 11, 12].

- Khi hàm lượng oxy trong không khí giảm xuống khoảng 15% hoặc 16%, tốc độ cháy của vật liệu dễ cháy giảm đáng kể. Ngọn lửa của các vật liệu dễ cháy thông thường, bao gồm cả những vật liệu thường được sử dụng làm nhiên liệu để sưởi ấm hoặc chiếu sáng, sẽ bị dập tắt. Đây có thể là dấu hiệu đầu tiên của mối nguy thiếu oxy. Ở nồng độ thấp hơn một chút so với mức này, một cá nhân hít thở bầu khí quyển đó sẽ không đủ khả năng tỉnh thần để chẩn đoán tình huống. Các triệu chứng buồn ngủ, mệt mỏi, uể oải, mất phối hợp, sai sót trong phán đoán và lú lẫn bị che giấu bởi trạng thái hưng phấn, mang lại cho nạn nhân cảm giác an toàn và khỏe mạnh giả tạo. Xem Bảng 1 để biết các triệu chứng điển hình khác của bầu khí quyển thiếu oxy.

When the oxygen content of air is reduced to approximately 15% or 16%, the rate of burning of combustible materials significantly decreases. The flame of ordinary combustible materials including those commonly used as fuel for heat or light is extinguished. This can be the first indication of an oxygen-deficient hazard. Somewhat less than this concentration, an individual breathing the atmosphere is mentally incapable of diagnosing the situation. The symptoms of sleepiness, fatigue, lassitude, loss of coordination, errors in judgment, and confusion are masked by a state of euphoria giving the victim a false sense of security and well-being. See Table 1 for other typical symptoms of oxygen-deficient atmospheres.

- Việc con người tiếp xúc với bầu khí quyển chứa 12% oxy trở xuống sẽ dẫn đến bất tỉnh mà không có cảnh báo và nhanh đến mức các cá nhân không thể tự giúp hoặc tự bảo vệ mình. Điều này đúng nếu tình trạng này đạt được do thay đổi môi trường ngay lập tức hoặc do oxy cạn kiệt dần. Tình trạng và mức độ hoạt động của cá nhân có ảnh hưởng đáng kể đến các dấu hiệu và triệu chứng ở các mức oxy khác nhau. Trong một số trường hợp, việc giảm oxy kéo dài có thể gây tổn thương não ngay cả khi cá nhân đó sống sót.

Human exposure to atmospheres containing 12% or less oxygen brings about unconsciousness without warning and so quickly that individuals cannot help or protect themselves. This is true if the condition is reached either by immediate change of environment or by gradual depletion of oxygen. The individual's condition and degree of activity has an appreciable effect on signs and symptoms at various oxygen levels. In some cases, prolonged reduction of oxygen can cause brain damage even if the individual survives.

- Các khu vực có khả năng có hàm lượng oxy thấp, đặc biệt là trong các tòa nhà quy trình và phòng điều khiển, phải được thông gió tốt. Các lỗ thông hơi khí trơ nên được dẫn ra bên ngoài tòa nhà hoặc đến khu vực an toàn. Nơi có thể xảy ra bầu khí quyển thiếu oxy, phải thực hiện các biện pháp phòng ngừa đặc biệt như lắp đặt máy phân tích oxy có báo động, đảm bảo số lần thay đổi không khí tối thiểu mỗi giờ, thực hiện các quy trình ra vào đặc biệt, hoặc kết hợp các quy trình này. Trong các tòa nhà quy trình và phòng điều khiển, phải dán các biển cảnh báo tại tất cả các lối vào khu vực mối nguy để cảnh báo nhân sự về mối nguy tiềm ẩn của bầu khí quyển thiếu oxy theo các yêu cầu của OSHA trong 29 CFR Phần 1910 [8]. Các cảm biến

của máy phân tích oxy phải được đặt ở các vị trí có khả năng xảy ra bầu khí quyển thiếu oxy nhất và báo động phải rõ ràng, dễ nghe, hoặc cả hai tại điểm nhân sự ra vào.

Areas where it is possible to have low oxygen content, particularly in process buildings and control rooms, shall be well ventilated. Inert gas vents should be piped outside of buildings or to a safe area. Where an oxygen-deficient atmosphere is possible, special precautions such as installation of oxygen analyzers with alarms, ensuring a minimum number of air changes per hour, implementing special entry procedures, or a combination of these procedures shall be taken. In process buildings and control rooms, warning signs shall be posted at all hazard area entrances to alert personnel to the potential hazard of an oxygen-deficient atmosphere in accordance with OSHA requirements in 29 CFR Part 1910 [8]. Oxygen analyzer sensors shall be located in positions most likely to experience an oxygen-deficient atmosphere and the alarm shall be clearly visible, audible, or both at the point of personnel entry.

- Khi có thể xảy ra bầu khí quyển không an toàn để thở, nên sử dụng thiết bị thở độc lập (SCBA) hoặc đường dây khí và mặt nạ đã được phê duyệt, đặc biệt khi nhân sự đi vào các khu vực hoặc bình kín. Khí thở phải đến từ một nguồn đã được xác minh. Hệ thống khí điều khiển của nhà máy không được sử dụng làm nguồn khí thở.

When an unsafe breathing atmosphere can occur, self-contained breathing apparatus (SCBA) or approved air lines and masks should be used, particularly when personnel enter enclosed areas or vessels. Breathing air should come from a verified source. A plant instrument air system shall not be used as a source of breathing air.

- Nhân sự làm việc trong hoặc xung quanh bầu khí quyển thiếu oxy phải sử dụng các quy trình thích hợp bao gồm việc ra vào không gian hạn chế.

Personnel working in or around oxygen-deficient atmospheres shall use proper procedures including confined space entry.

- **NGUY HIỂM:** Việc đi vào khu vực có bầu khí quyển thiếu oxy mà không tuân theo các quy trình thích hợp có thể gây thương tích nghiêm trọng hoặc tử vong.

DANGER: Entering an area with an oxygen-deficient atmosphere without following proper procedures can cause serious injury or death.

Bảng 1—Tác động ở các mức thở oxy khác nhau

Table 1—Effects at various oxygen breathing levels

Phần trăm Oxy ở mực nước biển (áp suất khí quyển = 760 mmHg) <i>Oxygen percent at sea level (atmospheric pressure = 760 mmHg)</i>	Tác động <i>Effects</i>
20.9	Bình thường <i>Normal</i>
19.0	Một số tác động sinh lý bất lợi xảy ra, nhưng không thể nhận thấy. <i>Some adverse physiological effects occur, but they are unnoticeable.</i>
16.0	Tăng nhịp tim và nhịp thở. Suy giảm tư duy và sự chú ý. Giảm khả năng phối hợp. <i>Increased pulse and breathing rate. Impaired thinking and attention. Reduced coordination.</i>
14.0	Mệt mỏi bất thường khi gắng sức. Rối loạn cảm xúc. Phối hợp kém. Phán đoán kém. <i>Abnormal fatigue upon exertion. Emotional upset. Faulty coordination. Poor judgment.</i>
12.5	Phán đoán và phối hợp rất kém. Suy giảm hô hấp có thể gây tổn thương tim vĩnh viễn. Buồn nôn và nôn mửa. <i>Very poor judgment and coordination. Impaired respiration that could cause permanent heart damage. Nausea and vomiting.</i>
<10	Mất khả năng thực hiện các cử động khác nhau. Mất ý thức. Co giật. Tử vong. <i>Inability to perform various movements. Loss of consciousness. Convulsions. Death.</i>

LƯU Ý / NOTES

1 Chuyển thể từ ANSI/ASSE Z88.2, Các Thực hành Bảo vệ Hô hấp [13].

Adapted from ANSI/ASSE Z88.2, Practices for Respiratory Protection [13].

2 Các chỉ dẫn này dành cho một người khỏe mạnh bình thường khi nghỉ ngơi. Các yếu tố như sức

khỏe cá nhân (chẳng hạn như người hút thuốc), mức độ gắng sức thể chất và độ cao có thể ảnh hưởng đến các triệu chứng này và mức oxy mà chúng xảy ra.

These indications are for a healthy average person at rest. Factors such as individual health (such as being a smoker), degree of physical exertion, and high altitudes can affect these symptoms and the oxygen levels at which they occur.

5.4. Mỗi nguy của oxy / *Oxygen hazards*

- Nồng độ oxy lớn hơn 23,5% tạo ra các mối nguy cháy nhưng không phải mối nguy gây ngạt. Oxy không cháy, nhưng nó thúc đẩy quá trình cháy rất nhanh của vật liệu dễ cháy và một số vật liệu thường được coi là tương đối không cháy. Mặc dù nguồn đánh lửa luôn cần thiết khi kết hợp với vật liệu dễ cháy và oxy, việc kiểm soát hoặc loại bỏ vật liệu dễ cháy là một bước phòng ngừa. Dầu bôi trơn và các vật liệu hydrocarbon khác có thể phản ứng dữ dội với oxy tinh khiết và phải tránh sự kết hợp này.

Oxygen concentrations greater than 23.5% create fire hazards but not asphyxiation hazards. Oxygen is not combustible, but it promotes very rapid combustion of flammable materials and some materials that are normally regarded as being relatively nonflammable. Although a source of ignition is always necessary in combination with flammable materials and oxygen, control or elimination of flammables is a precautionary step. Lubricating oils and other hydrocarbon materials can react violently with pure oxygen and the combination shall be avoided.

- Nhân viên không nên tiếp xúc với môi trường giàu oxy vì làm tăng nguy cơ cháy. Khi nồng độ oxy tăng trên 23,5%, khả năng bắt lửa của quần áo tăng lên đáng kể. Một khi bị đốt cháy bởi một nguồn đánh lửa tương đối yếu như tia lửa hoặc thuốc lá, quần áo có thể bùng cháy và cháy rất nhanh. Trong môi trường giàu oxy, các sợi vải trên quần áo và thậm chí cả lông trên cơ thể và dầu cũng dễ bị cháy bùng, lan nhanh khắp bề mặt tiếp xúc.

Personnel should not be exposed to oxygen-enriched atmospheres because of increased risks of fire. As concentrations increase above 23.5% oxygen, ease of ignition of clothing increases dramatically. Once ignited by even a relatively weak ignition source such as a spark or cigarette, clothing can burst into flame and burn rapidly. In oxygen-enriched atmospheres, the fibers on clothing and even body hair and oil are subject to flash fire that spreads rapidly over the entire exposed surface.

- Các khu vực có khả năng chứa hàm lượng oxy cao phải được thông gió tốt. Ống thông hơi khí phải được dẫn ra bên ngoài tòa nhà hoặc đến khu vực an toàn. Ở những nơi có thể xảy ra môi trường giàu oxy, phải thực hiện các biện pháp phòng ngừa đặc biệt như lắp đặt máy phân tích oxy có báo động, đảm bảo số lần thay đổi không khí tối thiểu mỗi giờ, thực hiện các quy trình ra vào đặc biệt hoặc kết hợp các quy trình này. Phải dán biển cảnh báo tại tất cả các lối vào để cảnh báo nhân viên về mối nguy tiềm ẩn của môi trường giàu oxy. Để biết thêm thông tin về mối nguy oxy, hãy xem AIGA 005, Nguy cơ Cháy của Oxy và Môi trường Giàu Oxy [14].

Areas where it is possible to have high oxygen content shall be well ventilated. Gas vents shall be piped outside of buildings or to a safe area. Where an oxygen-enriched atmosphere is possible, special precautions such as installation of oxygen analyzers with alarms, ensuring a minimum number of air changes per hour, implementing special entry procedures, or a combination of these procedures shall be taken. Warning signs shall be posted at all entrances to alert personnel to the potential hazard of an oxygen-enriched atmosphere. For additional information on oxygen hazards see AIGA 005, Fire Hazards of Oxygen and Oxygen-Enriched Atmospheres [14].

5.5. Quần áo bảo hộ và thiết bị bảo vệ cá nhân / *Protective clothing and personal protective equipment*

- Hướng dẫn lựa chọn quần áo bảo hộ có thể được tìm thấy trong AIGA 066, *Lựa chọn Thiết bị Bảo vệ Cá nhân* [15].

Guidelines for the selection of protective clothing can be found in AIGA 066, Selection of Personal Protective Equipment [15].

- Quần áo bảo hộ và thiết bị bảo vệ cá nhân (PPE) có tác dụng giảm thiểu nguy cơ chấn thương do mối nguy cháy khi làm việc với oxy hoặc bỏng khi làm việc với chất lỏng hoặc khí siêu lạnh, nhưng việc phòng ngừa mối nguy phải là mục tiêu chính.

Protective clothing and personal protective equipment (PPE) serve to minimize the risk of injury due to fire hazards when working with oxygen or burns when working with cryogenic liquids or gases, but prevention of the hazard should be the primary objective.

- Phải đeo găng tay cách nhiệt hoặc găng tay da (chưa thuộc da và không dính dầu mỡ đối với dịch vụ oxy) khi thao tác với bất cứ thứ gì được làm mát bằng chất lỏng siêu lạnh và trong các hoạt động nạp và dỡ chất lỏng siêu lạnh. Găng tay phải vừa vặn lỏng lẻo để có thể tháo ra dễ dàng nếu chất lỏng bắn vào hoặc dính vào chúng.

Insulated or leather gloves (untanned and oil-free for oxygen service) shall be worn when handling anything that is cooled with cryogenic liquids and during cryogenic liquid loading and unloading activities. Gloves shall fit loosely so they can be removed easily if liquid splashes on or in them.

- Nhân viên phải đảm bảo rằng găng tay được sử dụng để thao tác thiết bị siêu lạnh được giữ sạch sẽ và không dính dầu, mỡ hoặc các tạp chất khác. Nhân viên nên có hai bộ găng tay – một bộ để thao tác thiết bị siêu lạnh và một bộ khác để thực hiện các nhiệm vụ khác (ví dụ: tiếp nhiên liệu cho xe). Đảm bảo rằng găng tay không được để bị ướt bởi sản phẩm chất lỏng siêu lạnh. Nếu găng tay vô tình bị ướt bởi sản phẩm lỏng, nhân viên nên tháo găng tay ngay lập tức và sử dụng một đôi găng tay sạch khác. Đảm bảo rằng găng tay được tồn chứa sao cho chúng không tiếp xúc với các dụng cụ hoặc thiết bị khác có thể có mảnh vụn hoặc các tạp chất khác. Ví dụ, hãy cân nhắc tồn chứa chúng riêng biệt trong một túi nhựa sạch, có thể hàn kín. Nếu găng tay bị ướt bởi sản phẩm lỏng, hãy đảm bảo rằng chúng được phép khô tự nhiên trước khi tồn chứa. Việc đào tạo nhân viên về cách sử dụng găng tay đúng cách trong quá trình thao tác thiết bị siêu lạnh là điều cần thiết.

Personnel shall ensure that the gloves being used for handling cryogenic equipment are kept clean and free from oils, grease, or other contaminants. Personnel should have two sets of gloves—one for handling cryogenic equipment and another for performing other tasks (for example, vehicle fueling). Ensure that the gloves are not allowed to become wet with liquid cryogenic product. If the gloves accidentally become wet with the liquid product, personnel should immediately remove the gloves and use another pair of clean gloves. Ensure that the gloves are stored so that they do not come into contact with other tools or equipment that could have debris or other contaminants. For example, consider storing them separately in a clean, sealable plastic bag. If the gloves are wetted with liquid product, make sure that they are allowed to dry normally before storing. Training of personnel regarding proper use of gloves during handling of cryogenic equipment is essential.

- Phải đeo kính bảo hộ có tấm chắn bên và tấm che mặt mọi lúc khi thao tác chất lỏng siêu lạnh.
Safety glasses with side shields and a face shield shall be worn at all times when handling cryogenic liquids.
- Có một số vật liệu chống cháy có sẵn như Nomex® cho quần áo bảo hộ lao động, nhưng chúng có thể cháy trong môi trường giàu oxy. Một ưu điểm của các vật liệu này là hầu hết chúng sẽ tự dập tắt khi được đưa ra môi trường không khí bình thường. Tất cả quần áo phải sạch sẽ và không dính dầu mỡ vì những tạp chất này làm giảm tính chất của các vật liệu này. Giày dép không được có đinh hoặc các bộ phận bảo vệ bằng kim loại lộ ra ngoài có thể gây ra tia lửa.
There are a number of flame retardant materials available such as Nomex® for work clothing, but they can burn in high-oxygen atmospheres. There is an advantage in these materials as most of them would be self-extinguishing when removed to normal air atmospheres. All clothing should be clean and oil-free as these contaminants compromise the properties of these materials. Footwear should not have nails or exposed metallic protectors that could cause sparking.
- Nếu cá nhân vô tình đi vào hoặc tiếp xúc với môi trường giàu oxy, họ phải rời đi càng nhanh càng tốt. Sau khi tiếp xúc, tránh các nguồn đánh lửa và không hút thuốc trong ít nhất 30 phút. Cởi hoặc nới lỏng quần áo và thông gió cho quần áo trong ít nhất 15 phút để loại bỏ lượng oxy dư thừa.

If individuals inadvertently enter or are exposed to an oxygen-enriched atmosphere, they shall leave as quickly as possible. After exposure, avoid sources of ignition and do not smoke for at least 30 minutes. Undo or loosen their clothing and ventilate it for at least 15 min in order to remove the excess oxygen.

6. Các cân nhắc chung về nhà máy / *General plant considerations*

6.1. Lựa chọn địa điểm / *Site selection*

- An toàn nhà máy phân tách khí bắt đầu bằng việc đánh giá an toàn địa điểm nhà máy được đề xuất và khu vực xung quanh. Nói chung, các nhà máy phân tách khí được đặt trong hoặc gần các khu công nghiệp như một phần bổ sung cho các nhà máy công nghiệp hoặc hóa chất khác. Nên thực hiện đánh giá rủi ro định lượng khi các nhà máy được đặt gần các nguồn hóa chất hydrocarbon, ăn mòn, độc hại hoặc hóa chất nguy hiểm khác. Việc lắp đặt nhà máy phải tuân thủ các tiêu chuẩn đồng thuận của ngành hiện hành và phải tuân thủ tất cả các quy định hiện hành của địa phương, tiểu bang, tỉnh/lãnh thổ và liên bang. Hoạt động của nhà máy nên được xem xét về khả năng tương thích với khu vực xung quanh. Ví dụ, cần nhận ra mối nguy tiềm ẩn của luồng hơi thấp giải nhiệt hoặc sương siêu lạnh đối với các nhà máy lân cận hoặc giao thông xe cộ. Phải cung cấp không gian thích hợp để thải bỏ chất lỏng siêu lạnh. Tác động

môi trường của các nhà máy phân tách khí được đề cập trong EIGA Doc 94, Tác động Môi trường của Các Đơn vị Phân tách khí [16].

Air separation plant safety begins with a safety evaluation of the proposed plant site and the surrounding area. Generally, air separation plants are located in or near industrial areas as an adjunct to other industrial or chemical plants. A quantified risk assessment should be performed when plants are sited in proximity of hydrocarbon, corrosive, toxic, or other hazardous chemical sources. A plant installation should conform to the applicable industry consensus standards and shall adhere to all applicable local, state, provincial/territorial, and federal regulations. The plant operation should be reviewed for compatibility with the surrounding area. For example, the potential hazard of the cooling tower plume or cryogenic fog to nearby plants or vehicular traffic should be recognized. Adequate space should be provided for cryogenic liquid disposal. Environmental impacts of air separation plants are addressed in EIGA Doc 94, Environmental Impacts of Air Separation Units [16].

6.2. Các yếu tố an toàn trong bố trí nhà máy / *Safety factors in plant layouts*

- Bố trí nhà máy nên được phát triển, xem xét và phê duyệt để đảm bảo bố trí an toàn giữa các thành phần chính như tòa nhà có người ở, hộp lạnh của đơn vị phân tách khí, bồn chứa chất lỏng siêu lạnh số lượng lớn, cơ sở nạp xe bồn và đường ống dẫn nhiên liệu và bồn chứa. Phòng điều khiển nhà máy có người ở nên được đặt cách hộp lạnh của đơn vị phân tách khí và bồn chứa chất lỏng siêu lạnh số lượng lớn tối thiểu 50 ft (15,2 m) do nguy cơ giàu oxy hoặc thiếu oxy do rò rỉ khí hoặc chất lỏng siêu lạnh. Phải tuân thủ các cân nhắc thiết kế được quy định trong các bộ luật quốc gia, khu vực và địa phương thích hợp khi chúng được coi là nghiêm ngặt hơn.

Plant layouts should be developed, reviewed, and approved to ensure safe layouts between major components such as occupied buildings, air separation unit coldboxes, bulk liquid cryogenic storage, facilities for filling road tankers, and fuel pipelines and storage. An occupied plant control room should be located a minimum of 50 ft (15.2 m) from air separation unit coldboxes and bulk liquid cryogenic storage tanks because of risk of either oxygen enrichment or deficiency as the result of a cryogenic gas or liquid release. Design considerations specified in the appropriate national, regional, and local codes shall be followed when found more stringent.

- Không nên sử dụng hố van, rãnh hoặc cả hai cho hệ thống đường ống dẫn khí hoặc chất lỏng siêu lạnh vì môi trường giàu oxy hoặc thiếu oxy có thể xảy ra rất dễ dàng với các lắp đặt như vậy. Nếu hệ thống đường ống dẫn khí và chất lỏng được lắp đặt trong không gian kín, nên áp dụng các biện pháp phòng ngừa như thông gió cưỡng bức và hệ thống báo động. Phải dán các biển cảnh báo thích hợp.

The use of valve pits, trenches, or both for cryogenic gas or liquid piping systems is not recommended because oxygen-enriched or oxygen-deficient atmospheres can occur very easily with such installations. If gas and liquid piping systems are installed in enclosed spaces, precautionary measures such as forced ventilation and alarm systems are recommended. Appropriate warning signs shall be posted.

- Đường ống thoát chất lỏng giàu oxy không nên được lắp đặt trong rãnh. Theo thời gian, rãnh có thể tích tụ dầu, mỡ, rác hoặc các mảnh vụn khác. Nếu đường ống bị rò rỉ, có thể dẫn đến cháy.

Oxygen-enriched liquid drain lines should not be installed in a trench. Over time, trenches can accumulate oil, grease, and trash or other debris. If a leak in the line develops, a fire could result.

- Cần thận trọng để ngăn chất lỏng tràn vào cống thoát sàn hoặc hệ thống thoát nước. Ở những khu vực chất lỏng giàu oxy có khả năng tiếp xúc với mặt đất, phải tránh lớp phủ mặt đất bằng nhựa đường, do khả năng giải phóng năng lượng do oxy tiếp xúc với hydrocarbon có trong nhựa đường. Để biết thêm thông tin, xem AIGA 085, Hệ thống Nạp Xe bồn Siêu lạnh Oxy Lỏng, Nitơ và Argon [17].

Caution should be taken to prevent liquid spills from entering floor drains or sewer systems. In areas where oxygen-enriched fluids are likely to contact the ground, asphalt ground cover shall be avoided, due to the potential for an energy release as a result of oxygen contact with hydrocarbons found in asphalt. For more information, see AIGA 085, Liquid Oxygen, Nitrogen, and Argon Cryogenic Tanker Loading Systems [17].

- Việc định tuyến đường ống hóa chất dễ cháy, độc hại và các hóa chất nguy hiểm khác tại địa điểm nhà máy phân tách khí nên được giới hạn ở những đường ống cần thiết cho hoạt động của nhà máy phân tách khí. Nếu cần thiết phải định tuyến đường ống vận chuyển các hóa chất đó đi qua thiết bị quy trình, khu vực thao tác sản phẩm, bồn chứa và khu vực tràn/giữ chất siêu lạnh của nhà máy phân tách khí, thì cần phải đánh giá rủi ro để chọn các chi tiết lắp đặt thích hợp như:

Flammable, toxic, and other hazardous chemical pipe routing on the air separation plant site should be limited to those required for air separation plant operation. If it is necessary to route piping for transporting such chemicals across the air separation plant process equipment, product handling, storage and cryogenic spill/detention area, a risk assessment is required to select the appropriate installation details such as:

- định tuyến trên mặt đất hoặc dưới lòng đất;
above or underground routing;
- mối nguy từ sự cố đường ống; và
hazards from failure of the piping; and
- tác động tiềm tàng lên đường ống từ các sự cố của nhà máy phân tách khí.
potential impact on the piping from air separation plant incidents.

6.3. Vật liệu chế tạo / *Materials of construction*

- Các vật liệu được sử dụng trong nhà máy phân tách khí phải chịu nhiều mức nhiệt độ, áp suất và độ tinh khiết khác nhau trong quá trình vận hành. Phải lựa chọn vật liệu tương thích với các điều kiện dự kiến, bao gồm vận hành bình thường, khởi động, dừng máy và sự cố quy trình.
The materials used in an air separation plant are exposed to a wide range of temperatures, pressures, and purities during operation. Materials shall be selected that are compatible with the expected conditions including normal operation, startup, shutdown, and process upsets.
- Để hệ thống oxy hoạt động an toàn, tất cả các bộ phận của hệ thống phải được xem xét về khả năng tương thích với oxy trong mọi điều kiện mà chúng gặp phải [18, 19]. Hệ thống phải được thiết kế để ngăn ngừa sự cháy oxy bằng cách:
For an oxygen system to operate safely, all parts of the system shall be reviewed for compatibility with oxygen under all conditions they encounter [18, 19]. The system shall be designed to prevent oxygen combustion by:
 - lựa chọn vật liệu tương thích;
selecting compatible material;
 - vận hành trong giới hạn áp suất, nhiệt độ và lưu lượng đã thiết kế; và
operating within the designed pressure, temperature, and flow limits; and
 - đạt được/duy trì độ sạch cần thiết cho dịch vụ oxy.
obtaining/maintaining cleanliness required for oxygen service.
- Không nên thay thế vật liệu mà không tham khảo ý kiến của nguồn kỹ thuật có trình độ chuyên môn trước. Nhà cung cấp vật liệu cũng có thể được liên hệ để biết thông tin liên quan.
Substitution of materials should not be made without first consulting a qualified engineering source. The vendor supplying the material may also be contacted for pertinent information.

6.3.1. Thao tác với vật liệu đệm nhôm trong quá trình lắp đặt / *Handling of aluminum packing during installation*

- Vật liệu đệm nhôm cho tháp phải được giữ sạch và khô ráo trong quá trình tồn chứa, vận chuyển và lắp đặt.
Aluminum packing for columns shall be kept clean and dry during storage, transport, and installation.
- Cần duy trì độ kín để ngăn nước xâm nhập vào vật liệu đệm nhôm khi tồn chứa ngoài trời hoặc lắp đặt trong tháp. Tháp đã được đóng gói vật liệu đệm nên được điều áp để vận chuyển và kiểm tra áp suất khi giao hàng.
A seal should be maintained to prevent water ingress into aluminum packing when stored outdoors or installed in the column. The packed column should be pressurized for transportation and be checked for pressure at delivery.
- Để biết thêm thông tin về vật liệu đệm nhôm có cấu trúc, xem AIGA 076, Sử dụng an toàn vật liệu đệm nhôm có cấu trúc cho chưng cất Oxy [20].
For more information regarding aluminum-structured packing, see AIGA 076, Safe Use of Aluminum-Structured Packing for Oxygen Distillation [20].

6.3.2. Kim loại / *Metals*

- Mặc dù các vật liệu xây dựng thông thường như thép carbon, nhôm và đồng được sử dụng rộng rãi trong chế tạo các bộ phận của nhà máy phân tách khí, điều quan trọng cần nhớ là việc sử dụng các vật liệu này là có chọn lọc và phải tương thích với các điều kiện vận hành [19]. Ví dụ, thép carbon thông thường không được sử dụng ở nhiệt

độ dưới -20 °F (-29 °C) vì ở những nhiệt độ này, nó mất đi độ dẻo, trở nên giòn và dễ bị hỏng trong điều kiện va đập. Một số kim loại có thể được sử dụng an toàn ở nhiệt độ dưới -20 °F (-29 °C) là thép không gỉ Austenitic, nhôm, đồng, Monel®, đồng thau, silicon-đồng và niken 9% (thép ASTM A353). Thông tin tham khảo về việc sử dụng kim loại bao gồm thép không gỉ, nhôm, đồng, Monel® và đồng thau [21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29].

While common construction materials such as carbon steel, aluminum, and copper are used extensively in fabricating air separation plant components, it is important to remember that the use of these materials is selective and shall be compatible with the operating conditions [19]. For example, common carbon steel is not used at temperatures less than -20 °F (-29 °C) because at these temperatures it loses ductility, becomes brittle, and is subject to failure under impact conditions. Some metals that can be used safely in temperatures less than -20 °F (-29 °C) are austenitic stainless steel, aluminum, copper, Monel®, brass, silicon-copper, and 9% nickel (ASTM A353 steel). Reference information on the use of metals includes stainless steel, aluminum, copper, Monel®, and brass [21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29].

- Vì lý do chi phí, thép carbon thường được sử dụng ở nhiệt độ lớn hơn -20 °F (-29 °C) và ở điều kiện nhiệt độ môi trường cho đường ống công nghệ liên kết trong các đơn vị phân tách và hóa lỏng không khí, các bình tồn chứa và đường ống dẫn cho oxy, không khí, hoặc bất kỳ khí trơ nào như argon hoặc nitơ [30, 31]. Trong các trường hợp đặc biệt như khi có hơi ẩm, nên cân nhắc sử dụng thép không gỉ hoặc kim loại phù hợp khác để ngăn ngừa ăn mòn.

Because of cost, carbon steel is generally used in temperatures greater than -20 °F (-29 °C) and at ambient temperature conditions for interconnecting process piping in air separation and liquefaction units, storage vessels, and pipelines for either oxygen, air, or any of the inert gases such as argon or nitrogen [30, 31]. In special cases such as when moisture is present, stainless steel or other equally suitable metal should be considered to prevent corrosion.

- Nếu vật liệu đệm nhôm có diện tích bề mặt lớn tiếp xúc với nước, khí Hydro được tạo ra do quá trình oxy hóa. Các tháp chưng cất được đóng gói vật liệu đệm nhôm có thể gây ra cháy nổ trong quá trình chế tạo hoặc lắp đặt nếu nước đã xâm nhập vào tháp và nếu khí Hydro được tạo ra tạo thành hỗn hợp nổ với không khí.

If high surface area aluminum packing contacts water, hydrogen gas is generated by oxidation. Distillation columns packed with aluminum packing can cause explosions during fabrication or erection if water has entered the column and if the hydrogen gas generated forms an explosive mixture with air.

- Nên duy trì độ kín tốt để ngăn nước xâm nhập đối với vật liệu đệm nhôm tồn chứa ngoài trời và đối với việc lắp ráp tháp đã đóng gói tại công trường. Nên ưu tiên điều áp tháp đã đóng gói để vận chuyển và kiểm tra áp suất khi giao hàng. Nên có các lỗ thông hơi ở các điểm cao của tháp để có thể thông thổi khí Hydro có thể tích tụ và kiểm tra hàm lượng Hydro trước khi làm việc trên tháp.

It is recommended to maintain a good tightness regarding water ingress for aluminum packing outdoor storage and for packed column on-site assembly. It is preferred to pressurize packed column for transportation and have a pressure check at delivery. It is recommended to have vents at high points of the column in order to be able to purge the hydrogen possibly accumulated and check the hydrogen content prior to working on the column.

6.3.3. Phi kim loại / Nonmetals

- Các vật liệu phi kim loại như gioăng đệm, vật liệu đệm van, vật liệu cách nhiệt và chất bôi trơn phải được kiểm tra để xác định xem chúng có thể được sử dụng cho một ứng dụng cụ thể hay không [32]. Tất cả các yếu tố liên quan đến việc sử dụng chúng như nhiệt độ, áp suất, v.v., phải được xem xét khi quyết định xem vật liệu có thể được sử dụng mà không làm giảm tính toàn vẹn an toàn thiết kế của hệ thống hay không. Trong hệ thống oxy, số lượng vật liệu phi kim loại nên được giữ ở mức tối thiểu và, nếu có thể, nên tránh xa dòng khí trực tiếp.

Nonmetallic materials such as gaskets, valve packing, insulation, and lubricants shall be checked to determine if they can be used for a particular application [32]. All factors associated with their use such as temperature, pressure, etc., shall be considered in deciding if a material can be used without decreasing the design safety integrity of the system. In an oxygen system, the quantity of nonmetallic materials should be kept to a minimum and, where possible, be kept out of the direct flow of the gas stream.

6.4. Vật liệu cách nhiệt—ngoại trừ hộp lạnh / Insulation—other than coldbox

- Các đường ống công nghệ liên kết giữa các bộ phận của nhà máy phân tách khí hoạt động ở nhiệt độ thấp cần vật liệu cách nhiệt để giảm thiểu sự rò rỉ nhiệt của quá trình xuống mức chấp nhận được và để ngăn nhân viên tiếp xúc với nhiệt độ cực thấp. Nhiệt độ và dịch vụ của đường ống xác định loại vật liệu cách nhiệt được sử dụng.
Interconnecting process lines between components of an air separation plant operating at low temperatures require insulation to reduce process heat leak to an acceptable minimum and to prevent exposure of personnel to extremely low temperatures. The temperature and service of the line determine the type of insulation used.
- Vật liệu cách nhiệt cho đường ống oxy lỏng hoặc các đường ống khác có thể tiếp xúc với oxy lỏng phải là vật liệu không cháy để bảo vệ chống lại phản ứng có thể xảy ra trong trường hợp rò rỉ chất lỏng. Các đường ống công nghệ khác hoạt động ở nhiệt độ ấm hơn điểm hóa lỏng của không khí, khoảng $-313\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-192\text{ }^{\circ}\text{C}$), có thể được cách nhiệt bằng bất kỳ vật liệu cách nhiệt được chấp nhận thương mại nào đáp ứng các yêu cầu thiết kế. Nên ưu tiên vật liệu cách nhiệt không cháy trong không khí. Chất kết dính, hợp chất làm kín và rào cản hơi tương thích với oxy phải được sử dụng trên các đường ống mang oxy hoặc khí hoặc chất lỏng làm giàu oxy.
Insulation for liquid oxygen lines or other lines that can come in contact with liquid oxygen should be noncombustible to protect against a possible reaction in the event of a liquid leak. Other process lines operating at temperatures warmer than the liquefaction point of air, approximately $-313\text{ }^{\circ}\text{F}$ ($-192\text{ }^{\circ}\text{C}$), may be insulated with any commercially acceptable insulation that meets design requirements. Insulation that is noncombustible in air should be given preference. Oxygen-compatible binders, sealing compounds, and vapor barriers shall be used on lines carrying oxygen or oxygen-enriched gases or liquids.
- Các đường ống công nghệ hoạt động ở nhiệt độ lạnh hơn điểm hóa lỏng của không khí nên được cách nhiệt bằng vật liệu tương thích với oxy. Nếu vật liệu cách nhiệt bị nứt hoặc xuống cấp ở những nhiệt độ này, không khí sẽ khuếch tán vào vật liệu cách nhiệt, ngưng tụ trên bề mặt đường ống và khiến vật liệu cách nhiệt tiếp xúc với chất lỏng làm giàu oxy. Đối với đường ống oxy có vỏ chân không, xem AIGA 106, Đường ống có vỏ chân không trong dịch vụ Oxy lỏng [33].
Process lines operating at temperatures colder than the liquefaction point of air should be insulated with material compatible with oxygen. If the insulation cracks or deteriorates at these temperatures, air is diffused into the insulation, condenses against the surface of the pipe, and exposes the insulation material to oxygen-enriched liquid. For vacuum-jacketed oxygen piping, see AIGA 106, Vacuum Jacketed Piping in Liquid Oxygen Service [33].
- Nhân viên phải được bảo vệ khỏi các đường ống nóng (lớn hơn $140\text{ }^{\circ}\text{F}$ [$60\text{ }^{\circ}\text{C}$]) bằng cách cách nhiệt đường ống hoặc các rào chắn khác ngăn chặn việc tiếp cận khi đường ống còn nóng.
Personnel shall be protected from hot lines (greater than $140\text{ }^{\circ}\text{F}$ [$60\text{ }^{\circ}\text{C}$]) by either insulating the line or other barriers preventing access while the line is hot.

6.5. Làm sạch / *Cleaning*

- Tất cả các vật liệu được sử dụng trong hoặc liên kết với hệ thống oxy phải được làm sạch thích hợp trước khi hệ thống được đưa vào vận hành. Cặn cặn, rỉ sét, bụi bẩn, xỉ hàn, dầu, mỡ và các vật liệu hữu cơ khác phải được loại bỏ. Đường ống không được làm sạch đúng cách trong dịch vụ oxy có thể là mối nguy vì các hạt, mỡ, dầu và các vật liệu hữu cơ khác có thể gây cháy. Các quy trình chế tạo và sửa chữa nên được kiểm soát để giảm thiểu sự hiện diện của các tạp chất đó và do đó đơn giản hóa các quy trình làm sạch cuối cùng. Xem AIGA 012, Làm sạch thiết bị cho dịch vụ Oxy và ASTM G93, Thực hành tiêu chuẩn về Phương pháp làm sạch và Mức độ sạch cho Vật liệu và Thiết bị được sử dụng trong Môi trường làm giàu Oxy [34, 35].
All materials for use in or interconnected with oxygen systems shall be suitably cleaned before the system is put into service. Mill scale, rust, dirt, weld slag, oils, greases, and other organic material shall be removed. An improperly cleaned line in oxygen service can be hazardous because particulates, greases, oils, and other organic materials can ignite a fire. Fabrication and repair procedures should be controlled to minimize the presence of such contaminants and thereby simplify final cleaning procedures. See AIGA 012, Cleaning of Equipment for Oxygen Service and ASTM G93, Standard Practice for Cleaning Methods and Cleanliness Levels for Material and Equipment Used in Oxygen-Enriched Environments [34, 35].
- Thiết bị và đường ống công nghệ siêu lạnh xử lý chất lỏng trơ phải được làm sạch cho dịch vụ siêu lạnh. Điều này ngăn vật liệu lạ đến các bộ phận khác của ASU.
Cryogenic process equipment and piping that handle inert fluids shall be cleaned for cryogenic service. This prevents foreign material from reaching other parts of the ASU.

6.6. Yêu cầu về điện / *Electrical requirements*

- Các nhà máy phân tách khí thường không được coi là khu vực mối nguy đối với thiết bị điện theo định nghĩa của Điều 500 của NFPA 70, National Electrical Code® [36]. Do đó, trong hầu hết các trường hợp, các loại dây điện và thiết bị điện đa năng hoặc chống chịu thời tiết là chấp nhận được

tùy thuộc vào vị trí là trong nhà hay ngoài trời. Các nhà máy có thể có các khu vực hoặc thiết bị cụ thể đòi hỏi sự cân nhắc đặc biệt do thao tác các vật liệu dễ cháy hoặc dễ bắt lửa. Các khu vực đó có thể bao gồm hệ thống làm lạnh sử dụng chất làm lạnh hydrocarbon hoặc amoniac hoặc đơn vị tinh chế argon liên quan đến việc sử dụng và thao tác Hydro.

Air separation plants are not typically considered hazardous locations for electrical equipment as defined by Article 500 of NFPA 70, National Electrical Code® [36]. Therefore, in most cases, general purpose or weatherproof types of electrical wiring and equipment are acceptable depending on whether the location is indoors or outdoors. Plants can have specific areas or equipment that necessitate special consideration due to handling of combustible or flammable materials. Such areas could include refrigeration systems using a hydrocarbon or ammonia refrigerant or an argon purification unit involving the use and handling of hydrogen.

- Ở những khu vực có thể dự kiến nồng độ oxy cao, nên tránh các thiết bị điện có tiếp điểm hở hoặc không được bảo vệ. Việc giảm thiểu đơn giản bằng cách đặt thiết bị điện cách xa các khu vực có thể xảy ra nồng độ oxy cao sẽ loại bỏ các mối nguy tiềm ẩn trong các tình huống này.

In areas where high oxygen concentrations could be expected, electrical equipment with open or unprotected make-and-break contacts should be avoided. The simple mitigation of locating electrical equipment away from areas where high oxygen concentrations can occur eliminates potential hazards in these situations.

- Các cân nhắc về thiết kế được quy định trong các bộ luật quốc gia, khu vực và địa phương thích hợp phải được tuân thủ. Các hướng dẫn của ngành liên quan đến các cân nhắc về thiết kế cũng nên được xem xét. Để biết thêm thông tin, xem NFPA 70 (ở Hoa Kỳ) hoặc EIGA Doc 134, Bầu khí quyển có khả năng gây nổ, Chỉ thị EU 1999/92/EC (ở Châu Âu) [36, 37].

Design considerations specified in the appropriate national, regional, and local codes shall be followed. Industry guidelines regarding design considerations should also be considered. For further information, see NFPA 70 (in the United States) or EIGA Doc 134, Potentially Explosive Atmospheres, EU Directive 1999/92/EC (in Europe) [36, 37].

6.7. Tiếng ồn / Noise

- Tiếng ồn do máy nén và bộ truyền động của chúng, do tuabin giãn nở, do vận tốc khí cao qua đường ống và van, và do van giảm áp, lỗ thông hơi hoặc đường vòng phải được xem xét từ góc độ mối nguy tiềm ẩn gây tổn thương thính giác cho nhân viên. Để đánh giá mối nguy, các cuộc khảo sát tiếng ồn nên được thực hiện sau khi khởi động ban đầu và khi có các sửa đổi có thể làm thay đổi tiếng ồn phát ra [38, 39, 40, 41, 42]. Việc giảm thiểu tiếng ồn và sử dụng thiết bị bảo vệ tai cá nhân phải tuân theo các hướng dẫn của chính phủ (xem 29 CFR Phần 1910.95 [8]). Các quy định của địa phương, tiểu bang và tỉnh/lãnh thổ có thể nghiêm ngặt hơn và phải được điều tra.

The noise produced by compressors and their drives, by expansion turbines, by high gas velocities through piping and valves, and by pressure relief valves, vents, or bypasses shall be considered from the standpoint of potential hazard of hearing damage to employees. To assess the hazard, noise surveys should be performed after initial startup and when modifications are made that could change the noise emitted [38, 39, 40, 41, 42]. Noise abatement and use of personnel ear protection shall follow government guidelines (see 29 CFR Part 1910.95 [8]). Local, state, and provincial/territorial regulations can be more restrictive and shall be investigated.

- Thiết bị vận hành trong các điều kiện khác nhau có thể yêu cầu các cuộc khảo sát tiếng ồn bổ sung để xác định kịch bản tiếng ồn cao nhất. Việc kiểm tra thính lực định kỳ đối với nhân viên có thể là cần thiết tùy thuộc vào thời gian tiếp xúc và mức độ tiếng ồn.

Equipment operated under varying conditions can require additional noise surveys to identify the highest noise scenario. Periodic audiometric checks of personnel can be necessary depending on exposure times and noise levels.

7. Chất lượng không khí đầu vào / Intake air quality

- Chất lượng không khí có thể ảnh hưởng đến việc lựa chọn địa điểm đặt nhà máy phân tách khí và phải được đánh giá. Nhà máy phân tách khí thường được đặt trong khu công nghiệp, do đó có thể dự kiến một mức độ ô nhiễm nhất định từ hoạt động của các nhà máy công nghiệp và/hoặc hóa chất sẽ tồn tại trong không khí. Các tạp chất vết trong không khí khí quyển, đặc biệt là hydrocarbon, có ảnh hưởng trực tiếp đến hoạt động an toàn của nhà máy phân tách khí. Điều quan trọng là phải xác định các tạp chất này và mức độ tập trung của chúng trong không khí khí quyển. Các phân tích chất lượng không khí ngắn hạn không đại diện cho mức độ tạp chất không khí dài hạn. Các điều kiện địa điểm thay đổi có thể ảnh hưởng đến chất lượng không khí và nên được đánh giá định kỳ hoặc khi các ngành công nghiệp xung quanh thay đổi.

Air quality can have an impact on the air separation plant site selection and shall be evaluated. The air separation plant typically is located in an industrial area and thus a degree of contamination released from industrial and/or chemical plant operations can be expected to be present in the air. Trace contaminants in the

atmospheric air, particularly hydrocarbons, have a direct bearing on the safe operation of an air separation plant. It is important to identify these contaminants and their levels of concentration in the atmospheric air. Short-term air quality analyses are not representative of long-term air contaminant levels. Changing site conditions can have an impact on air quality and should be evaluated periodically or when the surrounding industries change.

7.1. Các tạp chất / Contaminants

- Các tạp chất vết có thể được chia thành ba loại chính dựa trên các vấn đề tiềm ẩn mà chúng gây ra trong ASU (gây tắc nghẽn, phản ứng, hoặc ăn mòn) như thể hiện trong Bảng 2. Xem mục 9.1, mô tả chi tiết cách xử lý từng tạp chất trong Bảng 2 trong quy trình ASU.
Trace contaminants can be put into three main categories based on the potential problems they cause in the ASU (plugging, reactive, or corrosive) as shown in Table 2. See 9.1, which describes in detail how each of the contaminants in Table 2 is dealt with within the ASU process.
- Các tạp chất gây tắc nghẽn tập trung, kết tủa dưới dạng chất rắn, hoặc cả hai trong quy trình ASU. Mặc dù tắc nghẽn là một vấn đề vận hành, nó cũng có thể dẫn đến sôi khô (dry boiling) hoặc sôi hồ (pool boiling), từ đó có thể làm cô đặc các tạp chất phản ứng để tạo thành hỗn hợp dễ cháy. Các tạp chất gây tắc nghẽn đáng lo ngại nhất là nước, carbon dioxide và nitrous oxide.
Plugging contaminants concentrate, precipitate out as a solid, or both in the ASU process. While plugging is an operating problem, it can also lead to dry boiling or pool boiling, which can in turn concentrate the reactive contaminants to form flammable mixtures. The plugging contaminants of most concern are water, carbon dioxide, and nitrous oxide.
- Các tạp chất phản ứng có thể tập trung bên trong ASU và tạo thành hỗn hợp dễ cháy với oxy hoặc không khí giàu oxy. Các tạp chất phản ứng quan trọng nhất trong không khí là metan, etan, etylen, axetylen, propan và propylen. Các hydrocarbon có điểm sôi cao hơn khác thường được xử lý chung. Các sol khí hydrocarbon từ khói và sương mù là một loại tạp chất phản ứng đặc biệt và được thảo luận trong mục 7.5. NOx và ozon cũng là chất phản ứng, nhưng không phải là mối lo ngại lớn trong các ASU được vận hành đúng cách. Để biết thêm thông tin, xem AIGA 035 [43].
Reactive contaminants can concentrate within the ASU and form flammable mixtures with oxygen or enriched air. The most important reactive contaminants in air are methane, ethane, ethylene, acetylene, propane, and propylene. The other higher boiling point hydrocarbons are typically treated together. Hydrocarbon aerosols from smoke and haze are a special type of reactive contaminant and are discussed in 7.5. NOx and ozone are also reactive, but are not a major concern in properly operated ASUs. For more information, see AIGA 035 [43].

Bảng 2—Các tạp chất gây tắc, phản ứng và ăn mòn có trong không khí
Table 2—Plugging, reactive, and corrosive contaminants in air

Gây tắc <i>Plugging</i>		Phản ứng <i>Reactive</i>		Ăn mòn <i>Corrosive</i>	
Tên hóa chất <i>Chemical name</i>	Ký hiệu <i>Symbol</i>	Tên hóa chất <i>Chemical name</i>	Ký hiệu <i>Symbol</i>	Tên hóa chất <i>Chemical name</i>	Ký hiệu <i>Symbol</i>
Nước / <i>Water</i>	H ₂ O	Methane	CH ₄	Sulfur dioxide	SO ₂
Carbon dioxide	CO ₂	Acetylene	C ₂ H ₂	Sulfur trioxide	SO ₃
Nitrous oxide	N ₂ O	Ethylene	C ₂ H ₄	Hydrogen sulfide	H ₂ S
		Ethane	C ₂ H ₆	Chlorine	Cl ₂
		Propylene	C ₃ H ₆	Hydrochloric acid	HCl
		Propane	C ₃ H ₈	Ammonia	NH ₃
		Các hydrocarbon khác <i>Other hydrocarbons</i>		Các hợp chất lưu huỳnh khác <i>Other sulfur compounds</i>	
		Các oxit nitơ <i>Oxides of nitrogen</i>	NO _x	Các clorua khác <i>Other chlorides</i>	
		Ozone	O ₃		

LƯU Ý / NOTE

Bảng này ban đầu được phát triển cho AIGA 035, Vận hành an toàn Thiết bị đun sôi /Bộ ngưng tụ trong các Đơn vị Tách khí [43].
This table was originally developed for AIGA 035, Safe Operation of Reboilers/Condensers in Air Separation Units [43].

- Các tạp chất đã thảo luận trước đó tập trung trong oxy. Hydro và carbon monoxide tập trung trong nitơ, sản phẩm nitơ thải, hoặc cả hai và thường không phải là mối nguy an toàn.
The previously discussed contaminants concentrate in oxygen. Hydrogen and carbon monoxide concentrate in nitrogen, waste nitrogen product, or both and are generally not safety hazards.
- Các tạp chất ăn mòn (khí axit và amoniac từ các nguồn như không khí xung quanh hoặc nước làm mát) có thể phản ứng với thiết bị và đường ống, gây ra các vấn đề vận hành và ảnh hưởng đến tuổi

tho thiết bị. Vì ấn phẩm này chủ yếu đề cập đến an toàn, các tạp chất này không được thảo luận chi tiết.

Corrosive contaminants (acid gases and ammonia from sources such as ambient air or cooling water) can react with equipment and piping causing operating problems and impacting equipment life. Since this publication is primarily dealing with safety, these contaminants are not discussed in detail.

- Bảng 3 là cơ sở thiết kế chất lượng không khí mặc định điển hình mà, trong trường hợp không có dữ liệu khác, có thể được sử dụng làm nồng độ đồng thời tối đa tại cửa hút không khí vào ASU. Có thể cần phải thay đổi thiết kế của các bộ phận ASU khác nhau nếu các nồng độ này bị vượt quá. Dữ liệu thực tế về địa phương nên được cung cấp cho nhà cung cấp ASU bất cứ khi nào có thông tin đó.

Table 3 is a typical default air quality design basis that in the absence of other data can be used as the maximum simultaneous concentrations in the air intake to an ASU. Changes to the designs of various ASU components can be required if these concentrations are exceeded. Actual data for the locality should be provided to the ASU supplier whenever such information is available.

Bảng 3—Cơ sở thiết kế chất lượng không khí mặc định điển hình

Table 3 - Typical default air quality design basis

Các tạp chất Contaminants	Ký hiệu Symbol	Chất lượng không khí thiết kế (ppm/v) <i>Design air quality (ppm/v)</i>
Acetylene	C ₂ H ₂	0.3
Carbon dioxide	CO ₂	425
Các hydrocacbon khác <i>Other hydrocarbons</i>	C ₄ +	1
Ethane	C ₂ H ₆	0.1
Ethylene	C ₂ H ₄	0.1
Methane	CH ₄	5
Các oxit nitơ <i>Oxides of nitrogen</i>	NO _x	0.1
Nitrous oxide	N ₂ O	0.35
Propane	C ₃ H ₈	0.05
Propylene	C ₃ H ₆	0.2

7.2. Các tạp chất phản ứng có trong oxy / *Reactive contaminants that concentrate in oxygen*

- Hydrocarbon và hầu hết các tạp chất phản ứng khác có nhiệt độ sôi cao hơn oxy. Chúng tập trung trong các chất lỏng giàu oxy được tìm thấy ở đáy cột và bộ đun sôi (reboilers). Mối nguy chính là hydrocarbon tập trung trong oxy lỏng. Nếu các tạp chất này tập trung đến giới hạn nổ dưới (LEL), phản ứng với oxy có thể xảy ra. LEL của hydrocarbon trong oxy dạng khí nằm trong khoảng từ 5% đến 10% khi được biểu thị bằng metan tương đương, và LEL trong oxy lỏng cao hơn một chút [44].

Hydrocarbons and most other reactive contaminants have boiling temperatures higher than that of oxygen. They concentrate in the oxygen-enriched liquids found in the sumps of columns and reboilers. The primary hazard is that the hydrocarbons concentrate in liquid oxygen. If these contaminants concentrate to the lower explosive limit (LEL), a reaction with oxygen can occur. The LEL of hydrocarbons in gaseous oxygen is between 5% and 10% when expressed as methane equivalent, and the LEL in liquid oxygen is slightly higher [44].

- Các mối nguy cụ thể của từng hydrocarbon được liệt kê trong các đoạn sau:

The specific hazards of each hydrocarbon are listed in the following paragraphs:

- Metan ít bay hơi hơn oxy một chút và hoàn toàn hòa tan trong oxy lỏng. Hơi khó để cô đặc metan đến mức không an toàn trong hầu hết các quy trình ASU;
Methane is slightly less volatile than oxygen and is completely soluble in liquid oxygen. It is somewhat difficult to concentrate methane to unsafe levels in most ASU processes;
- Độ bay hơi và độ hòa tan của Etan trong oxy lỏng, mặc dù thấp hơn metan, không gây ra tiềm năng đáng kể nào để cô đặc đến mức không an toàn hoặc hình thành pha lỏng thứ hai, miễn là duy trì việc thông thổi chất lỏng đầy đủ ở đáy bộ đun sôi lại;
Ethane's volatility and solubility in liquid oxygen, while less than methane, poses no significant potential to concentrate to unsafe levels or form a second liquid phase provided that an adequate liquid purge is maintained on the reboiler sump;

- Etylen gây ra một mối nguy đặc biệt vì nó có thể kết tủa dưới dạng chất rắn trong một số điều kiện vận hành ASU, chủ yếu khi đun sôi oxy lỏng ở áp suất dưới 44 psia (303.4 kPa, abs), xem AIGA 057 [2].² Nếu có nguồn etylen ở gần, cần xem xét thiết kế nhà máy để đảm bảo etylen duy trì trong giới hạn an toàn bằng cách thay đổi quy trình, bổ sung thiết bị phân tích, hoặc tăng cường thông thổi chất lỏng ở đáy bộ đun sôi lại;
Ethylene presents a special hazard because it can precipitate as a solid under some ASU operating conditions, primarily when boiling liquid oxygen at less than 44 psia (303.4 kPa, abs), see AIGA 057 [2]. If an ethylene source is nearby, consideration should be given to plant design to ensure that ethylene remains within safe limits either by changing the process, adding analytical instrumentation, or increasing the liquid purge on the reboiler sump;
- Axetylen là một tạp chất phản ứng rất nguy hiểm. Vì axetylen có độ hòa tan thấp trong oxy lỏng, nếu nó đi vào hộp lạnh (coldbox), nó sẽ tập trung trong oxy lỏng và kết tủa dưới dạng chất rắn ở nồng độ thấp tới 4 ppm đến 6 ppm (tùy thuộc vào áp suất oxy lỏng). Chất rắn này tương đối không ổn định và chỉ cần ít năng lượng để bốc cháy. Các ASU được trang bị PPU loại bỏ tất cả axetylen khỏi không khí nên không có chất nào đi vào hộp lạnh. Các nhà máy được trang bị REVEX không loại bỏ axetylen khỏi không khí đầu vào và phải xử lý nó trong hộp lạnh, thường bằng cách sử dụng bộ hấp phụ siêu lạnh;
Acetylene is a very hazardous reactive contaminant. Because acetylene has a low solubility in liquid oxygen, if it enters the coldbox it concentrates in liquid oxygen and precipitates out as a solid at concentrations as low as 4 ppm to 6 ppm (depending on the liquid oxygen pressure). The solid is relatively unstable and requires little energy to ignite. ASUs equipped with PPUs remove all of the acetylene from the air so none enters the coldbox. Plants equipped with REVEX do not remove acetylene from the incoming air and shall deal with it in the coldbox, typically by using cryogenic adsorbers;
- Propan là một hydrocarbon tương đối nguy hiểm do độ bay hơi thấp so với oxy và khả năng hình thành pha lỏng thứ hai nếu nồng độ của nó đủ cao. Ở áp suất thấp, pha lỏng thứ hai hình thành trước khi nồng độ của nó trong oxy lỏng đạt đến LEL. Pha lỏng thứ hai của propan tương đối tinh khiết này sau đó có thể phản ứng với pha giàu oxy, nếu bị đốt cháy. Propan không được loại bỏ bởi REVEX và chỉ được loại bỏ một phần bởi PPU; phần còn lại phải được loại bỏ bằng cách thông thổi chất lỏng;
Propane is a relatively hazardous hydrocarbon because of its low volatility relative to oxygen and its ability to form a second liquid phase if its concentration is high enough. At low pressures, the second liquid phase forms before its concentration in liquid oxygen reaches the LEL. This second liquid phase of relatively pure propane could then react with the oxygen-rich phase, if ignited. Propane is not removed by the REVEX and is only partially removed by the PPU; the remainder shall be removed by liquid purge;
- Propylen tương tự như propan ở chỗ nó hình thành pha lỏng thứ hai trong oxy lỏng nếu nồng độ của nó đủ cao. Pha lỏng thứ hai này có tính phản ứng. Tuy nhiên, propylen được loại bỏ tương đối dễ dàng bằng PPU hoặc hấp phụ siêu lạnh;
Propylene is similar to propane in that it forms a second liquid phase in liquid oxygen if its concentration is high enough. This second liquid phase is reactive. However, propylene is removed relatively easily either by PPUs or cryogenic adsorption;
- Các hydrocarbon khác là các hydrocarbon có điểm sôi cao hơn (C4+). Khi khối lượng phân tử tăng lên, độ hòa tan trong oxy lỏng giảm. Tuy nhiên, chúng được xử lý tương đối dễ dàng bởi tất cả các hệ thống loại bỏ tạp chất vết, miễn là các hệ thống này được vận hành đúng cách;
Other hydrocarbons are the higher boiling point hydrocarbons (C4+). As the molecular weight increases, the solubility in liquid oxygen decreases. However, these are dealt with relatively easily by all trace contaminant removal systems provided that these systems are operated properly;
- NOx có thể phản ứng với oxy nhưng được loại bỏ bằng PPU hoặc hấp phụ siêu lạnh. Các hợp chất NOx chủ yếu là nitric oxide và nitrogen dioxide trong không khí quyển và là sản phẩm phụ của quá trình đốt cháy không hoàn toàn. Nếu chúng đi vào hộp lạnh, nitric oxide và nitrogen dioxide sẽ hình thành các hợp chất NOx có khối lượng phân tử ngày càng cao

² psi, bar và kPa phải chỉ áp suất đồng hồ trừ khi được ghi chú khác là (psia, bar, abs và kPa, abs) cho áp suất tuyệt đối hoặc (psid, bar, dif và kPa, differential) cho áp suất chênh lệch. Tất cả các giá trị kPa được làm tròn theo CGA P-11, Hướng dẫn Thực hành Hệ mét trong Công nghiệp Khí Nén [45].

psi, bar, and kPa shall indicate gauge pressure unless otherwise noted as (psia, bar, abs, and kPa, abs) for absolute pressure or (psid, bar, dif, and kPa, differential) for differential pressure. All kPa values are rounded off per CGA P-11, Guideline for Metric Practice in the Compressed Gas Industry [45].

hơn (nitrogen trioxide, dinitrogen tetroxide và dinitrogen pentoxide), sau đó có thể kết tủa và làm tắc nghẽn thiết bị. Ở nhiệt độ lạnh, các hợp chất NOx có thể phản ứng với bất kỳ dien không bão hòa nào được tìm thấy trong REVEX để tạo thành chất dẻo nổ [46, 47, 48]; và

NOx can react with oxygen but are removed either by the PPU or cryogenic adsorption. NOx compounds are primarily nitric oxide and nitrogen dioxide in atmospheric air and are the by-products of incomplete combustion. If they enter the coldbox, nitric oxide and nitrogen dioxide form increasingly higher molecular weight NOx compounds (nitrogen trioxide, dinitrogen tetroxide, and dinitrogen pentoxide), which can then precipitate and plug equipment. At cold temperatures, NOx compounds can react with any unsaturated dienes found in REVEXs to form explosive gums [46, 47, 48]; and

- LƯU Ý—NOx (nitric oxide và nitrogen dioxide) là các hợp chất khác với nitrous oxide.
NOTE—NOx (nitric oxide and nitrogen dioxide) are different compounds than nitrous oxide.
- Ozon không ổn định và phân hủy thành oxy giải phóng nhiệt, đây là một mối nguy tiềm ẩn. Ozon được loại bỏ bằng PPU hoặc hấp phụ siêu lạnh.
Ozone is unstable and decomposes to oxygen-releasing heat, which is a potential hazard. Ozone is removed either by PPU or cryogenic adsorption.

7.3. Các tạp chất có phản ứng tập trung trong nitơ / *Reactive contaminants that concentrate in nitrogen*

- Hydro và cacbon monoxit có điểm sôi thấp hơn oxy và do đó tập trung trong nitơ. Hệ số tập trung thường chỉ từ 2 đến 10 lần, vì vậy chúng vẫn ở nồng độ ppm thấp. Hydro và cacbon monoxit là vấn đề về độ tinh khiết khi sản xuất nitơ siêu tinh khiết. Cacbon monoxit cũng là một vấn đề khi sản xuất nitơ NF. Chúng có thể được loại bỏ bằng các phương tiện khác như oxy hóa xúc tác ở đầu vào hoặc tinh chế nitơ.

Hydrogen and carbon monoxide have boiling points less than oxygen and thus concentrate in nitrogen. The concentration factor is typically only 2 times to 10 times, so they remain at low ppm concentration. Hydrogen and carbon monoxide are a purity issue when ultra high purity nitrogen is produced. Carbon monoxide is also an issue when nitrogen NF is produced. They can be removed by other means such as front-end catalytic oxidation or nitrogen purification.

7.4. Các thành phần gây tắc / *Plugging components*

- Đặc điểm của các thành phần gây tắc cụ thể như sau:
Characteristics of the specific plugging components are as follows:
 - Nước rất không hòa tan trong chất lỏng siêu lạnh và phải được loại bỏ trước khi đến các cột chưng cất. Nước được loại bỏ trong REVEX hoặc PPU;
Water is very insoluble in cryogenic liquids and shall be removed before reaching the distillation columns. Water is removed in the REVEX or PPU;
 - Cacbon đioxit tương đối không hòa tan trong oxy lỏng và được loại bỏ bằng PPU, REVEX hoặc hấp phụ siêu lạnh. Dòng thông thổi chất lỏng nổi hơi hỗ trợ duy trì nồng độ cacbon đioxit dưới giới hạn an toàn trong bể chứa nổi hơi, xem AIGA 035 [43]; và
Carbon dioxide is relatively insoluble in liquid oxygen and is removed by the PPU, REVEX, or cryogenic adsorption. Reboiler liquid purge flows assist in maintaining carbon dioxide concentrations below the safe limit in the reboiler sump, see AIGA 035 [43]; and
 - Nitơ oxit tương đối không hòa tan trong oxy lỏng; tuy nhiên, nó hòa tan hơn cacbon đioxit. Do đó, đối với hầu hết các ứng dụng, không cần loại bỏ nitơ oxit. Nó được loại bỏ một phần bằng các PPU tiêu chuẩn nhưng các thiết kế đặc biệt của PPU có thể tăng hiệu suất loại bỏ. Nó cũng được loại bỏ bằng hấp phụ siêu lạnh. Dòng thông thổi chất lỏng nổi hơi hỗ trợ duy trì nồng độ nitơ oxit dưới giới hạn an toàn trong bể chứa nổi hơi [43, 49].
Nitrous oxide is relatively insoluble in liquid oxygen; however, it is more soluble than carbon dioxide. Therefore, for most applications, no nitrous oxide removal is required. It is partially removed by standard PPUs but special designs of the PPU can increase the removal efficiency. It is also removed by cryogenic adsorption. Reboiler liquid purge flows assist in maintaining nitrous oxide concentrations below the safe limit in the reboiler sump [43, 49].
- LƯU Ý—NOx (nitric oxit và nitơ đioxit) là các hợp chất khác với nitơ oxit.
NOTE—NOx (nitric oxide and nitrogen dioxide) are different compounds than nitrous oxide.
- Giới hạn hòa tan của hỗn hợp nitơ oxit và cacbon đioxit trong chất lỏng siêu lạnh thấp hơn giới hạn của từng thành phần riêng lẻ khi cả hai cùng tồn tại vì chúng tạo thành dung dịch rắn, xem 12.4.
The solubility limits of mixtures of nitrous oxide and carbon dioxide in liquid cryogens are less than their single component limits when both are present because they form a solid solution, see 12.4.
- Để biết thêm thông tin về sự tích tụ hợp chất gây tắc nghẽn, xem AIGA 057 [2].

For more information about plugging compound accumulation, see AIGA 057 [2].

7.5. Sương mù và khói từ đám cháy / *Haze and smoke from fires*

- Sương mù và khói từ cháy rừng, đốt nương rẫy, hoặc đốt sinh khối khác có thể tạo ra nồng độ hydrocacbon trong khí quyển cao hơn mức bình thường.
Haze and smoke from forest fires, burning farmland, or other biomass combustion can create higher than normal hydrocarbon concentrations in the atmosphere.
- Một phân tích về một đám cháy cho thấy khí thải bao gồm:
An analysis of one fire showed that emissions consisted of:
 - Các thành phần hơi của n-ankan, hợp chất thơm, và một số hợp chất chứa oxy của hydrocacbon từ C3 đến C21; và
Vapor components of n-alkanes, aromatics, and some oxygen-containing compounds of C3 to C21 hydrocarbons; and
 - Các hạt sol khí bao gồm các giọt có đường kính từ 0.1 μm đến 2 μm , chủ yếu là hydrocacbon từ C8 đến C36 [50].
Aerosols composed of droplets of 0.1 μm to 2 μm diameter, mainly C8 to C36 hydrocarbons [50].
- Nồng độ hơi và hạt sol khí giàu hydrocacbon không vượt quá giới hạn thiết kế của nhà máy thì không phải là mối lo ngại đối với an toàn ASU.
Concentrations of hydrocarbon-rich vapor and aerosols that do not exceed the design limits of the plant are not a concern for ASU safety.
- Chỉ các hợp chất hơi được hấp phụ bởi PPU; tuy nhiên, các hạt sol khí thường quá nhỏ để bị giữ lại bởi bộ lọc bụi khí đầu vào hoặc PPU, vốn thường giữ lại các hạt có kích thước từ 2 μm đến 5 μm trở lên. Các hạt sol khí có thể tích tụ trong bể chứa nổi hơi và trở thành một mối nguy đáng kể nếu không được xử lý.
Only the vapor compounds are adsorbed by a PPU; however, the aerosols are typically too small to be retained by inlet air or PPU dust filters, which typically capture particles 2 μm to 5 μm and larger. The aerosols can accumulate in the reboiler sump and become a significant hazard unless addressed.
- Lượng lớn hạt sol khí được đưa vào quy trình không thể loại bỏ bằng cách khử bằng và có thể cần rửa bằng dung môi để loại bỏ. Nếu một ASU có khả năng có lượng lớn hạt sol khí trong không khí xung quanh vượt quá giới hạn thiết kế của nhà máy trong thời gian dài, các mục sau đây nên được xem xét:
High amounts of aerosols that are introduced into the process cannot be removed by derime and could require solvent wash to remove. If an ASU has the potential to have high amounts of aerosols in the ambient air exceeding the plant design limits for extended periods of time, the following items should be considered:
 - Sử dụng bộ lọc hiệu suất cao để loại bỏ các hạt lớn hơn 0.1 μm đến 0.4 μm . Bộ lọc có thể được đặt ở cửa hút MAC hoặc ở đầu ra của bộ tiền tinh chế. Việc lắp đặt và bảo trì bộ lọc hiệu suất cao đúng cách là rất quan trọng để loại bỏ các hạt;
Use a high efficiency filter to remove particles larger than 0.1 μm to 0.4 μm . The filter could be placed on the MAC inlet or on the prepurifier outlet. Proper installation and maintenance of the high efficiency filter is critical to remove particles;
 - Đo sụt áp qua bộ lọc hiệu suất cao. Sụt áp cao có thể cho thấy bộ lọc bị tắc và cần bảo trì. Sụt áp thấp có thể cho thấy sự bỏ qua bộ lọc (ví dụ: lắp đặt không đúng cách, bộ lọc bị hỏng); và
Measure pressure drops across the high efficiency filter. High pressure drops can indicate the filter is blocked and requires maintenance. A low pressure drop can indicate bypassing of the filter (for example, improper installation, filter failure); and
 - Lắp đặt/sử dụng máy đếm hạt để cảnh báo nhân viên vận hành về một mối nguy tiềm ẩn.
Install/use particle counters to alert operating staff to a potential hazard.
- Khi xảy ra sự cố cháy, các mục sau đây nên được xem xét:
When fire events occur, the following items should be considered:
 - Thông báo cho ban quản lý công ty về tình hình;
Inform company management of the situation;
 - Nếu một ASU hoạt động trong thời gian ngắn có sương mù dày đặc, hãy đảm bảo ngay lập tức rằng tất cả các biện pháp an toàn đang được tuân thủ (ví dụ: mức ngập của nổi hơi, loại bỏ oxy lỏng khỏi bể chứa nổi hơi, v.v.);

If an ASU runs during a short period of high haze, immediately ensure that all safety measures are being followed (for example, reboiler submergence, liquid oxygen removal from the reboiler sump, etc.);

- Các hạt sol khí tích tụ trong ASU theo thời gian và có thể khó loại bỏ;
Aerosols accumulate in the ASU over time and can be difficult to remove;
 - Các hạt sol khí không thể được phát hiện bằng máy phân tích hydrocacbon; tuy nhiên, có thể phát hiện sự gia tăng mức độ của các hydrocacbon nhẹ hơn;
Aerosols cannot be detected by the hydrocarbon analyzer; however, an increase in the levels of lighter hydrocarbons can be detected;
 - Cần chú ý để đảm bảo rằng các chất rắn như cacbon đioxit và nitơ oxit không kết tủa từ chất lỏng giàu oxy. Theo dõi bộ lọc đầu vào máy nén chính, bộ trao đổi nhiệt và hệ thống đường ống để phát hiện sự gia tăng sụt áp hoặc giảm hiệu suất truyền nhiệt. Đây là những dấu hiệu cho thấy chất rắn có thể đang kết tủa;
Attention should be paid to ensure that solids such as carbon dioxide and nitrous oxide are not precipitating from oxygen-rich fluids. Monitor the main compressor inlet filter, heat exchangers, and piping systems for increases in pressure drop or decreased heat transfer performance. These are indications that solids might be precipitating;
 - Vận hành các đơn vị tiền tinh chế sao cho không có sự xuyên thấu cacbon đioxit trong các sự cố cháy/sương mù; và
Operate prepurification units so that there is no carbon dioxide breakthrough during fire/haze events; and
 - Cân nhắc các tiêu chí của nhà sản xuất và công ty vận hành để xác định xem có nên tắt ASU trong môi trường sương mù dày đặc hay không. Tham khảo ý kiến nhà sản xuất để được hướng dẫn về mức độ sương mù dày đặc. Trong trường hợp không có hướng dẫn nào, ngưỡng PM10 là 150 µg/m³ có thể được sử dụng. PM10 là khối lượng các hạt có đường kính nhỏ hơn 10 µm chứa trong 1 m³ không khí. Điều này được đo lường bởi nhiều cơ quan quản lý môi trường trên khắp thế giới
Consider the manufacturer's and operating company's criteria to determine if an ASU should be shut down in a high haze environment. Consult the manufacturer for guidance as to what constitutes a high haze. In the absence of any guidelines, a PM10 threshold of 150 µg/m3 may be used. PM10 is the mass of particles less than 10 µm diameter contained in 1 m3 of air. This is measured by many environmental regulating agencies throughout the world
- Tổng quan về sương mù và một số vấn đề an toàn ASU tiềm ẩn có thể được tìm thấy trong “Hydrocarbon Haze and ASU Safety” [51]. Hydrocacbon từ sương mù cháy rừng đã góp phần gây ra một vụ nổ ASU lớn, như được trình bày chi tiết trong “Investigation of an Air Separation Unit Explosion” [50].
An overview of haze and some of the potential ASU safety problems can be found in “Hydrocarbon Haze and ASU Safety” [51]. Hydrocarbons from forest fire haze contributed to a large ASU explosion, as detailed in “Investigation of an Air Separation Unit Explosion” [50].
- Một dấu hiệu của sự cố sương mù có thể là tầm nhìn hạn chế xung quanh nhà máy hoặc địa điểm. Ví dụ, khi tầm nhìn cục bộ giảm xuống dưới 1.3 dặm (2 km).
An indication of a haze event can be limited visibility around the plant or site. For example, when local visibility drops to less than 1.3 miles (2 km).

7.6. Nguồn tạp chất / Contaminant sources

- Các tạp chất trong không khí có nguồn gốc từ nhiều nguồn khác nhau. Ống thông hơi, ống khói, mỏ đốt, khu vực đầm lầy, rò rỉ quy trình, khí thải từ lò sưởi khí tự nhiên, khí thải từ động cơ đốt trong, ống thông hơi hệ thống bôi trơn máy móc, bãi rác, và cháy rừng hoặc cháy đồng ruộng là những nguồn phổ biến nhất. Các quy trình hóa chất và dầu mỡ trên các khu đất liền kề và các quy trình khác trong khuôn viên nhà máy tách khí phải được kiểm tra cẩn thận như là các nguồn gây ô nhiễm tiềm ẩn.
Airborne contaminants originate from numerous sources. Vents, stacks, flares, swampy areas, process leaks, natural gas heater emissions, exhausts from internal combustion engines, machinery lubrication system vents, landfills, and forest or field fires are the most common sources. Chemical and petroleum processes on adjoining properties and other processes within the air separation plant site shall be carefully examined as possible contamination sources.
- Chai axetylen không được lưu trữ hoặc sử dụng gần cửa hút khí của MAC đang hoạt động.
Acetylene cylinders shall not be stored or used near the air intake of an operating MAC.

- Nên đặt các biển báo gần cửa hút máy nén khí cấm đỗ xe và chạy động cơ đốt trong hoặc máy hàn trong khu vực. Đã có sự cố khí thải từ đầu máy xe lửa diesel gần đó được cho là nguyên nhân gây ra sự xuất hiện của axetylen trong chất lỏng bình ngưng chính.

Signs should be posted near air compressor intakes prohibiting the parking and running of internal combustion engines or welding machines in the area. There have been incidents where the exhausts from nearby railroad diesel locomotives have been attributed to the appearance of acetylene in main condenser liquids.

7.7. Nhận dạng tạp chất / *Identification of contaminants*

- Các tạp chất có thể được nhận dạng bằng cách phân tích không khí xung quanh. Bảng 3 cung cấp cơ sở thiết kế chất lượng không khí mặc định cho môi trường công nghiệp điển hình, có thể được sử dụng nếu không có thông tin nào khác.

Contaminants can be identified by analyzing the ambient air. Table 3 provides a default air quality design basis for a typical industrial environment, which can be used if no other information is available.

7.8. Vị trí cửa hút khí / *Location of air intake*

- Khoảng cách mà cửa hút máy nén khí phải được giữ cách xa bất kỳ nguồn tạp chất trong không khí tiềm ẩn nào phụ thuộc vào khả năng loại bỏ chúng của nhà máy để tránh nồng độ nguy hiểm bên trong ASU, cũng như tốc độ gió và các điều kiện thời tiết khác có thể ảnh hưởng đến sự pha loãng và phân tán tạp chất.

The distance that the air compressor intake shall be kept away from any potential source of airborne contaminants depends on the plant's capability for removing them to avoid hazardous concentrations within the ASU as well as wind velocity and other weather conditions that can affect contaminant dilution and dispersal.

- Việc nâng cao cửa hút khí có thể tận dụng vận tốc gió và các điều kiện thời tiết khác có thể ảnh hưởng đến sự pha loãng và phân tán tạp chất. Trong trường hợp cực đoan, hai cửa hút khí có thể được đặt sao cho nếu không khí tại một cửa hút bị nhiễm bẩn, cửa hút thay thế sẽ nằm ở phía ngược gió hoặc ngang gió so với các nguồn gây ô nhiễm.

Elevating the air intake can take advantage of wind velocity and other weather conditions that can affect contaminant dilution and dispersal. In the extreme case, two air intakes can be located so that if the air at one intake is contaminated, the alternate intake is either upwind or crosswind from the sources of contamination.

7.9. Giám sát khí đầu vào / *Monitoring intake air*

- Phân tích khí đầu vào nên được thực hiện khi khả năng nhiễm bẩn không khí khu vực cao. Các điều kiện xung quanh một nhà máy có thể thay đổi theo thời gian, dẫn đến khả năng nhiễm bẩn không khí khu vực tăng lên. Nếu những thay đổi này ảnh hưởng tiêu cực đến không khí xung quanh, việc phân tích khí đầu vào nên được hoàn thành. Các phương pháp phân tích có thể khác nhau, từ xác định định kỳ tổng nồng độ hydrocarbon đến phân tích liên tục để vừa nhận dạng vừa xác định mức nồng độ của từng hydrocarbon riêng lẻ. Nếu xét thấy cần thiết, loại và tần suất của phương pháp phân tích phải được xác định cụ thể cho từng nhà máy, có tính đến thiết kế quy trình của nhà máy và môi trường mà nó sẽ hoạt động.

Analysis of the intake air should be conducted when the likelihood of atmospheric air contamination is high. Conditions around a plant can change over time leading to an increased likelihood of atmospheric air contamination. If these changes negatively affect the ambient air, an analysis of the intake air should be completed. Analytical methods can vary from periodic determination of total hydrocarbon concentrations to continuous analysis for both the identification and concentration level of each individual hydrocarbon. If deemed necessary, the type and frequency of analysis method shall be determined specifically for each plant, taking into consideration the process design of the plant and the environment in which it will be operated.

- Tại những vị trí thực hiện phân tích liên tục, dữ liệu tạp chất nên được ghi lại. Hồ sơ nên được xem xét định kỳ để xác định xem có bất kỳ xu hướng nào đang phát triển hay không. Bất kỳ sự gia tăng đáng kể nào về mức độ nhiễm bẩn đều nên được điều tra và xử lý.

At locations where continuous analysis is performed, contaminant data should be recorded. Records should be reviewed periodically to determine whether any trends are developing. Any appreciable increases in contamination levels should be investigated and addressed.

- Một máy phân tích, thường giám sát khí đầu vào, có thể được chuyển sang chất lỏng đáy nồi đun sôi lại hoặc oxy lỏng sản phẩm để phân tích định kỳ chất lỏng đó về nồng độ tạp chất.

An analyzer, which normally monitors the intake air, may be shifted to the reboiler sump liquid or product liquid oxygen to periodically analyze that liquid for contaminant concentration.

- Các nhà máy phân tách khí đặt tại các địa điểm có nguy cơ như vậy và nơi hoạt động không có người trông coi hoặc tự động hóa nên bao gồm chức năng hệ thống điều khiển để tắt ASU khi mức độ nhiễm bẩn cao. Để biết thêm thông tin về thiết kế và vận hành các nhà máy khí không người, xem AIGA 028, *Unmanned Air Gas Plants—Design and Operation* [52].

Air separation plants located at sites where such a danger exists and where the operation is unattended or automated should include a control system function to shut down the ASU when the contamination level is high. For additional information on the design and operation of unmanned gas plants, see AIGA 028, Unmanned Air Gas Plants—Design and Operation [52].

8. Máy nén / *Compressors*

- Phần này liệt kê các loại máy nén được sử dụng cho ASU, các hệ thống phụ trợ của chúng và các cân nhắc ứng dụng đặc biệt. Hai loại máy nén chính được sử dụng là máy động lực hoặc máy turbo, bao gồm máy nén hướng trục và máy nén ly tâm, và máy dịch chuyển tích cực, bao gồm các loại piston, màng, rô-to và trục vít.

This section lists the types of compressors used for ASUs, their auxiliary systems, and special application considerations. The two major types of compressors used are dynamic or turbo machines, which include axial and centrifugal compressors, and positive displacement machines, which include reciprocating, diaphragm, rotary, and screw types.

- Để biết thêm thông tin về tiêu chuẩn an toàn cho máy nén, xem *Tiêu chuẩn An toàn cho Hệ thống Máy nén Khí* của Hiệp hội Kỹ sư Cơ khí Hoa Kỳ (ASME) B19.1 và *Tiêu chuẩn An toàn cho Máy nén trong Công nghiệp Chế biến* [53, 54].

For more information on safety standards for compressors, see American Society of Mechanical Engineers (ASME) B19.1, Safety Standard for Air Compressor Systems, and ASME B19.3, Safety Standard for Compressors for Process Industries [53, 54].

8.1. Máy nén hướng trục / *Axial compressors*

- Máy nén hướng trục thường được sử dụng cho MAC trên các ASU lớn. Khi sử dụng máy nén hướng trục, cần xem xét các đặc tính hiệu suất động của máy nén, đặc biệt chú trọng đến các điều kiện tăng áp đột ngột. Cần có một đánh giá nghiêm ngặt về độ xoắn và độ tới hạn ngang của toàn bộ hệ thống máy nén-hộp số-truyền động. Việc sử dụng một hoặc nhiều hàng cánh quạt tĩnh có thể điều chỉnh để kiểm soát công suất máy nén là phổ biến. Cần xem xét thiết kế cơ cấu truyền động cánh quạt tĩnh, nhấn mạnh vào việc ngăn ngừa rỉ sét và cặn bẩn bám vào, điều này có thể gây kẹt trong quá trình vận hành. Cũng cần đặc biệt xem xét ba hàng cánh quạt quay đầu tiên, nơi độ ẩm có thể gây rỉ sét và mất cân bằng. Vỏ máy nén nên được thiết kế cho áp suất tối đa có thể đạt được trong bất kỳ điều kiện vận hành nào, kể cả tăng áp đột ngột.

Axial compressors are commonly used for the MAC on large ASUs. When axial compressors are used, consideration should be given to the dynamic performance characteristics of the compressor with particular emphasis on surge conditions. A rigorous torsional and lateral critical review of the entire compressor-gear-drive system is required. The use of one or more rows of variable stator blades for controlling compressor capacity is common. Consideration should be given to the design of the stator blade actuating mechanism with emphasis on the prevention of rusting and dirt deposits on it, which can cause binding in operation. Special consideration should also be given to the first three rows of rotating blades where moisture can cause rusting and imbalance. The compressor casing should be designed for the maximum pressure that can be reached under any condition of operation including surge.

8.2. Máy nén ly tâm / *Centrifugal compressors*

- Máy nén ly tâm được sử dụng rộng rãi cho nhiệm vụ MAC cũng như dịch vụ oxy sản phẩm, nitơ sản phẩm và nitơ tái chế. Tương tự như máy hướng trục, cần xem xét các đặc tính hiệu suất so với các yêu cầu vận hành dự kiến của nhà máy. Việc xem xét độ xoắn và độ tới hạn ngang cùng với hộp số và bộ truyền động đi kèm nên được thực hiện cho mỗi lần lắp đặt. Vỏ máy nén nên được thiết kế cho áp suất tối đa có thể đạt được trong bất kỳ điều kiện vận hành nào, kể cả tăng áp đột ngột. Việc kiểm soát công suất thường được thực hiện bằng các cánh dẫn hướng đầu vào có thể điều chỉnh ở ít nhất là tầng đầu tiên.

Centrifugal compressors are widely used for MAC duty as well as oxygen product, nitrogen product, and nitrogen recycle service. As with the axial machine, consideration should be given to the performance characteristics compared to the expected plant operating requirements. A review of the torsional and lateral criticals with the gear and driver included should be performed for each installation. Compressor casings should be designed for the maximum pressure that can be reached under any condition of operation including surge. Capacity control is typically accomplished by variable inlet guide vanes on at least the first stage.

8.3. Các cân nhắc khác về máy nén động lực / *Other dynamic compressor considerations*

8.3.1. Kiểm soát chống tăng áp đột ngột / *Antisurge control*

- Tất cả các máy nén hướng trục và ly tâm phải được trang bị hệ thống kiểm soát chống tăng áp đột ngột tự động với van tuần hoàn hoặc van xả. Thời gian phản hồi của hệ thống chống tăng áp đột ngột nên phù hợp với động lực học của hệ thống quy trình.
All axial and centrifugal compressors shall be equipped with an automatic antisurge control system with either a recirculation or blow-off valve. The response time of the antisurge system should be consistent with the dynamics of the process system.

8.3.2. Van một chiều / Check valve

- Một van một chiều phải được lắp đặt trong đường ống xả sau kết nối xả hoặc đường vòng tuần hoàn của tất cả các máy nén động lực để ngăn ngừa tăng áp đột ngột và quay ngược. Van một chiều nên được lắp đặt càng gần cửa xả của máy nén càng tốt. Trong dịch vụ khí ẩm, các bộ phận chuyển động nên được làm bằng vật liệu không gỉ để đảm bảo van hoạt động đúng cách.
A check valve shall be installed in the discharge line after the vent or recirculation bypass connection of all dynamic compressors to prevent surge and reverse rotation. The check valve should be installed as close as possible to the discharge of the compressor. In wet gas service, moving parts should be made of nonrusting material to ensure proper operation of the valve.

8.3.3. Thiết bị giám sát / Monitoring devices

- Các khuyến nghị của nhà sản xuất phải được tuân thủ để giám sát các thông số vận hành, cảnh báo và dừng máy.
The manufacturer's recommendations shall be followed for monitoring operating parameters, alarms, and shutdowns.
- Các đầu dò và thiết bị giám sát độ rung kiểu tiệm cận phải được lắp đặt trên tất cả các hệ thống máy nén hướng trục hoặc ly tâm để đo chuyển động trục và kích hoạt hệ thống cảnh báo và dừng máy. Các đầu dò dịch chuyển hướng trục cũng nên được xem xét như một biện pháp bảo vệ bổ sung. Dữ liệu từ các cảm biến này nên được phân tích định kỳ. Nếu các chỉ số bất thường hoặc nếu máy nén dừng do độ rung cao, việc xem xét cẩn thận dữ liệu bởi các chuyên gia có thể cung cấp thông tin chi tiết về nguyên nhân gây ra các chỉ số độ rung cao. Không nên khởi động lại máy nén cho đến khi nguyên nhân gây ra chỉ số độ rung quá mức được giải quyết.
Proximity-type vibration probes and monitors shall be installed on all axial or centrifugal compressor installations to measure shaft movement and actuate alarm and shutdown systems. Axial displacement probes should also be considered as additional protection. The data from these sensors should be periodically analyzed. If the readings are abnormal or if the compressor shuts down on high vibration, careful review of the data by experts can provide insights into the cause of the high vibration readings. The compressor should not be restarted until the cause of the excessive vibration reading is resolved.
- Máy nén ly tâm có thể gặp phải các đỉnh độ rung cao tức thời trong quá trình khởi động khi rô-tô tăng tốc qua các tần số cộng hưởng. Để ngăn chặn các lần dừng máy không cần thiết, nên xem xét việc sử dụng các điểm đặt dừng độ rung cao hơn trong quá trình khởi động thay vì bỏ qua bảo vệ độ rung.
Centrifugal compressors can experience momentary high vibration spikes during startup as the rotor(s) accelerates through resonant frequencies. To prevent nuisance trips, the use of higher vibration trip set points during startup should be considered rather than bypassing the vibration protection.
- Động cơ dẫn động máy nén động lực có thể bị quá tải trong một số điều kiện vận hành mùa đông hoặc bất thường. Cần xem xét việc sử dụng bộ điều khiển giới hạn cường độ dòng điện ghi đè lên bộ điều khiển công suất của máy.
Motors driving dynamic compressors can be overloaded under certain winter or abnormal operating conditions. Consideration should be given to amperage limit controllers overriding the capacity control of the machine.

8.3.4. Phốt tầng / Stage seals

- Tất cả các máy nén động lực hoặc máy turbo đều sử dụng phốt tầng trục để giảm thiểu hoặc loại bỏ sự rò rỉ khí quy trình có áp suất ra ngoài khí quyển và để ngăn ngừa sự nhiễm bẩn dầu vào khí quy trình. Phốt tầng cũng được sử dụng để kiểm soát sự rò rỉ khí quy trình giữa các tầng máy nén trên một trục chung. Loại phốt tầng trục phổ biến nhất là hệ thống phốt mê cung, nơi một lượng rò rỉ nhất định có thể được chấp nhận. Tùy thuộc vào yêu cầu quy trình, mối nguy hiểm, hoặc cả hai liên quan đến khí

đang được nén, các loại phốt khác có thể được sử dụng. Ví dụ về các loại phốt khác là:

All dynamic or turbo machinery compressors use shaft stage seals to minimize or eliminate the outward leakage of the pressurized process gas to the atmosphere and to prevent oil contamination of the process gas. Stage seals are also used to control the leakage of process gas between compressor stages on a common shaft. The most common type of shaft stage seal is the labyrinth sealing system where some leakage can be tolerated. Depending on the process requirements, hazards, or both involved with the gas being compressed, other types of seals can be used. Examples of other types of seals are:

- Phốt mê cung đệm đơn hoặc đa cấp cho phép bơm khí đệm vào giữa các mê cung để ngăn chặn khí quy trình tối đa và được sử dụng trên máy nén oxy và nitơ. Nitơ là khí đệm thông thường được sử dụng;

Single or multi-buffered labyrinth seals permit the injection of a buffer gas between the labyrinths for maximum process gas containment and are used on oxygen and nitrogen compressors. Nitrogen is the customary buffer gas used;

- Phốt vòng carbon nổi được sử dụng để giảm thiểu rò rỉ khí quy trình và được sử dụng trên máy nén nitơ và một số máy nén khí. Phốt vòng carbon nổi được ứng dụng rộng rãi ở những nơi áp suất khí nén cao và sự rò rỉ sẽ tốn kém; hoặc

Floating carbon ring seals are used for minimum process gas leakage and are used on nitrogen and some air compressors. Floating carbon ring seals find wide application where the compressed gas pressures are high and the leakage would be costly; or

- Phốt khí khô động lực được sử dụng để giảm thiểu rò rỉ khí quy trình trong quá trình vận hành và làm kín gần như tuyệt đối trong quá trình dừng máy. Phốt khí khô động lực được sử dụng ở những nơi rò rỉ khí quy trình có thể gây nguy hiểm hoặc tốn kém.

Dynamic dry gas seals are used for minimum process gas leakage during operation and near-positive sealing during shutdown. Dynamic dry gas seals are used where process gas leakage can be hazardous or costly.

- Phốt mê cung cũng được sử dụng để ngăn chặn dầu bôi trơn di chuyển từ vỏ ổ trục máy nén ra khí quyển hoặc vào khí quy trình. Một độ chân không nhẹ thường được duy trì trên bề mặt chứa dầu bôi trơn máy nén để đảm bảo rằng có một phốt đệm khí chảy vào tại phốt trục ổ trục.

Labyrinth seals also are used to prevent the migration of lubricating oil from the compressor bearing housings into the atmosphere or the process gas. A slight vacuum is normally maintained on the compressor lube oil reservoir to ensure that an inward flowing air buffer seal exists at the bearing shaft seal.

8.4. Máy nén piston / *Reciprocating compressors*

- Máy nén piston được sử dụng rộng rãi cho dịch vụ oxy, nitơ, argon thô sản phẩm và khí áp suất cao. Hai loại máy nén piston là máy nén chai không bôi trơn và máy nén chai bôi trơn. Một số yếu tố ảnh hưởng đến việc lựa chọn máy nén piston là:

Reciprocating compressors are widely used for oxygen, nitrogen, crude argon product, and high pressure air service. The two types of reciprocating compressors are non-lubricated cylinder compressors and lubricated cylinder compressors. Some factors that affect the selection of a reciprocating compressor are:

- thành phần khí;
gas composition;
- tỷ số nén;
compression ratios;
- khả năng chịu đựng của khí đối với sự nhiễm bẩn dầu; và
tolerance of the gas to oil contamination; and
- các yêu cầu bảo trì.
maintenance requirements.

8.4.1. Xy lanh không bôi trơn / *Nonlubricated cylinders*

- Có sẵn một số vật liệu cho các vòng piston, vòng dẫn hướng và bộ làm kín thanh truyền không bôi trơn. Các vật liệu được sử dụng phổ biến nhất là polytetrafluoroethylene (PTFE, thường được gọi là Teflon®) và PTFE có chất độn. Các thanh piston và thành chai phải được kiểm tra xem có bị mòn bất thường, trầy xước và cọ xát hay không, không chỉ khi chạy thử mà còn trong suốt thời gian vận hành của

thiết bị. Các van máy nén trong dịch vụ không bôi trơn có thể có các nút hoặc thanh dẫn hướng chống mài mòn bằng PTFE hoặc tương đương. Đối với máy nén oxy piston không bôi trơn, bộ làm kín thanh truyền có thể được làm mát bằng nước.

Several materials are available for non-lubricated piston rings, rider rings, and rod packings. Most commonly used materials are polytetrafluoroethylene (PTFE, commonly known as Teflon®) and filled PTFE. Piston rods and cylinder walls should be inspected for abnormal wear, scratches, and rubs, not only at commissioning but also during the operating life of the equipment. Compressor valves in non-lubricated service can have PTFE or equivalent wear buttons or guides. For non-lubricated reciprocating oxygen compressors, rod packing can be water cooled.

8.4.2. Xy lanh bôi trơn bằng dầu / Oil-lubricated cylinders

- Nhà sản xuất máy nén khuyến nghị các thông số kỹ thuật cho chất bôi trơn chai, tùy thuộc vào nhiệt độ dự kiến, kích thước chai, tốc độ piston và đặc tính của khí nén. Các chất bôi trơn khác nhau được sử dụng cho chai và bộ phận truyền động (hộp trục khuỷu). Các chất bôi trơn cho các chai và hộp trục khuỷu phải không được hoán đổi hoặc trộn lẫn. Nếu dầu khoáng được sử dụng trong hộp trục khuỷu, nó phải được kiểm tra định kỳ để xác định xem có xảy ra sự di chuyển của dầu tổng hợp từ các chai dọc theo thanh piston và vào hộp trục khuỷu hay không. Nếu nồng độ dầu tổng hợp vượt quá khuyến nghị của nhà sản xuất, dầu hộp trục khuỷu phải được thay.

The compressor manufacturer recommends the specifications for the cylinder lubricant, which depends on the expected temperatures, cylinder size, piston speed, and the characteristics of the gas compressed. Different lubricants are used for cylinder and running gear (crankcase) lubrication. The lubricants for the cylinders and the crankcase shall not be interchanged or mixed. If mineral oil is used in the crankcase, it shall be tested periodically to determine if migration of synthetic oil from the cylinders along the piston rods and into the crankcase has occurred. If the concentration of synthetic oil exceeds the manufacturer's recommendation, the crankcase oil shall be changed.

- Nếu dầu khoáng được sử dụng trong dịch vụ khí nén, điều quan trọng là phải kiểm tra định kỳ sự tích tụ carbon trong thiết bị và đường ống phía sau máy nén. Các hốc van và đường ống nên được kiểm tra ngay sau khi khởi động để xác định xem tốc độ cấp dầu có nằm trong thông số kỹ thuật thiết kế hay không. Tốc độ cấp dầu quá mức gây ra sự tích tụ carbon lớn hơn và có thể gây ra hiện tượng ngạt lỏng.

If mineral oil is used in air service, it is important to check periodically for carbon buildup in equipment and piping downstream of the compressor. Valve pockets and piping should be inspected shortly after startup to determine if oil feed rates are within design specifications. Excessive feed rates cause greater carbon buildup and possible liquid slugging.

- Nếu một máy nén hiện có được chuyển đổi từ dầu khoáng sang dầu tổng hợp, nên tham khảo ý kiến của cả nhà sản xuất máy nén và nhà sản xuất chất bôi trơn. Toàn bộ bên trong các chai, bộ bôi trơn, bộ làm mát trung gian và đường ống kết nối phải được làm sạch kỹ lưỡng và, trong trường hợp sơn không tương thích với chất bôi trơn tổng hợp, lớp sơn nội thất hiện có nên được loại bỏ. Kính quan sát bằng nhựa trên bộ bôi trơn phải được thay thế bằng kính. Tất cả các miếng đệm cao su và neoprene phải được thay thế bằng PTFE hoặc PTFE có chất độn. Các vòng gạt dầu hộp trục khuỷu và thanh piston phải hoạt động hiệu quả theo cả hai hướng để chất bôi trơn chai tổng hợp không thể lọt vào hộp trục khuỷu vẫn đang sử dụng dầu khoáng.

If an existing compressor is converted from mineral oil to synthetic oil, both the compressor and the lubricant manufacturers should be consulted. The complete interior of cylinders, lubricators, intercoolers, and interconnecting piping shall be thoroughly cleaned and, in cases where the paint is incompatible with the synthetic lubricant, the existing interior paints should be removed. Plastic sight glasses on lubricators shall be replaced with glass. All rubber and neoprene gaskets shall be replaced with PTFE or filled PTFE. The crankcase and piston rod scraper rings shall be effective in both directions so that the synthetic cylinder lubricant cannot get into the crankcase that still uses mineral oil.

- Tốc độ bôi trơn chai nên là mức tối thiểu cần thiết để làm ướt toàn bộ thành chai. Tốc độ cao hơn dẫn đến cặn carbon quá mức trên các van và trong các đường dẫn. Không được có vũng dầu trong buồng van hoặc đường ống kết nối. Tùy thuộc vào loại dầu và bộ bôi trơn, một giọt từ bộ bôi trơn mỗi phút cho mỗi chai thường là đủ cho 1000 ft² (92 m²) bề mặt chai được quét mỗi phút. Nhà sản xuất máy nén đề xuất tốc độ cấp dầu cho từng chai khi khởi động, nhưng các cuộc kiểm tra tiếp theo nên hướng dẫn các điều chỉnh thêm.

The cylinder lubrication rate should be the minimum necessary to wet the entire cylinder wall. Higher rates result in excessive carbon deposits on valves and in passages. There should be no pools of oil in valve chambers or interconnecting piping. Depending on the type of oil and the lubricator, one drop from the lubricator per minute per cylinder is generally sufficient for 1000 ft² (92 m²) of cylinder surface swept per minute. The compressor manufacturer suggests feed rates for each cylinder at startup, but subsequent inspections should guide further adjustments.

- Việc loại bỏ dầu khỏi máy nén piston bắt đầu bằng các bộ tách và bẫy sau bộ làm mát trung gian của mỗi cấp và tại bộ tách sau bộ làm mát cuối cùng. Phần lớn dầu bị hóa hơi vào dòng khí ngưng tụ thành sương mù trong các bộ làm mát, tạo thành các giọt trong các bộ tách và thoát ra. Một số hơi dầu vẫn còn trong dòng khí mà có thể phải được loại bỏ bằng các phương pháp khác. Bẫy dầu nên được xả định kỳ để ngăn ngừa sự tích tụ có thể trở thành nguồn nhiên liệu gây cháy máy nén. Dầu đã xả phải được xử lý theo quy định môi trường của chính phủ.

Oil removal from reciprocating compressors starts with the separators and traps after each stage intercooler and at the separator following the final stage aftercooler. Much of the oil vaporized into the gas stream condenses into a mist in the coolers, forms droplets in the separators, and drains. Some oil vapor is still in the gas stream that might have to be removed by other methods. The oil trap(s) should be periodically drained to prevent accumulation that can become a source of fuel for a compressor fire. Drained oil shall be handled in accordance with government environmental regulations.

- Đối với máy nén bôi trơn bằng dầu, cần có thiết bị phía sau để loại bỏ dầu khỏi dòng khí quy trình. Thiết bị này thường bao gồm các bộ tách cơ học, tiếp theo là bộ lọc, bộ kết tụ, tầng hấp phụ, hoặc bất kỳ sự kết hợp nào của các thiết bị này. Các hệ thống này phải được bảo trì để đảm bảo loại bỏ dầu hoàn toàn. Điều này đặc biệt quan trọng khi máy nén là MAC và việc dầu bị cuốn theo có thể dẫn đến làm bẩn hộp lạnh.

For oil-lubricated compressors, downstream equipment is needed to remove oil from the process gas stream. This typically consists of mechanical separators followed by filters, coalescers, adsorptive beds, or any combination of these. These systems shall be maintained to ensure complete oil removal. This is particularly critical when the compressor is the MAC and oil carryover can result in coldbox fouling.

8.4.3. Các chai bôi trơn bằng nước / Water-lubricated cylinders

- Các chai máy nén bôi trơn bằng nước xả phòng hoặc bôi trơn bằng nước nên được vận hành theo hướng dẫn của nhà sản xuất. Xả phòng loại chất tẩy rửa phải tuyệt đối không được sử dụng. Nên sử dụng nước cất hoặc nước khử khoáng để tránh cặn xả phòng nặng trên các van.

Soap-water-lubricated or water-lubricated compressor cylinders should be operated in accordance with the manufacturer's instructions. Detergent-type soap shall never be used. Distilled or demineralized water should be used to avoid heavy soap deposit on the valves.

8.4.4. Các chai bôi trơn bằng dầu halogen hóa / Halogenated oil-lubricated cylinders

- Các chai máy nén bôi trơn bằng dầu halogen hóa nên được vận hành theo hướng dẫn của nhà sản xuất. Có sẵn các chất bôi trơn halogen hóa an toàn để sử dụng trong các hệ thống máy nén oxy.

Halogenated oil-lubricated compressor cylinders should be operated in accordance with the manufacturer's instructions. Halogenated lubricants are available that are safe for use in oxygen compressor systems.

8.4.5. Các đoạn đệm / Distance pieces

- Các đoạn đệm hở, một khoảng là chấp nhận được trong dịch vụ máy nén khí nén hoặc khí trơ. Thiết kế đoạn đệm nên chứa được một chiều dài hành trình đầy đủ cộng với không gian cần thiết cho một vòng văng trên thanh piston để không có phần nào của thanh bị dính dầu hộp trục khuỷu tiếp xúc với các bộ phận tiếp xúc với khí quy trình. Trong dịch vụ khí có độ tinh khiết cao, đoạn đệm đầu chai nên được điều áp để ngăn chặn việc làm nhiễm bẩn khí quy trình bằng không khí.

Single-compartment, open distance pieces are acceptable in air or inert gas compressor service. Distance-piece design should accommodate one full stroke length plus the space needed for a slinger on the piston rod so no portion of the rod that is wetted with the crankcase oil comes in contact with the parts in contact with the process gas. In high purity gas service, the cylinder-end distance piece should be pressurized to prevent contaminating the process gas with air.

8.4.6. Máy nén kiểu làm kín mê cung / Labyrinth seal compressors

- Máy nén kiểu làm kín mê cung thẳng đứng được sử dụng trong cả dịch vụ oxy và khí trơ và phụ thuộc vào piston có rãnh mê cung được lắp khít để làm kín. Các vòng làm kín mê cung bằng carbon được sử dụng trong hộp làm kín thanh truyền.
Vertical labyrinth seal compressors are used in both oxygen and inert gas service and depend on a closely fitted labyrinth grooved piston for sealing. Carbon labyrinth rings are used in the rod packing case.

8.4.7. Kiểm soát công suất / Capacity control

- Trên máy nén piston, việc kiểm soát công suất thường được thực hiện bằng các hốc không gian chết, bộ nâng van, bộ dỡ tải van hoặc van tuần hoàn tự động. Các hốc không gian chết nên được chọn để giới hạn việc giảm công suất ở một đầu của chai không lớn hơn 50% nhằm ngăn chặn việc nén lại khí quá mức và dẫn đến quá nhiệt. Các đơn vị nhiều cấp yêu cầu phải khớp việc giảm công suất ở tất cả các cấp để ngăn ngừa nhiệt độ xả cao do tỷ số nén không cân bằng. Các hốc không gian chết, bộ nâng van và bộ dỡ tải van phải không được sử dụng trong máy nén oxy piston.
On reciprocating compressors, capacity control is normally accomplished by clearance pockets, valve lifters, valve unloaders, or automatic recirculation valves. Clearance pockets should be selected to limit the capacity reduction in one end of a cylinder to not greater than 50% to prevent excessive recompression of gas and resultant overheating. Multi-stage units require matching of capacity reduction on all stages to prevent high discharge temperatures caused by unbalanced compression ratios. Clearance pockets, valve lifters, and valve unloaders shall not be used in reciprocating oxygen compressors.

8.4.8. Bình giảm xung / Pulsation bottles

- Trong trường hợp máy nén được bôi trơn, bình giảm xung phải được kiểm tra định kỳ xem có tích tụ carbon hay không và phải được làm sạch khi cần thiết.
In the case of lubricated compressors, pulsation bottles shall be inspected periodically for carbon buildup and cleaned when necessary.

8.4.9. Lưu ý đặc biệt đối với dịch vụ nitơ / Special consideration for nitrogen service

- Khi vận hành máy nén nitơ piston được bôi trơn, có thể tích tụ một lượng vật liệu carbon chưa bị oxy hóa. Các vụ nổ đã xảy ra trong các hệ thống này khi hàm lượng oxy của khí tăng lên đáng kể so với mức bình thường. Hệ thống nitơ nên được theo dõi để phát hiện sự gia tăng đáng kể nồng độ oxy. Các máy piston được bôi trơn đã sử dụng trong thời gian dài trong dịch vụ nitơ hoặc bất kỳ dịch vụ khí trơ nào khác phải được kiểm tra và làm sạch các hạt mài mòn hoặc cặn chất bôi trơn trước khi đưa vào dịch vụ khí nén.
In operating a lubricated reciprocating nitrogen compressor, it is possible to accumulate a quantity of unoxidized carbonaceous material. Explosions have occurred in these systems when the oxygen content of the gas increases to significantly higher than normal. The nitrogen system should be monitored to detect a significant increase in oxygen concentration. Lubricated reciprocating machines used for long periods in nitrogen or any other inert gas service shall be inspected and cleaned of wear particles or lubricant deposits before being placed in air service.

8.4.10. Thiết bị giám sát / Monitoring devices

- Nên xem xét các khuyến nghị của nhà sản xuất về vị trí lắp đặt cho các thiết bị chỉ báo, báo động từ xa hoặc thiết bị ngắt.
The manufacturer's recommendations regarding the location of installation for indicators, remote alarm, or shutdown devices should be considered.
- Công tắc rung nên được lắp đặt trên tất cả các máy nén piston. Đối với các đơn vị lớn, nên xem xét ít nhất một công tắc cho mỗi hai lần nén.
A vibration switch should be installed on all reciprocating compressors. On large units, at least one switch should be considered for every two compression throws.

8.5. Máy nén màng / Diaphragm compressors

- Máy nén màng thường được sử dụng khi yêu cầu áp suất cao và nén không có tạp chất. Các yêu cầu về bộ phận truyền động, làm mát và giám sát tương tự như các yêu cầu đối với máy nén piston. Nên xem xét các hệ thống phát hiện rò rỉ trong màng.
Diaphragm compressors are normally used when high pressures and contaminant-free compression are required. The running gear, cooling, and monitoring requirements are similar to the reciprocating compressor requirements. Consideration should be given to systems for detecting leaks in the diaphragm.

- Khi máy nén màng được sử dụng trong dịch vụ oxy, chất lỏng thủy lực dưới màng nên là dung dịch nước xà phòng hoặc chất lỏng halogen hóa tương thích với oxy. Vì màng có thể phát triển các vết nứt do mỏi cho phép chất lỏng thủy lực tiếp xúc với khí oxy, nên khuyến nghị sử dụng thiết bị phát hiện rò rỉ chất lỏng.

When a diaphragm compressor is used in oxygen service, the hydraulic fluid under the diaphragm should be a soap-water solution or halogenated fluid that is oxygen compatible. As diaphragms can develop fatigue cracks that allow the hydraulic fluid to come in contact with the oxygen gas, a detection device to detect fluid leakage is recommended.

8.6. Máy nén kiểu quay dịch chuyển dương / *Rotary positive displacement compressors*

- Máy nén quay dịch chuyển dương thường được sử dụng cho các ứng dụng áp suất thấp trong dịch vụ khí nén và khí trơ. Các máy nén này cần được trang bị các vòng đệm để ngăn ngừa dầu lẫn vào khí công nghệ.

Rotary positive displacement compressors are typically used for low pressure applications in air and inert gas service. They should be provided with seals to prevent oil contamination of the process gas.

8.7. Máy nén môi chất lạnh / *Refrigerant gas compressors*

- Cả máy ly tâm và máy dịch chuyển dương đều được sử dụng trong dịch vụ môi chất lạnh. Cần chú ý đến hoạt động của các thiết bị tách dầu để tránh dầu lẫn vào môi chất lạnh. Hoạt động chính xác của bộ dỡ tải (unloaders), đường vòng khí nóng (hot gas bypass), hoặc cả hai phải ngăn chặn môi chất lạnh lỏng đi vào máy nén trong điều kiện tải thấp, điều này có thể dẫn đến hư hỏng thiết bị nghiêm trọng. Việc thay đổi dịch vụ sang môi chất lạnh thay thế phải được thực hiện theo khuyến nghị của nhà sản xuất.

Both centrifugal and positive displacement machines are used in refrigerant service. Attention should be given to the operation of the oil separation devices to avoid mixing oil with the refrigerant. The correct operation of the unloaders, hot gas bypass, or both shall prevent liquid refrigerant from entering the compressor under low load conditions, which can result in severe equipment damage. Change of service to an alternative refrigerant shall be done in accordance with manufacturer's recommendations.

8.8. Máy nén trục vít / *Screw compressors*

- Máy nén trục vít được sử dụng trong dịch vụ khí nén, khí trơ hoặc môi chất lạnh và có thể là loại bôi trơn bằng dầu hoặc không bôi trơn. Máy nén bôi trơn bằng dầu yêu cầu thiết bị phía sau để loại bỏ dầu khỏi dòng khí quy trình. Điều này thường bao gồm các bộ tách cơ học, tiếp theo là bộ lọc, bộ kết tụ (coalescers), tầng hấp phụ (adsorptive beds), hoặc bất kỳ sự kết hợp nào của chúng. Các hệ thống này phải được bảo trì để đảm bảo loại bỏ dầu hoàn toàn. Điều này đặc biệt quan trọng khi máy nén trục vít là MAC và việc dầu bị cuốn theo sẽ dẫn đến làm bẩn hộp lạnh (coldbox fouling).

Screw compressors are used in air, inert, or refrigerant service and are either oil-lubricated or nonlubricated. Oil-lubricated compressors require downstream equipment to remove oil from the process gas stream. This typically consists of mechanical separators followed by filters, coalescers, adsorptive beds, or any combination of these. These systems shall be maintained to ensure complete oil removal. This is particularly critical when the screw compressor is the MAC and oil carryover would result in coldbox fouling.

8.9. Hệ thống bôi trơn / *Lubrication systems*

- Hệ thống bôi trơn nên được thiết kế theo các yêu cầu riêng của thiết bị liên quan. Hệ thống này bao gồm một thùng chứa dầu, bộ làm mát, bộ lọc, bơm và thiết bị điều khiển phụ trợ.

The lubrication system should be designed for the individual requirements of the affected equipment. This system includes an oil reservoir, cooler, filters, pumps, and auxiliary control equipment.

8.9.1. Bơm / *Pumps*

- Tối thiểu, hệ thống bôi trơn nên được trang bị một bơm dầu chính và một nguồn dầu dự phòng. Bơm chính có thể được dẫn động bằng trực, dẫn động bằng động cơ, dẫn động bằng hơi nước hoặc dẫn động bằng khí nén. Nguồn dự phòng có thể là bơm dẫn động bằng động cơ, dẫn động bằng hơi nước, dẫn động bằng khí nén hoặc hệ thống tích áp dầu. Nếu sử dụng hai bơm, chúng không nên phụ thuộc vào cùng một nguồn điện. Mỗi bơm nên có một lưới lọc (strainer) được lắp đặt ở đầu vào và một van một chiều (check valve) ở đầu ra. Khi sử dụng hệ thống thùng chứa tích áp, nó nên được tự động kích hoạt để cung cấp dầu cho ổ trục máy nén trong quá trình dừng quay (coast down) nếu bơm chính bị hỏng.

As a minimum, the lubrication system should be equipped with a main oil pump and a standby oil source. The main pump can be shaft drive, motor drive, steam drive, or pneumatic drive. The standby source can be a motor drive, steam drive, or pneumatic drive pump or a pressurized oil accumulator system. If two pumps are used, they should not be dependent on the same source of power. Each pump should have a strainer installed at its inlet and a check valve at its discharge. When an accumulator reservoir system is used, it should be automatically activated to supply oil for compressor bearings during coast down should the main pump fail.

- Áp suất bộ tích áp nên được kiểm tra trong quá trình bảo trì định kỳ máy nén.
The accumulator pressure should be checked during scheduled maintenance of the compressor.
- Cần có các biện pháp để cho phép bôi trơn đầy đủ cho máy nén động (dynamic compressors) khi bơm bôi trơn chính bị mất. Các giải pháp thay thế này bao gồm:
Provisions should be made to allow for adequate lubrication of dynamic compressors during loss of the main lubrication pump. These alternatives include:
 - bảo vệ chống quay ngược trên bơm dầu chính;
reverse rotation protection on the main oil pump;
 - bộ tích áp dầu loại màng (bladder-type) có kích thước đủ để cung cấp dầu cho quá trình dừng quay; và
bladder-type oil accumulators sized to supply oil for coastdown; and
 - thùng dầu trên cao có kích thước đủ để cung cấp dầu cho quá trình dừng quay.
overhead oil tanks sized to supply oil for coastdown.

8.9.2. Bộ lọc / Filters

- Bộ lọc dầu nên loại bỏ các hạt lớn hơn 10 μm và nên được thay thế bất cứ khi nào đạt đến áp suất chênh lệch tối đa cho phép của nhà sản xuất. Có thể sử dụng bộ lọc dầu kép để cho phép thay thế các phần tử lọc trong quá trình vận hành bình thường. Các đơn vị này được nối song song bằng cách sử dụng van chuyển dòng chảy liên tục ở đầu hút và đầu xả. Van xả (vent) và van nạp (fill) nên được bao gồm trong mỗi vỏ bộ lọc để cho phép bổ sung dầu có kiểm soát vào một đơn vị mới được thay thế, và van xả (drain valves) nên được cung cấp để tạo điều kiện tháo bộ lọc.
Oil filters should remove particles larger than 10 μm and should be replaced whenever the manufacturer's maximum allowable differential pressure is reached. Dual oil filters can be used to allow replacement of the filter elements during normal operation. These units are piped in parallel using continuous flow transfer valves on the suction and discharge. Vent and fill valves should be included in each filter housing to allow for the controlled addition of oil to a newly replaced unit, and drain valves should be provided to facilitate filter removal.

8.9.3. Bộ làm mát / Coolers

- Bộ trao đổi nhiệt phải được thiết kế theo Hiệp hội các nhà sản xuất bộ trao đổi nhiệt dạng ống (TEMA), ASME, hoặc các tiêu chuẩn công nghiệp hoặc quốc gia khác theo yêu cầu [55, 56]. Áp suất dầu bôi trơn nên cao hơn môi chất làm mát để ngăn nước rò rỉ vào dầu trong quá trình vận hành.
The heat exchangers shall be designed to Tubular Exchangers Manufacturers Association (TEMA), ASME, or other industry or national codes as required [55, 56]. The lube oil pressure should be higher than the cooling medium to prevent water leakage into the oil during operation.

8.9.4. Thùng chứa / Reservoir

- Thể tích của thùng chứa phải đủ lớn để chứa tất cả dầu trong hệ thống bôi trơn (bao gồm các thùng trên cao, bộ tích áp và đường ống) khi dầu chảy ngược về thùng chứa trong quá trình dừng máy. Bình (container) này phải được làm kín để ngăn bụi bẩn và hơi ẩm xâm nhập vào dầu.
The volume of the reservoir shall be of sufficient size to contain all of the oil in the lubrication system (including overhead tanks, accumulators, and piping) when the oil drains back into the reservoir during shutdown. This container shall be sealed to prevent the entry of dirt and moisture into the oil.

8.9.5. Điều khiển và thiết bị đo lường / Control and instrumentation

- Đối với các máy nén lớn, nên cung cấp các cảm biến áp suất dầu bôi trơn kép trong hệ thống áp suất dầu bôi trơn. Thiết bị đo lường này nên khởi động bơm dầu phụ trợ, tắt máy nén và cung cấp tín hiệu cho phép khởi động.

On large compressors, dual lube oil pressure sensors should be provided in the lube oil pressure system. This instrumentation should start up the auxiliary oil pump, shut down the compressor, and provide a permissive start signal.

- Thiết bị đo lường nên được bao gồm để phát hiện các điều kiện sau:
Instrumentation should be included to detect the following conditions:
 - áp suất dầu thấp (báo động và dừng máy);
low oil pressure (alarm and shutdown);
 - nhiệt độ dầu cao (báo động);
high oil temperature (alarm);
 - mức dầu bôi trơn cacte thấp (báo động và tắt bộ gia nhiệt dầu bôi trơn);
low sump lube oil level (alarm and lube oil heater shutdown);
 - áp suất chênh lệch bộ lọc dầu cao (báo động);
high oil filter differential pressure (alarm);
 - nhiệt độ dầu bôi trơn thấp (chỉ cho phép khởi động); và
low lube oil temperature (permissive start only); and
 - bơm dự phòng hoạt động (báo động).
standby pump operation (alarm).
- Một van giảm áp phải được bao gồm sau mỗi bơm dịch chuyển dương, và một van điều chỉnh áp suất nên được sử dụng để kiểm soát áp suất hệ thống. Cảm biến áp suất cho van điều chỉnh nên được đặt trong đường cung cấp dầu cho thiết bị.
A pressure relief valve shall be included after each positive displacement pump, and a pressure regulating valve should be used to control system pressure. Pressure sensing for the regulating valve should be in the oil supply to the equipment.
- Một van điều khiển nhiệt độ dầu nên được bao gồm xung quanh bộ làm mát dầu để duy trì nhiệt độ cung cấp thiết kế.
An oil temperature control valve should be included around the oil cooler to maintain the design supply temperature.

8.9.6. Chất bôi trơn cho bộ truyền động, hộp số và cacte / *Lubricants for running gear, gearcase, and crankcase*

- Phần này mô tả các chất bôi trơn được sử dụng cho bộ truyền động, hộp số và cacte cho tất cả các loại máy nén. Chất bôi trơn cho xi lanh máy nén piston được mô tả trong 8.4.2.
This section describes lubricants to be used for running gear, gearcases, and crankcases for all types of compressors. Lubricants for reciprocating compressor cylinders are described in 8.4.2.
- Dầu bôi trơn nên phù hợp với khuyến nghị của nhà sản xuất. Các loại dầu này có thể là dầu khoáng hoặc hỗn hợp tổng hợp.
Lubricating oil should be consistent with the manufacturer's recommendations. These oils can be either a mineral oil or a synthetic blend.
- Việc kiểm tra dầu bôi trơn nên được thực hiện theo lịch trình thường xuyên. Các thử nghiệm tối thiểu cần được tiến hành bao gồm:
Testing of lube oil should be performed on a regular schedule. Minimum tests to be conducted should include:
 - phân tích quang phổ hóa học—hàm lượng hóa chất;
spectrochemical analysis—chemical content;
 - phân tích tính chất vật lý—số lượng hạt, phần trăm trọng lượng và thể tích;
physical properties analysis—particulate count, percent weight, and volume;
 - độ nhớt;
viscosity;
 - kiểm tra chỉ số trung hòa—hàm lượng axit; và
neutralization number testing—acid content; and
 - hàm lượng nước.
water content.

8.10. Thiết bị làm mát và thiết bị phân tách / *Coolers and separators*

- Bộ làm mát phải được thiết kế theo TEMA, ASME, hoặc các tiêu chuẩn quốc gia hoặc công nghiệp khác theo yêu cầu [55, 56]. Cần xem xét thiết kế đối với các tạp chất hóa học trong khí quyển có thể gây ra điều kiện axit trong bộ làm mát trung gian và bộ làm mát sau của máy nén khí, dẫn đến ăn mòn.

Coolers shall be designed to TEMA, ASME, or other national or industry codes as required [55, 56]. Design consideration should be given to chemical contaminants in the atmosphere that can cause acidic conditions in air compressor intercoolers and aftercoolers, resulting in corrosion.

8.11. Bộ lọc hoặc lưới lọc đầu hút / *Suction filters or screens*

- Mọi máy nén phải có bộ lọc hoặc lưới lọc đầu hút để ngăn các hạt lạ đi vào máy nén. Bộ lọc hoặc lưới lọc phải tuân thủ các khuyến nghị của nhà sản xuất.

Every compressor shall have a suction filter or screen to prevent foreign particles from entering the compressor. The filter or screen shall be in accordance with the manufacturer's recommendations.

8.11.1. Bộ lọc khí đầu vào / *Air inlet filters*

- Phải cung cấp hệ thống lọc hai cấp. Đối với các máy nén rất nhỏ, có thể cung cấp hệ thống lọc một cấp. Trong môi trường cực kỳ bẩn, nên xem xét việc lọc bổ sung. Lưới chắn côn trùng, bảo vệ chống đóng băng và nắp che mưa/tuyết phải được cung cấp khi cần thiết.

Two-stage filtration shall be provided. For very small compressors, one-stage filtration may be provided. In severely dirty environments, additional filtration should be considered. Insect screens, freeze protection, and rain/snow hoods shall be provided when necessary.

- Nên khuyến nghị sử dụng bộ chỉ thị và báo động áp suất chênh lệch. Các vỏ bộ lọc lớn phải được bảo vệ chống lại áp suất chênh lệch quá mức có thể gây ra sự sụp đổ do tắc nghẽn bộ lọc.

A differential pressure indicator and alarm are recommended. Large filter houses shall be protected against excessive differential pressures that could cause collapse as a result of filter blockage.

- Máy nén hướng trục và ly tâm tiềm ẩn những rủi ro đặc biệt đối với bộ lọc khí đầu vào hoặc nhân sự và vật liệu có thể ở gần bộ lọc. Vì các loại máy nén này có thể bị hiện tượng dâng (surge), nơi xảy ra sự đảo ngược dòng chảy nhanh chóng và khí nóng có thể chảy ngược ra khỏi bộ lọc, nên tồn tại những mối nguy hiểm độc đáo bao gồm:

Axial and centrifugal compressors present special risks with respect to inlet air filters or personnel and materials that can be in the vicinity of the filter. Since these types of compressors can be subjected to surge where rapid flow reversals occur and where hot air can flow backwards out the filter, unique hazards exist including:

- sự bắt lửa của các phần tử lọc dễ cháy;
ignition of flammable filter elements;
- thương tích do bỏng đối với nhân viên ở gần; và
burn injuries to nearby personnel; and
- thiệt hại do cháy lan có thể xảy ra đối với các vật liệu liền kề.
possible collateral fire damage to adjacent materials.

- Các biện pháp bảo vệ sau đây nên được xem xét đối với tất cả các bộ lọc khí đầu vào của máy nén khí ly tâm và hướng trục:

The following safeguards should be considered for all axial and centrifugal air compressor inlet air filters:

- Xác định khu vực mối nguy xung quanh các bộ lọc khí đầu vào để ngăn chặn việc tồn chứa tạm thời hoặc vĩnh viễn vật liệu dễ cháy và ngăn nhân viên không cần thiết đi vào khu vực mối nguy;
Identification of a hazard zone around inlet air filters to prevent temporary or permanent storage of flammable material and non-essential personnel entry into the hazard zone;
- Xem xét vật liệu chế tạo của các phần tử lọc và lựa chọn vật liệu có nhiệt độ tự bốc cháy cao (tránh các phần tử làm từ xenlulo);
Review of filter element materials of construction and selection of materials with high auto-ignition temperatures (avoid cellulose based elements);
- Thiết lập các quy tắc làm việc cấm kiểm tra hoặc thay thế phần tử lọc khi máy nén đang hoạt động (trừ khi đã được đánh giá rủi ro với các biện pháp bảo vệ bổ sung thích hợp);

Establishment of work rules to prohibit filter element inspection or replacement with the compressor in operation (unless risk assessed with appropriate additional safeguards);

- Khả năng cháy của các tạp chất không khí tích tụ trên các phần tử lọc vì chúng có thể có nhiệt độ bắt lửa thấp hơn bản thân các phần tử đó; và
Flammability of possible accumulated air contaminants on the filter elements as these can have a lower ignition temperature than the elements themselves; and
- Phân loại vỏ bộ lọc khí đầu vào là không gian hạn chế.
Classification of inlet air filter housing as a confined space.

8.11.2. Các lưới chắn hút khác/ Other suction screens

- Kích thước mắt lưới phải phù hợp với khuyến nghị của nhà sản xuất máy nén. Lưới chắn phải được thiết kế để chịu được toàn bộ áp suất vận hành đi qua nó tại điểm đó của hệ thống. Có thể lắp đặt thiết bị đo áp suất chênh lệch qua bộ lọc này để xác định nhu cầu làm sạch.

Mesh size should be in accordance with the compressor manufacturer's recommendation. The screen should be designed to withstand full operating pressure across it at that point of the system. A differential pressure device can be put across this filter to determine the need for cleaning.

8.11.3. Các cân nhắc về bộ lọc cho máy nén piston / Filter considerations for reciprocating compressors

- Việc lựa chọn và thiết kế bộ lọc hút cho máy nén piston phải giải quyết được ảnh hưởng của dòng khí dao động.

The selection and design of suction filters for reciprocating compressors shall address the effect of pulsating gas flow.

8.12. Cân nhắc đặc biệt đối với dịch vụ oxy / Special considerations for oxygen service

- Có những cân nhắc đặc biệt đối với thiết kế và vận hành an toàn máy nén oxy. Chúng bao gồm:
There are special considerations for safe design and operation of an oxygen compressor. These include:

- vật liệu chế tạo;
materials of construction;
- vị trí và điều khiển van cách ly và van xả;
isolation and vent valve location and controls;
- các khoang điều chỉnh thể tích (clearance pockets) cho máy nén piston; và
clearance pockets for reciprocating compressors; and
- nhiệt độ xả tầng.
stage discharge temperature.

- Chi tiết các cân nhắc đối với dịch vụ oxy được nêu trong AIGA 012, AIGA 021, Hệ thống đường ống và ống dẫn oxy, AIGA 048, Máy nén piston cho dịch vụ oxy, và AIGA 071, Máy nén ly tâm cho dịch vụ oxy [34, 57, 58, 59].

Details of considerations for oxygen service are given in AIGA 012, AIGA 021, Oxygen Pipeline and Piping Systems, AIGA 048, Reciprocating Compressors for Oxygen Service, and AIGA 071, Centrifugal Compressors for Oxygen Service [34, 57, 58, 59].

8.13. Quy trình vận hành và bảo trì / Operating and maintenance procedures

- Các quy trình được lập thành văn bản phải được sử dụng để khởi động, vận hành và dừng từng tổ máy nén. Các thông số vận hành chính phải được giám sát định kỳ. Các điều kiện và xu hướng bất thường phải được điều tra và giải quyết. Đặc biệt, máy nén sản phẩm nên được dừng khi áp suất hút thấp để ngăn ngừa ô nhiễm sản phẩm, tạo chân không, hoặc cả hai đối với thiết bị siêu lạnh. Hệ thống điều khiển nhà máy hoặc máy nén nên có các quy định tự động báo động, giảm tải hoặc dừng để tránh các mối nguy liên quan đến máy nén sản phẩm và quạt thổi tạo chân không trong tháp áp suất thấp (hoặc tháp trên). Cần chuẩn bị lịch trình bảo trì phòng ngừa cho từng tổ máy nén. Tần suất ban đầu nên dựa trên khuyến nghị của nhà cung cấp và sau đó dựa trên dữ liệu lịch sử.

Documented procedures shall be used to start, operate, and shut down each compressor unit. The key operating parameters shall be monitored periodically. Abnormal conditions and trends shall be investigated and resolved. In particular, product compressors should be shut down on low suction pressure to prevent product contamination, pulling a vacuum, or both on cryogenic equipment. The plant or compressor control system should have automated alarm, unloading, or shutdown provisions for avoiding hazards related to product compressors and blowers drawing a vacuum in the low pressure (or

upper) column. A preventive maintenance schedule should be prepared for each compressor unit. Frequencies should be based initially on vendor recommendations and eventually on historical data.

- Đối với máy nén dẫn động bằng tuabin hơi, van ngắt hơi đóng nhanh (van đóng nhanh [QCV]) có thể không đóng hoàn toàn khi bị ngắt. Các biện pháp dự đoán và phản ứng sau đây nên được xem xét để dừng tuabin hơi an toàn trong trường hợp kích hoạt ngắt hoặc khẩn cấp:
For steam turbine driven compressors, the quick closing steam trip valve (quick closing valve [QCV]) might not fully close when tripped. The following predictive and reactive measures should be considered for safe stoppage of the steam turbine in case of a trip initiation or emergency:
 - Thực hiện kiểm tra hành trình một phần QCV định kỳ trong quá trình vận hành;
Perform periodic QCV partial stroke testing during operation;
 - Xác minh việc đóng QCV khi tuabin bị ngắt;
Verify QCV closure when a turbine trips;
 - Đo thời gian giảm tốc độ tuabin khi bị ngắt;
Measure turbine speed rundown duration upon a trip;
 - Xác minh tốc độ tuabin là không đổi và không tăng khi tải máy nén cố định;
Verify turbine speed is constant and not increasing with fixed compressor load;
 - Thực hiện kiểm tra chức năng van điều tốc (phản ứng với thay đổi tải nhỏ); và
Perform governor valve functional check (response to minor load change); and
 - Cách ly hơi nước áp suất cao khỏi tuabin nếu cả QCV và van điều tốc đều gặp trục trặc.
Isolate high pressure steam to turbine if both QCV and governor valve malfunction.

9. Loại bỏ tạp chất trong không khí / *Air contaminant removal*

9.1. Các phương pháp loại bỏ / *Removal methods*

- Có nhiều phương pháp khác nhau để loại bỏ các thành phần vết [60]:
There are various methods for removing trace components [60]:
 - PPU bao gồm hai hoặc nhiều bình chứa đầy chất hấp phụ. Một bình đang hoạt động để loại bỏ các tạp chất khỏi không khí trong khi bình kia đang ngoại tuyến để tái sinh. Có thể có một, hai hoặc nhiều lớp chất hấp phụ được điều chỉnh để loại bỏ các thành phần cụ thể. Các chất hấp phụ điển hình được sử dụng là alumina để loại bỏ độ ẩm và sàng phân tử 13X để loại bỏ độ ẩm, carbon dioxide, nitrous oxide và hydrocarbon. Một số tạp chất không được loại bỏ hoàn toàn và được xử lý thông qua thông thổi oxy lỏng, bộ hấp phụ pha lỏng, hoặc kết hợp cả hai tùy thuộc vào loại và mức độ của các tạp chất trong không khí xung quanh và cả loại nồi hơi/bộ ngưng tụ;
PPUs consist of two or more vessels filled with adsorbent. One vessel is online removing the contaminants from the air while the other vessel is offline being regenerated. There may be one, two, or more layers of adsorbents tailored to remove specific components. Typical adsorbents used are alumina for moisture removal and 13X molecular sieve for moisture, carbon dioxide, nitrous oxide, and hydrocarbon removal. Some contaminants are not completely removed, and are dealt with through liquid oxygen purge, liquid phase adsorbents, or a combination of both depending on the type and level of the contaminants in the ambient air and also the type of the reboiler/condensers;
 - REVEX bao gồm một hoặc nhiều BAHX. Không khí cùng với tất cả các tạp chất chứa trong đó được đưa vào BAHX. Tất cả trừ lượng vết của độ ẩm, carbon dioxide và các hydrocarbon có điểm sôi cao hơn đều bị đóng băng và loại bỏ trong REVEX. Sau một khoảng thời gian (2 phút đến 15 phút), đường dẫn khí được giảm áp và khí thải áp suất thấp từ quá trình được đưa qua cùng một đường dẫn ngược chiều với hướng dòng khí trước đó. Các tạp chất được loại bỏ bằng dòng khí thải và các đường dẫn được làm sạch. Hai bộ đường dẫn luân phiên được chuyển đổi định kỳ để duy trì dòng không khí tinh khiết không đổi đến các tháp chưng cất. Một số tạp chất, đặc biệt là axetylen, không được loại bỏ hoàn toàn và được xử lý thông qua thông thổi oxy lỏng, bộ hấp phụ pha lỏng, hoặc kết hợp cả hai tùy thuộc vào loại và mức độ của các tạp chất trong không khí xung quanh và cả loại nồi hơi/bộ ngưng tụ;
REVEXs consist of one or more BAHXs. Air with all of the contained contaminants is sent into the BAHXs. All but trace amounts of moisture, carbon dioxide, and the higher boiling point hydrocarbons are frozen out and removed in the REVEX. After a period of time (2 minutes to 15 minutes) the air passage is depressurized and low pressure waste gas from the process is sent through the same passage counter-currently to the direction of the previous air flow. The contaminants are removed by the waste gas stream and the passage are cleaned. Two sets of alternating passages are periodically switched to keep a constant flow of purified air to the distillation columns. Some contaminants, particularly acetylene, are not completely removed, and are dealt with through liquid oxygen purge,

liquid phase adsorbers, or a combination of both depending on the type and level of the contaminants in the ambient air and also the type of the reboiler/condensers;

- Bộ tái sinh (Regenerators) tương tự như REVEX ngoại trừ việc thay vì BAHX, các bình chứa đầy sỏi thạch anh (quartzite pebbles) được sử dụng và hoạt động như một bộ tản nhiệt. Khi không khí được làm mát bằng sự lạnh được tồn trữ trong sỏi, các tạp chất bị đóng băng trên sỏi và được loại bỏ khỏi dòng khí. Sau một khoảng thời gian (2 phút đến 15 phút), các bình được chuyển đổi và khí thải áp suất thấp loại bỏ các tạp chất bị đóng băng và làm mát sỏi. Hai bộ tái sinh luân phiên được chuyển đổi định kỳ để duy trì dòng không khí tinh khiết không đổi đến các tháp chưng cất. Các ống chứa oxy hoặc nitơ sản phẩm đôi khi được dẫn qua lớp sỏi, làm ấm các khí này đến nhiệt độ môi trường. Ngoài ra, một phần không khí có thể đi vòng qua bộ tái sinh và được làm sạch bằng máy sấy độ ẩm, REVEX, bộ lọc kiềm (caustic scrubbers), hoặc bất kỳ sự kết hợp nào của các thiết bị này. Một số tạp chất, đặc biệt là axetylen, không được loại bỏ hoàn toàn và được xử lý thông qua thông thổi oxy lỏng, bộ hấp phụ pha lỏng, hoặc kết hợp cả hai tùy thuộc vào loại và mức độ của các tạp chất trong không khí xung quanh và cả loại nồi hơi/bộ ngưng tụ;

Regenerators are similar to the REVEX except that instead of BAHXs, vessels filled with quartzite pebbles are used and act as a heat sink. As the air is cooled by the refrigeration stored in the pebbles, the contaminants are frozen on the pebbles and removed from the air stream. After a period of time (2 minutes to 15 minutes), the vessels are switched and the low pressure waste gas removes the frozen contaminants and cools the pebbles. Two sets of alternating regenerators are periodically switched to keep a constant flow of purified air to the distillation columns. Tubes containing product oxygen or nitrogen are sometimes routed through the bed of pebbles, warming the gases to ambient temperature. Also, a portion of the air may bypass the regenerators and be cleaned up by moisture dryers, REVEX, caustic scrubbers, or any combination of these. Some contaminants, particularly acetylene, are not completely removed, and are dealt with through liquid oxygen purge, liquid phase adsorbers, or a combination of both depending on the type and level of the contaminants in the ambient air and also the type of the reboiler/condensers;

- Bộ lọc kiềm (Caustic scrubbers) đã được sử dụng trong các ASU áp suất cao cũ hơn. Không khí áp suất trung bình từ máy nén khí trước tiên được đưa qua bộ lọc kiềm, nơi carbon dioxide được loại bỏ bằng cách phản ứng hóa học với dung dịch natri hydroxit dạng nước tuần hoàn trong tháp hấp thụ. Không khí này được nén tiếp đến áp suất cao trong MAC. Bất kỳ dầu và hydrocarbon có điểm sôi cao nào đều được loại bỏ trong bộ hấp phụ dầu và không khí được đưa đến máy sấy alumina, nơi loại bỏ độ ẩm. Dòng khí sau đó đi qua bộ trao đổi nhiệt chính và các hydrocarbon còn lại được xử lý thông qua thông thổi oxy lỏng, bộ hấp phụ pha lỏng, hoặc kết hợp cả hai tùy thuộc vào loại và mức độ của các tạp chất trong không khí xung quanh và cả loại nồi hơi/bộ ngưng tụ;

Caustic scrubbers were used in older high pressure ASUs. Intermediate pressure air from the air compressor is first passed through the caustic scrubber, where carbon dioxide is removed by chemically reacting with the circulating aqueous sodium hydroxide solution in an absorption tower. This air is further compressed to high pressure in the MAC. Any oil and high boiling point hydrocarbons are removed in an oil adsorber and the air is sent to the alumina dryers, which remove the moisture. The air stream then passes to the main heat exchanger and the remaining hydrocarbons are dealt with through liquid oxygen purge, liquid phase adsorbers, or a combination of both depending on the type and level of the contaminants in the ambient air and also the type of the reboiler/condensers;

- Bộ oxy hóa xúc tác đặt tại đầu ra của tầng máy nén khí đã được sử dụng để oxy hóa các tạp chất như hydrocarbon, Hydro, và carbon monoxide. Axetylen yêu cầu nhiệt độ trong phạm vi 305 °F đến 315 °F (152 °C đến 157 °C). Các tạp chất khác có thể yêu cầu nhiệt độ cao tới 800 °F (427 °C). Cần cung cấp các thiết bị phân tích để xác minh hiệu suất hoạt động chính xác của các bộ oxy hóa xúc tác; và

Catalytic oxidizers located on an air compressor stage discharge have been used to oxidize contaminants such as hydrocarbons, hydrogen, and carbon monoxide. Acetylene requires temperatures in the range of 305 °F to 315 °F (152 °C to 157 °C). Other contaminants can require temperatures as high as 800 °F (427 °C). Analyzers should be provided to verify proper performance of the catalytic oxidizers; and

- Bộ làm mát sau tiếp xúc trực tiếp (DCACs) được sử dụng trong một số lắp đặt sau MACs. Mục đích chính của các đơn vị này là làm mát không khí nóng trước khi nó đi vào PPU hoặc REVEX. DCACs cũng có thể giúp làm sạch không khí khỏi bụi và các tạp chất hòa tan trong nước như sulfur dioxide, hydrogen sulfide, và amoniac.

Direct contact aftercoolers (DCACs) are used in some installations after the MACs. The primary purpose of these units is to cool the hot air before it enters the PPU or REVEX. DCACs can also help

to clean the air of dust and water soluble contaminants such as sulfur dioxide, hydrogen sulfide, and ammonia.

- LƯU Ý—Nếu muốn thực hiện việc làm sạch này, cần phải xử lý nước đúng cách.
NOTE—If this cleaning is desired, proper water treatment is needed.
- Vì nước lỏng tiếp xúc trực tiếp với không khí, việc tách nước là rất quan trọng. Nước bị cuốn theo có thể làm quá tải các PPU hoặc REVEX ở hạ lưu. Ngoài ra, việc kiểm soát mức chất lỏng trong bể chứa DCAC phải được vận hành và bảo trì đúng cách. Nếu bộ kiểm soát mức bị lỗi và nước không được loại bỏ khỏi DCAC, tháp DCAC sẽ nhanh chóng đầy nước và xảy ra hiện tượng cuốn theo lượng lớn vào thiết bị hạ lưu. Điều này gây ra hư hỏng lớn cho thiết bị hạ lưu. Nếu quá nhiều nước bị loại bỏ, lớp đệm kín chất lỏng ở đáy DCAC có thể bị mất và không khí có áp suất có thể đi vào đường ống nước làm mát hồi lưu đến tháp giải nhiệt. Điều này sẽ gây ra hư hỏng lớn cho tháp giải nhiệt trừ khi đường ống nước làm mát hồi lưu được xả (qua một ống đứng) đúng cách đến một vị trí an toàn.
Because liquid water is in direct contact with the air, water separation is critical. Water carryover can overload the downstream PPUs or REVEX. Also, the DCAC sump liquid level control shall be operated and maintained properly. If the level control fails and water is not removed from the DCAC, the DCAC tower quickly fills with water and extensive carryover into the downstream equipment occurs. This causes major damage to the downstream equipment. If too much water is removed, the liquid seal at the bottom of the DCAC can be lost and pressurized air can enter the cooling water return piping to the cooling tower. This would cause major damage to the cooling tower unless the cooling water return pipe is properly vented (through a standpipe) to a safe location.
- Trong các hệ thống REVEX, lưu lượng không khí qua DCAC có thể cao hơn nhiều trong thời gian ngắn khi các đường dẫn chuyển đổi giữa luồng không khí và luồng khí thải. Điều này phải được xem xét trong quá trình thiết kế DCAC và hệ thống loại bỏ nước.
In REVEX systems, the air flow through the DCAC can be much higher during the short time that the passages switch between air and waste gas streams. This shall be considered during the design of the DCAC and water removal system.
- Trong hầu hết các nhà máy có DCAC, một phần thứ hai được thêm vào DCAC, nơi nước lạnh làm mát không khí hơn nữa. Nước lạnh này thường được tạo ra trong máy làm lạnh cơ học hoặc trong bộ làm mát bay hơi. Trong bộ làm mát bay hơi, một phần khí thải giàu nitơ tiếp xúc trực tiếp với nước. Một phần nhỏ nước bay hơi, làm mát lượng nước còn lại. Quá trình làm mát có thể đáng kể; do đó, trong quá trình vận hành mùa đông, phải cẩn thận để ngăn nước đóng băng bằng cách kiểm soát lưu lượng khí thải giàu nitơ đến bộ làm mát bay hơi.
In most plants with a DCAC, a second section is added to the DCAC, where chilled water further cools the air. This chilled water is typically produced in either a mechanical chiller or in an evaporative cooler. In the evaporative cooler, a portion of the nitrogen-rich waste gas directly contacts the water. A small portion of the water evaporates, cooling the remaining water. The cooling can be substantial; therefore, during winter operation, care shall be taken to prevent the water from freezing by controlling the flow of nitrogen-rich waste gas to the evaporative cooler.
- **CẢNH BÁO: Khí thải giàu nitơ trong bộ làm mát bay hơi bị thiếu oxy và có thể gây ngạt thở.**
WARNING: The nitrogen-rich waste gas in the evaporative cooler is oxygen deficient and can cause asphyxiation.
- Khả năng khí thải có thể trở nên giàu oxy trong quá trình khởi động nhà máy hoặc sự cố quy trình phải được xem xét.
The possibility that the waste gas can become oxygen enriched during plant startup or process upsets shall be considered.

9.2. Các giai đoạn loại bỏ tạp chất / *Contaminant removal stages*

- Các giai đoạn loại bỏ tạp chất được liệt kê trong Bảng 4 và 5, bao gồm các phương pháp giảm thiểu tạp chất vết. Đối với mỗi tạp chất, Bảng 4 cho thấy phương pháp loại bỏ nào là hiệu quả.
The contaminant removal stages are listed in Tables 4 and 5 including trace contaminant abatement methods. For each of the contaminants, Table 4 shows which removal method is effective.
- LƯU Ý—Không phải tất cả các giai đoạn loại bỏ tạp chất đều có mặt trong mọi quy trình.
NOTE—All contaminant removal stages are not present in every process.
- Giai đoạn 1—Hấp phụ lên sàng phân tử và alumina trong các bộ hấp phụ phía trước tiền xử lý không khí.
Stage 1—Adsorption onto molecular sieve and alumina in the air pretreatment front-end adsorbers.

- Giai đoạn 2—Lắng đọng từ không khí trong REVEX và tái bay hơi vào luồng khí thải áp suất thấp. Giai đoạn 3—Hấp phụ trên gel silica từ không khí rời khỏi bộ trao đổi chính và đi vào các tháp chưng cất.
Stage 2—Deposition from the air in the REVEX and re-evaporation into the low pressure waste gas stream. Stage 3—Adsorption on silica gel from the air leaving the main exchanger and entering the distillation columns.
- Giai đoạn 4—Hấp phụ từ chất lỏng giàu rời khỏi bể chứa của tháp áp suất cao lên gel silica trong các bộ hấp phụ pha lỏng.
Stage 4—Adsorption from the rich liquid leaving the sump of the high pressure column onto silica gel in the liquid phase adsorbers.
- Giai đoạn 5—Hấp phụ từ oxy lỏng tinh khiết trong bể chứa của tháp áp suất thấp lên các hạt gel silica trong bộ hấp phụ bảo vệ.
Stage 5—Adsorption from the pure liquid oxygen in the sump of the low pressure column onto silica gel beads in the guard adsorber.
- Giai đoạn 6—Loại bỏ trong sản phẩm oxy lỏng (hoặc thông thổi) rời khỏi bể chứa của tháp áp suất thấp.
Stage 6—Removal in the liquid oxygen product (or purge) leaving the sump of the low pressure column.
- Giai đoạn 7—Loại bỏ trong sản phẩm oxy dạng khí rời khỏi bể chứa của tháp áp suất thấp (nếu oxy lỏng được lấy từ bể chứa và hóa hơi trong bộ trao đổi chính, thì đây là loại loại bỏ Giai đoạn 6).
Stage 7—Removal in the gaseous oxygen product leaving the sump of the low pressure column (if liquid oxygen is taken from the sump and vaporized in the main exchanger, then this is a Stage 6 removal type).

Bảng 4—Loại bỏ điển hình trong quy trình PPU
Table 4—Typical removal in PPU process

Tạp chất <i>Contaminant</i>	Giai đoạn <i>Stage</i>				
	1 (PPU)	3 & 4 (Bộ hấp phụ hơi hoặc giàu lỏng) (Vapor or rich liquid adsorber)	5 (Bộ hấp phụ bảo vệ) (Guard adsorber)	6 (Thông thổi oxy lỏng hoặc sản phẩm) (Liquid oxygen purge or product)	7 (Oxy dạng khí) (Gaseous oxygen)
Methane				X hoặc/or P	O
Ethane				X	
Acetylene	X		O	T	
Ethylene	P		O	P	
Propane	P		O	P	
Propylene	X			T	
C ₄ +	X			T	
Nước / <i>Water</i>	X				
Carbon dioxide	X		O	T	
Nitrous oxide	P		O	P	
NO _x	X				
Ozone	X				

X = loại bỏ gần như hoàn toàn trong bước
X = essentially complete removal in step
 P = loại bỏ một phần trong bước
P = partial removal in step
 O = bước tùy chọn (nếu bao gồm, loại bỏ một phần hoặc toàn bộ thành phần)
O = optional step (if included, partial or total removal of the component)
 T = loại bỏ bất kỳ dấu vết nào có thể có
T = removal of any traces that can be present
 LƯU Ý—Các Giai đoạn 3 và 4 không áp dụng cho quy trình PPU.
NOTE—Stages 3 and 4 are not applicable to the PPU process.

Bảng 5—Loại bỏ điển hình trong quy trình REVEX
Table 5—Typical removal in REVEX process

Tạp chất <i>Contaminant</i>	Giai đoạn <i>Stage</i>				
	2 (REVEX)	3 & 4 (Bộ hấp phụ hơi hoặc giàu lỏng) (<i>Vapor or rich liquid adsorber</i>)	5 (Bộ hấp phụ bảo vệ) (<i>Guard adsorber</i>)	6 (Thông thổi oxy lỏng hoặc sản phẩm) (<i>Liquid oxygen purge or product</i>)	7 (Oxy dạng khí) (<i>Gaseous oxygen</i>)
Methane				X hoặc/ or P	O
Ethane				X	
Acetylene		X	T	T	
Ethylene			P	P	
Propane			P	P	
Propylene		P	P	T	
C ₄ +	X	T			
Nước / <i>Water</i>	X	T			
Carbon dioxide	P	P	T	T	
Nitrous oxide		P	P	P	
NO _x	X	T			
Ozone		X	T		

X = Loại bỏ gần như hoàn toàn trong bước
X = Essentially complete removal in step
 P = Loại bỏ một phần trong bước
P = Partial removal in step
 O = Bước tùy chọn (nếu bao gồm, loại bỏ một phần hoặc toàn bộ thành phần)
O = Optional step (if included, partial or total removal of the component)
 T = Loại bỏ bất kỳ dấu vết nào có thể có
T = Removal of any traces that can be present

9.3. Vận hành cụm thiết bị tiền tinh chế / *Prepurification unit operation*

- Vận hành PPU bao gồm các bước sau:

PPU operation consists of the following steps:

- Trực tuyến—Bình được đưa vào vận hành với dòng không khí đi qua. Như thể hiện trong Bảng 4, các tạp chất vết được loại bỏ bằng cơ chế hấp phụ. Carbon dioxide được sử dụng làm thành phần kiểm soát và một thiết bị phân tích có thể được sử dụng để xác định khi nào chất hấp phụ bão hòa. Trước khi vật liệu hấp phụ bão hòa hoàn toàn, bước vận hành trực tuyến sẽ được dừng lại;
Online—The vessel is online with air passing through the vessel. As shown in Table 4, trace contaminants are removed by adsorption. Carbon dioxide is used as the controlling component and an analyzer can be used to determine when the adsorbent is saturated. Before the adsorbent is saturated, the online step is stopped;
- Giảm áp—Bình được đưa ra khỏi vận hành và xả áp ra khí quyển;
Depressurization—The vessel is removed from service and vented to atmosphere;
- Tái sinh—Dòng khí thải khô được đưa vào bình để loại bỏ các tạp chất vết. Dòng khí này sau đó được xả ra khí quyển;
Regeneration—The dry waste gas is sent through the vessel to remove the trace contaminants. This gas is vented to atmosphere;
- Tăng áp—Bình được tăng áp trở lại đến áp suất khí cấp của coldbox bằng một phần dòng khí lấy từ thiết bị đang vận hành trực tuyến khác.
Repressurization—The vessel is brought back to the coldbox air feed pressure with a portion of the air from another online vessel; and
- Song song—Các van được mở, cho phép không khí đi qua bình vừa được tái sinh. Các van trên bình đang vận hành trực tuyến cũng được giữ mở, để không khí chảy qua cả hai lớp hấp phụ song song. Bước này đảm bảo rằng lớp hấp phụ mới hoàn toàn hoạt động tốt trước khi đưa bình đang hoạt động trực tuyến ra khỏi vận hành.

Parallel—The valves are opened, allowing air to flow through the freshly regenerated vessel. The valves on the vessel currently online are also left open, so that air flows through both beds in parallel. This step ensures that the fresh bed is completely functional before taking the online vessel offline.

- Trong bước tái sinh, một dòng khí nóng và khô được sử dụng để đẩy các tạp chất ra khỏi vật liệu hấp phụ. Trong trường hợp này, khí tái sinh được gia nhiệt trong một khoảng thời gian, sau đó là một giai đoạn làm nguội nhằm đưa lớp vật liệu hấp phụ trở về gần nhiệt độ vận hành trước khi được đưa trở lại vận hành trực tuyến. Quy trình này được gọi là hấp phụ chuyển nhiệt (temperature swing adsorption – TSA) vì nhiệt độ dao động giữa nhiệt độ vận hành và nhiệt độ tái sinh cao hơn. Trong quy trình TSA, thời gian vận hành trực tuyến thường từ 2 đến 12 giờ.

In the regeneration step, a hot, dry gas is used to drive off the contaminants. In this case, the regeneration gas is hot for a period, followed by a cooling flow to return the bed to near operating temperatures before it is placed back online. This process is called temperature swing adsorption (TSA) because the temperature varies between online temperature and a higher regeneration temperature. In the TSA process, the online times are typically 2 hours to 12 hours.

- Tái sinh cũng có thể được thực hiện bằng cách sử dụng áp suất thấp hơn của dòng khí tái sinh để loại bỏ các tạp chất. Quy trình này được gọi là hấp phụ chuyển áp (pressure swing adsorption – PSA) và thời gian vận hành trực tuyến thường từ 5 đến 30 phút.

The regeneration can also be accomplished by using the lower pressure of the regeneration gas to remove contaminants. This process is called pressure swing adsorption (PSA), and the online times are typically 5 minutes to 30 minutes.

- Nhà sản xuất đưa các hướng dẫn vận hành cụ thể cho PPU và các hướng dẫn này nên được tuân thủ.

The manufacturer gives specific operating instructions for the PPU and these should be followed.

- Hệ thống PPU được thiết kế để loại bỏ toàn bộ hơi ẩm trong không khí, hầu hết carbon dioxide và nhiều thành phần hydrocarbon. PPU loại bỏ hoàn toàn các hydrocarbon C4+, axetylen và propylen. Nó thường loại bỏ một phần ethylene và propane, và hầu như không loại bỏ methane và ethane. Các chất hấp phụ đặc biệt có thể loại bỏ nhiều tạp chất hơn. Carbon dioxide là hợp chất chỉ thị, và một thiết bị phân tích nên được sử dụng để giám sát hoạt động của PPU.

PPU systems are designed to remove all of the water in the air, most of the carbon dioxide, and many of the hydrocarbons. The PPU removes all of the C4+, acetylene, and propylene. It typically removes a portion of the ethylene and propane, and essentially none of the methane and ethane. Special adsorbents can remove more contaminants. Carbon dioxide is the marker compound, and an analyzer should be used to monitor PPU operation.

- **THẬN TRỌNG: Một tính năng an toàn quy trình quan trọng là PPU loại bỏ carbon dioxide và nhiều hydrocarbon. Vận hành PPU đúng cách là tối quan trọng để vận hành ASU một cách an toàn. Carbon dioxide được loại bỏ để tránh kết tinh và gây tắc nghẽn, điều này có thể dẫn đến sôi khô hoặc sôi hồ, tích tụ hydrocarbon, và cuối cùng có thể gây ra phản ứng của hydrocarbon và oxy. PPU được thiết kế để loại bỏ nhiều hydrocarbon, nhưng nếu vận hành không đúng sẽ cho phép chúng đi vào hộp lạnh.**

CAUTION: A key process safety feature is that the PPU removes carbon dioxide and many hydrocarbons. Running the PPU properly is essential for safe ASU operation. Carbon dioxide is removed to prevent precipitation and plugging, which can lead to dry or pool boiling, hydrocarbon accumulation, and ultimately a reaction of the hydrocarbons and oxygen. The PPU is designed to remove many hydrocarbons, but if operated improperly allows them to enter the coldbox.

- Bất kỳ hiện tượng rò rỉ (breakthrough) carbon dioxide nào phải được giới hạn không vượt quá khuyến nghị của nhà sản xuất. Mức cảnh báo điển hình là 1 ppm, và giá trị này phải được sử dụng nếu nhà sản xuất không đưa ra khuyến nghị nào. Nếu xảy ra breakthrough, các bình hấp phụ đang vận hành trực tuyến phải được chuyển đổi ngay lập tức nếu các bình ngoại tuyến đã được tái sinh hoàn toàn. Các bước khác cần thực hiện có thể bao gồm:

Any carbon dioxide breakthrough shall be limited to no more than the manufacturer's recommendation. A typical alarm level is 1 ppm, and this value shall be used if the manufacturer gives no recommendation. If breakthrough occurs, the online adsorber vessels shall be switched immediately if the offline vessels are completely regenerated. Other steps to be taken may include:

- rút ngắn thời gian hoạt động trực tuyến tiếp theo;
shortening subsequent online times;
- giảm lưu lượng khí;

reducing air flow;

- kiểm tra mức và hình dạng lớp chất hấp phụ và hiệu suất chất hấp phụ;
inspecting adsorber bed level and shape and adsorbent performance;
- đo độ ẩm khí tái sinh; và
measuring regenerator gas moisture content; and
- theo dõi nồng độ carbon dioxide, nitrous oxide và hydrocarbon trong bể đáy nồi hơi, và đảm bảo rằng chúng nằm trong giới hạn an toàn bằng cách tối đa hóa lưu lượng thông thổi oxy lỏng. Để biết thêm thông tin về hoạt động của nồi hơi, xem AIGA 035 [43].
monitoring the reboiler sump concentrations of carbon dioxide, nitrous oxide, and hydrocarbons, and ensuring that these stay within safe limits by maximizing the liquid oxygen purge rate. For more information regarding reboiler operations, see AIGA 035 [43].

- Nhà máy phải được ngừng hoạt động nếu xảy ra bất kỳ điều nào sau đây:

The plant shall be shut down if any of the following occurs:

- carbon dioxide thoát ra khỏi PPU vượt quá 10 ppm;
carbon dioxide leaving the PPU exceeds 10 ppm;
- nồng độ tạp chất trong bể đáy nồi hơi vượt quá giới hạn an toàn, xem AIGA 035 [43]; hoặc
reboiler sump contaminant concentrations exceed safe limits, see AIGA 035 [43]; or
- bình hấp phụ không thể được chuyển đổi trong vòng 30 phút sau khi có cảnh báo carbon dioxide tăng cao và không có phân tích bể đáy nồi hơi.
adsorber vessel cannot be switched within 30 minutes after the high carbon dioxide alarm and there is no reboiler sump analysis.

- Sự rò rỉ carbon dioxide thấp nhưng liên tục cũng nguy hiểm như sự xuyên thủng vào cuối chu kỳ vì nó cho thấy các tạp chất không khí như axetylen, các hydrocarbon khác và độ ẩm không được hấp phụ. Nếu mức độ rò rỉ liên tục đạt 0,2 ppm đến 0,5 ppm carbon dioxide (theo khả năng phát hiện của máy phân tích), hãy điều tra nguyên nhân gây ra sự rò rỉ carbon dioxide tăng lên và tìm kiếm hỗ trợ kỹ thuật để xác định xem nhà máy có thể tiếp tục hoạt động an toàn hay không.

A low but continuous slip of carbon dioxide is just as dangerous as a breakthrough at the end of the cycle because it indicates that air contaminants such as acetylene, other hydrocarbons, and moisture are not being adsorbed. If the level of a continuous slip reaches 0.2 ppm to 0.5 ppm of carbon dioxide (according to the detection capability of the analyzer), investigate the cause of the increased carbon dioxide slip and seek technical assistance to determine whether the plant can continue to safely operate.

- Để PPU hoạt động hiệu quả, mỗi bước tái sinh phải được hoàn thành và chính xác. Điều này đảm bảo rằng chất hấp phụ có đủ công suất cho bước hoạt động trực tuyến tiếp theo.

For a PPU to work effectively, each regeneration step shall be complete and correct. This ensures that the adsorbent has the full capacity for the next online step.

- Biến số chính cho mỗi loại quy trình phải được theo dõi và duy trì. Đối với TSA, chất hấp phụ được tái sinh bằng nhiệt, vì vậy nhiệt lượng cần thiết phải được đưa vào bình. Nhiệt độ chính xác phải đạt được ở đầu ra của bình đã tái sinh, lưu lượng tái sinh phải đủ và thời gian gia nhiệt phải đủ dài.

The key variable for each type of process shall be monitored and maintained. For a TSA, the adsorbent is regenerated with heat, so required heat shall be introduced into the vessel. The correct temperature shall be reached at the outlet of the regenerated vessel, the regeneration flow rate shall be adequate, and the heating time shall be long enough.

- Bước làm mát cũng phải đủ để làm mát hoàn toàn bình hấp phụ đã tái sinh trước khi đưa nó trở lại hoạt động trực tuyến. Nếu bước làm mát không đủ, công suất chất hấp phụ sẽ bị giảm; ngoài ra, khí nóng được gửi đến thiết bị hạ nguồn có khả năng gây hư hỏng. Cần có cảnh báo nhiệt độ cao và ngắt hoạt động đối với khí thoát ra khỏi PPU TSA để ngăn ngừa hư hỏng cho bộ lọc hạ nguồn và thiết bị siêu lạnh.

The cooling step shall also be sufficient to completely cool the regenerated adsorber vessel before placing it back online. If the cooling step is insufficient, the adsorbent capacity is reduced; in addition, hot gas is sent to the downstream equipment potentially causing damage. There should be a high temperature alarm and shutdown for the air leaving a TSA PPU to prevent damage to the downstream filter and cryogenic equipment.

- Trong mọi trường hợp, khí tái sinh phải khô. Nếu có nguồn nước tiềm ẩn đi vào khí tái sinh, nên sử dụng máy phân tích điểm sương. Nguồn nước phổ biến nhất đi vào khí tái sinh là khi sử dụng bộ gia nhiệt hơi nước và bộ gia nhiệt hơi nước bị rò rỉ. Nếu máy phân tích điểm

sương bão động, nguồn nước phải được điều tra và giải quyết nhanh chóng nếu không chất hấp phụ sẽ bị hư hỏng vĩnh viễn.

In all cases, the regenerating gas shall be dry. If a potential source of water into the regeneration gas exists, a dew point analyzer should be used. The most common source of water into regeneration gas is when a steam heater is used and the steam heater develops a leak. If the dew point analyzer alarms, the source of the water should be quickly investigated and resolved or the adsorbent will be permanently damaged.

- Nhiệt kích hoạt lại thường được lấy thông qua các bộ gia nhiệt đốt gas, hơi nước hoặc điện. Mỗi hệ thống nên có bảo vệ ngắt do nhiệt độ và/hoặc lưu lượng thấp để bảo toàn tính toàn vẹn của bộ gia nhiệt và phần còn lại của hệ thống, đặc biệt trong trường hợp mất lưu lượng khí kích hoạt lại.

Reactivation heat is usually obtained through gas-fired, steam, or electric heaters. Each system should have temperature and/or low flow shutdown protection to preserve the integrity of the heater and the rest of the system, especially in case of loss of reactivation gas flow.

- Đối với PSA, các biến số chính là lưu lượng và áp suất của khí tái sinh. Chúng nên được theo dõi để đảm bảo tái sinh đúng cách. Cần có cảnh báo lưu lượng tái sinh thấp để cảnh báo người vận hành về khả năng tái sinh không đủ.

For a PSA, the key variables are flow and pressure of the regeneration gas. These should be monitored to ensure proper regeneration. A low regeneration flow alarm should be present to alert the operator to possible insufficient regeneration.

- PSA có thể gây ra nhiều dao động áp suất hơn trong khí đầu vào hộp lạnh. Để hộp lạnh hoạt động ổn định, tốc độ tái áp suất phải được kiểm soát.

PSA can cause more pressure fluctuations in the inlet air to the coldbox. For stable coldbox operation, the repressurization rate shall be controlled.

- Trong quá trình tái sinh, bình hấp phụ ở áp suất thấp. Điều quan trọng là phải đưa bình hấp phụ gần bằng áp suất khí đầu vào trước khi mở van cấp liệu để đưa bình trở lại hoạt động. Nếu van đầu vào hoặc đầu ra được mở trước khi bình đạt hoặc gần áp suất cấp liệu, hư hỏng đáng kể và vĩnh viễn có thể xảy ra do lưu lượng tái áp suất nhanh. Khóa liên động áp suất phải được sử dụng để ngăn các van mở không đúng thời điểm.

During regeneration, the adsorber vessel is at low pressure. It is important to bring the adsorber vessel close to inlet air pressure before opening the feed valves to return the vessel to service. If the inlet or outlet valve is opened before the vessel is at or close to the feed pressure, significant and permanent damage can occur due to rapid repressurization flow. Pressure interlocks shall be used to prevent the valves from being opened at the incorrect time.

- Hàm lượng nước của khí đầu vào phải được giữ ở mức thấp hơn mức tối đa thiết kế của nó, nếu không sự xuyên thủng carbon dioxide sớm sẽ xảy ra khi lượng nước dư thừa chiếm chỗ carbon dioxide. Nguồn nước dư thừa phổ biến nhất là nhiệt độ khí đầu vào PPU cao.

The water content of the inlet air shall be kept to less than its design maximum or premature carbon dioxide breakthrough occurs when the excess water displaces the carbon dioxide. The most common source of extra water is a high PPU inlet air temperature.

- LƯU Ý—Ngay cả một sự tăng nhỏ về nhiệt độ khí đầu vào cũng cho thấy lượng nước dư thừa đáng kể vì hàm lượng nước trong không khí tăng gần gấp đôi cứ sau mỗi 18 °F (10 °C) tăng nhiệt độ.

NOTE—Even a small increase in the inlet air temperature indicate significant excess water because the water content of the air approximately doubles for every 18 °F (10 °C) increase in its temperature.

- Điều quan trọng là phải đảm bảo rằng không có nước lỏng bị cuốn theo từ thiết bị thượng nguồn vào PPU. Nước lỏng này làm quá tải chất hấp phụ, chiếm chỗ carbon dioxide và gây ra sự xuyên thủng sớm. Ngoài ra, nước lỏng có thể làm hỏng chất hấp phụ và gây ra nhiệt độ vượt quá 212 °F (100 °C) bên trong lớp chất hấp phụ. Thêm vào đó, khí đi vào có thể chứa các hóa chất ăn mòn từ các nguồn như không khí xung quanh hoặc nước làm mát, điều này có thể dẫn đến các vấn đề ăn mòn lâu dài đối với các bộ phận bên trong PPU và/hoặc đường ống đầu vào PPU. Cũng cần xem xét việc lắp đặt các van xả nước ngưng tụ trên đường ống khí đầu vào.

It is also important to ensure that no liquid water is carried over from upstream equipment into the PPU. This liquid water overloads the adsorbent, displacing carbon dioxide and causing premature breakthrough. In addition, the liquid water can damage the adsorbents and cause temperatures in excess of 212 °F (100 °C) within the bed. Additionally, the incoming air can contain corrosive chemicals from sources such as ambient air or cooling water that can lead to long term corrosion issues with PPU

internals and/or the inlet piping to the PPU. Consideration should also be given to installing condensate drains on the inlet air line.

- Các chất hấp phụ là vật liệu dạng hạt, thường có kích thước từ 1 mm đến 5 mm. Những vật liệu này dễ bị vỡ hoặc bụi hóa nếu PPU được vận hành không đúng cách. Ngoài ra, một lượng nhỏ bụi có mặt trong chất hấp phụ trong quá trình nạp vật liệu ban đầu. Cần có bộ lọc hoặc biện pháp bảo vệ tương đương để ngăn bụi này đi vào thiết bị siêu lạnh. Bộ lọc có thể là bên trong hoặc bên ngoài bình hấp phụ. Bộ lọc bên trong là loại tự làm sạch, nhưng có thể cần kiểm tra định kỳ. Bộ lọc bên ngoài có thể cần kiểm tra và thay thế định kỳ.

The adsorbents are granular materials, typically 1 mm to 5 mm in size. These materials are prone to breakdown or dusting if the PPU is incorrectly operated. In addition, a small amount of dust is present in the adsorbent during initial loading of the material. A filter or equivalent safeguard is required to prevent this dust from entering the cryogenic equipment. Filters can be either internal or external to the adsorber vessel. Internal filters are self-cleaning, but might require occasional inspection. External filters might require occasional inspection and replacement.

- Các chất hấp phụ là chất hút ẩm mạnh và phải được xử lý cẩn thận trong quá trình nạp và dỡ. Chúng dễ dàng hấp phụ nước và có thể trở nên nóng, đạt trên 212 °F (100 °C). Nên tham khảo hướng dẫn của nhà sản xuất và SDS trước khi thực hiện các hoạt động này.

The adsorbents are powerful desiccants and shall be handled carefully during loading and unloading. They adsorb water readily and can get hot, reaching over 212 °F (100 °C). The manufacturer's instructions and SDS should be consulted before undertaking these operations.

- Trong một số trường hợp, khí tái sinh được làm giàu oxy, có thể trong quá trình vận hành bình thường, khởi động hoặc sự cố quy trình. Khả năng này phải được tính đến trong quá trình thiết kế. Vật liệu chế tạo PPU, vật liệu chất hấp phụ và phương pháp làm sạch PPU phải phù hợp với nồng độ oxy tối đa có thể gặp phải. Cần lưu ý rằng các bộ gia nhiệt tái sinh có thể là nguồn gây cháy.

In some cases, the regeneration gas is enriched in oxygen, either during normal operation, startup, or process upsets. This possibility shall be taken into account during design. The materials of construction of the PPU, the adsorbent materials, and the PPU cleaning method shall be suitable for the maximum oxygen concentration that can be encountered. It should be noted that the regeneration heaters can be an ignition source.

- Chất hấp phụ rây phân tử hấp phụ nitơ ưu tiên hơn oxy. Khi các bình được giảm áp, khí trong các khoảng trống được xả và được thay thế bằng khí giàu nitơ được giải phóng từ chất hấp phụ.

Molecular sieve adsorbents adsorb nitrogen preferentially to oxygen. When the vessels are depressurized, the gas in the void spaces is vented and replaced by nitrogen-enriched gas released from the adsorbent.

- **CẢNH BÁO: Bất cứ lúc nào, các bình rây phân tử có thể chứa bầu khí quyển thiếu oxy, có thể gây ngạt cho bất kỳ ai đi vào bình hoặc làm việc gần lỗ mở của bình. Bất kỳ ai làm việc trong bình phải tuân thủ các quy trình ra vào không gian hạn chế.**

WARNING: At any time, molecular sieve vessels can contain oxygen-deficient atmospheres that can asphyxiate anyone entering the vessel or working near an opening of the vessel. Anyone working in the vessel shall follow confined space entry procedures.

9.4. Vận hành bộ trao đổi nhiệt đảo chiều / Reverse heat exchanger operation

- Trong các REVEX, khí rời khỏi MAC, được làm mát gần nhiệt độ môi trường, và sau đó đi vào bộ trao đổi nhiệt chính, nơi nó được làm mát thêm đến nhiệt độ siêu lạnh. Khi được làm mát, nước, carbon dioxide và một số hydrocarbon (xem Bảng 5) đóng băng trên bề mặt bộ trao đổi nhiệt. Các hydrocarbon có điểm sôi thấp, mức vết carbon dioxide và nitrous oxide trong không khí thoát ra khỏi bộ trao đổi nhiệt chính và đi vào khu vực chưng cất siêu lạnh của nhà máy. Các tạp chất vết này phải được xử lý bằng cách thoát ra khỏi hệ thống trong các dòng sản phẩm oxy khác nhau (dạng khí hoặc lỏng) hoặc bằng cách loại bỏ thông qua hấp phụ siêu lạnh.

In REVEXs, the air leaves the MAC, is cooled close to ambient temperature, and then enters the main heat exchanger where it is further cooled to cryogenic temperatures. As it is cooled, water, carbon dioxide, and some hydrocarbons (see Table 5) freeze out on the surface of the heat exchanger. The low boiling point hydrocarbons, trace levels of carbon dioxide, and nitrous oxide in the air exit the main heat exchanger and enter the cryogenic distillation section of the plant. These trace contaminants shall be dealt with either by exiting the system in various oxygen product streams (either gaseous or liquid) or by removal through cryogenic adsorption.

- Không khí được làm lạnh bằng cách làm ẩm các dòng khí lạnh gồm oxy, nitơ và khí thải. Sau vài phút, các van chuyển đổi hướng dòng không khí vào các đường dẫn trước đây chứa khí thải, và khí thải được hướng vào các đường dẫn không khí trước đây. Khi khí thải nóng lên trong BAHX, nó bay hơi và cuốn trôi các tạp chất đã lắng đọng trên bề mặt bộ trao đổi nhiệt, làm sạch đường dẫn.
The air is cooled by warming cold gas streams of oxygen, nitrogen, and waste gas. After several minutes, switching valves direct the air stream into the passages that formerly contained the waste gas, and the waste gas is directed into the former air passages. As the waste gas warms up in the BAHX, it evaporates and sweeps the contaminants that were deposited on the heat exchanger surface, cleaning up the passage.
- Phải duy trì sự cân bằng cẩn thận trong bộ trao đổi nhiệt để đảm bảo rằng các tạp chất đã lắng đọng được loại bỏ. Khí thải có khả năng mang đi các tạp chất vết lớn hơn vì nó ở áp suất thấp hơn; tuy nhiên, nó lạnh hơn dòng không khí vài độ, điều này làm giảm khả năng loại bỏ các tạp chất vết của nó. Các đặc tính vật lý của không khí và khí thải là nếu không có một số biện pháp bổ sung, khí thải sẽ quá lạnh ở đầu lạnh của bộ trao đổi nhiệt để loại bỏ các tạp chất vết. Theo thời gian, đầu lạnh của bộ trao đổi nhiệt không được làm sạch hoàn toàn và cuối cùng bị tắc nghẽn.
A careful balance shall be maintained in the heat exchanger to ensure that the deposited contaminants are removed. The waste gas has a greater capacity to carry away the trace contaminants because it is at a lower pressure; however, it is a few degrees colder than the air stream, which reduces its capacity to remove the trace contaminants. The physical properties of the air and waste gas are such that without some extra measures, the waste gas is too cold at the cold end of the heat exchanger to remove the trace contaminants. Over time, the cold end of the exchanger is not completely cleaned and eventually plugs up.
- Để hỗ trợ quá trình làm sạch, cần thêm khí lạnh ở đầu lạnh của bộ trao đổi nhiệt. Phương pháp phổ biến nhất là lấy một phần nitơ từ đỉnh tháp áp suất cao và làm ẩm nó trong bộ trao đổi nhiệt chính. Khí áp suất cao ẩm hơn này sau đó được giãn nở. Khi khí được giãn nở, nó đủ lạnh để được thêm vào dòng khí thải ở đầu lạnh của bộ trao đổi nhiệt chính, cung cấp thêm khí lạnh. Dòng này được gọi là dòng tái nhiệt (hoặc dòng mất cân bằng), và việc kiểm soát nó là rất cần thiết để làm sạch REVEX hoàn toàn.
To assist in the cleanup, more cold gas is needed at the cold end of the heat exchanger. The most common method is to take a portion of nitrogen from the top of the high pressure column and warm it up in the main heat exchanger. This warmer high pressure gas is then expanded. When the gas is expanded, it is cold enough to be added to the waste gas stream at the cold end of the main heat exchanger, providing additional cold gas. This stream is called the reheat (or unbalance) stream, and its control is essential for complete REVEX cleanup.
- Mặc dù nitơ từ tháp áp suất cao là nguồn phổ biến nhất của dòng tái nhiệt này, các dòng khác cũng có thể được sử dụng tùy thuộc vào quy trình.
While nitrogen from the high pressure column is the most common source of this reheat stream, other streams can also be used depending on the process.
- Nhiệt độ tại điểm giữa của REVEX nên được theo dõi. Nếu nhiệt độ quá lạnh, tức là lưu lượng tái nhiệt quá nhiều, điều này làm giảm khả năng làm sạch carbon dioxide và làm tăng độ chênh lệch nhiệt độ đầu nóng (ΔT). Việc tăng ΔT đầu nóng làm tăng yêu cầu làm lạnh của quy trình và không hiệu quả. Nếu lưu lượng tái nhiệt quá thấp thì nhiệt độ điểm giữa quá ấm và ΔT đầu lạnh của bộ trao đổi nhiệt trở nên quá lớn, dẫn đến việc làm sạch carbon dioxide không đầy đủ. Mặc dù phạm vi chính xác của nhiệt độ điểm giữa chấp nhận được phụ thuộc vào quy trình cụ thể và nên được lấy từ nhà sản xuất, nhiệt độ điểm giữa điển hình dao động từ -94°F đến -184°F (-70°C đến -120°C).
Temperatures at the REVEX midpoint should be monitored. If temperatures are too cold there is too much reheat flow, which reduces the carbon dioxide cleanup capacity and increases the warm-end differential temperature (ΔT). Increasing the warm-end ΔT increases the refrigeration requirements of the process and is inefficient. If the reheat flow is too low then the midpoint temperatures are too warm and the cold-end ΔT of the heat exchanger becomes too large, resulting in inadequate carbon dioxide cleanup. While the exact range of acceptable midpoint temperatures depends on the particular process and should be obtained from the manufacturer, typical midpoint temperatures range from -94°F to -184°F (-70°C to -120°C).
- Hầu hết các nhà máy có hai hoặc nhiều bộ trao đổi nhiệt chính mắc song song. Mỗi bộ trao đổi nhiệt chính phải có một phép đo nhiệt độ điểm giữa riêng biệt. Điều quan trọng đối với việc làm sạch carbon dioxide là mọi nhiệt độ điểm giữa phải được kiểm soát trong phạm vi chấp nhận được. Mỗi bộ trao đổi nhiệt chính phải có một van cân bằng trên một dòng không đảo chiều

(thường là oxy) để điều chỉnh các biến đổi lưu lượng do sự khác biệt về điện trở lưu lượng của đường ống và bộ trao đổi nhiệt riêng lẻ. Van này có thể được điều chỉnh để buộc lưu lượng nhiều hơn hoặc ít hơn đến mỗi bộ trao đổi nhiệt, đưa nhiệt độ điểm giữa riêng lẻ vào giới hạn chấp nhận được. Các van này thường được cài đặt trong quá trình vận hành thử ban đầu của nhà máy và hiếm khi được điều chỉnh lại.

Most plants have two or more main heat exchangers in parallel. Each main exchanger shall have an individual midpoint temperature measurement. It is critical for carbon dioxide cleanup that every midpoint temperature be controlled within the acceptable range. Each main heat exchanger shall have a balancing valve on a nonreversing stream (typically oxygen) to correct for flow variations caused by differences in individual piping and exchanger flow resistances. This valve can be adjusted to force more or less flow to each exchanger, bringing the individual midpoint temperatures within acceptable limits. These valves are typically set during the initial plant commissioning and are rarely readjusted.

- Nhiệt độ đầu lạnh phải được giữ lớn hơn nhiệt độ hóa lỏng của không khí. Khi bộ trao đổi nhiệt được chuyển đổi, lượng chất lỏng tồn kho sẽ bị mất nếu không khí hóa lỏng trong bộ trao đổi nhiệt chính. Sự mất mát lạnh này là không thể chấp nhận được và hư hỏng thiết bị cũng có thể xảy ra.

The cold-end temperature shall be kept greater than the liquefaction temperature of air. When the exchanger is switched the liquid inventory is lost if air liquefies in the main exchanger. This refrigeration loss is unacceptable and equipment damage can also occur.

- Nhiệt độ đầu lạnh phải được giữ nhỏ hơn nhiệt độ tối đa cho phép (do nhà sản xuất cung cấp) để đảm bảo rằng hydrocarbon được giữ lại bên trong REVEX và không bị cuốn vào tháp tách khí với nồng độ cao. Nếu bất cứ lúc nào nhiệt độ đầu lạnh tăng lên trên nhiệt độ tối đa cho phép, lưu lượng không khí đi qua bình đó đến tháp tách khí phải được dừng lại ngay lập tức. Chỉ khởi động lại khi đạt được nhiệt độ an toàn.

The cold-end temperature shall be kept less than the maximum allowable temperature (provided by the manufacturer) to ensure that hydrocarbons are contained within the REVEX and not carried into the air separation column in high concentrations. If at any time the cold-end temperature rises above the maximum allowable temperature, the airflow through that vessel to the air separation column shall be stopped immediately. Restart only when safe temperatures are attained.

- Nếu bộ trao đổi nhiệt không được làm sạch đúng cách, carbon dioxide đã lắng đọng sẽ còn lại trong REVEX. Điều này ảnh hưởng đến hiệu suất nhà máy bằng cách giảm truyền nhiệt và tăng độ chênh lệch nhiệt độ đầu nóng, từ đó làm tăng tải lạnh. ΔT đầu nóng tăng lên thường là dấu hiệu đầu tiên của vấn đề làm sạch. Nếu việc làm sạch không đầy đủ tiếp tục đủ lâu, độ sụt áp của không khí và khí thải cũng tăng lên, nhưng điều này thường xảy ra rất lâu sau khi ΔT đầu nóng trở nên không thể chấp nhận được.

If the exchanger is not cleaning up properly, deposited carbon dioxide remains in the REVEX. This impacts plant performance by reducing the heat transfer and increasing the warm-end temperature difference, thereby increasing the refrigeration load. The increased warm end ΔT is typically the first indication of a cleanup problem. If inadequate cleanup continues long enough the air and waste pressure drops also increase, but this is typically long after the warm-end ΔT becomes unacceptable.

- Thời gian vận hành điển hình cho một bộ trao đổi nhiệt là 4 phút đến 10 phút. Giảm thời gian vận hành làm tăng khả năng làm sạch của hệ thống nhưng đòi hỏi nhiều lạnh hơn và làm tăng tổn thất chuyển đổi.

The typical onstream time for a heat exchanger is 4 minutes to 10 minutes. Reducing the onstream time increases the cleanup capacity of the system but requires more refrigeration and increases switch loss.

- Khi nhà máy ngừng hoạt động, nước phải được xả ra khỏi REVEX. Nếu không làm như vậy, nước có thể đóng băng và làm tắc hoặc hỏng bộ trao đổi nhiệt. Cần có một quy trình thông thổi ấm thích hợp để ngăn đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt trở nên quá lạnh. Nếu đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt xuống dưới 32 °F (0 °C), các quy trình đặc biệt do nhà sản xuất xác định nên được sử dụng trước khi vận hành lại nhà máy.

When the plant is shut down, water shall be drained from the REVEX. If this is not done, the water can freeze and block or damage the exchanger. A proper warm purge is needed to prevent the warm end of the exchanger from becoming too cold. If the warm end of the exchanger gets less than 32 °F (0 °C), special procedures defined by the manufacturer should be used before operating the plant again.

- Các dòng không khí và khí thải ở đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt được hướng đến các đường dẫn thích hợp bằng các van chuyển đổi. Đầu lạnh của bộ trao đổi nhiệt thường có các van một chiều. Các van chuyển đổi và van một chiều này phải được bảo trì đúng cách để đảm bảo hoạt động đáng tin cậy.

The air and waste flows on the warm end of the heat exchanger are directed to the proper passages by switch valves. The cold end of the exchanger typically has check valves. These switching and check valves shall be properly maintained to ensure reliable operation.

- Nước ngưng tụ trong bộ trao đổi nhiệt chính khi không khí nguội đi. Bất kỳ khí ăn mòn nào trong không khí hòa tan trong nước này và có thể gây ăn mòn rất mạnh đối với bộ trao đổi nhiệt chính. Nếu có nồng độ khí axit cao, không khí nên được xử lý sơ bộ để ngăn các thành phần này đi vào bộ trao đổi nhiệt chính. Nhôm trong BAHX đặc biệt dễ bị ăn mòn bởi clo và SOx.

Water condenses in the main exchanger as the air cools. Any corrosive gases in the air dissolves in this water and can be very corrosive to the main exchanger. If high levels of acid gases are present, the air should be pretreated to prevent these components from entering the main exchanger. The aluminum in the BAHX is particularly susceptible to corrosion from chlorine and SOx.

- Các REVEX trải qua các chu kỳ áp suất và nhiệt độ cứ sau vài phút. Trong nhiều năm vận hành, những chu kỳ này có thể gây ra hỏng hóc do mỏi của các bộ trao đổi nhiệt và các đường dẫn bắt đầu rò rỉ. Các dòng sản phẩm nên được theo dõi thường xuyên để phát hiện rò rỉ và sửa chữa bộ trao đổi nhiệt khi cần thiết. Những sửa chữa này là chuyên biệt và chỉ nên được thực hiện bởi nhân viên có trình độ.

REVEXs experience pressure and temperature cycles every few minutes. Over many years of operation, these can cause fatigue failure of the exchangers and the passages begin to leak. The product streams should be routinely monitored for leaks and repairs made to the exchanger as needed. These repairs are specialized and should be made only by qualified personnel.

- Một số tạp chất vết lọt qua REVEX chính do nhiệt độ sôi tương đối thấp của chúng. Điều đáng lo ngại nhất là axetylen, chất không bị đóng băng trong REVEX. Axetylen chỉ hòa tan một chút trong chất siêu lạnh lỏng và bất kỳ tinh thể rắn nào hình thành đều có thể phân hủy nổ. Carbon dioxide cũng thoát ra khỏi bộ trao đổi nhiệt chính với số lượng ppm thấp và có thể kết tủa trong thiết bị hạ nguồn, tạo ra các vị trí có thể xảy ra sôi khô. Hai thành phần này được loại bỏ bằng hấp phụ siêu lạnh (xem 12.2) và thông thổi từ bể chứa của tháp áp suất thấp. Tốc độ thông thổi tối thiểu được quy định trong AIGA 035 [43].

Some trace contaminants get through the main REVEX because of their relatively low boiling temperature. Of most concern is acetylene, which does not freeze out in the REVEX. Acetylene is only slightly soluble in liquid cryogenics and any solid crystals that form can explosively decompose. Carbon dioxide also leaves the main exchanger in low ppm quantities and can precipitate in downstream equipment creating locations where dry boiling can occur. These two components are removed by cryogenic adsorption (see 12.2) and purge from the sump of the low pressure column. A minimum purge rate is specified in AIGA 035 [43].

- Vì dòng cấp vào REVEX chứa các tạp chất gây tắc nghẽn, việc khởi động cần hết sức cẩn thận. Nhà sản xuất đưa ra các hướng dẫn cụ thể. Tuy nhiên, quy trình cơ bản điển hình như sau:

Because the feed to the REVEX contains plugging contaminants, the startup takes a great deal of care. The manufacturer gives specific instructions. However, the typical basic procedure is as follows:

- Gửi một phần không khí đến bộ gia nhiệt và sau đó gửi không khí ấm này (110 °F đến 150 °F [43 °C đến 66 °C]) đi khắp thiết bị siêu lạnh để làm bay hơi bất kỳ nước lỏng nào trong nhà máy;
Send a portion of the air to a heater and then send this warm air (110 °F to 150 °F [43 °C to 66 °C]) throughout the cryogenic equipment to evaporate any liquid water in the plant;
- Cách ly (các) tháp chưng cất;
Isolate the distillation column(s);
- Gửi không khí qua bộ trao đổi nhiệt chính, giảm áp suất, và đưa không khí trở lại các đường dẫn khí thải. Chuyển đổi các bộ trao đổi nhiệt theo chu kỳ thời gian tương đối ngắn. Gửi một phần không khí đến bộ giãn nở để cung cấp lạnh làm nguội các bộ trao đổi nhiệt. Khí thải của bộ giãn nở nên được gửi đến mạch khí thải để tối đa hóa lưu lượng làm sạch;
Send air through the main exchanger, let down the pressure, and return the air to the waste passages. Switch the exchangers on a relatively short time cycle. Send a portion of the air to the expander to provide refrigeration to cool down the exchangers. The expander exhaust should be sent to the waste circuit to maximize the cleanup flow;
- Làm nguội các bộ trao đổi nhiệt chính đồng đều để ngăn ngừa sự tích tụ và tắc nghẽn carbon dioxide;
Cool down the main exchangers evenly to prevent carbon dioxide accumulation and blockage;

- e) Khi đầu lạnh của bộ trao đổi nhiệt chính đạt khoảng -100°F (-73°C), không khí về cơ bản là không có nước. Không khí khô này sau đó được sử dụng để thông thổi phần siêu lạnh của nhà máy nhằm đảm bảo không có hơi nước trong hệ thống; và
When the cold end of the main exchanger is approximately -100°F (-73°C), the air is essentially water-free. This dry air is then used to blow out the cryogenic portion of the plant to ensure there is no vapor water in the system; and
- f) Sau khi thổi sạch hệ thống siêu lạnh, làm lạnh đến nhiệt độ không khí lỏng và sau đó thiết lập lưu lượng bình thường.
After blowing out the cryogenic system, cool to liquid air temperatures and then establish normal flows.
- Một số thành phần có điểm sôi cao hơn không được làm sạch hoàn toàn trong REVEX, ngay cả khi nhiệt độ điểm giữa được duy trì đúng cách. Các thành phần này phải được loại bỏ bằng cách xả băng định kỳ. Khi quá trình xả băng này xảy ra, tất cả các thành phần này được giải phóng trong vài giờ. Đặc biệt, các thành phần NOx có thể được giải phóng với nồng độ tương đối cao. Nhân viên nên cẩn thận để giữ mức độ tiếp xúc của họ trong giới hạn an toàn trong các khoảng thời gian này. Khi khí quyển chứa NOx và diene liên hợp, các thành phần này có thể phản ứng tạo thành một chất keo (gum) còn sót lại trong REVEX. Chất keo này phải được loại bỏ bằng cách xả băng định kỳ. Nếu được phép tích tụ đến mức đủ lớn, nó có thể tự phát nổ [46, 47, 48].
Some higher boiling point components do not completely clean up in the REVEX, even when the midpoint temperatures are properly maintained. These components shall be removed by periodic deriming. When this derime occurs, all of these components are released over a few hours. In particular, NOx components can be released in relatively high concentrations. Personnel should take care to keep their exposure to within safe limits during these periods. When the atmosphere contains NOx and conjugated dienes, these components can react to form a gum that remains in the REVEX. This gum shall be removed by periodic deriming. If allowed to accumulate to sufficient levels, it can spontaneously explode [46, 47, 48].
 - Khi một REVEX được ngừng hoạt động, phải sử dụng các quy trình thích hợp để đảm bảo việc khởi động lại không gặp sự cố và an toàn. Bộ trao đổi nhiệt nên được khóa hoàn toàn để ngăn khí lạnh chảy qua nó.
When a REVEX is shut down, proper procedures shall be used to ensure that the restart is trouble-free and safe. The exchanger should be completely blocked in to prevent cold gas from flowing through it.
 - Nếu đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt quá lạnh, nước sẽ đóng băng và làm hỏng bộ trao đổi nhiệt. Nhiệt độ đầu nóng của bộ trao đổi nhiệt phải lớn hơn mức tối thiểu của nhà sản xuất để khởi động lại. Cần thiết lập các quy trình để làm ấm các bộ trao đổi nhiệt trước khi đưa chúng vào dịch vụ chuyển đổi nếu nhiệt độ đầu nóng thấp hơn mức tối thiểu của nhà sản xuất.
If the warm end of the exchanger is too cold, water freezes and damages the exchanger. The exchanger's warm-end temperature shall be greater than the manufacturer's minimum for restart. Procedures should be established to warm the exchangers before placing them in switching service if the warm-end temperatures are less than the manufacturer's minimums.

9.5. Thiết bị làm lạnh cơ học bổ sung / *Supplemental mechanical chillers*

- Đôi khi, thiết bị làm lạnh cơ học được sử dụng để ngưng tụ hơi ẩm từ khí nén nhằm giảm tải nước lên PPU hoặc REVEX, cải thiện khả năng hấp phụ của PPU và nâng cao hiệu suất vận hành quy trình. Quá trình làm lạnh đạt được bằng cách làm bay hơi chất làm lạnh trong thiết bị làm lạnh. Thiết bị làm lạnh nên có bộ điều khiển nhiệt độ thấp để ngăn nước đóng băng trong dòng quy trình được thao tác bởi thiết bị làm lạnh.
Sometimes a mechanical chiller is used to condense moisture from the compressed air to reduce water loading on the PPU or REVEX, to improve the PPU adsorbent capacity, and to improve process operating efficiency. Cooling is obtained by the evaporation of a refrigerant in a chiller. Chillers should have low temperature controls to prevent freezing water in the process stream handled by the chiller.
- Phải xem xét khả năng rò rỉ của hệ thống chất làm lạnh. Tùy thuộc vào áp suất, không khí có thể rò rỉ vào hệ thống chất làm lạnh, có khả năng tạo ra hỗn hợp dễ nổ. Ngoài ra, chất làm lạnh có thể rò rỉ vào quy trình, lại tạo ra hỗn hợp dễ nổ. Chất làm lạnh sau đó cũng có thể đi vào thiết bị hạ nguồn, và ảnh hưởng của nó đối với quy trình và thiết bị phải được xem xét.
The possibility of leakage of the refrigerant system shall be considered. Depending on the pressures, air can leak into the refrigerant system, potentially creating an explosive mixture. Alternatively, the refrigerant can leak into the process, again creating an explosive mixture. The refrigerant can then also pass into the downstream equipment, and its effect on the process and equipment shall be considered.
- Khả năng và mối nguy rò rỉ phải xem xét các kịch bản vận hành bình thường, khởi động và ngừng hoạt động.

The possibility and hazards of leaks shall consider scenarios of normal operation, startup, and shutdown.

- Khi bảo trì hoặc sửa chữa thiết bị này liên quan đến việc mở hệ thống hoặc có khả năng tiếp xúc với chất làm lạnh, phải xem xét các đặc tính độc hại hoặc dễ cháy của chất làm lạnh được sử dụng. Nghị định thư Montreal về các chất làm suy giảm tầng ozone và các quy định của chính phủ hạn chế việc sử dụng nhiều chất fluorocarbon và cấm thải chúng ra khí quyển [61]. Cần có thiết bị và quy trình đặc biệt để chứa các chất làm lạnh này trong quá trình bảo trì. Bất kỳ rò rỉ chất làm lạnh nào ra khí quyển nên được sửa chữa kịp thời.

When maintenance or repair of this equipment involves opening the system or possible exposure to the refrigerant, consideration shall be given to the toxic or flammable properties of the refrigerant used. The Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer and government regulations restrict the use of many fluorocarbons and prohibit their release to the atmosphere [61]. Special equipment and procedures are necessary to contain these refrigerants during maintenance. Any refrigerant leaks to the atmosphere should be promptly repaired.

9.6. Thiết bị rửa kiềm / *Caustic scrubbers*

- Thiết bị rửa kiềm đôi khi được sử dụng để loại bỏ carbon dioxide khỏi không khí. Mối nguy đáng kể nhất liên quan đến các thiết bị rửa này là thao tác dung dịch xút ăn da. Tiếp xúc với dung dịch kiềm có thể gây bỏng nghiêm trọng. Phải tuân thủ các khuyến nghị của nhà sản xuất về thao tác an toàn dung dịch kiềm. Phải mặc quần áo bảo hộ bằng cao su và đeo tấm che mặt bất cứ khi nào thực hiện công việc xung quanh hệ thống kiềm.

Caustic scrubbers are occasionally used to remove carbon dioxide from the air. The most significant hazard associated with these scrubbers is handling of caustic soda solution. Serious burns can be caused by exposure to the caustic solution. The manufacturer's recommendations on safe handling of the caustic solution shall be followed. Protective rubber clothing and face shields shall be worn any time work is performed around the caustic system.

- Phải lắp đặt các tấm chắn xung quanh khớp nối và trục gần phốt bơm để ngăn dung dịch kiềm rò rỉ bắn tung tóe vào các khu vực xung quanh và vào nhân viên.

Guards shall be installed around couplings and shafts adjacent to pump seals to prevent the slinging of leaking caustic solution into surrounding areas and onto personnel.

- Trong nhiều ứng dụng, thiết bị rửa kiềm được theo sau bởi máy sấy để loại bỏ lượng nước còn lại khỏi không khí. Cần lưu ý rằng máy sấy không được thiết kế để loại bỏ carbon dioxide và các tạp chất khác mà chỉ để loại bỏ nước. Bất kỳ hệ thống nào được thiết kế để ngăn chặn sự cuốn theo kiềm vào máy sấy phải được bảo trì theo hướng dẫn của nhà sản xuất.

In many applications, caustic scrubbers are followed by dryers to remove the remaining water from air. It should be noted that dryers are not designed to provide removal of carbon dioxide and other contaminants but to remove water only. Any systems designed to prevent caustic entrainment into the dryer shall be maintained in accordance with the manufacturer's instructions.

10. Thiết bị giãn nở / *Expanders*

- Thiết bị giãn nở được sử dụng để cung cấp khả năng làm lạnh cho quy trình. Có hai loại thiết bị giãn nở: kiểu tuabin và kiểu piston (kiểu tịnh tiến).

Expanders are used to provide refrigeration to the process. There are two types of expanders, turbo and reciprocating.

- Thiết bị giãn nở trích xuất năng lượng từ dòng quy trình bằng cách tải các thiết bị điện, cơ học hoặc thủy lực được gắn vào thiết bị giãn nở. Thiết bị giãn nở tuabin thường được tải bằng máy phát điện, quạt thổi, máy nén tăng áp hoặc máy đo lực kế dầu. Động cơ giãn nở kiểu piston thường được tải bằng cách ghép nối trực tiếp với máy nén hoặc tải bằng dây đai bởi máy phát điện.

Expanders extract energy from the process stream by loading electrical, mechanical, or hydraulic devices attached to the expander. Turboexpanders are usually loaded by generators, blowers, booster compressors, or oil dynamometers. Reciprocating expansion engines are usually loaded by being directly coupled to compressors or belt loaded by electric generators.

- Khi vận hành thiết bị giãn nở, cần xem xét những điều sau:

When operating expanders, the following should be taken into consideration:

- mất tải và quá tốc;
loss of loading and overspeed;
- nhiễm bẩn dầu vào quy trình;
oil contamination of the process;
- hỏng phốt trục;
failure of shaft seals;

- nhiệt độ thấp bất thường;
abnormally low temperatures;
 - chất rắn trong dòng khí;
solids in the gas stream;
 - mất bôi trơn;
loss of lubrication;
 - nhiệt độ ổ trục bất thường;
abnormal bearing temperature;
 - rung động bất thường;
abnormal vibration;
 - tốc độ bất thường;
abnormal speed;
 - tốc độ tới hạn;
critical speed;
 - thiết bị giãn nở bị bẩn do băng hoặc carbon dioxide;
fouling of the expander with ice or carbon dioxide;
 - khởi động và ngừng hoạt động; và
startup and shutdown; and
 - vận hành và bảo trì.
operating and maintenance.
- Lịch bảo trì có thể được sắp xếp dựa trên số giờ vận hành hoặc theo lịch dương tùy theo sự phù hợp nhất với thiết bị cụ thể.
Maintenance schedules can be arranged on an operating hours or calendar basis as most suitable for the specific equipment.

10.1. Mất tải và quá tốc / *Loss of loading and overspeed*

- Nếu vì bất kỳ lý do nào mà thiết bị tải không tiếp tục áp dụng tải lên trục thiết bị giãn nở, công việc được tạo ra bởi khí giãn nở sẽ khiến thiết bị giãn nở tăng tốc độ nhanh chóng đến mức có thể xảy ra hư hỏng cơ học.
If for any reason the loading device fails to continue to apply load to the expander shaft, the work created by the expanding gas causes the expander to rapidly increase its speed to a point where mechanical damage can occur.
- Thiết bị giãn nở phải được trang bị hệ thống kiểm soát ngừng hoạt động khi quá tốc, hệ thống này sẽ dừng máy khi mất tải xảy ra. Thiết bị giãn nở được tải bằng máy phát điện cũng phải được trang bị thiết bị đo lường để cảm nhận sự tách rời khỏi lưới điện và ngừng hoạt động máy trước khi xảy ra hư hỏng.
Expanders shall be equipped with an overspeed shutdown control system that stops the machine when loss of load occurs. Generator-loaded expanders also shall be equipped with instrumentation to sense a separation from the power grid and shut down the machine before damage can occur.

10.2. Nhiễm bẩn dầu vào quy trình / *Oil contamination of the process*

10.2.1. Thiết bị giãn nở tuabin / *Turboexpanders*

- Thiết bị giãn nở tuabin có hệ thống phốt khí mê cung để ngăn khí quy trình cực lạnh thoát ra khí quyển hoặc ổ trục và ngăn ngừa nhiễm bẩn dầu vào quy trình. Áp suất chất lỏng tương đối không phù hợp trong các khoang của hệ thống phốt hoặc mất áp suất khí phốt sẽ gây ra sự thoát khí quy trình lạnh hoặc dầu di chuyển dọc theo trục và đi vào dòng khí quy trình. Tùy thuộc vào thiết kế của thiết bị giãn nở tuabin, khí phốt có thể được cung cấp từ khí quy trình hoặc nguồn bên ngoài. Cần cung cấp nguồn khí phốt bên ngoài khi thiết bị giãn nở ngừng hoạt động để ngăn chặn sự di chuyển của khí lạnh và/hoặc khí giàu oxy vào phần bôi trơn bằng dầu của thiết bị giãn nở.
Turboexpanders have a labyrinth gas sealing system to prevent the escape of extremely cold process gas to the atmosphere or bearings and to prevent oil contamination of the process. Improper relative fluid pressures in the cavities of the seal system or loss of seal gas pressure causes the escape of cold process gas or oil migration along the shaft and into the process gas stream. Depending on the design of the turboexpander, the seal gas can be supplied from either the process gas or an external source. An external source of seal gas should be provided when the expander is shut down to prevent the migration of cold and/or oxygen-rich gas into the oil-lubricated section of the expander.

- Khí phốt phải khô, không dầu và được lọc để ngăn ngừa nhiễm bẩn hệ thống và hư hỏng thiết bị giãn nở.
Seal gas shall be dry, oil-free, and filtered to prevent system contamination and expander damage.
- Phép đo áp suất khí phốt phải được đưa vào hệ thống điều khiển của thiết bị giãn nở. Áp suất khí phốt phải được duy trì trên mức khuyến nghị tối thiểu của nhà sản xuất để cho phép khởi động và vận hành thiết bị giãn nở. Nếu áp suất khí phốt giảm xuống dưới mức khuyến nghị tối thiểu, thiết bị giãn nở và bơm dầu bôi trơn phải được ngừng hoạt động ngay lập tức. Nếu áp suất khí phốt giảm xuống dưới giá trị tối thiểu khi thiết bị giãn nở ngừng hoạt động, hệ thống điều khiển phải ngừng hoạt động bơm bôi trơn.
Seal gas pressure measurement shall be included in the expander's control system. The seal gas pressure shall be maintained above the manufacturer's minimum recommendation to allow starting and operating of the expander. If the seal gas pressure falls below the minimum recommendation, the expander and the lube oil pump shall be shut down immediately. If the seal gas pressure falls below the minimum value when the expander is shut down, the control system shall shut down the lubrication pump.
- Nếu dầu xuất hiện trong xả khí phốt, có sự gia tăng đáng kể trong tiêu thụ dầu bôi trơn, hoặc có bất kỳ lý do nào để nghi ngờ nhiễm bẩn dầu, thiết bị giãn nở nên được ngừng hoạt động và sửa chữa hoặc thay thế bằng một hộp dự phòng. Đường ống công nghệ kết nối với thiết bị giãn nở nên được kiểm tra xem có nhiễm bẩn dầu hay không và làm sạch nếu cần.
If oil appears in the seal gas vent, there is significant increase in lube oil consumption, or there is any reason to suspect oil contamination, the expander should be shut down and either repaired or replaced with a spare cartridge. Process piping connected to the expander should be inspected for any oil contamination and cleaned if required.

10.2.2. Thiết bị giãn nở kiểu piston/ Reciprocating expanders

- Có hai loại máy giãn nở kiểu piston: không bôi trơn và được bôi trơn.
There are two classes of reciprocating expanders: nonlubricated and lubricated.
- 10.2.2.1. Máy giãn nở kiểu piston không bôi trơn / Nonlubricated reciprocating expanders
 - Các máy không bôi trơn được thiết kế với các bộ phận cách ly hở, có chiều dài tăng cường và cần piston được lắp vòng chắn dầu để ngăn dầu di chuyển từ phần được bôi trơn của máy giãn nở. Bộ phận cách ly hở nên được kiểm tra thường xuyên để đảm bảo không có dầu tích tụ trong khu vực này.
Nonlubricated machines are designed with extra-length, open distance pieces and piston rods fitted with slinger collars to prevent oil migration from the lubricated section of the expander. The open distance piece should be inspected frequently to ensure there is no accumulation of oil in this area.
- 10.2.2.2. Máy giãn nở kiểu piston được bôi trơn / Lubricated reciprocating expanders
 - Mặc dù các động cơ giãn nở được bôi trơn bằng dầu được thiết kế với hệ thống làm sạch dầu, lượng dầu quá mức có thể gây quá tải hệ thống làm sạch và cuối cùng là gây ô nhiễm nhà máy.
Although oil-lubricated expansion engines are designed with oil cleanup systems, excessive oil can cause overloading of the cleanup system and ultimately contamination of the plant.
 - Tốc độ cấp dầu vào lòng chai phải được giữ ở mức tối thiểu, tương thích với tuổi thọ vòng (piston) tốt và tình trạng chai.
Oil feed rate to the cylinder bore should be kept to a minimum, compatible with good ring life and cylinder condition.
 - Lượng dầu đi qua chai của động cơ giãn nở được bôi trơn không chỉ giới hạn ở lượng dầu được đưa vào qua bộ bôi trơn chai. Dầu hộp trục khuỷu, đôi khi với số lượng vượt xa lưu lượng của bộ bôi trơn này, có thể được đưa vào ở đầu trục khuỷu của chai. Tình trạng này thường do trục trặc nào đó của gạt dầu cần piston hoặc do không xả dầu tích tụ khỏi các bộ phận cách ly.
The amount of oil passing through the cylinder of a lubricated expansion engine is not limited to that introduced through the cylinder lubricator. Crankcase oil,

sometimes in quantities far in excess of this lubricator flow, can be introduced at the crank end of the cylinder. This condition is usually caused by some malfunction of the piston rod oil wipers or failure to drain accumulated oil from the distance pieces.

- Trong trường hợp động cơ giãn nở được bôi trơn, phải chú ý kỹ đến thiết bị loại bỏ dầu. Thiết bị loại bỏ dầu thường thuộc loại lớp đệm đóng gói hoặc loại lọc cơ học. Thiết bị loại bỏ dầu được vận hành trong một khoảng thời gian cố định hoặc cho đến khi xảy ra độ sụt áp suất nhất định trên hệ thống. Vào thời điểm đó, hệ thống được đưa ra khỏi dịch vụ và thường được tái sinh bằng cách sử dụng dòng khí nóng (tốt nhất là khí trơ). Điều cần thiết là thể tích lưu lượng tái sinh và nhiệt độ dòng ra cuối cùng của nó phải được duy trì ở mức do nhà sản xuất quy định.

In the case of lubricated expansion engines, close attention shall be paid to the oil removal equipment. Oil removal equipment is usually of the packed-bed or mechanical-filter type. The oil removal equipment is operated either for a fixed period or until a given pressure drop across the system occurs. At such time the system is removed from service and usually regenerated using a flow of hot (preferably inert) gas. It is essential that the volume of regeneration flow and its ultimate effluent temperature be maintained at the level specified by the manufacturer.

- Sau khi tái sinh như vậy, hệ thống nên được làm mát đến nhiệt độ quy định trong hướng dẫn vận hành trước khi đưa trở lại hoạt động. Điều này đặc biệt quan trọng nếu dòng quy trình chứa đủ oxy để hỗ trợ quá trình đốt cháy.

Following such regeneration, the system should be cooled down to the temperature prescribed by operating instructions before being placed back in service. This is especially important if the process stream contains sufficient oxygen to support combustion.

- Một số hệ thống lọc cơ học được tái sinh bằng cách tháo vật liệu lọc ra khỏi bộ lọc và rửa bằng dung môi. Vật liệu đã rửa được sấy khô và lắp lại vào bộ lọc. Phải cẩn thận để đảm bảo rửa và sấy khô hoàn toàn, và đảm bảo rằng vật liệu được lắp đặt lại đúng cách để ngăn chặn việc bỏ qua bộ lọc.

Some of the mechanical filtration systems are regenerated by removing the filter media from the filter and washing it in a solvent. The washed media is dried and reinstalled in the filter. Care shall be taken to ensure complete washing and drying and to ensure that the media is properly reinstalled to prevent filter bypassing.

- Đường ống ngay sau lớp đệm đóng gói hoặc bộ lọc cơ học nên được kiểm tra thường xuyên trong giai đoạn vận hành ban đầu để xác định rằng không xảy ra hiện tượng bỏ qua bộ lọc hoặc xuyên thủng.

The piping immediately downstream from either a packed bed or a mechanical filter should be inspected frequently during initial periods of operation to ascertain that filter bypassing or breakthrough is not occurring.

- Các lớp đệm đóng gói nên được thay thế ít nhất thường xuyên theo khuyến nghị của nhà sản xuất trừ khi có đủ lịch sử vận hành cho phép kéo dài tuổi thọ lớp đệm.

Packed beds should be replaced at least as frequently as recommended by the manufacturer unless sufficient operating history exists to allow extending the bed life.

10.3. Hồng phốt trực / *Failure of shaft seals*

- Trong một số điều kiện nhất định, việc hồng phốt của máy giãn nở có thể dẫn đến quá áp của thiết bị phụ trợ, ví dụ: bình chứa dầu. Phải tiến hành phân tích sự cố để ngăn ngừa hoặc giảm thiểu các hậu quả tiềm ẩn của việc hồng phốt.

Under certain conditions, the failure of the expander seals can lead to overpressure of auxiliary equipment, for example, oil reservoir. A failure analysis shall be conducted to prevent or mitigate the potential consequences of seal failure.

10.4. Nhiệt độ thấp bất thường / *Abnormally low temperatures*

- Việc vận hành máy giãn nở dưới nhiệt độ điểm sương của khí đang được giãn nở sẽ tạo thành chất lỏng bên trong máy giãn nở. Sự hiện diện của chất lỏng trong chai động cơ giãn nở kiểu

piston gây ra hư hỏng lớn. Trong các máy giãn nở tuabin không được thiết kế để hóa lỏng một phần, sự hiện diện của các giọt chất lỏng có thể gây xói mòn vòi phun hoặc xói mòn cánh quạt, cả hai đều có thể gây mất hiệu suất, mất cân bằng và cuối cùng là hỏng hóc cơ học. Máy giãn nở tuabin được thiết kế để chịu được sự hiện diện của chất lỏng trong khí thải của chúng có thể được vận hành mà không có nguy cơ hư hỏng do xói mòn.

The operation of expanders less than the dew point temperature of the gas being expanded forms liquid in the expander. The presence of liquid in a reciprocating expansion engine cylinder causes major damage. In turboexpanders not designed for partial liquefaction, the presence of liquid droplets can cause nozzle erosion or impeller erosion, both of which can cause a loss of efficiency, unbalance, and eventual mechanical failure. Turboexpanders designed to tolerate the presence of liquid in their exhaust can be operated without the risk of erosion damage.

- Để xác định trạng thái của chất lỏng tại đầu ra của máy giãn nở, các điều kiện vận hành thiết kế của máy giãn nở nên được kiểm tra dựa trên các đặc tính vật lý (Biểu đồ Nhiệt độ-Entropy) của khí đang được giãn nở.

To determine the state of the fluid at the expander discharge, the design operating conditions of the expander should be checked against the physical properties (Temperature-Entropy Chart) of the gas being expanded.

- Để ngăn chặn sự hình thành chất lỏng trong các máy giãn nở không được thiết kế cho dịch vụ đó, nhiệt độ xả của máy giãn nở nên được duy trì không lạnh hơn 5 °F đến 15 °F (2.8 °C đến 8.3 °C) so với điểm sương của khí đang được giãn nở.

To prevent the formation of liquid in expanders not designed for such service, the discharge temperature of the expander should be maintained no colder than 5 °F to 15 °F (2.8 °C to 8.3 °C) above the dew point of the gas being expanded.

- Các máy giãn nở không được thiết kế để xử lý sự hình thành chất lỏng nên có thiết bị giám sát nhiệt độ ở đầu ra của máy giãn nở để cung cấp cảnh báo trong trường hợp nhiệt độ thấp.

Expanders not designed to handle liquid formation should have a temperature monitoring device in the expander discharge that provides an alarm in the event of low temperature.

- Nhiệt độ đầu vào của máy giãn nở nên được duy trì theo khuyến nghị của nhà sản xuất. Trong trường hợp cực đoan, nhiệt độ đầu vào rất lạnh có thể khiến chất lỏng hình thành trên các vòi phun đầu vào của máy giãn nở tuabin.

The expander inlet temperature should be maintained in accordance with the manufacturer's recommendation. In an extreme case, a very cold inlet temperature can cause liquid to generate over a turboexpander's inlet nozzles.

10.5. Vật thể rắn trong dòng khí / *Solids in gas stream*

- Khi có mặt trong dòng khí đầu vào của máy giãn nở, các hạt cặn ống hoặc hạt mịn chất hút ẩm có thể gây hư hỏng xói mòn nghiêm trọng cho các bộ phận bên trong của máy. Máy giãn nở tuabin đặc biệt dễ bị mòn vòi phun, cánh quạt và phốt khí mê cung. Động cơ giãn nở kiểu piston bị mòn vòng (piston) và lót (liner) nhanh hơn.

When present in the expander inlet gas stream, particles of pipe scale or desiccant fines can cause serious erosion damage to the machine's internal parts. Turboexpanders are especially susceptible to nozzle, impeller, and labyrinth gas seal wear. Reciprocating expansion engines experience accelerated ring and liner wear.

- Nên sử dụng lưới lọc đầu vào để giảm thiểu lượng hạt rắn đi vào máy giãn nở. Các lưới lọc này thường được làm bằng lưới dệt mịn. Độ sụt áp suất qua lưới lọc đầu vào nên được giám sát, và có thể được trang bị cảnh báo để xác định khi nào cần làm sạch hoặc thay thế và để đảm bảo rằng không xảy ra độ sụt áp suất quá mức, điều này có thể gây nổ. Lưới lọc nên được chế tạo sao cho định mức áp suất sụp đổ của nó lớn hơn áp suất vận hành dự kiến của máy giãn nở.

Inlet screens should be used to minimize the amount of solid particles entering the expander. These screens are ordinarily made of finely woven mesh. The pressure drop across the inlet screen should be monitored, and may be equipped with an alarm to determine when cleaning or replacement is necessary and to ensure that excessive pressure drop, which could cause rupture, does not occur. The screen should be constructed so that its collapse pressure rating is greater than the expected operating pressure of the expander.

10.6. Sự mất bôi trơn / *Loss of lubrication*

- Mất bôi trơn máy giãn nở nhanh chóng dẫn đến hư hỏng máy trên diện rộng. Ổ trục máy giãn nở tuabin được bôi trơn cưỡng bức bằng bơm dầu được nối trực tiếp hoặc bơm dẫn động

bằng điện. Ổ trục máy giãn nở kiểu piston được bôi trơn văng té từ hộp trục khuỷu hoặc bôi trơn cưỡng bức bằng bơm dẫn động trực tiếp từ trục khuỷu hoặc dẫn động từ xa.

Loss of expander lubrication quickly results in extensive machine damage. Turboexpander bearings are force-fed lubricated by either directly coupled oil pumps or electrically driven pumps. Reciprocating expander bearings are splash lubricated from the crankcase or force lubricated by pumps either directly driven from the crankshaft or remotely driven.

- Khi bơm dầu nối trực tiếp được sử dụng để bôi trơn, một bơm phụ dẫn động bằng điện hoặc bình tích áp cũng cần thiết. Áp suất dầu hệ thống phải được giám sát bằng cảm biến áp suất có thể khởi động bơm dầu phụ khi áp suất dầu giảm và tắt máy giãn nở nếu áp suất giảm thêm. Khi bơm dầu dẫn động bằng điện được sử dụng để bôi trơn, cần có bình tích áp để cung cấp bôi trơn trong quá trình chạy rà của máy giãn nở sau khi mất điện. Khi sử dụng bình tích áp, chúng nên được kích hoạt tự động.

When direct-coupled oil pumps are used for lubrication, an auxiliary electric-driven pump or accumulator reservoir is also necessary. The system oil pressure shall be monitored with a pressure sensor that can start the auxiliary oil pump when oil pressure falls and shut down the expander if the pressure falls further. When electrically driven oil pumps are used for lubrication, an accumulator reservoir is necessary to provide lubrication during an expander coastdown after loss of electric power. When accumulator reservoirs are used, they should be automatically activated.

- Áp suất bình tích áp nên được kiểm tra trong quá trình bảo trì định kỳ máy giãn nở.

The accumulator pressure should be checked during scheduled maintenance of the expander.

10.7. Nhiệt độ ổ trục bất thường / *Abnormal bearing temperature*

- Nhiệt độ ổ trục cao hoặc thấp bất thường có thể xảy ra trong quá trình vận hành máy giãn nở. Nhiệt độ ổ trục cao bất thường có thể xảy ra nếu lưu lượng dầu đến ổ trục bị hạn chế, tải trọng bất thường được áp dụng cho ổ trục hoặc ổ trục bị hỏng. Nhiệt độ ổ trục thấp bất thường thường xảy ra nhất đối với máy giãn nở tuabin và có thể xảy ra trong trường hợp rò rỉ phớt nặng hoặc nếu lưu lượng dầu bị hạn chế. Máy giãn nở tuabin và hầu hết các máy giãn nở kiểu piston đều có thiết bị đo nhiệt độ. Thiết bị này cũng nên cung cấp các chức năng cảnh báo và tắt máy. Nhân viên vận hành nên theo dõi các sai lệch đáng kể so với nhiệt độ vận hành bình thường và điều tra nguyên nhân của chúng. Việc phát hiện nhiệt độ ổ trục đầu lạnh thấp thường là một phần của mạch khởi động cho phép trên máy giãn nở tuabin.

Abnormally high or low bearing temperatures can be experienced in the operation of expanders. Abnormally high bearing temperatures can occur if oil flows to the bearing are restricted, abnormal loading is applied to the bearing or the bearing is damaged. Abnormally low bearing temperatures are most particular to turboexpanders and can occur in the event of heavy seal leakage or if oil flows are restricted. Turboexpanders and most reciprocating expanders have temperature-measuring instrumentation. This instrumentation should also provide alarm and shutdown functions. Operating personnel should watch for significant deviations from normal operating temperatures and investigate their causes. Low cold-end bearing temperature detection is often part of the permissive start circuitry on a turboexpander.

10.8. Rung động bất thường / *Abnormal vibration*

- Hư hỏng đáng kể có thể xảy ra đối với máy giãn nở tuabin bất cứ khi nào có rung động quá mức. Phải lắp đặt đầu dò và thiết bị giám sát rung động kiểu tiệm cận trên tất cả các máy giãn nở tuabin để đo chuyển động của trục và nên kích hoạt cảnh báo, hệ thống tắt máy, hoặc cả hai. Dữ liệu từ các cảm biến này nên được phân tích định kỳ. Nếu các chỉ số bất thường hoặc nếu máy giãn nở tuabin tắt máy do rung động cao, việc xem xét cẩn thận dữ liệu bởi các chuyên gia có thể cung cấp thông tin chi tiết về nguyên nhân của các chỉ số rung động cao. Máy giãn nở tuabin phải không được khởi động lại cho đến khi nguyên nhân của chỉ số rung động quá mức được giải quyết.

Significant damage can occur to a turboexpander whenever there is excessive vibration. Proximity-type vibration probes and monitors shall be installed on all turboexpanders to measure shaft movement and should actuate alarms, shutdown systems, or both. The data from these sensors should be periodically analyzed. If the readings are abnormal or if the turboexpander shuts down on high vibration, careful review of the data by experts can provide insights into the cause of the high vibration readings. The turboexpander shall not be restarted until the cause of the excessive vibration reading is resolved.

- Bộ giãn nở kiểu piston thường có công tắc địa chấn.

A reciprocating expander typically has a seismic switch.

10.9. Tốc độ bất thường / *Abnormal speed*

- Tốc độ bất thường là tốc độ vận hành vượt quá giới hạn thiết kế hoặc ở mức không tạo ra độ lạnh cần thiết. Bộ giãn nở tuabin dễ bị hư hỏng nếu vận hành vượt quá giới hạn thiết kế. Việc tích hợp giới hạn tốc độ quá mức vào hệ thống điều khiển bộ giãn nở là một thực hành thiết kế tốt. Bộ giãn nở tuabin nên được trang bị các cảnh báo và điều khiển ngừng hoạt động để bảo vệ chống lại việc vận hành vượt quá giới hạn thiết kế.

Abnormal speed is either operating in excess of the design limit or at a level that does not produce the required refrigeration. Turboexpanders are susceptible to damage if operated in excess of the design limits. It is a good design practice to incorporate an excessive speed limit into the expander control system. Turboexpanders should be equipped with alarms and shutdown controls to protect against operation in excess of the design limits.

10.10. Tốc độ tới hạn / *Critical speed*

- Bộ giãn nở tuabin dễ bị hư hỏng nếu vận hành gần tần số cộng hưởng tới hạn. Các tốc độ tới hạn này, dựa trên tần số cộng hưởng (vùng cấm dừng), được nhà sản xuất xác định. Trong quá trình khởi động, cần phải nhanh chóng vượt qua bất kỳ tần số cộng hưởng tới hạn nào trong khi tải bộ giãn nở tuabin. Việc tích hợp giới hạn tốc độ vào hệ thống điều khiển bộ giãn nở là một thực hành thiết kế tốt. Nếu nhà sản xuất xác định vùng cấm dừng, cần lắp đặt hệ thống ngừng hoạt động thích hợp.

Turboexpanders are susceptible to damage if operated near a critical resonance frequency. These critical speeds, based on resonance frequencies (no-dwell zones) are defined by the manufacturer. During startup, it is necessary to pass quickly through any critical resonance frequencies while loading the turboexpander. It is a good design practice to incorporate speed limits into the expander control system. If the manufacturer defines a no-dwell zone, an appropriate shutdown should be installed.

10.11. Sự bám bẩn bộ giãn nở do băng hoặc carbon dioxide / *Fouling of expander with ice or carbon dioxide*

- Hiệu suất của bộ giãn nở có thể bị ảnh hưởng xấu do sự hình thành các cặn băng nước hoặc carbon dioxide, có thể trên lưới lọc đầu vào hoặc bên trong bản thân bộ giãn nở. Các nguồn tạp chất điển hình này là:

Expander performance can be adversely affected by the formation of water ice or carbon dioxide deposits either on the inlet screen or within the expander itself. Typical sources of these contaminants are:

- sự xuyên thủng của bộ tiền lọc;
prepurifier breakthrough;
- rò rỉ nước từ bộ làm mát máy nén;
water leakage from compressor coolers;
- sự cố REVEX;
REVEX upset;
- hút không khí quyển trong quá trình ngừng hoạt động; và
atmospheric air aspiration during a shutdown; and
- khử băng không đúng cách.
improper deriming.

- Sự bám bẩn bộ giãn nở có thể xảy ra ngay sau một trong các sự kiện này hoặc khi các tạp chất tích tụ di chuyển từ nơi khác bên trong hộp lạnh khi điều kiện vận hành thay đổi.

Fouling of the expander can occur immediately following one of these events or when accumulated contaminants migrate from elsewhere within the coldbox when operating conditions change.

- Người vận hành nên theo dõi hiệu suất của bộ giãn nở cũng như áp suất chênh lệch qua lưới lọc đầu vào của bộ giãn nở. Hiệu suất giảm sút hoặc áp suất chênh lệch cao có thể cho thấy bộ giãn nở bị bám bẩn. Nhu cầu khử băng bộ giãn nở thường xuyên có thể cho thấy vấn đề bám bẩn đang diễn ra.

Operators should monitor the expander performance as well as the differential pressure across the expander inlet screen. Deterioration of the performance or high differential pressure can indicate expander fouling. The need for frequent deriming of the expander can indicate an ongoing fouling problem.

10.12. Khởi động và dừng máy / *Startup and shutdown*

- Phải tuân theo quy trình khởi động được nhà sản xuất thiết bị khuyến nghị để áp dụng tải. Cần đặc biệt cẩn thận khi tải bộ giãn nở. Bộ giãn nở tuabin có thể yêu cầu tải được áp dụng nhanh chóng để tránh vận hành ở tốc độ thấp hoặc tốc độ tới hạn có thể làm hỏng bộ giãn nở.

The equipment manufacturer's recommended starting procedure to apply the load should be followed. Special care should be exercised in loading the expander. A turboexpander can require that the load be applied quickly to avoid operating at low or critical speeds that could damage the expander.

- Việc ngừng hoạt động phải được thiết kế để dừng dòng khí đến bộ giãn nở bằng cách đóng van đầu vào bộ giãn nở. Việc đóng các vòi phun đầu vào của bộ giãn nở tuabin hoặc di chuyển cam động cơ giãn nở kiểu piston đến vị trí không có dòng chảy cũng là một thực hành tốt. Đối với các bộ giãn nở tải bằng máy phát điện, hệ thống điều khiển phải được thiết kế để ngăn máy phát điện bị ngắt kết nối trước khi dòng khí được dừng lại. Việc không làm như vậy có thể gây hư hỏng cho máy giãn nở. Luôn phải thực hiện kiểm tra đầy đủ chức năng của hệ thống điều khiển an toàn bộ giãn nở trong quá trình bảo trì định kỳ của bộ giãn nở.

Shutdowns shall be designed to stop the gas flow to the expander by closing the expander inlet valve. It is also a good practice to close the turboexpander inlet nozzles or move the reciprocating expansion engine cam to the no flow position. For generator-loaded expanders, the control system shall be designed to prevent the disengagement of the generator before the gas flow has been stopped. Failure to do so can cause damage to the expander machine. A complete functionality test of the expander safety control system should always be performed during normally scheduled maintenance of the expander.

- Do thiết kế của nó, bộ giãn nở tải bằng máy phát điện có thể hoạt động như một máy nén nếu máy phát điện hoạt động như một động cơ. Điều này có thể dẫn đến quá nhiệt và hư hỏng cơ học nghiêm trọng. Hệ thống an toàn điều khiển nên được thiết kế để ngăn máy phát điện của bộ giãn nở hoạt động như một động cơ bằng cách tích hợp các thiết bị cảm biến điện đặc biệt. Mặc dù một số thiết kế hệ thống điều khiển bộ giãn nở đòi hỏi phải khởi động bộ giãn nở bằng cách biến máy phát điện thành động cơ trước, nhưng đây không phải là thực hành thiết kế hiện tại.

Due to its design, the generator-loaded expander can operate as a compressor if the generator acts as a motor. This can lead to overheating and severe mechanical damage. The control safety system should be designed to prevent the expander generator from operating as a motor by incorporating special electrical sensing devices. Although some early expander control system designs allowed starting the expander by first motorizing the generator, this is not the current design practice.

10.13. Quy trình vận hành và bảo trì / *Operating and maintenance procedures*

- Phải sử dụng các quy trình bằng văn bản để khởi động, vận hành và ngừng hoạt động từng bộ giãn nở và thiết bị tải của nó. Các thông số vận hành chính phải được theo dõi định kỳ. Các điều kiện và xu hướng bất thường phải được điều tra và giải quyết.

Written procedures shall be used to start, operate, and shut down each expander and its loading device. The key operating parameters shall be monitored periodically. Abnormal conditions and trends shall be investigated and resolved.

- Nên chuẩn bị lịch bảo trì phòng ngừa cho từng bộ giãn nở và thiết bị tải của nó. Tần suất nên dựa trên khuyến nghị của nhà cung cấp ban đầu và cuối cùng là dựa trên dữ liệu lịch sử.

A preventive maintenance schedule should be prepared for each expander and its loading device. Frequencies should be based initially on vendor recommendations and eventually on historical data.

- Bảo trì động cơ giãn nở kiểu piston thường được thực hiện hàng năm.

Maintenance on reciprocating expansion engines is typically performed annually.

11. Bơm siêu lạnh / *Cryogenic pumps*

- Phần này tóm tắt một số yếu tố thiết kế và vận hành ảnh hưởng đến hoạt động và bảo trì bơm siêu lạnh. Thông tin bổ sung về thiết kế và vận hành bơm siêu lạnh có thể được tìm thấy trong AIGA 055, Bơm Oxy Lỏng Ly Tâm Cố Định, Dẫn Động Bằng Động Cơ Điện và AIGA 089, Bơm Siêu Lạnh Kiểu Piston và Lắp Đặt Bơm cho Oxy, Argon và Nitơ [62, 63].

This section briefly reviews a number of design and operational factors that affect the operation and maintenance of cryogenic pumps. Additional information on the design and operation of cryogenic pumps can be found in AIGA 055, Stationary, Electric-Motor-Driven, Centrifugal Liquid Oxygen Pumps and AIGA 089, Reciprocating Cryogenic Pumps and Pump Installations for Oxygen, Argon, and Nitrogen [62, 63].

11.1. Tổng quan / *General*

- Thiết kế chức năng và vận hành của một nhà máy phân tách khí có thể phụ thuộc vào việc ứng dụng một hoặc nhiều bơm chất lỏng siêu lạnh. Loại bơm được sử dụng có thể khác nhau tùy thuộc vào yêu cầu của quy trình hoặc người dùng cuối. Các bơm này có thể được yêu cầu để:

The functional design and operation of an air separation plant can depend on the application of one or more cryogenic liquid pumps. The type of pump used can vary depending on the requirements of the process or the end user. These pumps can be required to:

- chuyển chất lỏng quy trình từ tháp chưng cất này sang tháp chưng cất khác;
transfer process liquids from one distillation column to another;
 - tuần hoàn oxy lỏng qua bộ đun sôi lại;
circulate liquid oxygen through a reboiler;
 - tuần hoàn chất lỏng quy trình qua bộ hấp phụ;
circulate process liquids through an adsorber;
 - bơm sản phẩm lỏng giữa quy trình và bồn tồn chứa;
pump liquid products between the process and storage tanks;
 - bơm sản phẩm lỏng đến áp suất cao hơn để hóa hơi trong bộ trao đổi nhiệt chính của ASU;
pump liquid products to a higher pressure for vaporization in the ASU main heat exchanger;
 - bơm sản phẩm lỏng từ bồn tồn chứa áp suất thấp vào bồn tồn chứa áp suất cao và/hoặc bộ hóa hơi dự phòng; và
pump liquid products from low pressure storage into high pressure storage tanks and/or back-up vaporizers; and
 - bơm sản phẩm lỏng giữa các bồn tồn chứa và xe kéo hoặc toa xe lửa.
pump liquid products between storage tanks and trailers or railcars.
- Nhà thiết kế nhà máy phải xác định hàm lượng oxy của chất lỏng được bơm trong tất cả các chế độ vận hành. Nếu bất kỳ chế độ vận hành nào dẫn đến chất lỏng giàu oxy, phải sử dụng các loại bơm phù hợp cho dịch vụ oxy.
The plant designer shall determine the oxygen content of the pumped fluid during all modes of operation. If any operating mode results in oxygen-enriched fluid, pumps that are suitable for oxygen service shall be used.

11.2. Các loại bơm / *Types of pumps*

11.2.1. Ly tâm / *Centrifugal*

- Bơm ly tâm có thể được thiết kế để đáp ứng nhiều yêu cầu về lưu lượng và tạo cột áp. Các bơm này có thể được lắp đặt theo chiều ngang hoặc chiều dọc. Kích thước cánh quạt, tốc độ quay trục và số tầng bơm xác định lưu lượng và áp suất có thể đạt được. Các quy tắc thiết kế cụ thể cho bơm oxy ly tâm được đề cập trong AIGA 055 [62].
A centrifugal pump can be designed to meet a wide range of flow and head generating requirements. These pumps can be mounted either horizontally or vertically. Impeller size, shaft rotating speed, and the number of pump stages determine the achievable flow and pressures. Specific design rules for centrifugal oxygen pumps are addressed in AIGA 055 [62].

11.2.2. Kiểu piston / *Reciprocating*

- Bơm kiểu piston là thiết bị tạo lưu lượng thể tích thấp/cột áp cao. Đường ống đầu vào và áo xi lanh thường được cách nhiệt chân không để giảm thiểu rò rỉ nhiệt và ngăn chặn sự hóa hơi chất lỏng đầu vào. Bộ giảm chấn xung có thể giảm thiểu hiệu ứng búa nước gây ra bởi tốc độ tịnh tiến cao của piston.
A reciprocating pump is a low volume flow/high head generating device. The inlet piping and cylinder jacket are often vacuum-insulated to minimize heat leak and prevent inlet liquid vaporization. Pulsation dampeners can minimize fluid hammer effects caused by the high reciprocating speed of the piston.
- Bơm kiểu piston có thể được sử dụng liên tục trong ASU để loại bỏ sản phẩm lỏng, điển hình là oxy, và bơm nó đến áp suất rất cao trước khi nó được hóa hơi trong bộ trao đổi nhiệt chính. Bơm kiểu piston cũng có thể được sử dụng không liên tục để loại bỏ sản phẩm lỏng khỏi bồn tồn chứa và bơm nó đến áp suất rất cao trước khi nó được hóa hơi trong bộ trao đổi nhiệt. Sản phẩm đã hóa hơi có thể được sử dụng để nạp vào các chai khí áp suất cao hoặc bình chứa khí.
A reciprocating pump may be used continuously within the ASU to remove a liquid product, typically oxygen, and pump it to a very high pressure before it is vaporized in the main heat exchanger. A reciprocating pump may also be used intermittently to remove a liquid product from storage and pump it to a very high pressure before it is vaporized in a heat exchanger. The vaporized product can be used to fill high pressure gas cylinders or gas receivers.
- Xem AIGA 089 để biết thêm thông tin về bơm kiểu piston [63].
See AIGA 089 for additional information on reciprocating pumps [63].

11.3. Vật liệu chế tạo / *Materials of construction*

- Tất cả các bơm siêu lạnh phải được chế tạo bằng vật liệu phù hợp với các điều kiện quy trình dự kiến để đảm bảo dịch vụ an toàn và đáng tin cậy. Hàm lượng oxy của chất lỏng được xử lý có thể thay đổi về độ tinh khiết từ rất cao đến không đáng kể tùy thuộc vào điều kiện quy trình. Độ tinh khiết của chất lỏng trong toàn bộ phạm vi vận hành bao gồm vận hành bình thường, khởi động, ngừng hoạt động và sự cố quy trình phải được xem xét khi xác định xem bơm có được thiết kế cho dịch vụ oxy hay không.

All cryogenic pumps shall be constructed with materials suitable for the intended process conditions to ensure safe and reliable service. The oxygen content of the fluid handled can vary in purity from very high to insignificant depending on process conditions. The fluid purities over the entire operating range including normal operation, startup, shutdown, and process upsets shall be considered when determining whether a pump is designed for oxygen service.

11.4. Thiết kế hệ thống bơm / *Pump system design*

- Khi thiết kế và lắp đặt bơm siêu lạnh, phải chú ý đảm bảo rằng các ứng suất đường ống do co ngót khi làm lạnh đường ống, trọng lượng chất lỏng, sự hình thành băng và lực động học khi bơm hoạt động được cách ly khỏi vỏ bơm để ngăn ngừa hư hỏng. Điều này có thể đạt được bằng cách thiết kế tính linh hoạt vào hệ thống đường ống hút và xả của bơm, đồng thời cung cấp giá đỡ phù hợp cho các đường ống này. Một phương pháp thiết kế cách ly là sử dụng các kết nối mềm như ống mềm bên tại các điểm kết nối bơm vào hệ thống đường ống.

When designing and installing a cryogenic pump, care shall be taken to ensure that piping stresses due to pipe cooldown shrinkage, liquid weight, ice formation, and pump operating dynamic forces are isolated from the pump housing to prevent damage. This can be accomplished by designing flexibility into the pump's suction and discharge piping system and by providing proper support for these lines. A design method of isolation is to use flexible connections such as braided flexible hoses at pump tie-in points to the piping system.

- Phải lắp đặt lưới lọc đầu vào bơm trong đường ống hút để ngăn các hạt làm hỏng bơm. Kích thước mắt lưới lọc đầu vào được khuyến nghị phải do nhà sản xuất bơm xác định, xem AIGA 055 và AIGA 089 [62, 63]. Nên lắp đặt lưới lọc đầu vào giữa bơm và kết nối mềm.

A pump inlet screen shall be installed in the suction line to prevent particles from damaging the pump. The recommended inlet screen mesh size shall be determined by the pump manufacturer, see AIGA 055 and AIGA 089 [62, 63]. It is preferable to install the inlet screen between the pump and the flexible connection.

- Hệ thống đường ống cho bơm siêu lạnh phải được thiết kế để không rò rỉ bằng cách giảm thiểu việc sử dụng các kết nối ren và mặt bích. Chất lỏng siêu lạnh bị rò rỉ có thể làm nứt vỏ thép carbon, khung lắp đặt và vỏ động cơ, đồng thời có thể làm đóng băng ổ trục động cơ.

The piping system for cryogenic pumps shall be designed to be leak-free by minimizing the use of threaded and flanged connections. Leaking cryogenic fluids can crack carbon steel enclosures, mounting frames, and motor housings and can also freeze motor bearings.

- **CẢNH BÁO: Rò rỉ oxy xung quanh động cơ truyền động bơm có thể gây ra tình trạng cực kỳ nguy hiểm dẫn đến cháy hoặc nổ.**

CAUTION: Oxygen leaks around pump drive motors can cause an extremely hazardous condition resulting in a fire or explosion.

- Phải lắp đặt Thiết bị giảm áp (PRD) trên đường ống hút của bơm để bảo vệ vỏ bơm và phốt khỏi quá áp trong trường hợp chất lỏng bị mắc kẹt. Áp suất cài đặt của thiết bị giảm áp này phải thấp hơn áp suất làm việc tối đa cho phép (MAWP) của vỏ bơm và phốt. Thiết bị giảm áp (PRD) cũng có thể cần thiết trên đường ống xả.

A PRD shall be installed on the pump suction line to protect the pump housing and seal from overpressure in the event of a trapped liquid condition. The set pressure of this relief device shall be below the maximum allowable working pressure (MAWP) of the pump housing and seal. A PRD may also be needed on the discharge piping.

- Vị trí và cách bố trí bơm cùng với đường ống của nó phải được xem xét cho việc làm lạnh và môi bơm, đồng thời để giảm thiểu tổn thất sản phẩm. Đường ống hút bơm từ bồn chứa chất lỏng nên càng ngắn càng tốt với số lượng đoạn cong và phụ kiện tối thiểu. Cột áp hút dương thực (NPSH) đầy đủ nên có sẵn ở tất cả các mức chất lỏng trong bồn chứa để tránh hiện tượng xâm thực bơm. Đường làm lạnh và hồi lưu bơm, được trang bị van điều khiển thích hợp, nên đưa khí lạnh và chất lỏng bơm dư thừa trở lại bồn chứa chất lỏng khi bơm đang làm lạnh hoặc hoạt động. Chức năng hồi lưu có thể được tự động hóa bằng thiết bị đo lường kiểm soát áp suất. Bất kỳ chất lỏng xả nào cũng nên được xả đến một vị trí an toàn (xem 17.2). Nên

cung cấp các van để cách ly bơm khỏi nguồn cung cấp chất lỏng khi không sử dụng hoặc trong trường hợp khẩn cấp. Cũng nên cung cấp một van một chiều xả.

The location and arrangement of the pump and its piping shall be considered for pump cooldown and priming and to minimize loss of product. The pump suction piping from the liquid reservoir should be as short as possible with a minimum of bends and fittings. Adequate net positive suction head (NPSH) should be available at all liquid reservoir levels to avoid pump cavitation. A pump cooldown and recirculation line, equipped with an appropriate control valve, should return cold gas and excess pumped liquid back to the liquid reservoir when the pump is cooling down or operating. The recirculation function can be automated with pressure control instrumentation. Any vented liquid should be discharged to a safe location (see 17.2). Valves should be provided to isolate the pump from the liquid supply when not in use or in the event of an emergency. A discharge check valve should also be provided.

- Khu vực phốt trực cơ khí của bơm phải được thông thổi bằng khí khô trơ để hạn chế sự hình thành băng xung quanh phốt.

A pump mechanical shaft seal area shall be purged with an inert dry gas to limit ice formation around the seal.

- Cách nhiệt thích hợp cho đường ống hút bơm siêu lạnh là điều cần thiết để giảm thiểu rò rỉ nhiệt vào chất lỏng hút, đảm bảo dễ dàng khởi động và bơm hoạt động tốt. Rò rỉ nhiệt của đường ống hút phải được tính vào phép tính NPSH của bơm. Hệ thống cách nhiệt được sử dụng có thể bao gồm ống dẫn đường ống kim loại và hộp bơm hoặc cách nhiệt từng bộ phận đường ống riêng lẻ (cách nhiệt ô kín hoặc vỏ chân không) và nên được bịt kín để chống ẩm xâm nhập. Nếu sử dụng thiết kế cách nhiệt bằng ống dẫn kim loại và hộp bơm, nó phải được thông thổi bằng khí trơ. Thông thường, nếu sử dụng thiết kế hộp bơm, tất cả các van cách ly hút và xả cần thiết, lưới lọc đầu vào, kết nối mềm và van một chiều đều nằm bên trong hộp bơm. Nên tránh các điểm cao nơi khí có thể bị mắc kẹt trong hệ thống đường ống.

Proper insulation of a cryogenic pump suction pipe is essential to minimize heat leak into the suction liquid, ensuring ease of pump priming and good pump operation. The suction piping heat leak shall be included in the pump NPSH calculation. The insulation system used may include a metal piping duct and pump box or individual piping component insulation (either closed-cell insulation or vacuum jacketed) and should be sealed against moisture infiltration. If the metal duct and pump box insulation design is used, it shall be purged with an inert gas. Typically, if the pump box design is used, all required suction and discharge isolation valves, inlet strainers, flexible connections, and check valves are located within the pump box. High points where gas can be trapped in piping systems should be avoided.

- Tùy thuộc vào yêu cầu thiết kế công nghệ, đường ống xả từ bơm, bao gồm cả đường làm lạnh và hồi lưu bơm, có thể không được cách nhiệt. Trong trường hợp không có cách nhiệt, phải cung cấp biển cảnh báo và/hoặc bảo vệ cá nhân.

Depending on process design requirements, the discharge piping from a pump including the pump cooldown and recirculation line may not be insulated. Where there is no insulation, warning signs and/or personnel protection shall be provided.

11.5. **Cân nhắc đặc biệt đối với ứng dụng oxy / *Special considerations for oxygen service***

- Có những cân nhắc đặc biệt đối với thiết kế và vận hành an toàn của bơm oxy. Chúng bao gồm:

There are special considerations for safe design and operation of an oxygen pump. These include:

- vật liệu chế tạo;
- materials of construction;
- vị trí và điều khiển van cách ly và van xả;
- isolation and drain valve location and controls;
- phát hiện rò rỉ phốt;
- seal leak detection;
- tính tương thích oxy của chất bôi trơn; và
- oxygen compatibility of lubricants; and
- thông thổi động cơ và phốt.
- purge of motors and seals.

- Chi tiết các cân nhắc đối với ứng dụng oxy được nêu trong AIGA 055 [62].

Details of considerations for oxygen service are given in AIGA 055 [62].

11.6. **Động cơ bơm / *Pump motor***

- Động cơ bơm nên có kích thước phù hợp để xử lý mọi tải trọng dự kiến mà bơm yêu cầu. Bơm ly tâm có thể vượt quá công suất định mức của động cơ trong điều kiện áp suất xả thấp và bơm nên được trang bị bảo vệ quá tải động cơ. Bơm ly tâm trực đứng và trực ngang được dẫn động bằng trục động cơ kéo dài được nối trực tiếp phải có phương tiện chắc chắn để cố định vị trí dọc trục của trục động cơ. Điều này thường được thực hiện bằng ổ trục chặn.
The pump motor should be properly sized to handle any anticipated loads required of the pump. It is possible for a centrifugal pump to exceed the motor's rated power output under low discharge pressure conditions and it should be provided with motor overload protection. Vertical and horizontal centrifugal pumps driven by direct-coupled extension of the motor shaft shall have positive means to fix the axial position of the motor shaft. This is usually accomplished by a thrust bearing.
- Nên có một rào cản nhiệt thích hợp, bằng cách sử dụng đoạn cách ly hoặc vật liệu cách nhiệt, giữa bơm và vỏ ổ trục đầu truyền động động cơ để bảo vệ ổ trục khỏi nhiệt độ cực thấp. Trong trường hợp trục động cơ được kết nối trực tiếp với bơm và bơm ngừng hoạt động ở nhiệt độ siêu lạnh trong thời gian dài, nên cung cấp bộ gia nhiệt điện cho ổ trục đầu truyền động động cơ. Động cơ như vậy cũng có thể được trang bị bộ gia nhiệt không gian động cơ.
There should be an adequate thermal barrier, by means of either a distance piece or insulating material, between the pump and the motor drive end bearing housing to protect the bearing from extreme low temperatures. Where the motor shaft is directly connected to the pump and the pump is shut down at cryogenic temperatures for extended periods, a motor drive end bearing electrical heater should be provided. Such a motor may also be equipped with a motor space heater.
- Động cơ trong ứng dụng oxy phải là loại kín hoàn toàn, làm mát bằng quạt hoặc loại kín hoàn toàn, thông gió cưỡng bức.
Motors in oxygen service shall be of the totally enclosed, fan-cooled type or totally enclosed forced ventilation type.
- Chất bôi trơn ổ trục động cơ cho động cơ bơm nitơ lỏng hoặc argon lỏng nên là mỡ và dầu gốc khoáng, định mức nhiệt độ thấp, nếu thiết kế động cơ cách ly các bộ phận được bôi trơn khỏi bơm. Phải cẩn thận để đảm bảo rằng không có chất bôi trơn ổ trục động cơ nào có thể đi vào đường ống công nghệ. Xem AIGA 055 để biết các yêu cầu bôi trơn đối với động cơ trong ứng dụng oxy [62].
Motor bearing lubrication for liquid nitrogen or liquid argon pump motors should be low temperature-rated, mineral oil-based greases and oils, if the motor design isolates the lubricated components from the pump. Care should be taken to ensure that no motor bearing lubricant could enter the process piping. See AIGA 055 for lubrication requirements for motors in oxygen service [62].

11.7. Vận hành bơm / Pump operation

- Tránh khởi động bơm cho đến khi bơm đạt đến nhiệt độ hoạt động dự kiến để đảm bảo duy trì môi bơm và ngăn ngừa hư hỏng thiết bị. Mất môi bơm có thể do làm lạnh dưới mức chất lỏng không đủ, mức chất lỏng trong bồn chứa không đủ hoặc sụt áp cao qua lưới lọc đầu vào. Bơm ly tâm cũng có thể mất môi nếu áp suất xả trở nên quá cao hoặc quá thấp.
Avoid starting a pump until it has reached the intended operating temperature to ensure that pump prime is maintained and to prevent equipment damage. Loss of pump prime can be caused by insufficient liquid subcooling, insufficient liquid reservoir level, or high inlet screen pressure drop. A centrifugal pump can also lose prime if the discharge pressure becomes too high or too low.
- Các mục sau đây là các quy tắc vận hành đối với bơm siêu lạnh:
The following items are operating practices for cryogenic pumps:
 - Bơm trong ứng dụng oxy lỏng hoặc oxy làm giàu phải được dừng lại nếu có bất kỳ dấu hiệu trục trặc nào như rò rỉ phớt quá mức, cọ xát bên trong hoặc tiếng ồn bất thường;
Pumps in liquid oxygen or oxygen-enriched service shall be shut down if there is any evidence of malfunctioning such as excessive seal leakage, internal rubbing, or unusual noise;
 - Bơm trong ứng dụng chất lỏng trơ nên được dừng lại nếu có bất kỳ dấu hiệu trục trặc nào như rò rỉ phớt quá mức, cọ xát bên trong hoặc tiếng ồn bất thường;
Pumps in inert liquid service should be shut down if there is any evidence of malfunctioning such as excessive seal leakage, internal rubbing, or unusual noise;
 - Bơm oxy ở chế độ chờ lạnh phải được xả và thông thổi định kỳ bằng chất lỏng mới để ngăn ngừa sự tích tụ hydrocarbon trong chất lỏng bơm theo thời gian;
An oxygen pump in cold standby shall be periodically drained and purged with fresh liquid to prevent the accumulation of hydrocarbons in the pump liquid over time;

- Bơm được trang bị ổ trục ngoài không nên ngừng hoạt động và bị ngập trong chất lỏng trừ khi đã cung cấp các phương tiện để ngăn ngừa làm lạnh quá mức các ổ trục ngoài của bơm; và
A pump equipped with external bearings should not remain shut down and flooded with liquid unless means have been provided to prevent excessive cooling of pump external bearings; and
- Bơm vận hành thủ công phải được giám sát tại chỗ trong khi nó đang chạy để có thể thực hiện hành động khắc phục khi cần thiết.
A manually operated pump shall be monitored locally while it is running so that corrective action can be taken as required.
- Bơm nạp xe bồn có thể là tự động hoặc thủ công. Xem CGA P-31 để biết thêm thông tin [17].
Tanker loading pumps can be automatic or manual. See CGA P-31 for additional information [17].
- Việc bảo vệ chống mất lưu lượng hoặc xâm thực bơm có thể được cung cấp bằng cách giám sát tải điện động cơ thấp, áp suất xả bơm thấp, áp suất chênh lệch thấp qua bơm hoặc NPSH thấp. Thiết bị NPSH cũng có thể được cung cấp để ngăn bơm khởi động mà không có đủ thời gian làm lạnh bơm hoặc cột áp đầu vào cần thiết. Đối với bơm oxy, việc bảo vệ phải tuân thủ AIGA 055 [62].
Protection against pump loss of flow or cavitation may be provided by monitoring for low motor electrical load, low pump discharge pressure, low differential pressure across the pump, or low NPSH. An NPSH device also may be provided to prevent starting of a pump without sufficient pump cool down or required inlet head. For oxygen pumps, the protection shall be in accordance with AIGA 055 [62].

11.8. Quy trình vận hành và bảo trì / *Operating and maintenance procedures*

- Quy trình bằng văn bản phải được sử dụng để khởi động, vận hành và dừng từng cụm bơm. Xem AIGA 055 để biết thêm thông tin chi tiết về quy trình bằng văn bản cho bơm oxy [62]. Các thông số vận hành chính phải được theo dõi định kỳ. Các điều kiện và xu hướng bất thường phải được điều tra và giải quyết.
Written procedures shall be used to start, operate, and shut down each pump unit. See AIGA 055 for more detailed information on written procedures for oxygen pumps [62]. The key operating parameters shall be monitored periodically. Abnormal conditions and trends shall be investigated and resolved.
- Nên chuẩn bị lịch bảo trì phòng ngừa cho từng cụm bơm. Tần suất nên dựa trên khuyến nghị của nhà cung cấp và/hoặc kinh nghiệm của người dùng.
A preventive maintenance schedule should be prepared for each pump unit. Frequencies should be based on vendor recommendations and/or user experience.
- Cần xác định sự quay tự do của trục bơm sau khi bảo trì bơm.
Free pump shaft rotation should be ascertained after pump maintenance.

12. Hộp lạnh / *Coldbox*

- AIGA 079, *Thiết kế và Vận hành An toàn Hộp Siêu lạnh*, xem xét thiết kế và vận hành an toàn của hộp lạnh [64].
AIGA 079, Safe Design and Operation of Cryogenic Enclosures, reviews the safe design and operation of the coldbox [64].
- Thông tin bổ sung về thiết kế và vận hành của thiết bị hộp lạnh cụ thể có thể tìm được trong AIGA 057, AIGA 035, và AIGA 076 [2, 43, 20].
Additional information on the design and operation of specific coldbox equipment can be found in AIGA 057, AIGA 035, and AIGA 076 [2, 43, 20].

12.1. Loại bỏ vật chất dạng hạt / *Removing particulate material*

- Các thiết bị lọc cơ học có thể được yêu cầu để ngăn chặn sự di chuyển của vật chất qua hệ thống quy trình. Chúng thường được đặt tại nguồn vật chất di chuyển và tại đầu vào của thiết bị có thể nhạy cảm với sự hiện diện của chúng. Ví dụ là:
Mechanical filtering devices can be required to prevent the migration of materials through the process system. They are usually located at the source of the migrating material and at the inlet of equipment that could be sensitive to its presence. Examples are:
 - Nên cung cấp lưới lọc đầu vào và đầu ra để giữ chất hấp phụ trong các bình chứa;
Inlet and outlet screens should be provided to retain the adsorbent in the vessels;
 - Nên cung cấp lưới lọc tại đầu hút của bơm hoặc máy giãn nở và máy nén; và
Screens should be provided at pump or expander and compressor suctions; and
 - Có thể cung cấp lưới lọc khi làm bay hơi oxy đến khô, xem AIGA 057 [2].

Screens may be provided when boiling oxygen to dryness, see AIGA 057 [2].

- Do mục đích cụ thể của chúng là giữ lại hoặc tích tụ vật chất di chuyển, các thiết bị này nên được kiểm tra và làm sạch định kỳ.
Because of their specific purpose to retain or to accumulate migrating material, these devices should be inspected and cleaned on a periodic basis.
- Đã xảy ra sự cố khi các hạt (ví dụ: perlite, silica gel) đi vào bể chứa cột áp suất thấp và làm tắc các đường dẫn của bộ tái sôi. Các sự cố này dẫn đến sôi hồ chứa và tích tụ hydrocarbon nguy hiểm. Nếu có bằng chứng cho thấy các hạt đã đi vào bể chứa cột áp suất thấp, điều này phải được đánh giá và nên xem xét các hành động như dừng nhà máy và loại bỏ các hạt.
Incidents have occurred when particulates (for example, perlite, silica gel) have entered the low pressure column sump and blocked reboiler passages. The incidents led to pool boiling and a dangerous accumulation of hydrocarbons. If evidence indicates that particulates have entered the low pressure column sump, this shall be evaluated and actions such as a plant shutdown and particulates removal, should be considered.

12.2. Bộ hấp phụ siêu lạnh / *Cryogenic adsorbers*

- Bộ hấp phụ siêu lạnh có thể được đặt tại nhiều điểm khác nhau trong quy trình để loại bỏ hydrocarbon và carbon dioxide.
Cryogenic adsorbers may be placed at various points in the process to remove hydrocarbons and carbon dioxide.
- Trong các nhà máy trang bị REVEX, bộ hấp phụ siêu lạnh phải được cung cấp để loại bỏ hydrocarbon và carbon dioxide vết khỏi không khí đi qua REVEX và đi vào các cột chưng cất siêu lạnh. Bộ hấp phụ siêu lạnh có thể được cung cấp tại các nhà máy trang bị PPU để loại bỏ các tạp chất có thể xuyên thủng PPU.
In REVEX-equipped plants, cryogenic adsorbers shall be provided to remove hydrocarbons and traces of carbon dioxide from the air that pass through the REVEX and enter the cryogenic distillation columns. Cryogenic adsorbers may be provided on PPU-equipped plants to remove contaminants that can break through the PPU.
- Mặc dù các bộ hấp phụ siêu lạnh thường không được thiết kế để hấp phụ nitơ oxit, kinh nghiệm trong ngành cho thấy hầu hết chúng đều hiệu quả trong việc loại bỏ nitơ oxit khỏi các dòng chất lỏng.
Although cryogenic adsorbers are not typically designed to adsorb nitrous oxide, industry experience indicates that most are effective in removing nitrous oxide from liquid streams.
- Bộ hấp phụ siêu lạnh nên được vận hành theo khuyến nghị của nhà sản xuất để ngăn chặn các tạp chất đã hấp phụ xuyên thủng. Bộ hấp phụ siêu lạnh nên được tái sinh bằng khí nitơ khô, không dầu. Trong điều kiện quy trình bất lợi hoặc nếu xảy ra sự xuyên thủng của bộ hấp phụ, bộ hấp phụ nên được tái sinh thường xuyên hơn.
Cryogenic adsorbers should be operated in accordance with the manufacturer's recommendations to prevent adsorbed contaminants from breaking through. Cryogenic adsorbers should be regenerated using dry, oil-free nitrogen gas. Under adverse process conditions or if adsorber breakthrough occurs, the adsorber should be regenerated more frequently.
- Khi nhà sản xuất đã cung cấp các yêu cầu về lưu lượng tối thiểu của bộ hấp phụ siêu lạnh, chúng phải được tuân thủ nghiêm ngặt để đảm bảo loại bỏ tạp chất. Lưu lượng này có thể được chỉ thị bằng phép đo lưu lượng hoặc chênh lệch áp suất. Đối với các bộ hấp phụ siêu lạnh loại bỏ tạp chất khỏi pha hơi, sự tăng đáng kể nhiệt độ dòng có thể gây ra sự giải hấp đột ngột các tạp chất, giải phóng chúng vào thiết bị hạ nguồn. Đây có thể là một mối nguy an toàn đáng kể.
When the manufacturer has provided minimum cryogenic adsorber flow requirements, they shall be strictly followed to ensure contaminant removal. This flow can be indicated by flow measurement or pressure differential. For cryogenic adsorbers that remove contaminants from the vapor phase, a significant increase in stream temperature can cause sudden desorption of the contaminants, releasing them into downstream equipment. This can be a significant safety hazard.
- Vị trí thực tế của các bộ hấp phụ trong hệ thống quy trình phụ thuộc vào thiết kế quy trình cụ thể. Một số ví dụ được thể hiện trong Bảng 6.
The actual location of the adsorbers in the process system depends on the specific process design. Some examples are shown in Table 6.

Bảng 6—Tên bộ hấp phụ siêu lạnh
Table 6—Cryogenic adsorber names

Vị trí <i>Location</i>	Tên thường gọi <i>Common names</i>
Dòng khí cấp vào tháp áp suất cao <i>Air feed to high pressure column</i>	Bẫy gel đầu lạnh, bộ hấp phụ hydrocacbon <i>Cold end gel trap, hydrocarbon adsorber</i>
Dòng khí cấp vào tháp áp suất thấp <i>Air stream feeding low pressure column</i>	Bẫy gel xả bên <i>Side bleed gel trap</i>
Dòng chất lỏng ra khỏi bể chứa tháp áp suất cao <i>Liquid stream out of high pressure column sump</i>	Bộ hấp phụ hydrocacbon, bộ hấp phụ chất lỏng giàu, bẫy gel chất lỏng nổi hơi <i>Hydrocarbon adsorber, rich liquid adsorber, kettle liquid gel trap</i>
Bể chứa tháp áp suất thấp <i>Low pressure column sump</i>	Bộ hấp phụ bảo vệ, bộ lọc oxy lỏng, bẫy gel tuần hoàn <i>Guard adsorber, liquid oxygen filter, recirculation gel trap</i>
Đầu ra của bơm oxy lỏng <i>Discharge of liquid oxygen pumps</i>	Bộ hấp phụ bảo vệ, bộ lọc oxy lỏng, bẫy gel tuần hoàn <i>Guard adsorber, liquid oxygen filter, recirculation gel trap</i>

- Nếu cung cấp các bộ hấp phụ đơn lẻ thuộc các loại khác nhau, chúng nên được tái sinh từng cái một để giảm thiểu rủi ro từ sự xuyên thủng tạp chất mọi lúc. Biện pháp phòng ngừa này không áp dụng nếu cung cấp các bộ hấp phụ kép cùng loại.
If single adsorbers of different types are provided, they should be regenerated one at a time to minimize exposure from contaminant break through at all times. This precaution is not applicable if dual adsorbers of the same type are furnished.
- Vật liệu hấp phụ thường được sử dụng là silica gel.
A commonly used adsorbent material is silica gel.
- Các biện pháp phòng ngừa cần thực hiện khi tái sinh và làm lạnh bộ hấp phụ siêu lạnh bao gồm:
Precautions to be taken when regenerating and cooling down a cryogenic adsorber include:
 - Tuân thủ lưu lượng tái sinh được nhà sản xuất khuyến nghị để tránh sự chảy hóa và phân hủy silica gel;
Follow the manufacturer's recommended regeneration flows to avoid fluidization and breakdown of the silica gel;
 - Tuân thủ nhiệt độ và thời gian bước được nhà sản xuất khuyến nghị để đảm bảo loại bỏ hoàn toàn các tạp chất đã hấp phụ;
Follow the manufacturer's recommended temperatures and step times to ensure complete removal of adsorbed contaminants;
 - Tránh thay đổi nhiệt độ nhanh chóng (cả làm nóng hoặc làm lạnh) để ngăn ngừa sự phân hủy silica gel;
Avoid rapid temperature change (either heating or cooling) to prevent breakdown of the silica gel;
 - Khi làm lạnh, từ từ đưa chất lỏng siêu lạnh vào để ngăn ngừa sự chảy hóa và phân hủy silica gel;
When cooling down, slowly introduce cryogenic liquids to prevent fluidization and breakdown of the silica gel;
 - Tránh đưa nước lỏng vào, vì nó làm phân hủy silica gel;
Avoid introducing liquid water, which breaks down the silica gel;
 - Trong quá trình tái sinh, cho khí ấm chảy qua tất cả các đoạn của đường ống tái sinh. Điều này đảm bảo rằng không có đoạn ống chết hoặc khu vực không được quét sạch nơi hydrocarbon vết có thể tích tụ. Hydrocarbon vết có thể tích tụ trong chất lỏng, trên bụi silica, hoặc dưới dạng hạt trong đường ống; và
During regeneration, flow warm gas through all portions of the regeneration line. This ensures that there are no dead legs or unswept areas where trace hydrocarbons can accumulate. The trace hydrocarbons can accumulate in liquids, on silica dust, or as particles in the piping; and
 - Nhiệt độ đầu ra tái sinh nên được theo dõi để đảm bảo đạt được nhiệt độ tối thiểu cần thiết.
Regeneration outlet temperatures should be monitored to ensure that the minimum required temperature is achieved.
- LƯU Ý—Việc không đạt được nhiệt độ tối thiểu cần thiết có thể là do van cách ly bị rò rỉ.
NOTE—Failure to achieve the required minimum temperature can be the result of leaking isolation valves.
- Khi silica gel bị phân hủy thành các hạt nhỏ và bụi, nó có thể tạo ra các vấn đề an toàn đáng kể và nên được thay thế càng sớm càng tốt. Các triệu chứng của sự phân hủy này bao gồm hiệu suất kém của bộ hấp phụ siêu lạnh, mức silica gel giảm trong bộ hấp phụ, bụi hoặc hạt

silica gel trong khí xả tái sinh, hoặc độ sụt áp suất lớn hơn trong mạch bộ hấp phụ siêu lạnh. Nếu thấy bất kỳ triệu chứng nào trong số này, chúng phải được điều tra ngay lập tức và loại bỏ nguyên nhân. Sự di chuyển của silica gel có thể làm tắc nghẽn các bộ trao đổi nhiệt hạ nguồn, điều này có thể dẫn đến sôi khô và tăng nguy cơ giải phóng năng lượng.

When silica gel breaks down into small particles and dust, it can create significant safety problems and should be replaced as soon as practical. Symptoms of this breakdown include poor cryogenic adsorber performance, reduced silica gel level in the adsorber, dust or silica gel particles in the regeneration gas vent, or greater pressure drop in the cryogenic adsorber circuit. If any of these symptoms are seen, they shall be investigated immediately and the cause eliminated. Silica gel migration can plug downstream heat exchangers, which can lead to dry boiling and increase the risk of an energy release.

- Các van cách ly nên được kiểm tra rò rỉ và sửa chữa khi cần thiết. Bộ hấp phụ có thể không đạt được nhiệt độ tái sinh thích hợp do rò rỉ trong quá trình tái sinh. Ngoài ra, rò rỉ có thể dẫn đến sôi ở điểm cuối chết trong đường ống xả và hành động mở van hoặc giảm áp suất có thể tạo ra đủ năng lượng để đốt cháy bất kỳ hydrocarbon tích tụ nào.

Isolation valves should be examined for leaks and repaired as needed. Adsorbers might not achieve the proper regeneration temperature as a consequence of leaks during regeneration. Additionally, the leak can result in dead end boiling in the drain line and the action of opening the valve or depressurization can create sufficient energy to ignite any accumulated hydrocarbons.

- Tất cả mức lớp hấp phụ siêu lạnh nên được đo trong các đợt dừng bảo trì nhà máy theo lịch trình. Hướng dẫn vận hành thêm được cung cấp trong AIGA 035 [43].

All cryogenic adsorber bed levels should be measured during scheduled plant maintenance shutdowns. Further operating guidance is given in AIGA 035 [43].

12.3. Mức lỏng / *Liquid levels*

12.3.1. *Cột áp suất cao / High pressure column*

- Trong quá trình vận hành bình thường, cần có mức chất lỏng đủ trong bể chứa cột áp suất cao để cung cấp lớp đệm chất lỏng nhằm ngăn hơi đi vòng và đảm bảo dòng chất lỏng đến các bộ hấp phụ siêu lạnh, nếu có. Mức chất lỏng cột áp suất cao phải được duy trì bằng hoặc thấp hơn giá trị tối đa của nhà sản xuất. Điều này ngăn ngừa hư hỏng thủy tĩnh (búa nước) đối với các bộ phận bên trong cột. Trước khi khởi động, mức bể chứa cột áp suất cao phải được giảm xuống thấp hơn giá trị tối đa của nhà sản xuất.

During normal operation, a sufficient liquid level is required in the high pressure column sump to provide a liquid seal to prevent vapor bypassing and to ensure liquid flow to the cryogenic adsorbers, if present. The high pressure column liquid level shall be maintained at or less than the manufacturer's maximum value. This prevents hydrostatic damage (water-hammer) to internal column components. Prior to startup, the high pressure column sump level shall be reduced to less than the manufacturer's maximum value.

12.3.2. *Cột áp suất thấp / Low pressure column*

- Đối với bộ tái sôi kiểu tuần hoàn tự nhiên, mức chất lỏng bể chứa cột áp suất thấp phải được giữ trong phạm vi mức khuyến nghị của nhà sản xuất để đảm bảo tuần hoàn chất lỏng thích hợp qua bộ tái sôi. Điều này ngăn chặn các tạp chất tập trung đến mức nguy hiểm trong oxy lỏng. Đường ống thiết bị đo mức chất lỏng của bộ tái sôi bị hỏng có thể gây khó khăn trong việc xác nhận mức chất lỏng thực tế do các chỉ số sai. Đường ống thiết bị đo mức chất lỏng và/hoặc đường ống quy trình chất lỏng của bộ tái sôi bị hỏng có thể gây khó khăn trong việc duy trì mức chất lỏng tối thiểu cần thiết do thiếu lượng chất lỏng tồn kho từ việc mất sản phẩm/mất lạnh bên trong vỏ bọc siêu lạnh. Nếu không thể duy trì độ ngập của bộ tái sôi, nhà máy phải được dừng lại để đánh giá rò rỉ vì vận hành ở mức chất lỏng thấp có thể dẫn đến các điều kiện không an toàn. Để biết thêm chi tiết, xem AIGA 035 [43].

For thermosyphon reboilers, the low pressure column sump liquid level shall be kept within the manufacturer's recommended level range to ensure proper liquid recirculation through the reboiler. This prevents contaminants from concentrating to a dangerous level in the liquid oxygen. Broken reboiler liquid level instrument lines can make it difficult to confirm the actual liquid level due to erroneous readings. Broken reboiler liquid level instrument and/or liquid process lines can make it difficult to maintain the required minimum liquid level due to lack of liquid inventory from product/refrigeration loss within the cryogenic enclosure. If reboiler submergence cannot be maintained, the plant shall be shutdown to assess the leak since running at low liquid levels can result in unsafe conditions. For further details, see AIGA 035 [43].

- Đối với các nhà máy được trang bị bộ đun sôi dòng chảy xuống hoặc đối với các cột không chứa bộ đun sôi, mức chất lỏng trong bể chứa cột áp suất thấp phải được giữ trong phạm vi mức khuyến nghị của nhà sản xuất để đảm bảo cột áp thủy tĩnh đủ cho bất kỳ bơm quy trình nào được kết nối.
For plants equipped with downflow reboilers or for columns that do not contain a reboiler, the low pressure column sump liquid level shall be kept within the manufacturer's recommended level range to ensure sufficient hydrostatic head for any connected process pumps.
- Các sự cố hoặc ngừng hoạt động nhà máy khác nhau làm cắt đột ngột nguồn khí cấp cho các cột chưng cất có thể khiến chất lỏng trong cột áp suất thấp và cột argon thô chảy vào bể chứa của cột áp suất thấp. Mức bể chứa này tăng lên, có thể che phủ vòi lấy oxy dạng khí. Áp suất chênh lệch giữa cột và mạch oxy dạng khí và/hoặc cột áp chất lỏng trong bể chứa có thể đẩy chất lỏng từ bể chứa đi qua các bộ trao đổi nhiệt chính và vào đường ống ấm của mạch oxy dạng khí. Thiết kế nên bao gồm một vòng lặp hướng lên trong đường ống oxy dạng khí lạnh, thể tích lớn trong bể chứa cột áp suất thấp, hoặc các biện pháp thích hợp khác để ngăn chặn mối nguy này xảy ra. Khi nhà máy ngừng hoạt động, van oxy đầu ấm nên được đóng lại để ngăn chặn sự cuốn theo chất lỏng.
Various plant upsets or shutdowns that suddenly cut off air to the distillation columns can cause the liquid in the low pressure column and crude argon column to drain into the sump of the low pressure column. This sump level rises, possibly covering the gaseous oxygen off-take nozzle. Differential pressure between the column and the gaseous oxygen circuit and/or the liquid head in the sump can push liquid from the sump through the main exchangers and into the warm piping of the gaseous oxygen circuit. The design should include an upward loop in the cold gaseous oxygen piping, ample volume in the sump of the low pressure column, or other appropriate measures to prevent this hazard from occurring. When the plant shuts down, the warm-end oxygen valve should be closed to prevent liquid carryover.
- Trước khi khởi động lại một nhà máy lạnh, hãy xả chất lỏng trong bể chứa cột áp suất thấp xuống mức khuyến nghị của nhà sản xuất. Điều này đảm bảo rằng mức chất lỏng trong bể chứa cột áp suất thấp không quá cao, điều có thể dẫn đến hư hỏng thiết bị hoặc cuốn theo chất lỏng đến đầu ấm của nhà máy.
Before restarting a cold plant, drain the low pressure column sump to the level recommended by the manufacturer. This ensures that there is no liquid level high enough in the low pressure column sump that could lead to equipment damage or carryover of liquid to the warm end of the plant.

12.4. Giám sát tạp chất / *Monitoring contaminants*

- Việc giám sát tạp chất giả định chất lượng không khí xung quanh điển hình (xem 7.1). Phân tích khuyến nghị và giới hạn tạp chất trong chất lỏng bể chứa cột áp suất thấp được mô tả trong AIGA 035 [43].
Contaminant monitoring assumes typical ambient air quality (see 7.1). The recommended analysis and contaminant limits in the low pressure column sump liquid are described in AIGA 035 [43].
- Tần suất phân tích phụ thuộc vào chu kỳ hoạt động của nhà máy, vị trí nhà máy, điều kiện thời tiết và bất kỳ điều kiện bất thường nào. Đối với các nhà máy được trang bị REVEX và/hoặc bộ tái sinh, phân tích axetylen phải được thực hiện định kỳ theo khuyến nghị của nhà sản xuất. Tổng hydrocacbon và hydrocacbon cụ thể nên được kiểm tra định kỳ theo khuyến nghị của nhà sản xuất tại tất cả các nhà máy. Bất kỳ sự khác biệt nào so với mức bình thường nên được điều tra và xác định nguyên nhân của sự thay đổi.
The frequency of analysis depends on plant cycles, location of the plant, weather conditions, and any abnormal conditions. For REVEX- and/or regenerator-equipped plants, an acetylene analysis shall be routinely performed in accordance with manufacturer's recommendations. Total hydrocarbons and specific hydrocarbons should be checked periodically in accordance with manufacturer's recommendations in all plants. Any divergence from normal levels should be investigated and the cause of the change determined.
- Giám sát carbon dioxide trong chất lỏng bể chứa cột áp suất thấp là một thông số vận hành hoặc hướng dẫn ngừng hoạt động có giá trị. Ở các nhà máy sử dụng bộ hấp phụ siêu lạnh, nồng độ carbon dioxide tăng lên trong chất lỏng bể chứa cột áp suất thấp, ngoài nguyên nhân từ sự cố tạm thời hoặc việc bỏ qua bộ hấp phụ siêu lạnh, có thể là một chỉ báo về sự xuyên thủng của bộ hấp phụ siêu lạnh. Nếu không được khắc phục, điều này sẽ dẫn đến sự xuyên thủng của axetylen.

Monitoring of the low pressure column sump liquid for carbon dioxide is a valuable operating parameter or shutdown guide. In plants that use cryogenic adsorbers, an increasing concentration of carbon dioxide in the low pressure column sump liquid other than from a temporary upset or bypassing of the cryogenic adsorber can be an indicator of cryogenic adsorbers breakthrough. If left uncorrected, this would be followed by the breakthrough of acetylene.

- Đối với các nhà máy PPU, việc giám sát carbon dioxide thường được thực hiện ở đầu ra của bộ tiền tinh chế. Việc phân tích carbon dioxide định kỳ trong chất lỏng bể chứa cột áp suất thấp cũng là một thực hành vận hành tốt. Hướng dẫn thêm được cung cấp trong AIGA 035 [43].

For PPU plants, monitoring for carbon dioxide is typically done on the outlet of the prepurifier. It is a good operating practice to also periodically analyze for carbon dioxide in the low pressure column sump liquid. Further guidance is given in AIGA 035 [43].

- Mức carbon dioxide lớn hơn giới hạn độ hòa tan của nó là một dấu hiệu của vấn đề tiềm ẩn. Carbon dioxide rắn có thể làm tắc nghẽn các đường dẫn trong bộ đun sôi. Sôi khô sau đó có thể dẫn đến nồng độ hydrocacbon cục bộ và nguy hiểm lớn hơn Giới hạn nổ dưới (LEL). Giám sát carbon dioxide bằng phân tích hồng ngoại giúp tránh vấn đề tắc nghẽn carbon dioxide. Ngoài ra, carbon dioxide trong bể chứa cột áp suất thấp có thể được giám sát bằng cách lấy mẫu chất lỏng trong bình dewar chân không cổ hẹp bằng thủy tinh trong suốt và quan sát độ trong của chất lỏng. Mức carbon dioxide lớn hơn 5 ppm gây ra vẻ ngoài đục như sữa và cuối cùng các mảnh carbon dioxide rắn trở nên rõ ràng.

A level of carbon dioxide greater than its solubility limit is an indication of a potential problem. Solid carbon dioxide can plug passages in the reboiler. Dry boiling can then result in localized and dangerous levels of hydrocarbon concentrations greater than the LEL. Monitoring carbon dioxide by infrared analysis helps to avoid a carbon dioxide plugging problem. Alternatively, carbon dioxide in the low pressure column sump can be monitored by taking a liquid sample in a clear glass narrow neck vacuum dewar flask and observing the clarity of the liquid. Carbon dioxide levels greater than 5 ppm cause a milky appearance and ultimately flakes of solid carbon dioxide become evident.

- **CẢNH BÁO: Tất cả các chất lỏng siêu lạnh đều cực kỳ lạnh. Chất lỏng siêu lạnh và hơi bay hơi lạnh của chúng có thể làm đông cứng nhanh chóng mô người. Phải mặc Thiết bị bảo hộ cá nhân (PPE) phù hợp khi lấy mẫu chất lỏng siêu lạnh. Xem CGA P-12 [7].**

CAUTION: All cryogenic liquids are extremely cold. Cryogenic liquids and their cold boil off vapors can rapidly freeze human tissue. Proper PPE shall be worn when taking cryogenic liquid samples. See CGA P-12 [7].

- Nitrous oxide có thể tập trung và có khả năng kết tủa trong chất lỏng bể chứa cột áp suất thấp [43]. Nitrous oxide rắn có thể làm tắc nghẽn các đường dẫn trong bộ đun sôi. Sôi khô sau đó có thể dẫn đến nồng độ hydrocacbon cục bộ và nguy hiểm lớn hơn Giới hạn nổ dưới (LEL). Vận hành nhà máy theo hướng dẫn của nhà sản xuất thường ngăn nitrous oxide tập trung vượt quá giới hạn vận hành an toàn. Nên thực hiện giám sát định kỳ như kiểm tra lô hoặc kiểm tra độ trong để phát hiện sự hiện diện của nitrous oxide. Nếu phát hiện mức nitrous oxide nguy hiểm, hãy xác định lý do và thực hiện hành động khắc phục để giải quyết vấn đề. Giám sát chất lỏng bể chứa áp suất thấp thường xuyên hơn đối với nitrous oxide cho đến khi vấn đề được giải quyết.

Nitrous oxide can concentrate and potentially precipitate in the low pressure column sump liquid [43]. Solid nitrous oxide can plug passages in the reboiler. Dry boiling can then result in localized and dangerous levels of hydrocarbon concentrations greater than the LEL. Operating plants in accordance with the manufacturer's instructions usually prevents nitrous oxide from concentrating above safe operating limits. Periodic monitoring such as a batch test or clarity test should be performed to detect the presence of nitrous oxide. If hazardous levels of nitrous oxide are detected, determine the reason and take corrective action to resolve the problem. Monitor the low pressure sump liquid more frequently for nitrous oxide until the problem is resolved.

- Giới hạn độ hòa tan của carbon dioxide trong oxy lỏng xấp xỉ 5 ppm ở áp suất khí quyển. Giới hạn độ hòa tan của nitrous oxide trong oxy lỏng xấp xỉ 140 ppm đến 160 ppm ở áp suất khí quyển, xem AIGA 035 [43]. Các giới hạn này cao hơn ở áp suất cao hơn. Carbon dioxide và nitrous oxide tạo thành một dung dịch rắn khi cả hai cùng hiện diện. Tầm quan trọng thực tế của dung dịch rắn là giới hạn độ hòa tan của mỗi thành phần thấp hơn khi cả hai cùng hiện diện [65, 66]. Để xác định thành phần của kết tủa quan sát được, cần phải thực hiện phân tích chi tiết hơn.

The solubility limit of carbon dioxide in liquid oxygen is approximately 5 ppm at atmospheric pressure. The solubility limit of nitrous oxide in liquid oxygen is approximately 140 ppm to 160 ppm at atmospheric pressure, see AIGA 035 [43]. These limits are higher at higher pressures. Carbon dioxide and nitrous oxide form a solid solution when both are present. The practical importance of a solid solution is that the

solubility limit of each component is lower when both are present [65, 66]. To identify the composition of an observed precipitate, it is necessary to do a more detailed analysis.

12.5. Tách và tinh chế Argon / *Argon separation and purification*

12.5.1. Mô tả quy trình / *Process description*

- Việc tách và tinh chế Argon trong hộp lạnh ASU bắt đầu bằng việc làm giàu argon đến xấp xỉ 8% đến 20% ở giữa cột áp suất thấp. Sau đó, nó được cấp vào một cột chưng cất phụ để tiếp tục làm giàu argon lên 96% đến 99.9% hoặc hơn. Ở một số nhà máy có cột đệm, sản phẩm đỉnh của cột phụ không cần loại bỏ oxy thêm nữa. Ở hầu hết các nhà máy khác, argon thô chứa 0.1% đến 4% oxy và cần được xử lý thêm trong hệ thống tinh chế argon thô. Công nghệ phổ biến nhất loại bỏ oxy xuống mức vết bằng phản ứng tỏa nhiệt được xúc tác với Hydro (khử oxy hoặc deoxo). Một công nghệ ít được sử dụng hơn là sử dụng chất hấp thụ oxy được tái sinh bằng Hydro.

Argon separation and purification in the ASU coldbox begins with the concentration of argon to approximately 8% to 20% in the middle of the low pressure column. It is then fed to a side distillation column that further concentrates the argon to 96% to 99.9% or more. In some plants with packed columns, the side column's overhead product needs no further oxygen removal. In most other plants, the crude argon contains 0.1% to 4% oxygen and needs further treatment in a crude argon purification system. The most common technology removes oxygen to trace quantities by a catalytically promoted exothermic reaction with hydrogen (deoxygenation or deoxo). A less frequently used technology uses oxygen getters regenerated with hydrogen.

- Sau khi loại bỏ oxy, Hydro và nito dạng vết thường được loại bỏ khỏi argon trong một cột chưng cất cuối cùng.

After oxygen removal, hydrogen and trace nitrogen are normally removed from the argon in a final distillation column.

12.5.2. Mối nguy / *Hazards*

- Các mối nguy sau đây liên quan đến việc sử dụng Hydro trong hệ thống tinh chế argon thô:

The following hazards are associated with hydrogen use in the crude argon purification system:

- Bất kỳ khí nào chứa lớn hơn 4% oxy khi có mặt lớn hơn 4% Hydro là một hỗn hợp có khả năng gây nổ. Phải thực hiện các biện pháp phòng ngừa đặc biệt để đảm bảo rằng cả nồng độ Hydro và oxy không vượt quá 4% cùng một lúc. Trong hầu hết các đơn vị deoxo, nồng độ Hydro gần như luôn lớn hơn 4%, vì vậy điều quan trọng là phải giới hạn hàm lượng oxy tối đa của argon thô;

Any gas containing greater than 4% oxygen in the presence of greater than 4% hydrogen is a potentially explosive mixture. Special precautions shall be taken to ensure that both the hydrogen and oxygen concentrations do not exceed 4% at the same time. In most deoxo units, the hydrogen concentration is almost always greater than 4%, so it is critical to limit the crude argon's maximum oxygen content;

- Lò phản ứng xúc tác có thể quá nhiệt vượt quá nhiệt độ thiết kế nếu argon thô chứa quá nhiều oxy, vì phản ứng này tạo ra nhiệt. Có thể cần phải tái chế argon không chứa oxy từ đầu ra của đơn vị deoxo để giảm hàm lượng oxy xuống giới hạn an toàn. Lò phản ứng nên được ngừng hoạt động bất cứ khi nào nồng độ oxy vượt quá mức tối đa cho phép được quy định bởi nhà sản xuất thiết bị. Trong trường hợp không có quy định kỹ thuật của nhà sản xuất, 2% là nồng độ oxy an toàn tối đa điển hình. Trong quá trình khởi động hệ thống tinh chế argon, điều bắt buộc là hàm lượng oxy của argon thô phải thấp hơn giới hạn ngưỡng oxy trước khi đưa Hydro vào;

The catalytic reactor can overheat above its design temperature if the crude argon contains too much oxygen, since the reaction produces heat. It may be necessary to recycle oxygen-free argon from the outlet of the deoxo unit to reduce the oxygen content to a safe limit. The reactor should be shut down whenever the oxygen concentration exceeds the maximum allowable specified by the equipment manufacturer. In the absence of a manufacturer's specification, 2% is a typical maximum safe oxygen concentration. During startup of the argon purification system, it is imperative that the oxygen content of the crude argon be less than the oxygen threshold limit before introducing hydrogen;

- Phản ứng tỏa nhiệt có thể tạo ra nhiệt độ vượt quá 1000 °F (538 °C). Nên lắp đặt hệ thống ngừng hoạt động khi nhiệt độ cao để bảo vệ bình chứa và đường ống. Lò

phản ứng thường không được cách nhiệt để tản nhiệt. Phải đặt các rào chắn bảo vệ cá nhân thích hợp xung quanh bình chứa lò phản ứng và đường ống nóng;

The exothermic reaction can produce temperatures exceeding 1000 °F (538 °C). A high temperature shutdown should be installed to protect the vessel and piping. The reactor is not normally insulated to dissipate heat. Suitable personnel protection barriers shall be placed around the reactor vessel and hot piping;

- Nồng độ Hydro thoát ra khỏi lò phản ứng phải được giám sát. Nếu nó vượt quá giới hạn khuyến nghị của nhà sản xuất, phải thực hiện các hành động khắc phục để giảm nồng độ Hydro xuống mức khuyến nghị. Hệ thống cung cấp Hydro cho hệ thống tinh chế argon thô phải được trang bị hệ thống khóa kép và xả tự động để cô lập Hydro trong quá trình ngừng hoạt động hệ thống;

The hydrogen concentration exiting the reactor shall be monitored. If it goes above the manufacturer's recommended limit corrective actions shall be taken to reduce the hydrogen concentration to recommended levels. The hydrogen supply system to the crude argon purification system shall be provided with an automatic double block and bleed system that isolates the hydrogen during a system shutdown;

- Điều bắt buộc là phải ngăn chặn sự di chuyển của Hydro vào các khu vực của nhà máy có chứa oxy. Phải sử dụng các hệ thống cách ly thích hợp (ví dụ: van một chiều và van chặn tự động). Sử dụng các đường ống thông thổi và thải bỏ riêng biệt cho các hệ thống tinh chế argon để ngăn các đường ống này trở thành đường dẫn cho Hydro đi vào các cống xả của ASU;

It is imperative to prevent hydrogen migration into sections of the plant that contain oxygen. Proper isolation systems shall be used (for example, check valves and automatic block valves). Use separate purge and disposal headers for the argon purification systems to prevent these headers from providing a route for hydrogen to enter the ASU drains;

- Trong các ASU có bộ thu (getter), điều quan trọng là phải giới hạn nồng độ oxy của argon thô và nồng độ Hydro của khí tái sinh để tránh quá nhiệt. Quá nhiệt có thể làm hỏng vật liệu bộ thu vĩnh viễn;

In ASUs with getters, it is important to limit the oxygen concentration of the crude argon and the hydrogen concentration of the regeneration gas to avoid overheating. Overheating can irreversibly damage the getter material;

- Hydro là một loại khí dễ cháy, cháy với ngọn lửa vô hình và yêu cầu các biện pháp phòng ngừa thao tác đặc biệt. Tham khảo CGA G-5, Hydrogen; AIGA 087, Standard for Hydrogen Piping Systems at User Locations; CGA G- 5.5, Standard for Hydrogen Vent Systems; và CGA P-28, OSHA Process Safety Management and EPA Risk Management Plan Guidance Document for Bulk Liquid Hydrogen Supply Systems [67, 68, 69, 70];

Hydrogen is a flammable gas that burns with an invisible flame and requires special handling precautions. Refer to CGA G-5, Hydrogen; AIGA 087, Standard for Hydrogen Piping Systems at User Locations; CGA G- 5.5, Standard for Hydrogen Vent Systems; and CGA P-28, OSHA Process Safety Management and EPA Risk Management Plan Guidance Document for Bulk Liquid Hydrogen Supply Systems [67, 68, 69, 70];

- Hydro dùng để tinh chế argon đến từ nhiều nguồn như khí hoặc lỏng tinh khiết, amoniac phân ly, metanol, pin điện phân, hoặc khí thải từ nhà máy lọc dầu hoặc hóa chất. Độ tinh khiết của Hydro phải nằm trong giới hạn chấp nhận được. Các tạp chất vết có thể ảnh hưởng đến việc lựa chọn vật liệu, độ tinh khiết của sản phẩm và/hoặc làm ngộ độc chất xúc tác lò phản ứng hoặc vật liệu bộ thu;

Hydrogen for argon purification comes from many sources such as pure gas or liquid, dissociated ammonia, methanol, electrolytic cells, or refinery or chemical plant off-gas. The hydrogen purity shall be within acceptable limits. Trace contaminants can affect material selection, product purity, and/or poison the reactor catalyst or getter material;

- Hệ thống sấy phải hoạt động đúng cách để ngăn chặn hơi ẩm cuốn theo có thể làm đóng băng thiết bị siêu lạnh phía hạ lưu;

The dryer system shall work properly to prevent moisture carryover that could freeze downstream cryogenic equipment;

- Hệ thống sấy argon nên được vận hành trước khi đưa Hydro vào hệ thống tinh chế để ngăn Hydro tích tụ đến mức không an toàn ở phía thượng lưu của hệ thống sấy; và

The argon dryer system should be operational prior to introducing hydrogen into the purification system to prevent hydrogen from accumulating to unsafe levels upstream of the dryer system; and

- Trong một số trường hợp, đường ống hồi lưu Hydro trong coldbox có thể được bọc trong một lớp vỏ (jacket) để ngăn chặn rò rỉ Hydro tiềm ẩn vào vỏ coldbox. Trong trường hợp đường ống bên trong bị nứt, Hydro có thể đi vào và tích tụ bên trong không gian hình vành khuyên (annular space) của đường ống bọc vỏ. Nếu không khí đi vào không gian hình vành khuyên này, ví dụ trong quá trình rửa đông ngay sau khi nhà máy ngừng hoạt động, một hỗn hợp nổ có thể hình thành bên trong không gian hình vành khuyên, điều này có thể gây ra giải phóng năng lượng. Để tránh điều này, áp suất trong không gian hình vành khuyên của đường ống bọc vỏ nên được theo dõi và các hành động thích hợp phải được thực hiện nếu nghi ngờ có rò rỉ Hydro vào không gian hình vành khuyên của đường ống bọc vỏ.

In some cases, hydrogen return piping in the coldbox may be enclosed in a jacket to prevent potential hydrogen leakage into the coldbox enclosure. In case of a crack in the inner piping, it is possible for hydrogen to enter and accumulate inside the annular space of the jacketed piping. If air enters this annular space, for example during deriming immediately after a plant shutdown, an explosive mixture can form inside the annular space, which may cause an energy release. To avoid this, pressure in the annular space of the jacketed piping should be monitored and appropriate actions taken if a hydrogen leak into the annular space of the jacketed piping is suspected.

12.6. Thông thổi khí không ngưng tụ / *Noncondensable purge*

- Các chất không ngưng tụ vết có điểm sôi thấp trong không khí như Hydro, heli và neon tập trung ở đỉnh tháp áp suất cao. Các chất không ngưng tụ có điểm sôi thấp này có thể tích tụ đủ để làm giảm hiệu suất của thiết bị ngưng tụ nổi đun (reboiler condenser). Các chất không ngưng tụ này có thể được loại bỏ bằng cách:

Low boiling point trace noncondensables in the air such as hydrogen, helium, and neon concentrate at the top of the high pressure column. The low boiling point noncondensables can accumulate sufficiently to degrade the reboiler condenser performance. These noncondensables can be removed by either:

- Dòng khí quy trình được lấy từ đỉnh tháp áp suất cao; hoặc
Gaseous process stream taken from the top of the high pressure column; or
- Xả trên dòng nitơ rời khỏi thiết bị ngưng tụ nổi đun. Lượng xả này thường được đưa đến dòng thải hoặc dòng quy trình đi vào tháp áp suất thấp hoặc dòng thải rời khỏi tháp áp suất thấp.

Vent on the nitrogen stream leaving the reboiler condenser. This vent is typically sent to a waste or process stream entering the low pressure column or a waste stream leaving the low pressure column.

- **CẢNH BÁO: Hydro thoát ra từ các nguồn gần đó có thể đi vào quy trình và tích tụ đến mức nguy hiểm. Cần thực hiện các biện pháp an toàn để ngăn chặn tạp chất này đạt đến giới hạn dễ cháy.**

CAUTION: Hydrogen released from nearby sources can enter the process and accumulate to hazardous levels. Safety measures should be taken to prevent this contaminant from reaching flammability limits.

12.7. Vệ sinh coldbox / *Coldbox cleaning*

- Các nhà máy bị nhiễm dầu và/hoặc các hydrocarbon khác cần phải được vệ sinh. Chi tiết về vật liệu và quy trình vệ sinh được tìm thấy trong AIGA 057, AIGA 012 và AIGA 076 [2, 34, 20].
Plants that are contaminated by oil and/or other hydrocarbons require cleaning. Details on cleaning materials and procedures are found in AIGA 057, AIGA 012, and AIGA 076 [2, 34, 20].

12.8. Thời gian giữ an toàn cho oxy lỏng / *Safe holding time for liquid oxygen*

- Các điều kiện vận hành có thể yêu cầu coldbox phải ngừng hoạt động và được duy trì ở trạng thái dự phòng lạnh (cold standby). Việc khởi động lại sẽ nhanh hơn nếu lượng chất lỏng tồn kho được duy trì trong thời gian dự phòng lạnh; tuy nhiên, rò rỉ nhiệt làm bay hơi một phần lượng chất lỏng tồn kho này, làm cô đặc các tạp chất trong phần chất lỏng còn lại. Xem hướng dẫn của nhà sản xuất, AIGA 035, hoặc cả hai để biết các quy trình dự phòng lạnh và khởi động lại an toàn [43].

Operating conditions may require that a coldbox be shut down and maintained in a cold standby condition. Restart is faster if liquid inventories are maintained during the cold standby; however, heat leak

vaporizes a portion of this liquid inventory concentrating contaminants in the remaining liquid. See manufacturer's instructions, AIGA 035, or both for safe cold standby and restart procedures [43].

12.9. Hóa lỏng không khí trong bộ trao đổi nhiệt chính / *Liquefaction of air in the main heat exchanger*

- Việc hóa lỏng không khí ở đầu lạnh của các bộ trao đổi nhiệt chính có thể dẫn đến tình huống nguy hiểm. Hầu hết các bộ trao đổi nhiệt đảo chiều không được thiết kế để hóa lỏng không khí và nên được vận hành để ngăn chặn điều này xảy ra. Chất lỏng hình thành giàu oxy (35% đến 40% oxy) và có thể chứa nồng độ đáng kể các tạp chất trong khí quyển như hydrocarbon C2 và C3. Trừ khi tất cả các bộ phận của mạch không khí được thiết kế để đảm bảo chất lỏng chảy trực tiếp và liên tục đến tháp chưng cất, nếu không có thể dẫn đến sự tích tụ của một hỗn hợp có khả năng phản ứng cao.

Liquefaction of air at the cold end of the main heat exchangers can lead to a hazardous situation. Most reversing exchangers are not designed for air liquefaction and should be operated to prevent its occurrence. Liquid formed is oxygen-rich (35% to 40% oxygen) and can contain significant concentrations of atmospheric contaminants such as C2 and C3 hydrocarbons. Unless all parts of the air circuit are designed to ensure that liquid flows directly and continuously to the distillation column, accumulation of a highly reactive mixture can result.

12.10. Vận hành hệ thống tách khí khi có rò rỉ từ quy trình vào không gian cách nhiệt của vỏ thiết bị siêu lạnh / *Air separation unit operation with process leaks into the cryogenic enclosure insulation space*

- Rò rỉ quy trình vào không gian cách nhiệt của vỏ siêu lạnh là điều có thể xảy ra ngay cả khi đã thực hiện tất cả các khâu thiết kế, chế tạo, kiểm soát chất lượng và thử nghiệm được nêu trong AIGA 079 [64]. Các sự cố an toàn nghiêm trọng có thể xảy ra khi các rò rỉ nhỏ không được kiểm tra và phát triển theo thời gian.

Process leaks into the cryogenic enclosure insulation space are possible even with all the design, fabrication, quality control, and testing outlined in AIGA 079 [64]. Significant safety events can occur when small leaks are left unchecked and grow over time.

12.10.1. Nguồn rò rỉ / *Leak sources*

- Rò rỉ có thể xảy ra từ thiết bị quy trình và các đường ống thiết bị đo đặc nhỏ, bắt đầu bằng một rò rỉ khí hoặc lỏng nhỏ. Rò rỉ khí hoặc lỏng có thể dẫn đến mài mòn perlite, điều này có thể tạo ra các lỗ hổng lớn hơn trong đường ống thiết bị đo đặc hoặc làm xói mòn các đường ống quy trình lớn hơn liền kề, dẫn đến rò rỉ bổ sung. Để biết thêm thông tin về mài mòn perlite, xem 5.4 của AIGA 032, Quản lý Perlite và để biết thêm thông tin về sự xói mòn thiết bị, xem 7.5 của AIGA 079 [71, 64].

Leaks can occur from process equipment and small instrumentation lines starting with a small gas or liquid leak. A gas or liquid leak can lead to perlite abrasion, which can result in larger openings in the instrument line or eroding adjacent larger process lines resulting in additional leaks. For additional information on perlite abrasion, see 5.4 of AIGA 032, Perlite Management and for more information on the erosion of equipment, see 7.5 of AIGA 079 [71, 64].

- Tốc độ tăng nhiệt hoặc giảm nhiệt quá mức hoặc việc tăng nhiệt và giảm nhiệt không chính xác của thiết bị quy trình và đường ống vỏ siêu lạnh có thể gây ra mức ứng suất cao, vượt quá thiết kế ban đầu của thiết bị và dẫn đến rò rỉ. Một nguồn rò rỉ phổ biến như vậy là các đường ống thiết bị đo đặc có đường kính nhỏ chịu ứng suất quá mức trong quá trình tăng nhiệt và giảm nhiệt. Chu trình nhiệt (Thermal cycling) của BAHXs vượt quá chu kỳ làm việc và/hoặc phạm vi nhiệt độ của chúng cũng có thể gây ra rò rỉ.

Excessive rates of warm up or cool down or incorrect warm up and cool down of the cryogenic enclosure process equipment and piping can induce high stress levels, which can exceed the original equipment design and result in leaks. A common source of such leaks is small bore instrument lines exposed to excessive stresses during warm up and cool down. Thermal cycling of BAHXs either beyond their duty cycle and/or temperature ranges can also cause a leak.

- Băng rơi hoặc sự tích tụ băng nói chung là một nguồn lực bổ sung khác có thể làm hỏng và đứt đường ống.

Falling ice or ice buildup in general is another source of additional forces that can damage and break lines.

- Các điểm rò rỉ bổ sung có thể bao gồm hỏng các mối nối giãn nở và cơ khí cũng như sự ăn mòn chung của các bộ phận bằng nhôm.

Additional leak points can include failure of expansion and mechanical joints and general corrosion of the aluminum components.

12.10.2. Phát hiện và giám sát rò rỉ / *Leak detection and monitoring*

- Áp suất không gian cách nhiệt, hàm lượng oxy, đóng băng bề mặt bên ngoài, nhiệt độ vỏ và/hoặc móng, và hình ảnh nhiệt có thể được sử dụng để xác định xem có rò rỉ hay không và cũng có thể được sử dụng để giám sát rò rỉ.
Insulation space pressure, oxygen content, external surface icing, casing and/or foundation temperatures, and thermal imaging can be used to determine if a leak exists and can also be used to monitor leaks.

12.10.3. Tiếp tục vận hành khi có rò rỉ / *Continued operation with leaks*

- Dựa trên dữ liệu có sẵn từ việc phát hiện và giám sát rò rỉ, phải tiến hành đánh giá rủi ro dựa trên các quy trình của công ty để xác định xem quy trình có tiếp tục vận hành hay cần phải ngừng hoạt động. Các thông số cần xem xét bao gồm:
Based on available data from leak detection and monitoring, a risk assessment shall be conducted based on company procedures to determine if the process continues to operate or a shutdown is required. Parameters to be considered include:
 - quy trình—trơ, dễ cháy, oxy;
process—inert, flammable, oxygen;
 - loại—khí so với lỏng;
type—gas versus liquid;
 - kích thước rò rỉ—nhỏ so với lớn
size of the leak—small versus large
 - áp suất nguồn—áp suất cao so với áp suất thấp;
source pressure—high pressure versus low pressure;
 - vị trí vật lý bên trong vỏ siêu lạnh—độ cao, gần vỏ;
physical location within the cryogenic enclosure—elevation, proximity to the casing;
 - loại vật liệu cách nhiệt;
type of insulation;
 - lịch sử vận hành;
operating history;
 - tính toàn vẹn của vỏ coldbox, cấu trúc và các bộ phận;
integrity of coldbox casing, structure, and components;
 - kích thước coldbox;
size of coldbox;
 - các thông số vỏ (ví dụ: áp suất, độ tinh khiết, kích thước, vị trí và sự phát triển của điểm lạnh, v.v.);
casing parameters (for example, pressure, purity, size, location, and evolution of cold spot, etc.);
 - hậu quả ngoài công trường (ví dụ: giao thông, khu dân cư); và
offsite consequences (for example, traffic, residential areas); and
 - các công cụ chẩn đoán có sẵn (ví dụ: thay đổi trong hành vi lấy mẫu và thiết bị đo).
available diagnostic tools (for example, changes in instrument and sample tapping behavior).
- Các điều kiện phải được giám sát để phát hiện bất kỳ thay đổi nào và việc đánh giá rủi ro phải được xem xét và cập nhật khi cần thiết.
Conditions shall be monitored for any changes and the risk assessment shall be reviewed and updated as needed.
- Thông tin bổ sung có thể được tìm thấy trong AIGA 079 [64]. Các đánh giá và hành động tương tự có thể áp dụng cho các thiết bị thao tác sản phẩm ASU khác như các bồn tồn chứa số lượng lớn được lắp đặt tại hiện trường.
Additional information can be found in AIGA 079 [64]. Similar reviews and actions can apply to other ASU product handling equipment such as field erected bulk storage tanks.

12.11. Bộ trao đổi nhiệt nhôm hàn (BAHXs) trong chế độ vận hành theo chu kỳ / *Brazed aluminum heat exchangers (BAHXs) in cyclic service*

- BAHXs trong ASU có thể bị mỏi do chu kỳ nhiệt độ hoặc áp suất. Chu kỳ áp suất xảy ra trong mỗi lần khởi động và dừng máy, và chúng có thể xảy ra nếu các điều kiện vận hành thay đổi đáng kể. Chu kỳ nhiệt độ xảy ra trong mỗi lần khởi động và dừng máy. Vận hành theo thời gian trong ngày có thể bao gồm việc khởi động và dừng bộ trao đổi nhiệt thường xuyên (ví dụ: hàng ngày).
BAHXs in an ASU can be exposed to fatigue by temperature or pressure cycling. Pressure cycles occur on each startup and shutdown, and they can occur if the operating conditions are significantly changed. Temperature cycles occur on each startup and shutdown. Time of day operation can involve regular (for example, daily) startup and shutdown of the exchanger.
- Nếu áp suất hoặc nhiệt độ vận hành thay đổi thường xuyên, điều này phải được xem xét trong thiết kế của BAHX. Lưu ý rằng ứng suất nhiệt khó quản lý hơn trong các lõi khối hàn vì sự giãn nở và co lại do nhiệt của lõi bị hạn chế bởi mối hàn.
If the operating pressure or temperature change frequently, this shall be considered in the design of the BAHX. Note that thermal stresses are more difficult to manage in welded block cores because thermal expansion and contraction of the core is constrained by the weld.

12.12. Sự cố trong quy trình / *Process upsets*

- Cần xem xét ảnh hưởng của các sự cố quy trình đối với thiết bị, đường ống phía hạ lưu và mục đích sử dụng của các chất lỏng.
Consideration should be given to the effect of process upsets on downstream equipment, piping, and the uses of the fluids.

12.12.1. Sự làm giàu oxy / *Oxygen enrichment*

- Cần cung cấp các hệ thống cảnh báo phân tích và dừng máy trên các dòng argon, nitơ hoặc các dòng khác có thể bị làm giàu oxy do rò rỉ hoặc sự cố nhà máy. Sự làm giàu oxy của dòng khí hoặc khí trơ có thể tạo ra mối nguy cháy tiềm ẩn. Các ví dụ về dòng quy trình dễ bị làm giàu oxy trong quá trình xảy ra sự cố bao gồm:
Analytical alarms and shutdown systems should be provided on argon, nitrogen, or other streams that can become oxygen-enriched by leaks or plant upsets. Oxygen enrichment of an air or inert gas stream can create a potential combustion hazard. Examples of process streams that are subject to oxygen enrichment during upsets include:
 - các dòng khí hoặc nitơ tái chế;
air or nitrogen recycle streams;
 - các dòng khí tái sinh;
regeneration gas streams;
 - các dòng sản phẩm nitơ; và
nitrogen product streams; and
 - nguyên liệu thô cấp cho hệ thống tinh chế argon.
crude feed to argon purification systems.
- Trong quá trình dừng máy, khởi động hoặc điều kiện sự cố, nồng độ oxy cao có thể xuất hiện trong các dòng quy trình mà chỉ có khí trơ trong quá trình vận hành bình thường. Rủi ro này phải được xem xét khi vận hành thiết bị.
During plant shutdown, start up, or upset conditions, high concentrations of oxygen can be present in process streams where only inert gases are present during normal operation. This risk shall be considered while operating the equipment.
- Các cơ sở có nhiều ASU có nguy cơ cao hơn trong việc đưa dòng oxy làm giàu đến máy nén sản phẩm nitơ nếu các hệ thống nén sản phẩm được nối chéo giữa các ASU. Việc cách ly giữa các ASU phải xem xét khả năng nhiễm chéo trong quá trình sự cố và khởi động nhà máy.
Facilities with multiple ASUs have a higher risk of sending an enriched oxygen stream to a nitrogen product compressor if the product compression systems are cross-tied between ASUs. Isolation between ASUs shall consider the potential for cross contamination during plant upsets and startups.

12.12.2. Thiếu oxy / *Oxygen deficiency*

- Trong trường hợp hệ thống khí điều khiển được dự phòng bằng nguồn nitơ, cần cẩn thận để tránh khả năng xảy ra mối nguy ngạt thở. Cần có các cảnh báo hệ thống báo hiệu sự hiện diện của nitơ trong hệ thống khí điều khiển (xem 5.3) hoặc các quy trình để ngăn chặn việc sử dụng khí điều khiển có khả năng thiếu oxy để thở hoặc trong

không gian kín. Để biết thêm thông tin về hệ thống khí điều khiển được dự phòng bằng nitơ, xem CGA P-78, Hướng dẫn sử dụng an toàn hệ thống khí điều khiển được dự phòng bằng các loại khí khác ngoài không khí [72].

In instances where instrument air systems are backed up by a nitrogen source, care should be taken to avoid the possibility of an asphyxiation hazard. There should be system alarms warning of the presence of nitrogen in an instrument air system (see 5.3) or procedures to prevent use of potentially oxygen-deficient instrument gas for breathing or in enclosed spaces. For more information on instrument air systems backed up by nitrogen, see CGA P-78, Guideline for the Safe Use of Instrument Air Systems Backed Up by Gases Other Than Air [72].

12.12.3. Nhiệt độ thấp bất thường / Abnormally low temperature

- Trong nhiều ứng dụng, chất lỏng hoặc khí siêu lạnh được làm ấm bằng môi chất gia nhiệt khác trong bộ trao đổi nhiệt trước khi rời khỏi hộp lạnh. Nếu nguồn nhiệt này bị mất, có thể đưa chất lỏng siêu lạnh hoặc khí lạnh vào thiết bị hoặc quy trình không được thiết kế cho nhiệt độ siêu lạnh, dẫn đến giòn và hỏng thép carbon. Cần có các hệ thống thiết bị an toàn (SIS) thích hợp để bảo vệ chống lại mối nguy tiềm ẩn này.

In many applications, cryogenic fluids or gases are warmed by other heating media in a heat exchanger before leaving the coldbox. If this heat source is lost it is possible to send cryogenic liquids or cold gases into equipment or processes not designed for cryogenic temperatures, resulting in carbon steel embrittlement and failure. There should be appropriate safety instrumented systems (SIS) to protect against this potential hazard.

- Các ví dụ về quy trình dễ bị sự cố nhiệt độ thấp bao gồm các quy trình đun sôi oxy lỏng có áp suất trong bộ trao đổi nhiệt chính và khí quy trình thoát ra khỏi bộ trao đổi nhiệt hộp lạnh.

Examples of processes that are subject to low temperature upsets include processes that boil pressurized liquid oxygen in the main heat exchanger and process gases exiting coldbox heat exchangers.

- Khi nhà máy dừng, các van đầu ấm phải được đóng lại. Nếu thời gian dừng lâu hơn vài giờ, nhiệt độ đầu ấm phải được giám sát để đảm bảo chúng duy trì trên nhiệt độ giòn của đường ống sản phẩm (thường là -20°F [-29°C]). Nếu nhiệt độ quá lạnh, chất lỏng phải được xả ra.

When the plant is shut down, the warm-end valves shall be closed. If the shutdown is longer than several hours, the warm-end temperatures shall be monitored to ensure that they stay above the product piping embrittlement temperature (typically -20°F [-29°C]). If the temperatures get too cold, the liquid should be drained.

- Khi có máy nén khí tăng áp, có nguy cơ dòng chảy ngược trong đường ống khí áp suất trung bình trong quá trình khởi động lại nhà máy lạnh hoặc trong điều kiện sự cố. Ngoài ra, nếu có các bộ trao đổi nhiệt đầu ấm riêng biệt, bộ trao đổi nhiệt chính có thể mất dòng khí ấm đi vào trong một số trường hợp nhất định. Với dòng khí lạnh đi ra tiếp tục chảy và khả năng dòng chảy ngược trong đường ống khí ấm, đường ống đầu ấm của bộ trao đổi nhiệt này có thể nguội đi nhanh chóng, có khả năng dẫn đến giòn lạnh. Nguy cơ giòn lạnh là đáng kể trong quá trình khởi động lại lạnh ASU hoặc điều kiện sự cố (đặc biệt khi MAC được dỡ tải hoặc khi MAC bị ngắt trong trường hợp cấu hình nhiều MAC). Sự sụt giảm nhiệt độ ở đầu ấm có thể khá nhanh. Nhiệt độ đường ống đầu ấm có thể giảm xuống dưới nhiệt độ đàn hồi của thép carbon trong vòng vài phút. Các biện pháp giảm thiểu chống lại dòng chảy ngược/dòng chảy ngược như vậy phải được thực hiện. Xem Hình 2 để biết các ví dụ về giảm thiểu.

When a booster air compressor is present, there is a risk of reverse flow in the medium pressure air line during the cold plant restarts or during upset conditions. Also, if separate warm-end heat exchangers are present, the main heat exchanger may lose the incoming warm air stream under certain circumstances. With the continuing flow of outgoing cold gas streams and the potential reverse flow in the warm air piping, the warm end piping of this exchanger may cool down quickly potentially resulting in cold embrittlement. The cold embrittlement risk is significant during ASU cold restart or upset conditions (particularly when the MAC is unloaded or when a MAC has tripped in the case of a multiple MAC configuration). The drop in temperature at the warm end can be quite fast. It is possible for the warm-end piping temperature to fall below the resilient temperature of carbon steel within a few minutes. Mitigations against such backflow/reverse flow shall be implemented. See Figure 2 for examples of mitigation.

- **CẢNH BÁO:** Sự giòn thép carbon do nhiệt độ lạnh có thể làm nổ đường ống, dẫn đến thương tích cá nhân hoặc hư hỏng thiết bị. Cần thực hiện hành động để đảm

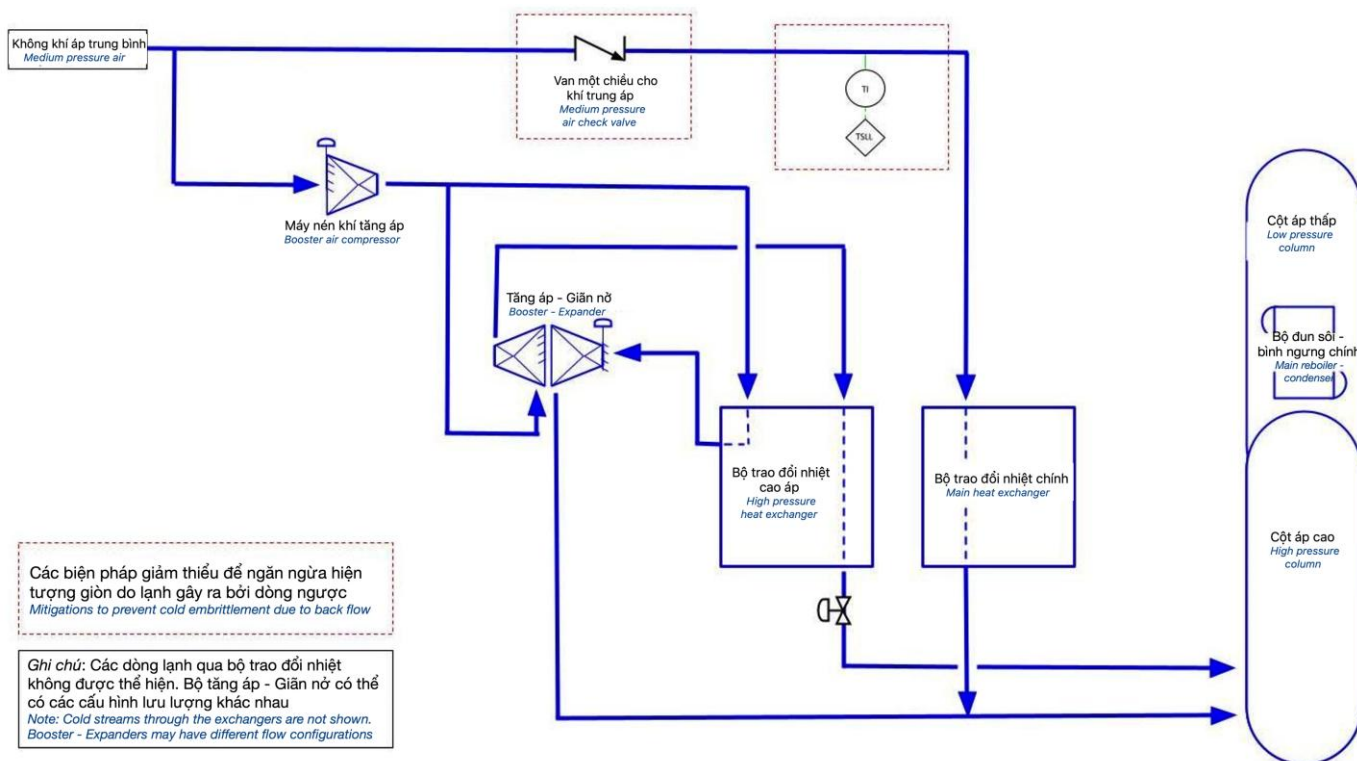
Đảm bảo rằng hiện tượng giòn không xảy ra. Để biết thêm thông tin, xem AIGA 027, Hệ thống hóa hơi siêu lạnh—Ngăn ngừa nứt giòn thiết bị và đường ống [73].

WARNING: Carbon steel embrittlement by cold temperatures could rupture piping, resulting in personnel injury or equipment damage. Action should be taken to ensure that embrittlement does not occur. For more information, see AIGA 027, Cryogenic Vaporization Systems—Prevention of Brittle Fracture of Equipment and Piping [73].

12.12.4. Các sự cố quy trình và dừng máy khác / Other process upsets and shutdowns

- Một số điều kiện vận hành bất thường phải bắt đầu các biện pháp khắc phục kịp thời để đưa hộp lạnh trở lại điều kiện vận hành bình thường. Nếu không thể thiết lập lại các điều kiện vận hành bình thường trong một khoảng thời gian xác định, hộp lạnh phải được dừng. Việc tiếp tục vận hành bất thường có thể dẫn đến thương tích cho nhân viên, hư hỏng thiết bị hoặc hậu quả đáng kể ngoài địa điểm. Thời gian cần thiết để trở lại điều kiện vận hành bình thường được nhà sản xuất thiết lập và thay đổi tùy theo từng điều kiện vận hành bất thường.
Certain abnormal operating conditions should initiate prompt corrective measures to return the coldbox to normal operating conditions. If normal operating conditions cannot be re-established within a specified time the coldbox shall be shut down. Continued abnormal operation can result in injury to personnel, damage to equipment, or significant off-site consequences. The time required to return to normal operating conditions is established by the manufacturer and varies for each abnormal operating condition.
- Các điều kiện vận hành bất thường có thể dẫn đến dừng máy có thể bao gồm:
Abnormal operating conditions that can lead to a shutdown can include:
 - Nồng độ hydrocarbon và/hoặc axetylen cao trong chất lỏng đáy cột áp suất thấp [43];
High hydrocarbon and/or acetylene concentrations in the low pressure column sump liquid [43];
 - Carbon dioxide cao trong chất lỏng đáy cột áp suất thấp và/hoặc đầu ra bộ tiền tinh chế [43];
High carbon dioxide in the low pressure column sump liquid and/or prepurifier outlet [43];
 - Mức reboiler thấp và cao [43];
Low and high reboiler level [43];
 - Mức chất lỏng cao trong cột áp suất cao;
High liquid level in the high pressure column;
 - Lưu lượng thông thổi chất lỏng thấp từ đáy reboiler [43];
Low liquid purge rate from the reboiler sump [43];
 - Bộ trao đổi nhiệt oxy lỏng bơm. Mỗi nhà sản xuất thiết lập các giới hạn vận hành an toàn cho các bộ trao đổi nhiệt này, xem AIGA 057 [2]. Các giới hạn này bao gồm:
Pump liquid oxygen exchanger. Each manufacturer establishes operating limits for safe operation of these exchangers, see AIGA 057 [2]. These limits include:
 - Áp suất oxy tối thiểu
Minimum oxygen pressure
 - Áp suất khí tối thiểu
Minimum air pressure
 - Lưu lượng khí tối thiểu
Minimum air flow rate
 - Lưu lượng oxy tối thiểu
Minimum oxygen flow rate
 - Áp suất chênh lệch giữa khí và oxy;
Differential pressure between the air and oxygen;
 - Nhiệt độ khí cao đi vào hộp lạnh; và
High temperature air into the coldbox; and
 - Lưu lượng thấp đối với bơm tuần hoàn reboiler dòng chảy xuống.
Low flow for downflow reboiler circulating pump.
- Hệ thống đường ống nhà máy, đặc biệt là đường ống oxy, không nên vận hành với độ rung cao. Nếu điều này xảy ra vì bất kỳ lý do gì, người vận hành phải điều tra ngay lập tức và thực hiện các biện pháp giảm thiểu.

Plant piping systems, especially oxygen piping, should not be operated with high vibration. If this occurs for any reason, operators should immediately investigate and implement mitigation measures.



Hình 2—Ví dụ về các biện pháp giảm thiểu chống lại dòng chảy ngược/dòng chảy ngược
Figure 2—Example of mitigations against backflow/reverse flow

12.13. Vận hành và bảo trì / Operation and maintenance

12.13.1. Vận hành hộp lạnh / Coldbox operation

- Hướng dẫn vận hành bằng văn bản phải được cung cấp cho nhân viên vận hành.
Documented operating instructions shall be supplied to operating personnel.
- Các hướng dẫn phải xác định giới hạn vận hành an toàn của hệ thống và mọi quy trình cần thiết để vận hành hệ thống trong tình huống khẩn cấp. Các hướng dẫn vận hành phải bao gồm mọi hành động cần thực hiện để ứng phó với việc vượt quá giới hạn thiết kế của hệ thống (ví dụ: quá áp, thay đổi nhiệt độ nhanh, hư hỏng cơ học).
The instructions shall define the safe operating limits of the system and any procedures that are required to operate the system in an emergency situation. The operating instructions shall include any actions required to be taken in response to an excursion outside the design limits of the system (for example, overpressure, rapid temperature change, mechanical damage).

12.13.2. Công việc nóng / Hot work

- Công việc nóng chỉ được thực hiện theo giấy phép làm việc.
Hot work shall only be performed under a work permit.

12.13.3. Kiểm tra và bảo trì định kỳ / Periodic inspection and maintenance

12.13.3.1. Chung / General

- Phải thực hiện kiểm tra và bảo trì bên ngoài định kỳ đối với vỏ hộp lạnh để đảm bảo rằng hệ thống lắp đặt vẫn ở trong tình trạng an toàn. Kiểm tra bên ngoài định kỳ cũng phải được thực hiện để xác nhận rằng các đường ống, van và bộ điều khiển lộ ra ngoài không có bất kỳ khiếm khuyết nào. Khi phát hiện khiếm khuyết, chúng phải được điều tra và khắc phục. Các bộ phận bên trong hộp lạnh không cần kiểm tra và bảo trì định kỳ (ví dụ: đường ống, tháp chưng cất, bình chứa, bộ trao đổi nhiệt, v.v.). Phạm vi và khoảng thời gian kiểm tra, bảo trì và sửa chữa phải được người sử dụng

thiết lập sau khi tham khảo ý kiến của nhà sản xuất, các quy định hiện hành và chính quyền địa phương, nếu phù hợp.

Periodic external inspection and maintenance of the coldbox enclosure shall be carried out to ensure that the installation remains in a safe condition. Periodic external inspection shall also be carried out to confirm that exposed pipework, valves, and controls do not indicate any defects. Where defects are found, they shall be investigated and rectified. Internals of the coldbox do not require periodic inspection and maintenance (for example, piping, columns, vessels, heat exchangers, etc.). The scope and time interval for the inspection, maintenance, and repair shall be established by the user in consultation with the manufacturer, applicable regulations, and local authorities, as appropriate.

- Địa điểm nên được kiểm tra thường xuyên để đảm bảo rằng nó được duy trì trong điều kiện thích hợp cho loại hình lắp đặt. Một nguy đặc biệt là sự tích tụ băng trên bề mặt bên ngoài của hộp lạnh hoặc đường ống bên ngoài. Xem AIGA 079 và AIGA SB 22/20 để biết thêm thông tin [64, 93].

The site should be inspected regularly to ensure that it is maintained in an appropriate condition for the type of installation. A particular hazard is ice buildup on the external surface of the coldbox or external piping. See AIGA 079 and AIGA SB 22/20 for more information [64, 93].

- Phải có sẵn một hồ sơ lắp đặt toàn diện và phải bao gồm:
A comprehensive installation dossier shall be available and shall include:

- *sơ đồ quy trình và thiết bị đo lường;*
process and instrumentation diagrams;
- *hồ sơ bình chịu áp lực; và*
pressure vessel dossier; and
- *hướng dẫn vận hành.*
operating instructions.

- Việc cung cấp khí thông thổi vào không gian vành khuyên nên được kiểm tra định kỳ để đảm bảo duy trì việc thông thổi hiệu quả. Việc thông thổi bị lỗi có thể dẫn đến tích tụ độ ẩm trong không gian vành khuyên, gây ra sự hình thành băng hoặc ngưng tụ không khí. Để biết thêm thông tin, xem AIGA 079 [64].

The supply of purge gas to the annular space should be checked periodically to ensure an effective purge is being maintained. Failure of a purge could lead to moisture accumulation in the annular space leading to ice formation or condensation of air. For more information, see AIGA 079 [64].

- Nên sử dụng phụ tùng thay thế của nhà sản xuất thiết bị gốc (OEM). Nếu không thể, tính phù hợp của phụ tùng thay thế phải được phê duyệt bởi người có thẩm quyền thông qua quy trình quản lý thay đổi (MOC). Để biết thêm thông tin, xem AIGA 010, Quản lý Thay đổi [74].

Original equipment manufacturer (OEM) spare parts should be used. If this is not possible, the suitability of the spare part shall be approved by a competent person through a management of change (MOC) process. For more information, see AIGA 010, Management of Change [74].

- Việc bảo trì và lắp ráp thiết bị cho dịch vụ oxy phải được thực hiện trong điều kiện sạch sẽ, không dầu mỡ. Tất cả các công cụ và quần áo bảo hộ (chẳng hạn như quần áo bảo hộ lao động, găng tay và giày dép) phải sạch sẽ và không dính dầu mỡ. Để được hướng dẫn thực tế về độ sạch cho dịch vụ oxy, xem AIGA 012 [34].

The maintenance and assembly of equipment for oxygen shall be carried out in clean, oil-free conditions. All tools and protective clothing (such as overalls, gloves, and footwear) shall be clean and free of grease and oil. For practical guidance on cleanliness for oxygen service, see AIGA 012 [34].

12.13.3.2. Tháp chưng cất, bình xử lý siêu lạnh và bộ trao đổi nhiệt / Column, cryogenic process vessels, and heat exchangers

- Nói chung, việc kiểm tra hoặc thử nghiệm định kỳ tháp chưng cất, bình xử lý siêu lạnh và bộ trao đổi nhiệt không được coi là cần thiết vì:

In general, periodic inspection or test of the column, cryogenic process vessels, and heat exchangers is not considered necessary because of:

- điều kiện dịch vụ khô và sạch;
dry and clean service conditions;
- tính không ăn mòn của chất lỏng;
noncorrosivity of liquids;
- các đặc tính vật liệu được tăng cường ở nhiệt độ thấp; và
enhanced material properties at low temperatures; and
- không gian thông thổi bằng khí quyển trơ, khô.
dry, inert atmosphere purge space.

- Để biết thêm thông tin, xem AIGA 117, Quản lý Tính toàn vẹn của Nhà máy [75].
For additional information, see AIGA 117, Plant Integrity Management [75].

- Thiết bị không được đưa ra khỏi dịch vụ để sửa chữa cho đến khi chất lỏng đã được xả hết và áp suất đã được giải phóng. Bất kỳ rò rỉ nào phải được khắc phục kịp thời và một cách an toàn. Xem 16.11.
Equipment shall not be taken out of service for repair until liquid has been drained and pressure has been released. Any leakage shall be rectified promptly and in a safe manner. See 16.11.

- Khi hộp lạnh được đưa ra khỏi dịch vụ để sửa đổi hoặc bảo trì, các khu vực dễ tiếp cận của hộp lạnh nên được kiểm tra bởi người có thẩm quyền.
When a coldbox is taken out of service for modification or maintenance, the accessible areas of the coldbox should be examined by a competent person.

12.13.3.3. Thiết bị giảm áp của bình chịu áp lực / *Pressure vessel pressure relief devices*

- Phải thực hiện kiểm tra định kỳ đối với từng van giảm áp để chứng minh khả năng hoạt động tốt của nó trong một thời gian phục vụ tiếp theo. Các van giảm áp phải được kiểm tra theo quy trình vận hành tiêu chuẩn của từng công ty hoặc quy định địa phương.
A periodic test of each pressure relief valve shall be carried out to demonstrate its fitness for a further period of service. Pressure relief valves shall be tested in accordance with individual company standard operating procedures or local regulations.

- Các phần tử đĩa nổ có thể bị xuống cấp theo thời gian, dẫn đến việc định mức áp suất giảm áp của chúng bị giảm. Do đó, có thể cần phải thay thế các phần tử đĩa định kỳ.
Bursting disk elements can deteriorate with time resulting in their relief pressure rating being reduced. It may, therefore, be necessary to replace disk elements periodically.

- Trường hợp van chặn được lắp đặt ở phía trước (upstream) của PRD để cho phép kiểm tra và thử nghiệm chúng khi hộp lạnh đang hoạt động, phải có các hệ thống khóa và quy trình vận hành cụ thể để tháo chúng ra nhằm mục đích thử nghiệm và để đảm bảo rằng PRD không bị cô lập sau khi thử nghiệm.
Where block valves are installed upstream of PRDs to allow their inspection and testing with the coldbox in operation, specific locking systems and operational procedures shall exist for their removal for testing and to ensure that the PRDs are not isolated after their testing.

- Tất cả các PRD trong dịch vụ siêu lạnh nên được kiểm tra định kỳ để tìm sự tích tụ băng bên ngoài. Băng tích tụ nên được loại bỏ kịp thời. Việc không làm như vậy có thể ngăn PRD hoạt động theo các yêu cầu thiết kế.
All PRDs in cryogenic service should be inspected periodically for external ice accumulation. Accumulated ice should be removed promptly. Failure to do so can prevent the PRD from operating in accordance with the design requirements.

13. Hệ thống điều khiển / *Control systems*

13.1. Chức năng của hệ thống đo lường/điều khiển / *Instrumented systems functions*

- Hệ thống thiết bị đo lường/điều khiển được yêu cầu thực hiện các chức năng liên quan đến an toàn cũng như các chức năng điều khiển truyền thống của các nhà máy phân tách khí siêu lạnh [3]. Kiến trúc hệ thống bao gồm từ các vòng điều khiển khí nén đơn giản với logic role điện đến các hệ thống dựa trên máy tính phức tạp cho phép khởi động và dừng tự động cũng như vận hành từ xa và không cần người giám sát dựa trên các thuật toán điều khiển phức tạp. Hệ thống thiết bị đo lường/điều khiển có thể được chia thành ba chức năng chính sau:
Instrumented systems are required to perform safety-related functions as well as traditional control functions of cryogenic air separation plants [3]. System architecture ranges from simple pneumatic control loops with electrical relay logic to sophisticated computer-based systems allowing automated start and shutdown as well as unattended and remote operation based on complex control algorithms. Instrumented systems can be divided into the following three main functions:
 - Hệ thống an toàn quan trọng để ngăn chặn:
Critical safety systems to prevent:
 - Sự giải phóng không kiểm soát chất độc hại hoặc mối nguy
Uncontrolled release of a toxic or hazardous substance
 - Cháy
Fire
 - Nổ hoặc giải phóng năng lượng đột ngột
Explosion or sudden release of energy
 - Bất kỳ sự cố ngoài kế hoạch nào khác có thể gây tử vong hoặc thương tích đe dọa tính mạng cho nhân viên, nhà thầu hoặc người bên ngoài nhà máy hoặc tác động nghiêm trọng đến môi trường, địa điểm hoặc cộng đồng, đòi hỏi phải có phản ứng ngay lập tức;
Any other unplanned incident that could cause death or life-threatening injury to employees, contractors, or persons outside the plant or serious environmental, location, or community impact, which requires immediate response;
 - Hệ thống an toàn vận hành để ngăn chặn sự cố ngoài kế hoạch có thể gây thương tích nhân sự không đe dọa tính mạng, hư hỏng thiết bị giới hạn hoặc tác động nhỏ ngoài địa điểm; và
Operational safety systems to prevent an unplanned incident that could cause nonlife-threatening personnel injury, limited equipment damage, or minor off-site impact; and
 - Hệ thống điều khiển vận hành nhà máy thường xuyên cho hoạt động nhà máy thường xuyên và bảo vệ thiết bị.
Routine plant operation control systems for routine plant operation and equipment protection.

13.2. Hệ thống an toàn trọng yếu / *Critical safety systems*

- Các hệ thống an toàn trọng yếu phải được trang bị và phải có tính năng an toàn khi xảy ra lỗi (failsafe). Các hệ thống an toàn trọng yếu của từng cơ sở phải được lập hồ sơ đầy đủ. Khi bất kỳ thành phần trọng yếu nào bị hỏng, hệ thống phải tự động ngừng hoạt động và được cô lập theo một trình tự đã được xác định trước. Các hệ thống an toàn trọng yếu phải được bảo vệ khỏi việc thay đổi ngoài ý muốn thông qua mật khẩu, khóa cơ khí hoặc các biện pháp bảo vệ khác.
Critical safety systems shall be provided and shall be failsafe. The critical safety systems for each facility shall be documented. The failure of any critical component shall result in the shut down and isolation of the system in a predetermined manner. Critical safety systems shall be protected from accidental change by use of passwords, key locks, or other methods.
- Các hệ thống an toàn trọng yếu có thể độc lập với hệ thống điều khiển vận hành thông thường của nhà máy. Các hệ thống này cũng có thể yêu cầu mức độ dự phòng (redundancy) bằng cách nhân đôi các thành phần hoặc chức năng trọng yếu. Hệ thống an toàn trọng yếu có thể dùng chung một số thành phần với hệ thống điều khiển vận hành nếu chứng minh được rằng việc hỏng hệ thống điều khiển thông thường không làm suy giảm hoặc gây nguy hiểm cho hệ thống an toàn trọng yếu.
Critical safety systems may be separate from controls necessary for routine plant operation. These systems also can require redundancy through duplication of critical components or functions. The critical safety system may share components with the routine plant control system if it can be shown that failure of the routine plant control system does not compromise the critical safety system.
- Các hoạt động đúng của hệ thống an toàn trọng yếu phải được xác minh và lập thành tài liệu như sau:
The proper operation of critical safety systems shall be verified and documented as follows:
 - trong quá trình chạy thử và khởi động hệ thống điều khiển ban đầu;
during initial control system commissioning and startup;

- sau khi bảo trì được thực hiện trên hệ thống an toàn trọng yếu;
after maintenance is performed on the critical safety system;
 - theo các khoảng thời gian định kỳ như được quy định trong tài liệu hệ thống an toàn trọng yếu; và
at periodic intervals as specified in the critical safety system documentation; and
 - sau một thời gian ngừng hoạt động kéo dài như được quy định trong tài liệu hệ thống an toàn trọng yếu.
after an extended outage as specified in the critical safety system documentation.
- Việc xác minh phải bao gồm toàn bộ hệ thống từ thiết bị phát hiện đến phần tử cuối cùng.
The verification shall include the complete system from the detection device to the final element.
 - Việc kiểm tra này nên bao gồm việc mô phỏng kích hoạt các thiết bị bảo vệ đặt tại hiện trường thông qua hệ thống thiết bị phát hiện liên quan. Đối với các van thuộc hệ thống an toàn trọng yếu, khi có thể, việc đóng van cần được xác nhận bằng thử nghiệm rò rỉ dưới áp suất quy trình thay vì chỉ dựa vào chỉ báo vị trí van từ bên ngoài
Such testing should include simulated activation of field located protective devices by the associated detection instrumentation. For valves that are part of critical safety systems, when possible, shutoff should be confirmed by leak testing against process pressure rather than relying solely upon external visual indication of valve position.
 - Việc sửa đổi bất kỳ hệ thống an toàn trọng yếu nào, bao gồm cả việc tạm thời bypass chức năng phục vụ vận hành, phải tuân theo quy trình quản lý sự thay đổi (MOC) được lập hồ sơ, bao gồm việc rà soát bởi nhân sự có năng lực kỹ thuật và phê duyệt bởi người có thẩm quyền (xem 19.4).
Modification of any critical safety system including bypassing functionality for temporary operation shall require a documented management of change (MOC) procedure including review by technically competent personnel and approval by authorized personnel (see 19.4).
 - Một hệ thống điều khiển ghi đè bên ngoài (external override), tức hệ thống dừng khẩn cấp độc lập với hệ thống điều khiển của nhà máy, phải được trang bị để có thể dừng ngay lập tức một phần hoặc toàn bộ cơ sở nhằm bảo vệ nhân sự và giảm thiểu hậu quả tiềm ẩn của một sự cố an toàn vận hành nghiêm trọng. Hệ thống ghi đè bên ngoài phải yêu cầu reset thủ công bằng một phương thức riêng biệt và an toàn nhằm tránh khởi động lại ngoài ý muốn. Bất kỳ hệ thống ghi đè bên ngoài nào cũng phải được nhận diện rõ ràng và nhân sự vận hành phải được thông báo về vị trí của chúng.
An external override (a plant emergency shutdown that is independent of the plant control system) shall be provided to immediately shut down part or all of a facility to safeguard personnel and mitigate the potential consequences of a major operational safety event. The external override shall require manual reset by a separate and secure means to prevent unintentional restart. Any external override shall be clearly identified and plant personnel made aware of its location.
 - Van điều khiển đôi khi được trang bị tay quay thao tác thủ công có thể ghi đè cơ cấu chấp hành của van. Chế độ thao tác thủ công này có thể hạn chế hoạt động bình thường của van và ngăn cản van đóng hoặc mở hoàn toàn, khiến van không thể thực hiện chức năng thiết kế của nó. Hệ quả này cần được xem xét khi quyết định có lắp đặt tay quay thủ công hay không, và nếu lắp đặt thì phải xác định cách quản lý phù hợp.
Control valves are sometimes fitted with a manual handwheel that can override the valve actuator. This manual override can limit the normal operation of the valve and prevent it from fully closing or opening, thus preventing the valve from performing its intended function. This consequence shall be considered when deciding whether to install and if installed, how to manage a manual override.

13.3. Hệ thống an toàn vận hành / *Operational safety systems*

- Hệ thống an toàn vận hành phải được cung cấp và có thể tách biệt với các bộ điều khiển cần thiết cho hoạt động nhà máy thường xuyên. Hệ thống an toàn vận hành cho từng cơ sở phải được lập thành tài liệu. Chúng nên được bảo vệ khỏi sự thay đổi ngẫu nhiên bằng cách sử dụng mật khẩu, khóa chìa hoặc các phương pháp khác.
Operational safety systems shall be provided and may be separate from controls necessary for routine plant operation. The operational safety systems for each facility shall be documented. They should be protected from accidental change by use of passwords, key locks, or other methods.
- Hoạt động đúng đắn của các hệ thống an toàn vận hành đó phải được xác minh:
The proper operation of such operational safety systems shall be verified:
 - trong quá trình chạy thử và khởi động hệ thống điều khiển ban đầu;

- during initial control system commissioning and startup;*
 - sau khi bảo trì được thực hiện trên hệ thống an toàn vận hành;
after maintenance is performed on the operational safety system;
 - theo các khoảng thời gian định kỳ như được quy định trong tài liệu hệ thống an toàn vận hành; và
at periodic intervals as specified in the operational safety system documentation; and
 - sau một thời gian ngừng hoạt động kéo dài như được quy định trong tài liệu hệ thống an toàn vận hành.
after an extended outage as specified in the operational safety system documentation.
- Việc xác minh nên bao gồm toàn bộ hệ thống từ thiết bị phát hiện đến phần tử cuối cùng.
The verification should include the complete system from the detection device to the final element.
- Việc kiểm tra đó nên bao gồm kích hoạt mô phỏng các thiết bị bảo vệ đặt tại hiện trường bằng thiết bị đo lường phát hiện liên quan. Đối với các van là một phần của hệ thống an toàn vận hành, khi có thể, việc ngắt nên được xác nhận bằng cách kiểm tra rò rỉ dưới áp suất quy trình thay vì chỉ dựa vào chỉ báo trực quan bên ngoài về vị trí van.
Such testing should include simulated activation of field located protective devices by the associated detection instrumentation. For valves that are part of operational safety systems, when possible, shutoff should be confirmed by leak testing against process pressure rather than relying solely upon external visual indication of valve position.
- Việc sửa đổi bất kỳ hệ thống an toàn vận hành nào, bao gồm cả việc bỏ qua chức năng để vận hành tạm thời, phải yêu cầu một quy trình MOC được lập thành tài liệu, bao gồm việc xem xét bởi nhân sự có năng lực kỹ thuật và phê duyệt bởi nhân sự được ủy quyền (xem 19.4).
Modification of any operational safety system including bypassing functionality for temporary operation shall require a documented MOC procedure including review by technically competent personnel and approval by authorized personnel (see 19.4).
- Một chức năng ghi đè bên ngoài độc lập với hệ thống điều khiển nhà máy nên được cung cấp để dừng ngay lập tức các thiết bị được chọn nhằm bảo vệ nhân sự và giảm thiểu hậu quả tiềm tàng của một sự kiện an toàn. Chức năng ghi đè bên ngoài nên yêu cầu đặt lại thủ công bằng một phương tiện riêng biệt và an toàn để ngăn chặn việc khởi động lại ngoài ý muốn. Bất kỳ chức năng ghi đè bên ngoài nào cũng phải được xác định rõ ràng và nhân sự nhà máy phải được thông báo về vị trí của nó.
An external override independent of the plant control system should be provided to immediately shut down selected equipment to safeguard personnel and mitigate the potential consequences of a safety event. The external override should require manual reset by a separate and secure means to prevent unintentional restart. Any external override shall be clearly identified and plant personnel made aware of its location.
- Nên xem xét việc thiết kế các hệ thống an toàn vận hành theo nguyên tắc an toàn khi hỏng hóc (failsafe) để sự cố của bất kỳ thành phần quan trọng nào cũng dẫn đến việc dừng và cô lập hệ thống theo một cách thức được xác định trước.
Consideration should be given to making operational safety systems failsafe so the failure of any critical component results in the shut down and isolation of the system in a predetermined manner.

13.4. Hệ thống điều khiển vận hành thông thường của nhà máy / *Routine plant operation control systems*

- Hệ thống điều khiển vận hành nhà máy thường xuyên phải được cung cấp. Các thực hành kỹ thuật và thiết kế tốt phải được tích hợp vào các bộ điều khiển mặc dù các thành phần dự phòng hoặc hoạt động an toàn khi hỏng hóc thường không bắt buộc.
Routine plant operation control systems shall be provided. Good engineering and design practices shall be incorporated into the controls although redundant components or failsafe operations are usually not required.
- Hoạt động của các bộ điều khiển vận hành nhà máy thường xuyên nên được xác minh:
The operation of routine plant operational controls should be verified:
 - trong quá trình chạy thử và khởi động hệ thống điều khiển ban đầu;
during initial control system commissioning and startup;
 - sau khi bảo trì được thực hiện trên hệ thống; và
after maintenance is performed on the system; and
 - theo các khoảng thời gian định kỳ.

at periodic intervals.

- Việc sửa đổi chức năng của bộ điều khiển vận hành nhà máy phải yêu cầu một quy trình MOC được lập thành tài liệu, bao gồm việc xem xét bởi nhân sự có năng lực kỹ thuật và phê duyệt bởi nhân sự được ủy quyền (xem 19.4). Việc thay đổi điểm đặt hoặc hằng số điều chỉnh không yêu cầu xem xét bằng văn bản.

Modification of the function of a plant operational control shall require a documented MOC procedure including review by technically competent personnel and approval by authorized personnel (see 19.4). Set point or tuning constant changes do not require documented review.

13.5. Vận hành không giám sát hoặc giám sát một phần / *Unattended or partially attended operation*

- Hệ thống điều khiển nhà máy dựa trên máy tính cho phép các nhà máy phân tách khí siêu lạnh vận hành an toàn mà không cần người trông coi hoặc với nhân sự tối thiểu. Vận hành không người trông coi hoặc có ít người trông coi đặt ra các yêu cầu bổ sung đối với hệ thống điều khiển để giám sát và phản ứng với các điều kiện mà không cần thiết tại một cơ sở có đầy đủ nhân sự. Các phản ứng đối với các điều kiện quy trình có thể được xử lý không chính thức tại một cơ sở có đầy đủ nhân sự phải được thiết kế cụ thể vào các bộ điều khiển cho cơ sở không người trông coi hoặc có ít người trông coi.

Computer-based plant control systems allow cryogenic air separation plants to safely operate either unattended or with minimal staffing. Unattended or minimally staffed operation puts additional demands on the control system to monitor and react to conditions that are not necessary at a fully attended facility. Responses to process conditions that can be informally handled at a fully attended facility shall be specifically designed into the controls for an unattended or minimally staffed facility.

- Hệ thống thiết bị đo lường phải được thiết kế để dừng an toàn và bảo vệ quy trình và thiết bị nhà máy mà không cần bất kỳ sự can thiệp thủ công nào trong trường hợp xảy ra sự cố quy trình hoặc dừng hoạt động ngoài kế hoạch.

The instrumented system shall be designed to safely shut down and secure the process and plant equipment without any manual intervention in the event of an unplanned process upset or shutdown.

- Các cơ sở không người trông coi có mức độ tự động hóa cao, đặc biệt là việc tự động khởi động thiết bị. Phải đặc biệt xem xét việc ngăn ngừa thương tích cá nhân khi cơ sở có người trông coi. Cũng phải xem xét những điều kiện nào ngăn chặn việc tự động khởi động lại thiết bị.

Unattended facilities have a high degree of automation, particularly automatic starting of equipment. Special consideration shall be given to preventing personnel injury when the facility is attended. Consideration shall also be given to what conditions prevent the automatic restart of equipment.

- Nên xem xét việc giám sát bổ sung tình trạng quy trình và thiết bị. Việc giám sát từ xa các biến quy trình được chọn và/hoặc trạng thái hoặc điều kiện thiết bị cũng nên được xem xét.

Consideration should be given to additional process and equipment condition monitoring. Remote monitoring of selected process variables and/or equipment status or conditions also should be considered.

- Một hệ thống thông báo khẩn cấp phải được cung cấp để thông báo cho nhân sự ngoài hiện trường khi có sự kiện bất thường (ví dụ: mức rất cao trong bồn tồn chứa).

An emergency notification system shall be provided to notify off-site personnel when there is an abnormal event (for example, high high level in a storage tank).

- Khi chỉ có một người ở nhà máy, một hệ thống thông báo phải được cung cấp để cảnh báo nhân sự được chỉ định nếu có tình huống khẩn cấp về an toàn cá nhân (ví dụ: người bị ngã/mất khả năng).

When only one person is at a plant, a notification system shall be provided to alert designated personnel if there is a personnel safety emergency (for example, man down).

- Để biết thêm thông tin về các nhà máy không người trông coi, xem AIGA 028 [52].

For further information on unmanned plants, see AIGA 028 [52].

13.6. Vận hành từ xa / *Remote operation*

- Tương tự như vận hành không người trông coi, hệ thống điều khiển dựa trên máy tính cho phép vận hành các cơ sở một cách an toàn từ xa. Vận hành từ xa cho thấy nhân sự ở xa cơ sở có thể khởi động và/hoặc dừng thiết bị hoặc thay đổi các điểm điều khiển quy trình thông qua các liên kết truyền thông. Cơ sở vận hành từ xa có thể có người trông coi, không người trông coi hoặc có ít người trông coi.

As with unattended operation, computer-based control systems allow the safe operation of facilities remotely. Remote operation indicates that personnel located away from the facility can start and/or stop equipment or change process control points through communication links. The remotely operated facility may be attended, unattended, or partially attended.

- Bảo vệ an ninh để ngăn chặn truy cập và vận hành trái phép hệ thống điều khiển phải được cung cấp thông qua các giao thức bảo mật mật khẩu và phần mềm để đảm bảo rằng chỉ nhân sự được ủy quyền mới có thể thực hiện thay đổi.
Security protection to prevent unauthorized access and operation of the control system shall be provided through password and software security protocols to ensure that only authorized personnel can make changes.
- Nên xem xét các loại thay đổi được phép thực hiện bởi nhân sự ở xa, bao gồm các điều kiện ngăn chặn việc khởi động lại từ xa. Nên xem xét hoạt động của hệ thống điều khiển nếu mất liên lạc trong khi đang thực hiện thay đổi.
Consideration should be given to the types of changes allowed by remotely located personnel including conditions that prevent a remote restart. Consideration should be given to control system operation if communications are lost while changes are being made.
- Vì các thay đổi về thiết bị hoặc quy trình có thể được thực hiện từ xa, phải đặc biệt xem xét việc ngăn ngừa thương tích cá nhân khi cơ sở có người trông coi. Các quy trình phải được cung cấp để thiết lập điều khiển cục bộ hoàn toàn khi cơ sở có người trông coi. Tương tự, các quy trình được yêu cầu để thiết lập lại điều khiển từ xa khi nhân sự rời khỏi cơ sở.
Since equipment or process changes can be made remotely, special consideration shall be given to preventing personnel injury when the facility is attended. Procedures shall be provided to establish full local control when the facility is attended. Likewise, procedures are required to re-establish remote control when personnel leave the facility.
- Để biết thêm thông tin về các nhà máy không người trông coi, xem AIGA 028 [52].
For further information on unmanned plants, see AIGA 028 [52].

13.7. Các lưu ý bổ sung đối với hệ thống điều khiển dựa trên máy tính / *Additional considerations for computer-based control systems*

- Biến động và mất điện có thể làm hỏng hệ thống điều khiển dựa trên máy tính. Để giảm thiểu tác động của các điều kiện này đối với hệ thống điều khiển, nên sử dụng thiết bị điều hòa nguồn điện, bộ điều chỉnh điện áp, nối đất hệ thống và bộ nguồn liên tục phù hợp. Phần cứng, phần mềm hệ thống và thiết bị đo lường tại hiện trường phải được thiết kế để tính đến việc mất điện và đảm bảo dừng và cô lập nhà máy an toàn.
Power fluctuations and outages can damage computer-based control systems. To minimize the impact of these conditions on the control system, proper power conditioning equipment, voltage regulators, system grounding, and uninterruptible power supplies should be used. The system hardware, software, and field instruments shall be designed to account for power loss and ensure safe plant shutdown and isolation.
- Với hệ thống điều khiển dựa trên máy tính, việc ghi nhật ký tự động các thay đổi điểm đặt, xác nhận báo động, và dừng và khởi động thiết bị nên được tạo và lưu giữ.
With a computer-based control system, automatic logging of set point changes, alarm acknowledgement, and equipment shutdowns and startups should be created and retained.
- Hệ thống dựa trên máy tính dễ gặp sự cố do lỗi nguyên nhân chung. Để giảm thiểu những ảnh hưởng này, nên xem xét:
Computer-based systems are prone to problems from common cause failures. To minimize these effects, consideration should be given to:
 - nhóm tín hiệu đầu vào và đầu ra;
grouping input and output signals;
 - các đơn vị giao diện vận hành dự phòng; và
redundant operator interface units; and
 - mất liên lạc giữa các thành phần.
loss of communication between components.
- Hệ thống điều khiển dựa trên máy tính nên xác minh các đầu vào có tác động đáng kể đến hoạt động của hệ thống, ví dụ:
The computer-based control system should verify inputs that significantly impact system operation, for example:
 - xóa tập tin;
deleting files;

- khởi động máy móc;
starting machines;
- đầu vào số nằm ngoài phạm vi; và
out of range numerical input; and
- giới hạn tốc độ thay đổi điểm đặt.
limiting rate of change of set points.

- Điều này thường yêu cầu một đầu vào thứ hai để xác nhận hành động được yêu cầu. Một phiên bản dự phòng của chương trình hệ thống điều khiển hiện tại nên được duy trì tại chỗ và ngoài hiện trường.
This typically requires a second input to confirm the requested action. A back-up version of the current control system program should be maintained on-site and off-site.

13.8. Các lưu ý bổ sung đối với hệ thống an toàn khi xảy ra lỗi / *Additional considerations for failsafe systems*

- Trong một hệ thống an toàn chống lỗi, sự cố của một bộ phận quan trọng sẽ dẫn đến việc ngừng hoạt động có kiểm soát và cô lập hệ thống theo một phương thức đã được dự đoán và an toàn. Các hệ thống có thể được thiết kế an toàn chống lỗi hoặc thông qua một số sửa đổi/biện pháp bao gồm:
In a failsafe system, failure of a critical component results in a controlled shutdown and isolation of the system in a predicted and safe fashion. Systems can be rendered failsafe by design or through a number of modifications/measures including:
 - thiết bị/mạch giám sát (watchdog);
watchdog devices/circuits;
 - lựa chọn chế độ lỗi của bộ truyền động (lỗi mở/lỗi đóng);
choice of actuator failure mode (fail open/fail close);
 - chẩn đoán bên trong/bên ngoài; và
internal/external diagnostics; and
 - sử dụng quy ước tín hiệu cấp điện để chạy/ngắt điện để ngắt.
use of energize-to-run/de-energize-to-trip signal convention.

13.9. Hệ thống cảnh báo / *Alarm system*

- Hệ thống điều khiển phải bao gồm một hệ thống cảnh báo để thông báo cho người vận hành về các điều kiện vận hành bất thường của nhà máy cần được đánh giá hoặc hành động kịp thời. Hệ thống cảnh báo phải được thiết kế có tính đến khả năng phản ứng hiệu quả của con người đối với các cảnh báo. Các hệ thống cảnh báo được thiết kế kém có thể cản trở thay vì giúp đỡ người vận hành và có thể dẫn đến việc không xác định được nhu cầu hành động, hoặc không chọn một hành động hiệu quả, đặc biệt trong các điều kiện khẩn cấp.
Control systems shall include an alarm system to inform the operator of abnormal plant conditions requiring timely assessment or action. The alarm system shall be designed taking into consideration the human capacity to respond effectively to alarms. Poorly designed alarm systems can hinder rather than help the operator and can result in failure to identify a need to act, or failure to select an effective course of action especially in emergency conditions.
- Hệ thống cảnh báo nên:
Alarm systems should:
 - cảnh báo, thông báo và hướng dẫn;
alert, inform, and guide;
 - hữu ích và phù hợp với người vận hành;
be useful and relevant to the operator;
 - cho phép người vận hành có đủ thời gian để thực hiện một phản ứng đã được xác định; và
allow adequate time for the operator to carry out a defined response; and
 - được thiết kế rõ ràng để tính đến những hạn chế của con người.
be explicitly designed to take into account human limitation.
- Thông tin thêm về hệ thống cảnh báo có sẵn trong EEMUA 191, Alarm Systems - A Guide to Design, Management and Procurement và EIGA Info HF 08, Task Alarm Management [76, 77].
Further information on alarm systems is available in EEMUA 191, Alarm Systems - A Guide to Design, Management and Procurement and EIGA Info HF 08, Task Alarm Management [76, 77].

- Một chức năng phụ của hệ thống cảnh báo có thể là cung cấp nhật ký cảnh báo, có thể được sử dụng để tối ưu hóa hoạt động của nhà máy, để phân tích sự cố và để cải thiện hiệu suất của chính hệ thống cảnh báo.
A secondary function of the alarm system can be to provide an alarm log, which can be used for optimizing plant operation, for analysis of incidents, and for improving the performance of the alarm system itself.
- Hệ thống cảnh báo nên được thiết kế để giảm thiểu các thông báo cảnh báo phiền toái.
Alarm systems should be designed to minimize nuisance alarm notifications.

13.9.1. Ưu tiên hóa cảnh báo / Alarm prioritization

- Hệ thống nên được thiết kế để ưu tiên các cảnh báo theo:
The system should be designed to prioritize alarms according to:
 - mức độ nghiêm trọng của hậu quả về mặt an toàn (phòng ngừa hoặc giảm thiểu sự cố), môi trường và kinh tế (hư hỏng thiết bị, mất sản xuất, giảm hiệu suất); và
severity of the consequences in terms of safety (prevention or mitigation of incidents), environment and economic (equipment damage, loss of production, reduced efficiency); and
 - thời gian có sẵn so với thời gian cần thiết để thực hiện hành động khắc phục và đạt được hiệu quả mong muốn.
time available compared with the time required for the corrective action to be performed and to have the desired effect.
- Các cảnh báo thường được phân loại là ưu tiên cao, trung bình hoặc thấp.
Alarms are typically categorized as high, medium, or low priority.

13.9.1.1. Cảnh báo ưu tiên cao / High priority alarm

- Bất kỳ điều kiện bất thường nào mà người vận hành nhà máy phải giải quyết ngay lập tức để các quy trình ứng phó khẩn cấp có thể được khởi động. Cảnh báo/ngắt ưu tiên cao bao gồm tất cả các hệ thống an toàn quan trọng đã được xác định, và có thể bao gồm các vấn đề an toàn quan trọng khác như cảnh báo nhân viên gặp nạn (man down), cảnh báo cháy, v.v.
Any abnormal condition that the plant operator shall immediately address so emergency response procedures can be initiated. High priority alarms/trips include all defined critical safety systems, and may include other significant safety issues such as man down alarms, fire alarms, etc.
- Cần xem xét việc cung cấp thông báo lại định kỳ đối với các cảnh báo ưu tiên cao cho đến khi điều kiện cảnh báo được xóa.
Consideration should be given to providing periodic renotification of high priority alarms until the alarm condition has been cleared.

13.9.1.2. Cảnh báo ưu tiên trung bình / Medium priority alarm

- Bất kỳ điều kiện bất thường nào cần được giải quyết để duy trì hoặc khôi phục sản xuất của cơ sở. Cảnh báo/ngắt ưu tiên trung bình bao gồm tất cả các hệ thống an toàn vận hành đã được xác định.
Any abnormal condition that should be addressed to maintain or restore facility production. Medium priority alarms/trips include all defined operational safety systems.

13.9.1.3. Cảnh báo ưu tiên thấp / Low priority alarm

- Bất kỳ điều kiện bất thường nào không được phân loại là cao hoặc trung bình nhưng yêu cầu thông báo cho người vận hành.
Any abnormal condition not classified as high or medium that requires operator notification.

13.10. Các lưu ý về quy định / Regulatory considerations

- Khi sản xuất oxy USP và nitơ NF, các hệ thống kiểm soát và đảm bảo chất lượng của nhà máy theo yêu cầu của Cục Quản lý Thực phẩm và Dược phẩm Hoa Kỳ được mô tả trong CGA P-8.2, Guideline for Validation of Air Separation Unit and Cargo Transport Unit Filling for Medical Oxygen and Medical Nitrogen [78].

When oxygen USP and nitrogen NF are produced, the plant controls and quality assurance systems required by the U.S. Food and Drug Administration are described in CGA P-8.2, Guideline for Validation of Air Separation Unit and Cargo Transport Unit Filling for Medical Oxygen and Medical Nitrogen [78].

14. Thiết bị thao tác sản phẩm / *Product handling equipment*

- Các mối nguy liên quan đến thiết bị thao tác sản phẩm phụ thuộc vào tính chất của sản phẩm và các điều kiện mà chúng được thao tác. Mỗi hệ thống phải phù hợp với nhiệt độ, áp suất và chất lỏng liên quan.

The hazards associated with product handling equipment depend on the properties of the products and the conditions under which they are handled. Each system shall be suitable for the temperatures, pressures, and fluids involved.

14.1. Tồn chứa lỏng / *Liquid storage*

- Do nhiệt độ rất thấp của dịch vụ này, bồn siêu lạnh đòi hỏi các kỹ thuật thiết kế và cách nhiệt đặc biệt. Các hệ thống này phải được thiết kế và chế tạo chỉ bởi các nhà sản xuất có kiến thức về công nghệ này, các quy chuẩn áp dụng và kinh nghiệm của ngành để đảm bảo an toàn và tính toàn vẹn của chúng. Xem AIGA 031, Bulk Liquid Oxygen, Nitrogen, and Argon Storage Systems at Production Sites, và API Standard 620, Design and Construction of Large, Welded, Low-pressure Storage Tanks [79, 80].

Because of the very low temperature of this service, cryogenic tanks require special design and insulation techniques. These systems shall be designed and fabricated only by manufacturers knowledgeable in this technology, the applicable codes, and the industry's experience to ensure their safety and integrity. See AIGA 031, Bulk Liquid Oxygen, Nitrogen, and Argon Storage Systems at Production Sites, and API Standard 620, Design and Construction of Large, Welded, Low-pressure Storage Tanks [79, 80].

- Bồn siêu lạnh phải được chế tạo với bồn trong làm bằng vật liệu phù hợp với nhiệt độ siêu lạnh. Bồn ngoài nên được chế tạo bằng thép carbon, với các lỗ xuyên đường ống phù hợp cho dịch vụ siêu lạnh. Không gian vành khuyên giữa hai bồn này được lấp đầy bằng vật liệu cách nhiệt để giảm thiểu rò rỉ nhiệt và sự bay hơi của chất lỏng siêu lạnh.

Cryogenic tanks shall be constructed with the inner tank made of material suitable for cryogenic temperatures. The outer tank should be constructed of carbon steel, with piping penetrations that are suitable for cryogenic service. The annular space between these two vessels is filled with insulation to minimize heat leak and boil off of the cryogenic fluid.

- Hai loại bồn siêu lạnh được sử dụng phổ biến nhất là:

The two types of cryogenic tanks used most are:

- Bồn đáy phẳng hoặc hình cầu áp suất thấp với không gian vành khuyên được lấp đầy bằng vật liệu cách nhiệt và thông thổi bằng nitơ khô. Loại thiết kế bồn này thường được sử dụng cho các bồn tồn chứa lớn, lắp đặt tại hiện trường trong dịch vụ cố định; và

Low pressure flat-bottomed tanks or spheres with the annular space filled with insulation and purged with dry nitrogen. This type of tank design is generally used for large, field-erected storage tanks in stationary service; and

- Bồn cách nhiệt chân không với bột/chân không hoặc siêu cách nhiệt/chân không trong không gian vành khuyên. Loại thiết kế bồn này thường được chế tạo tại xưởng và vận hành ở áp suất trung bình hoặc cao.

Vacuum-insulated tanks with powder/vacuum or superinsulation/vacuum in the annular space. This type of tank design is generally shop fabricated and operated at either medium or high pressures.

- Các mối nguy liên quan đến hoạt động của bồn tồn chứa chất lỏng siêu lạnh bao gồm:

Hazards associated with the operation of cryogenic liquid storage vessels include:

- rò rỉ chất lỏng siêu lạnh bên trong không gian vành khuyên;
cryogenic liquid leaks within the annular space;
- mất chân không trong không gian vành khuyên (chỉ áp dụng cho bồn cách nhiệt chân không);
loss of vacuum in the annular space (vacuum-insulated tank only);
- mất khí thông thổi vào không gian vành khuyên (chỉ áp dụng cho bồn không cách nhiệt chân không);
loss of purge gas to the annular space (nonvacuum-insulated tank only);
- làm đầy quá mức bồn trong;
overfilling the inner tank;
- quá áp bồn trong;

- overpressurization of the inner tank;*
 - quá áp không gian vành khuyên;
overpressurization of the annular space;
 - tạo chân không trong bồn trong;
creation of vacuum in the inner tank;
 - tạo chân không trong không gian vành khuyên (chỉ áp dụng cho bồn cách nhiệt chân không);
creation of vacuum in the annular space (nonvacuum-insulated tank only);
 - tràn chất lỏng và hình thành đám mây hơi; và
liquid spill and vapor cloud formation; and
 - ứng suất cơ học do làm lạnh nhanh.
mechanical stresses caused by rapid cooldown.
- Các mối nguy này và biện pháp giảm thiểu chúng được mô tả cho bồn đáy phẳng trong AIGA 031 [79]. Mặc dù AIGA 031 được viết để mô tả bồn đáy phẳng, nó cũng thường áp dụng được cho bồn cách nhiệt chân không [79]. Thông tin khác về bồn cách nhiệt chân không có trong CGA P-12, AIGA 075, Calculation Method for the Analysis and Prevention of Overpressure During Refilling of Cryogenic Tanks with Rupture Disk(s), và AIGA 054, Prevention of Excessive Pressure During Filling of Cryogenic Vessels [7, 81, 82].
These hazards and their mitigation are described for flat-bottomed tanks in AIGA 031 [79]. Although AIGA 031 was written to describe flat-bottomed tanks, it is generally applicable to vacuum-insulated tanks as well [79]. Other information on vacuum-insulated tanks is contained in CGA P-12, AIGA 075, Calculation Method for the Analysis and Prevention of Overpressure During Refilling of Cryogenic Tanks with Rupture Disk(s), and AIGA 054, Prevention of Excessive Pressure During Filling of Cryogenic Vessels [7, 81, 82].
- Hầu hết các nhà máy đều được trang bị cơ sở vật chất xếp dỡ để chuyển chất lỏng đến hoặc từ xe bồn hoặc toa xe bồn đường sắt. Xem CGA P-31 và CGA P-35, Guideline for Unloading Tankers of Cryogenic Oxygen, Nitrogen, and Argon [17, 83].
Most plants are provided with loading and/or unloading facilities for transferring liquid to or from tankers or railroad tank cars. See CGA P-31 and CGA P-35, Guideline for Unloading Tankers of Cryogenic Oxygen, Nitrogen, and Argon [17, 83].
- Phải thực hiện các biện pháp phòng ngừa để ngăn ngừa quá áp bồn vận chuyển siêu lạnh. Để bảo vệ chống quá áp, xem AIGA 054 [82].
Precautions shall be taken to prevent overpressurizing cryogenic transport vessels. For overpressurization protection, see AIGA 054 [82].

14.2. Bồn tồn chứa khí áp cao / *High pressure gas storage vessels*

- Do ứng dụng của chúng, các bồn được sử dụng để tồn chứa khí áp suất cao phải chịu ứng suất chu kỳ. Chúng phải được thiết kế, chế tạo và kiểm tra theo các quy chuẩn áp dụng.
Due to their application, vessels used for high pressure gas storage are subject to cyclic stresses. They shall be designed, constructed, and inspected in accordance with applicable codes.
- LƯU Ý—Khi được đặt trong môi trường ăn mòn, các bình này nên được kiểm tra thường xuyên hơn để phát hiện sự ăn mòn bên ngoài.
NOTE—When located in corrosive environments, these vessels should be inspected more frequently for external corrosion.
- Các bình tồn chứa khí áp suất cao đôi khi được di dời từ địa điểm này sang địa điểm khác. Khi điều này xảy ra, cần phải điều tra lịch sử thiết kế và vận hành để đảm bảo rằng các bình này phù hợp với ứng dụng mong muốn. Các bình được di dời phải được kiểm tra cẩn thận và làm sạch cho dịch vụ áp dụng trước khi đưa trở lại hoạt động.
High pressure gas storage vessels are sometimes relocated from one site to another. When this occurs, the design and operating history should be investigated to ensure that the vessels are suitable for the desired application. Relocated vessels should be carefully inspected and cleaned for the applicable service before being placed back in operation.
- Các bình phải được bảo vệ bằng PRD để giới hạn áp suất quá mức do các nguồn nhiệt bên ngoài theo quy định trong CGA S-1.3, Tiêu chuẩn Thiết bị Giảm Áp—Phần 3—Bình Tồn Chứa Cố Định cho Khí Nén [84].
Vessels should be protected by PRDs to limit overpressure due to external heat sources as specified in CGA S-1.3, Pressure Relief Device Standards—Part 3—Stationary Storage Containers for Compressed Gases [84].

- Khí chảy từ khu vực tồn chứa áp suất cao đến đường ống áp suất thấp có thể dẫn đến sự giảm nhiệt độ đáng kể do giãn nở Joule-Thomson. Phải cẩn thận để đảm bảo rằng đường ống phía hạ lưu không đạt đến nhiệt độ gây giòn.
Gas flowing from high pressure storage to a low pressure pipeline can result in a significant temperature drop due to Joule-Thomson expansion. Care shall be exercised to ensure that downstream piping does not reach embrittlement temperature.

14.3. Bộ hóa hơi lỏng / *Liquid vaporizers*

- Các mối nguy sau đây là đặc trưng của bộ hóa hơi lỏng:
The following hazards are specific to liquid vaporizers:
 - Nếu bộ hóa hơi bị chặn lại trong khi vẫn chứa chất lỏng và đầu vào nhiệt được duy trì, sự tăng áp suất đáng kể và nhanh chóng có thể xảy ra. Phải lắp đặt các van giảm áp có kích thước phù hợp;
If the vaporizer is blocked in while containing liquid and the heat input is maintained, a significant and rapid pressure increase can occur. Appropriately sized pressure relief valves shall be installed;
CẢNH BÁO: Việc tăng áp suất do chất lỏng siêu lạnh bị giữ lại có thể gây nổ đường ống và làm hỏng thiết bị, dẫn đến thương tích cho nhân viên. Bất kỳ phần nào của đường ống hoặc ống mềm siêu lạnh hoặc lạnh, nơi chất lỏng siêu lạnh có thể bị giữ lại, phải được cung cấp phương tiện giảm áp theo CGA S-1.3 để giảm áp suất do chất lỏng siêu lạnh bị giữ lại [84].
WARNING: Overpressurization caused by trapped cryogenic liquid can rupture the piping and damage the equipment, resulting in personnel injury. Any portion of cold or cryogenic piping or hose where cryogenic liquid can be trapped shall be provided with a means for pressure relief per CGA S-1.3 to relieve pressure caused by trapped cryogenic liquids [84].
 - Khi đun sôi oxy, hydrocarbon có thể tích tụ. Sự tích tụ có thể được tránh bằng thiết kế đường ống thích hợp hoặc làm ấm định kỳ đến nhiệt độ môi trường; và
When boiling oxygen, hydrocarbons can accumulate. Accumulation can be avoided by proper piping design or periodic warming to ambient temperatures; and
 - Nếu nguồn nhiệt của bộ hóa hơi bị mất hoặc nếu công suất dòng chảy của bộ hóa hơi bị vượt quá, nhiệt độ đầu ra của bộ hóa hơi có thể trở nên rất lạnh, có khả năng làm hỏng thiết bị và đường ống phía hạ lưu. Để giảm thiểu mối nguy, xem 16.8.
If the heat source of the vaporizer is lost or if the vaporizer flow capacity is exceeded, the outlet temperature of the vaporizer can become very cold, potentially damaging downstream equipment and piping. For hazard abatement, see 16.8.
- **CẢNH BÁO: Sự giòn hóa thép carbon do nhiệt độ lạnh có thể nổ đường ống, dẫn đến thương tích cá nhân hoặc hư hỏng thiết bị. Thiết kế hệ thống và quy trình vận hành phải đảm bảo rằng sự giòn hóa không thể xảy ra.**
WARNING: Carbon steel embrittlement by cold temperatures can rupture piping, resulting in personnel injury or equipment damage. System design and operating procedures shall ensure that embrittlement cannot occur.
- Để biết thêm thông tin liên quan đến sự giòn hóa, xem AIGA 027 [73].
For additional information regarding embrittlement, see AIGA 027 [73].

15. Hệ thống làm mát / *Cooling systems*

- Các nhà máy phân tách khí có hệ thống làm mát giúp loại bỏ nhiệt từ khí công nghệ và thiết bị. Hệ thống làm mát điển hình bao gồm cấu trúc tháp và bể chứa, máy bơm để tuần hoàn nước, và quạt để làm mát nước. Các hệ thống làm mát có thể là hệ thống hở (tiếp xúc với khí quyển) hoặc hệ thống vòng kín tùy thuộc vào vị trí của cơ sở và tính sẵn có cũng như thành phần hóa học của nước. Hệ thống hở sử dụng sự bay hơi để làm mát nước. Hệ thống vòng kín thường sử dụng hỗn hợp nước và glycol, được làm mát trong bộ trao đổi nhiệt làm mát bằng không khí.
Air separation plants have cooling systems that remove heat from process gases and equipment. The typical cooling system is comprised of a tower structure and a catch basin, pumps to circulate the water, and fans to cool the water. The cooling systems can be open to the atmosphere or closed loop systems depending on the location of the facility and the availability and chemistry of water. Open systems use evaporation to cool the water. Closed loop systems normally use a water and glycol mixture, which is cooled in an air-cooled heat exchanger.
- Một số tháp được chế tạo từ kim loại hoặc nhựa, có thiết kế dạng mô-đun đóng gói, và được vận chuyển dưới dạng lắp ráp sẵn. Các tháp khác thường được xây dựng tại công trường nhà máy từ gỗ và/hoặc bê tông. Khu vực bên trong của tháp làm mát bao gồm vật liệu nạp, giá đỡ cho vật liệu nạp,

và hệ thống phân phối nước. Nước làm mát thường được xử lý hóa học để ngăn ngừa đóng cặn hoặc bám bẩn thiết bị, điều này có thể ảnh hưởng lớn đến hiệu suất công nghệ.

Some towers are manufactured from metal or plastic, have a packaged cell design, and are shipped pre-fabricated. Other towers are typically constructed on the plant site from wood and/or concrete. The internal area of the cooling tower is comprised of fill, support for the fill, and a water distribution system. The cooling water is normally chemically treated to prevent scaling or fouling of equipment, which can greatly influence the process efficiency.

- Các mối quan tâm về an toàn đối với hệ thống tháp làm mát bao gồm:

Safety concerns with cooling tower systems include:

- làm việc trên cao;
elevated work;
 - khả năng tiếp xúc với vi khuẩn, nấm mốc và các mối nguy sinh học khác bên trong tháp;
potential exposure to bacteria, mold, and other biohazards inside of the towers;
 - không gian hạn chế;
confined spaces;
 - thao tác hóa chất xử lý;
treatment chemical handling;
 - mối nguy cháy liên quan đến gỗ khô trên tháp;
fire hazards associated with dry wood on towers;
 - tiếp xúc với thiết bị quay;
contact with rotating equipment;
 - mất tính toàn vẹn cơ học (ví dụ: cánh quạt bị bung ra); và
loss of mechanical integrity (for example, fan blade liberation); and
 - mất tính toàn vẹn kết cấu (ví dụ: gỗ mục, kim loại gỉ).
loss of structural integrity (for example, wood decay, metal rust).
- Cấu trúc phải được kiểm tra và bảo trì định kỳ để đảm bảo tính toàn vẹn cơ học và kết cấu.
The structure should be periodically inspected and maintained to ensure mechanical and structural integrity.

16. Đường ống nhà máy / *Plant piping*

16.1. Các lưu ý thiết kế chung cho đường ống nhà máy / *General design considerations for plant piping*

- Hệ thống đường ống nhà máy phải phù hợp với nhiệt độ, áp suất và mức độ sạch cho các chất lỏng liên quan. Thiết kế phải xem xét ASME B31.3, Đường ống công nghệ, cũng như các quy tắc và quy định quốc gia và địa phương khác [85]. Cần đánh giá sự cần thiết của việc bảo vệ cathode đối với đường ống ngầm. Nếu được cung cấp, hệ thống bảo vệ cathode yêu cầu bảo trì định kỳ. Để biết thêm thông tin, xem NACE SP0169, Kiểm soát Ăn mòn Bên ngoài trên Hệ thống Đường ống Kim loại Ngầm hoặc Ngập nước [86].

Plant piping systems shall be suitable for the temperatures, pressures, and cleanliness level for the fluids involved. Design shall consider ASME B31.3, Process Piping, as well as other national and local codes and ordinances [85]. The need for cathodic protection on underground piping should be evaluated. If provided, cathodic protection systems require periodic maintenance. For more information, see NACE SP0169, Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems [86].

- Các mối nối chuyển tiếp nhôm sang thép không gỉ (AL/SS) chỉ nên được sử dụng trong các lắp đặt đường ống đã được thiết kế để giảm thiểu biến dạng đường ống. Thiết kế của mối nối chuyển tiếp AL/SS nên tích hợp đủ độ bền để liên kết nhôm với thép không gỉ không bị hỏng trước khi các mối hàn lắp đặt của mối nối chuyển tiếp (AL/AL và SS/SS) bị hỏng.

Aluminum to stainless steel (AL/SS) transition joints should be used only in piping installations that have been designed to minimize piping strain. The AL/SS transition joint's designs should incorporate sufficient strength so that the aluminum to stainless steel bond does not fail before the transition joint's installation welds (AL/AL and SS/SS) fail.

- Vật liệu chế tạo phải tương thích với dịch vụ dự định (xem 6.3).
Materials of construction shall be compatible with the intended service (see 6.3).

16.2. Lưu ý thiết kế chung cho van một chiều / *General design considerations for check valves*

- Trong quá trình thiết kế nhà máy, cần xác định (các) hậu quả của dòng chảy ngược do hỏng van một chiều. Các hậu quả mối nguy tiềm ẩn có thể bao gồm nhưng không giới hạn ở quá áp, sai lệch độ tinh khiết, hoặc sai lệch nhiệt độ. Nếu hậu quả của sự cố gây ra mối nguy đáng kể

và phân tích mỗi nguy cơ sử dụng van một chiều để cung cấp một lớp bảo vệ, thì nên thực hiện một chương trình toàn vẹn cơ học. Chương trình này đảm bảo rằng van một chiều duy trì khả năng hoạt động đúng cách của nó. Chương trình có thể bao gồm kiểm tra và/hoặc thử nghiệm định kỳ. Việc tháo rời vật lý có thể được yêu cầu để xác nhận tình trạng các bộ phận bên trong van một chiều về các dấu hiệu hao mòn và/hoặc các hình thức xuống cấp khác. Khoảng thời gian kiểm tra và/hoặc thử nghiệm khác nhau tùy thuộc vào dịch vụ của van một chiều và hậu quả của sự cố.

During the plant design, the consequence(s) of reverse flow through a check valve failure should be determined. Potential hazardous consequences can include but are not necessarily limited to overpressurization, purity excursions, or temperature excursions. If the consequence of failure presents a significant hazard and the hazard analysis uses the check valve to provide a layer of protection, then a mechanical integrity program should be implemented. This program ensures that the check valve maintains its capability to operate properly. The program may include periodic inspection and/or testing. Physical disassembly may be required to validate check valve internal component condition for signs of wear and/or other forms of degradation. The inspection and/or test interval varies depending upon the check valve service and the consequences of failure.

16.3. Khớp giãn nở / *Expansion joints*

- Một hoặc nhiều khớp giãn nở có thể có mặt trong đường ống nhà máy. Các quy trình thao tác và lắp đặt khớp giãn nở phải có sẵn cho nhân viên nhà máy và bảo trì. Chu kỳ tuổi thọ thiết kế và các yêu cầu kiểm tra đối với mỗi khớp giãn nở phải được sử dụng để thực hiện chương trình kiểm tra và thay thế dựa trên thời gian nhằm giảm thiểu khả năng hỏng khớp nối.

One or more expansion joints may be present in the plant piping. Procedures for handling and installing expansion joints shall be available to plant and maintenance personnel. Design life cycle and inspection requirements for each expansion joint shall be used to implement a time-based inspection and replacement program to mitigate the possibility of joint failure.

16.4. Mối nguy của đường ống oxy / *Oxygen piping hazards*

- Có những mối nguy nhất định liên quan đến hệ thống đường ống oxy. Để biết thông tin về các yêu cầu thiết kế và vận hành đặc thù của hệ thống đường ống oxy, xem 6.3, 16.10.2, ASTM G88 và AIGA 021 [32, 57].

There are certain hazards associated with an oxygen piping system. For information on the unique design and operating requirements of an oxygen piping system, see 6.3, 16.10.2, ASTM G88, and AIGA 021 [32, 57].

16.5. Thiết bị giảm áp / *Pressure relief devices*

16.5.1. Các lưu ý chung đối với thiết bị giảm áp / *General considerations for pressure relief devices*

- Các nhà máy chế biến hóa chất yêu cầu PRD. Các yêu cầu đối với các thiết bị này được đề cập trong các tài liệu khác như ASME PTC 25, Thiết bị Giảm Áp; Tiêu chuẩn API 520, Định cỡ, Lựa chọn và Lắp đặt Thiết bị Giảm Áp, Phần I—Định cỡ và Lựa chọn; Tiêu chuẩn API 520, Định cỡ, Lựa chọn và Lắp đặt Thiết bị Giảm Áp, Phần II—Lắp đặt; và Tiêu chuẩn API 521, Hệ thống Giảm Áp và Xả Áp [87, 88, 89, 90].
Chemical processing plants require PRDs. Requirements for these devices are covered in other documents such as ASME PTC 25, Pressure Relief Devices; API Standard 520, Sizing, Selection, and Installation of Pressure-relieving Devices, Part I—Sizing and Selection; API Standard 520, Sizing, Selection, and Installation of Pressure-relieving Devices, Part II—Installation; and API Standard 521, Pressure-relieving and Depressuring Systems [87, 88, 89, 90].
- Các thực hành PRD tốt bao gồm nhưng không giới hạn ở những điều sau:
Good PRD practices include but are not limited to the following:
 - xả khí ra xa khu vực làm việc hoặc thiết bị khác;
venting away from work areas or other equipment;
 - cung cấp giá đỡ thích hợp để chống lại các lực phản ứng khi thiết bị hoạt động;
providing appropriate support to counter the reactive forces when a device operates;
 - định cỡ đường ống đầu vào và đầu ra sao cho độ sụt áp không vượt quá giới hạn quy chuẩn;
sizing inlet and outlet piping so that pressure drop does not exceed code limits;
 - bảo vệ các cổng xả khỏi thời tiết;
protecting discharge ports from weather;

- đảm bảo rằng các lỗ xả trên nắp van không bị hạn chế;
ensuring that bonnet vents are unrestricted;
- kiểm tra định kỳ, kèm theo sửa chữa và cài đặt lại nếu cần; và
periodic testing, with repair and resetting if necessary; and
- sử dụng khí khô, không dầu, không khí hoặc nitơ để thử nghiệm.
using dry, oil-free, air or nitrogen for testing.

16.5.2. Các lưu ý thiết kế đối với thiết bị giảm áp suất (PRD) của ASU / *Design considerations for ASU pressure relief devices*

- Cần có một PRD được định cỡ phù hợp để ngăn chặn sự tăng áp suất quá mức trong các bình chứa, thiết bị và đường ống. PRD nên được định cỡ dựa trên kịch bản tồi tệ nhất có thể xảy ra. Hướng dẫn về việc định cỡ PRD có thể được tìm thấy trong CGA S-1.3 [84]. Các nguyên nhân gây tăng áp suất quá mức bao gồm:
A properly sized PRD is required to prevent overpressurization of vessels, equipment, and piping. PRDs should be sized based on the worst credible scenario. Guidance on PRD sizing can be found in CGA S-1.3 [84]. Causes of overpressurization include:
 - mất lớp cách nhiệt chân không;
loss of vacuum insulation;
 - các điều kiện gián đoạn quy trình như;
process upset conditions such as;
 - thiết bị chạy quá tốc độ
overspeed of equipment
 - hỏng van
valve failure
 - rò rỉ quy trình;
process leak;
 - rò rỉ nhiệt môi trường;
ambient heat leak;
 - hỏa hoạn bên ngoài;
external fire;
 - lượng nhiệt đầu vào cao đối với thiết bị quy trình và bộ hóa hơi bị chặn;
high heat input to blocked-in process equipment and vaporizers;
 - đưa khí ấm vào thiết bị quy trình lạnh;
introduction of warm gas into cold process equipment;
 - sự hóa hơi nhanh chóng của chất lỏng siêu lạnh khi được đưa vào thiết bị ấm; hoặc
rapid vaporization of cryogenic fluids when introduced into warm equipment; or
 - chất lỏng siêu lạnh bị kẹt giữa hai van.
trapping cryogenic fluids between two valves.
- **CẢNH BÁO: Tăng áp suất quá mức do lỏng siêu lạnh bị kẹt có thể nổ đường ống và làm hỏng thiết bị, dẫn đến thương tích cho nhân viên. Bất kỳ phần nào của đường ống hoặc ống mềm lạnh hoặc siêu lạnh nơi chất lỏng siêu lạnh có thể bị kẹt phải được trang bị phương tiện giảm áp suất theo CGA S-1.3 để giảm áp suất do lỏng siêu lạnh bị kẹt [84].**
WARNING: Overpressurization caused by trapped cryogenic liquid can rupture the piping and damage the equipment, resulting in personnel injury. Any portion of cold or cryogenic piping or hose where cryogenic liquid can be trapped shall be provided with a means for pressure relief per CGA S-1.3 to relieve pressure caused by trapped cryogenic liquids [84].
- Phải sử dụng vật liệu tương thích cho các hệ thống chứa oxy.
Compatible materials shall be used for systems containing oxygen.
- Chất xả của PRD đối với oxy và chất lỏng dễ cháy phải được dẫn ra ngoài trời đến một vị trí an toàn. Đối với các hệ thống trong không gian kín, các lỗ xả chất lỏng tro phải được dẫn ra ngoài trời đến một vị trí an toàn nếu thể tích được xả làm giảm hàm lượng oxy của không gian kín xuống mức mỗi nguy.
Discharge of PRDs for oxygen and flammable fluids shall be piped outdoors to a safe location. For systems in an enclosed space, inert fluid vents shall be piped outdoors to a safe location if the vented volume lowers the oxygen content of the enclosed space to a hazardous level.

- Các van giảm áp suất nên được đặt sao cho chất xả của chúng không thể va chạm vào nhân viên hoặc thiết bị khác. Chúng không nên xả vào các khu vực làm việc hoặc vận hành thường xuyên có nhân viên nhà máy.
Pressure relief valves should be located so their discharge cannot impinge on personnel or other equipment. They should not discharge into working or operating areas frequented by plant personnel.
- Các lỗ xả phải được thiết kế để phân tán chất lỏng được xả nhằm ngăn chặn sự hình thành bầu không khí giàu oxy, thiếu oxy, dễ cháy hoặc lạnh, có thể gây hại cho nhân viên hoặc làm hỏng thiết bị.
Vents shall be designed to disperse the vented fluid to prevent the formation of an oxygen-enriched, oxygen-deficient, flammable, or cold atmosphere, which could harm personnel or damage equipment.
- Thiết kế của PRD và đường ống nên xem xét khả năng nhiệt độ siêu lạnh phát sinh từ hoạt động của PRD. Các lỗ xả phải được hướng dẫn để ngăn chất lỏng hoặc khí siêu lạnh va chạm và làm nứt đường ống hoặc thiết bị thép carbon xung quanh.
The design of the PRD and piping should consider the possibility of cryogenic temperatures resulting from PRD operation. Vents shall be directed to prevent cryogenic liquid or gas from impinging on and cracking surrounding carbon steel piping or equipment.
- Tất cả các PRD trong dịch vụ siêu lạnh nên được kiểm tra định kỳ để tìm sự tích tụ băng. Băng tích tụ nên được loại bỏ kịp thời. Việc không làm như vậy có thể ngăn PRD hoạt động bình thường.
All PRDs in cryogenic service should be inspected periodically for ice accumulation. Accumulated ice should be removed promptly. Failure to do so can prevent the PRD from operating properly.

16.6. Đường ống siêu lạnh / Cryogenic piping

- Bất kỳ kết nối đường ống nào giữa đường chất lỏng siêu lạnh và một phần tử đường ống ấm mà thường không có dòng chảy phải bao gồm một bẫy hơi để tạo ra một phốt khí, ngăn chặn hiện tượng sôi ở đầu chết và sự di chuyển lạnh. Các ví dụ điển hình bao gồm:
Any piping connection between a cryogenic liquid line and a warm piping element that is not normally flowing shall include a vapor trap to produce a gas seal, which prevents dead end boiling and cold migration. Typical examples include:
 - van ră đông;
derime valves;
 - ống xả chất lỏng;
liquid drains;
 - thiết bị giảm áp suất;
pressure relief devices;
 - đường cảm biến thiết bị đo;
instrumentation sensing lines;
 - đầu vào bộ hóa hơi và bơm; và
vaporizer and pump inlets; and
 - đường lấy mẫu theo lô.
batch sample lines.
- Phốt khí tách chất lỏng siêu lạnh khỏi phần tử đường ống ấm. Đường ống kết nối với đường siêu lạnh nên có độ dốc thẳng đứng đủ để tạo ra phốt khí. Đối với các kết nối đường ống nằm bên trong hộp lạnh (coldbox), các vòng lặp đường ống được thiết kế đặc biệt cho phép tạo ra phốt khí và ngăn chất lỏng tích tụ trong đường ống phía hạ lưu. Độ dốc thẳng đứng có thể nằm ở bất kỳ đâu trong đoạn đường ống để tạo ra phốt khí.
The gas seal separates cryogenic liquid from the warm piping element. The piping connected to the cryogenic line should have sufficient vertical rise to generate a gas seal. For piping connections located inside the coldbox, specially designed piping loops allow the production of a gas seal and prevent the accumulation of liquid in the downstream piping. The vertical rise can be anywhere within the piping run to produce the gas seal.
- Bất kỳ đường ống có đường kính lớn nào trong hộp lạnh có điểm thấp đều nên có đường ống xả.
Any large bore piping in the coldbox that has a low point should have a drain line.

- Nhiều bộ phận của quy trình ASU không gặp phải chất lỏng giàu oxy trong quá trình vận hành bình thường. Tuy nhiên, chúng có thể tiếp xúc với oxy trong quá trình gián đoạn quy trình, khởi động và ngừng hoạt động. Việc làm sạch tất cả đường ống và thiết bị siêu lạnh cho dịch vụ oxy là thông lệ phổ biến.

Many parts of the ASU process do not encounter oxygen-enriched fluids during normal operation. However, they can be exposed to oxygen during process upsets, startup, and shutdown. It is common practice to clean all cryogenic piping and equipment for oxygen service.

- Đường ống có vỏ bọc chân không có thể gây ra các mối nguy bổ sung khi được sử dụng trong dịch vụ oxy, xem AIGA 106 để biết thêm thông tin [33].

Vacuum-jacketed piping can present additional hazards when used in oxygen service, see AIGA 106 for more information [33].

16.7. Đoạn ống chết / *Dead legs*

- Các bình chứa, bộ hóa hơi quy trình, bơm siêu lạnh, ống xả hoặc đường ống chứa chất lỏng giàu oxy nên được thiết kế không có đoạn ống chết. Đoạn ống chết có thể dẫn đến hiện tượng sôi khô và tích tụ hydrocarbon trong chất lỏng giàu oxy còn lại. Trong trường hợp không thể tránh được đoạn ống chết bằng thiết kế, nên cung cấp một hệ thống thông thổi liên tục hoặc xả định kỳ.

Vessels, process vaporizers, cryogenic pumps, drains, or piping containing oxygen-rich liquid should be designed without dead legs. Dead legs can lead to dry boiling and hydrocarbon buildup in the remaining oxygen-rich liquid. Where dead legs cannot be avoided by design, a continuous purge or periodic drain should be provided.

- Cần lưu ý rằng vẫn có khả năng tạo ra các đoạn ống chết trong quá trình vận hành, do bảo trì hoặc vận hành.

It should be noted that potential exists for the creation of dead legs in service, due to maintenance or operation.

16.8. Đường ống thép carbon / *Carbon steel piping*

- Đường ống thép carbon có thể bị hư hỏng do tiếp xúc với nhiệt độ thấp (-29°C) do sự cố nhà máy hoặc hỏng hệ thống bộ hóa hơi chất lỏng. Phải cung cấp một hệ thống thiết bị đo nhiệt độ để loại bỏ nguồn nhiệt độ thấp, ví dụ, bằng cách đóng van cách ly hoặc dừng bơm (xem 12.12.3). Đường ống từ quy trình đến van cách ly phải tương thích với điều kiện siêu lạnh. Phải xem xét thời gian phản hồi để ngăn các điều kiện siêu lạnh đi vào đường ống thép carbon phía hạ lưu.

Carbon steel piping can be damaged by exposure to low temperature (-20°F [-29°C]) resulting from a plant upset or a liquid vaporizer system failure. A temperature instrumented system shall be provided to remove the low temperature source, for example, by closing isolation valves or stopping pumps (see 12.12.3). Piping from the process up to the isolation valve shall be cryogenically compatible. Response time shall be considered to prevent the cryogenic conditions entering the downstream carbon steel piping.

- **CẢNH BÁO: Sự giòn hóa thép carbon do nhiệt độ lạnh có thể nổ đường ống, dẫn đến thương tích cho nhân viên hoặc hư hỏng thiết bị. Thiết kế hệ thống và quy trình vận hành phải đảm bảo rằng sự giòn hóa không thể xảy ra.**

WARNING: Carbon steel embrittlement by cold temperatures can rupture piping, resulting in personnel injury or equipment damage. System design and operating procedures shall ensure that embrittlement cannot occur.

- Để biết thêm thông tin về sự giòn hóa, xem AIGA 027 [73].

For additional information regarding embrittlement, see AIGA 027 [73].

16.9. Xả khí / *Venting*

- Bố trí nhà máy phải đảm bảo rằng hàm lượng oxy trong khí quyển bình thường tồn tại ở tất cả các khu vực thường xuyên có nhân viên trong khi họ thực hiện các hoạt động vận hành và bảo trì. Điều này được thực hiện bằng cách xả các đường ống xả ra các vị trí bên ngoài. Khi các lỗ xả nằm bên ngoài, phải tránh tạo ra bầu không khí giàu oxy hoặc thiếu oxy ở những khu vực có thể có nhân viên. Ngoài ra, thiết bị vận hành không nên tiếp xúc với bầu không khí giàu oxy vì nó có thể có các bộ phận được bôi trơn bằng dầu.

The plant layout shall ensure that a normal atmospheric oxygen content exists in all areas frequented by personnel while they are performing operational and maintenance activities. This is accomplished by discharging vent lines to outside locations. When vents are outside, the creation of oxygen-enriched or oxygen-deficient atmospheres in areas where personnel can be present shall be avoided. Additionally,

operating equipment should not be exposed to oxygen-enriched atmospheres since it can have oil-lubricated parts.

- **CẢNH BÁO: Các luồng khí giàu hoặc thiếu oxy có thể di chuyển những khoảng cách đáng kể từ nguồn xả. Khoảng cách này có thể lớn hơn đối với các nhà máy tách khí rất lớn. Cần đặc biệt thận trọng đối với các cơ sở lớn và/hoặc đối với các cơ sở có nhiều ASU.**

WARNING: Oxygen-enriched or -deficient plumes can travel significant distances from the vent source. This distance can be greater for very large air separation plants. Special caution is needed for large facilities and/or for facilities with multiple ASUs.

- Phòng điều khiển và các không gian kín khác được nhân viên vận hành sử dụng có mối nguy tiềm ẩn về bầu không khí không an toàn do rò rỉ, di chuyển khí hoặc xả khí không đúng cách. Mối nguy này có thể được giảm thiểu bằng một hoặc nhiều biện pháp sau:
Control rooms and other enclosed spaces used by operating personnel have the potential hazard of unsafe atmospheres due to leaks, gas migration, or improper venting. This hazard can be mitigated by one or more of the following:
 - thông thổi mẫu thiết bị hoặc phân tích được xả ra bên ngoài phòng điều khiển;
instrument or analysis sample purges vented outside the control room;
 - máy phân tích độ tinh khiết khí quyển; hoặc
atmospheric purity analyzers; or
 - thông gió bao gồm thông gió cưỡng bức lưu lượng cao.
ventilation including high-flow forced ventilation.
- Chuông báo động có thể được sử dụng để cung cấp thông báo nếu hệ thống thông gió bị lỗi hoặc để cảnh báo về thành phần khí quyển không an toàn.
Alarms can be used to provide notification if the ventilation system fails or to warn of unsafe atmospheric composition.

16.10. Phân phối sản phẩm / **Product delivery**

16.10.1. Trạm giảm áp suất / **Pressure reducing station**

- Trạm giảm áp suất được sử dụng bất cứ khi nào áp suất cung cấp khí lớn hơn áp suất sử dụng. Một số van điều chỉnh áp suất lấy khí điều khiển từ sản phẩm đang được điều chỉnh. Nếu khí đó là oxy, tất cả các vật liệu tiếp xúc với oxy, bao gồm cả những vật liệu trong cơ chế điều khiển, phải tương thích với oxy. Nếu không, khí trơ hoặc không khí phải được sử dụng làm khí điều khiển.
A pressure reducing station is used whenever the gas supply pressure is greater than the use pressure. Some pressure-regulating valves obtain their control gas from the product being regulated. If the gas is oxygen, all materials in contact with oxygen including those in the control mechanism shall be oxygen compatible. Otherwise, inert gas or air shall be used as the control gas.

16.10.2. Cô lập lưu lượng oxy dư thừa / **Excess oxygen flow isolation**

- Các van cô lập lưu lượng oxy nên được lắp đặt trên các hệ thống cung cấp oxy. Nếu điểm sử dụng không nằm dưới sự kiểm soát trực tiếp của người vận hành nhà máy khí hoặc nơi mà, do hệ thống cung cấp dài hoặc mở rộng, có nguy cơ bị nổ hoặc hư hỏng từ các nguồn bên ngoài như sửa chữa đường, đào bới, thiết bị hạng nặng, v.v., thì các van ngắt tự động nên được lắp đặt ngay phía hạ lưu của nguồn cung cấp cuối cùng. Van ngắt này nên được thiết kế để đóng trong điều kiện lưu lượng dư thừa hoặc áp suất thấp có thể xảy ra do hỏng hóc lớn của hệ thống cung cấp.
Oxygen flow isolation valves should be installed on oxygen delivery systems. If the use point is not under the direct control of the air plant operators or where, due to a long or extensive delivery system, there is exposure to rupture or damage from outside sources such as road repair, excavation, heavy equipment, etc., automatic shutoff valves should be installed immediately downstream of the last source of supply. This shutoff valve should be designed to close under either excess flow or low pressure conditions that could occur from a major failure of the delivery system.

16.11. Phát hiện và ứng phó rò rỉ trong đường ống/bộ phận của nhà máy / **Leak detection and response in plant piping/components**

- Rò rỉ có thể được xác định bởi người vận hành trong quá trình kiểm tra định kỳ, bằng thiết bị giám sát cố định, hoặc bằng các phương tiện khác. Sau đó, rò rỉ phải được đánh giá rủi ro và

xác định biên pháp ứng phó. Mục tiêu chính của việc đánh giá rủi ro là xác định xem rò rỉ có yêu cầu ngừng hoạt động để sửa chữa hay không, hay liệu một thiết bị sửa chữa tạm thời như kẹp cơ khí hoặc vỏ bọc có thể được sử dụng để giảm thiểu việc mất kiểm soát cho đến cơ hội sửa chữa tiếp theo. Bất kỳ sửa chữa tạm thời nào đối với đường ống hoặc bộ phận oxy phải xem xét tính tương thích oxy của các vật liệu được sử dụng trong phương pháp sửa chữa tạm thời.

Leaks can be identified by an operator on rounds, by a fixed monitor, or by other means. Subsequently, the leak shall be risk assessed and a response determined. A primary objective of the risk assessment is to determine if the leak requires a shutdown to repair or whether a temporary repair device such as a mechanical clamp or enclosure can be used to mitigate the loss of containment until the next repair opportunity. Any temporary repairs to oxygen piping or components shall consider the oxygen compatibility of the materials used in the temporary repair method.

17. Quy trình dừng máy / *Shutdown procedures*

- Khi ngừng hoạt động một nhà máy phân tách khí, dù là theo kế hoạch hay ngoài kế hoạch, có một trình tự các sự kiện được xác định sẽ đưa nhà máy về trạng thái an toàn. Phải thiết lập một danh sách các hành động để bảo đảm an toàn cho nhà máy. Các hành động có thể bao gồm:
When shutting down an air separation plant, either planned or unplanned, there is a defined sequence of events that will leave the plant in a safe condition. A list of actions to secure the plant shall be established. Actions may include:
 - Khóa các đường ống sản phẩm dẫn đến các bồn tồn chứa;
Shut off product lines to storage tanks;
 - Bảo đảm an toàn tất cả máy nén và các thiết bị quay khác;
Secure all compressors and other rotating equipment;
 - Đảm bảo các hệ thống dự phòng đường ống đang hoạt động theo đúng mục đích;
Ensure the pipeline back-up systems are functioning as intended;
 - Xả chất lỏng theo yêu cầu và đảm bảo rằng các hệ thống thải bỏ sản phẩm đang hoạt động đúng cách; và
Drain liquids as required and ensure that the product disposal systems are operating properly; and
 - Bảo đảm an toàn các bộ hấp phụ siêu lạnh và tiền tinh chế.
Secure cryogenic and prepurification adsorbers.

17.1. Ngừng hoạt động hộp lạnh / *Coldbox shutdown*

- Tùy thuộc vào loại nhà máy, lý do ngừng hoạt động và thời gian ngừng hoạt động dự kiến, các quy trình an toàn bổ sung có thể được yêu cầu theo hướng dẫn của nhà sản xuất. Các khuyến nghị thêm được đưa ra trong 12.12 và AIGA 035 [43].
Depending on the type of plant, the reason for the shutdown, and the expected length of the shutdown, additional safety procedures can be required by the manufacturer's instructions. Further recommendations are given in 12.12 and AIGA 035 [43].
- Đối với các bộ hấp phụ siêu lạnh, sự tăng nhiệt độ dòng chảy có thể gây ra sự giải hấp đột ngột các tạp chất, giải phóng chúng vào thiết bị hạ lưu (ví dụ: phần làm giàu oxy của tháp áp suất thấp), điều này có thể là một mối nguy an toàn. Do đó, các bộ hấp phụ siêu lạnh phải được giữ ở nhiệt độ vận hành hoặc được tái sinh trong quá trình ngừng hoạt động.
For cryogenic adsorbers, an increase in stream temperature can cause sudden desorption of the contaminants, releasing them into downstream equipment (for example, the oxygen-enriched section of the low pressure column), which can be a safety hazard. Therefore, cryogenic adsorbers shall either be kept at operating temperatures or regenerated during a shutdown.
- Khi điều kiện ngừng hoạt động cho phép, bình ngoại tuyến của PPU phải được tái sinh hoàn toàn trước khi bảo đảm an toàn PPU. Điều này cho phép một lớp vật liệu đã được tái sinh được đưa vào vận hành trong lần khởi động nhà máy tiếp theo.
When shutdown conditions allow, the offline vessel of the PPU shall be completely regenerated before securing the PPU. This allows a regenerated bed to be placed on stream at the subsequent plant startup.

17.2. Xả lỏng và khí / *Liquid and gas disposal*

- Chất lỏng từ nhà máy phân tách khí không được xả xuống sàn nhà máy hoặc mặt đất, mà phải được dẫn bằng đường ống đến một hệ thống thải bỏ thích hợp. Ví dụ về các hệ thống thải bỏ là:
Liquid from an air separation plant shall not be drained onto the plant floor or ground, but shall be piped to an appropriate disposal system. Examples of disposal systems are:

- bộ hóa hơi quạt;
fan vaporizer;
 - bồn xả với hệ thống hóa hơi và nắp đậy để ngăn chặn sự xâm nhập và được thiết kế để ngăn ngừa sự tích tụ nước mưa hoặc nước ngưng;
dump tanks with a vaporizing system and a cover to prevent the ingress and designed to prevent accumulation of rain water or condensate;
 - bộ trao đổi nhiệt;
heat exchangers;
 - các khu vực được thiết kế để thải bỏ chất lỏng và khí;
areas designed for liquid and gas disposal;
 - bộ phun hơi nước; và
steam ejectors; and
 - ống góp phun chất lỏng ở đầu ra quạt tháp giải nhiệt.
liquid spray header in the cooling tower fan discharge.
- Thiết kế của hệ thống thải bỏ phải giải quyết nguy cơ tràn chất lỏng.
The design of the disposal system shall address the risk of liquid overflow.
- Phải yêu cầu một cảnh báo như nhiệt độ thấp để thông báo cho người vận hành về sự cố hoặc quá tải hệ thống thải bỏ. Đối với các bộ hóa hơi được cấp tiện ích sử dụng, ví dụ, nước hoặc hơi nước làm môi chất gia nhiệt, hoặc nếu phụ thuộc vào nguồn điện như bộ hóa hơi có quạt hỗ trợ, thì nên xem xét chức năng ngắt (trip) để khóa bất kỳ nguồn cấp chất lỏng siêu lạnh tự động nào đến bộ hóa hơi khi phát hiện nhiệt độ rất thấp. Thay vào đó, hoặc bổ sung thêm, việc phát hiện mất tiện ích như tín hiệu lưu lượng thấp có thể được sử dụng để thực hiện chức năng tương tự.
An alarm such as low temperature shall be required to notify the operator of disposal system failure or overload. For utility fed vaporizers using, for example, water or steam as a heating medium, or if dependent on a power source such as fan assisted vaporizers, then a trip function should be considered that shuts off any automated feeds of cryogenic liquid to the vaporizer on detecting low low temperature. Alternatively, or in addition, detection of loss of utility such as low flow signal may be used to perform the same function.
- Chất lỏng giàu oxy không được dẫn bằng đường ống đến các hệ thống quạt tháp giải nhiệt.
Oxygen-rich liquid shall not be piped to cooling tower fan systems.
- Cấu hình đường ống thải bỏ chất lỏng và khí xả làm tan băng (derime) cần được chú ý để ngăn chặn sự tiếp xúc trong hệ thống thải bỏ giữa chất lỏng giàu oxy và khí làm tan băng có thể chứa hàm lượng hydrocarbon cao, đặc biệt là axetylen. Bất kỳ đầu ra làm tan băng nào có thể chứa dầu, chẳng hạn như không khí từ bộ trao đổi nhiệt nơi sử dụng máy nén bôi trơn, phải có hệ thống xả riêng biệt.
Liquid disposal and derime vent gas piping configurations require attention to prevent contact in the disposal system of oxygen-rich liquid and derime gas that can contain high quantities of hydrocarbons, especially acetylene. Any derime outlets that can contain oil such as air from exchangers where lubricated compressors are used shall have separate vent systems.
- Có thể xem xét các hệ thống đường ống thải bỏ riêng biệt cho chất lỏng trơ và chất lỏng giàu oxy để ngăn ngừa ô nhiễm chéo các sản phẩm ASU. Hệ thống thải bỏ chất lỏng giàu oxy phải có điểm xả thấp để tránh tích tụ hydrocarbon.
Separate disposal piping systems for inert and oxygen-rich liquids may be considered to prevent cross contamination of ASU products. Liquid disposal systems for oxygen-rich liquids shall have a low point drain to avoid accumulation of hydrocarbons.
- Các van xả và van xả khí vận hành bằng tay phải được giám sát tại chỗ khi chúng đang mở để có thể thực hiện hành động khắc phục theo yêu cầu.
Manually operated drain and vent valves shall be monitored locally while they are open so that corrective action can be taken as required.
- Bất kỳ đường xả khí lớn nào phải được dẫn ra bên ngoài và tốt nhất là hướng lên trên. Khi các đường xả nằm bên ngoài, phải tránh tạo ra bầu không khí giàu oxy hoặc thiếu oxy ở những khu vực có thể có nhân viên. Khí xả ra không được xả vào các ống dẫn khí nạp của tòa nhà hoặc cửa nạp của đầu đốt.
Any large gaseous vents shall be routed outside and preferably directed upwards. When vents are outside, the creation of oxygen-enriched or oxygen-deficient atmospheres in areas where personnel can

be present shall be avoided. Vent discharges shall not discharge into building intake ducts or burner intakes.

- Xả hoặc hóa hơi chất lỏng siêu lạnh có thể tạo ra sương mù dày đặc, ngay cả trong điều kiện độ ẩm thấp. Điều này có thể tạo ra tình huống mất an toàn bằng cách làm giảm đáng kể tầm nhìn. Phải tiến hành đánh giá để xác định tiềm năng tác động của các loại sương mù này tại chỗ và ngoài khu vực (ví dụ: đường giao thông, khu dân cư lân cận, khu vực công cộng, v.v.) và bất kỳ biện pháp giảm thiểu cần thiết nào.

Dumping or vaporizing cryogenic liquids can create a dense fog, even in low humidity conditions. This can create a hazardous situation by greatly reducing visibility. An assessment shall be conducted to determine the potential impact of these types of fogs on- and off-site (for example, roadways, neighbors, public areas, etc.) and any necessary mitigation.

17.3. Khử băng cho nhà máy / *Plant derime*

- Việc khử băng thường cần thiết để loại bỏ các tạp chất tích tụ tại nhiều khu vực khác nhau bên trong coldbox. Chi tiết quy trình khử băng được cung cấp bởi nhà sản xuất. Tổng quan về quy trình khử băng được trình bày trong AIGA 035 [43].

Derime is often necessary to remove accumulated contaminants from various sections of the coldbox. Details of derime procedures are given by the manufacturer. An overview of derime procedures is given in AIGA 035 [43].

- Việc ngừng vận hành để khử băng định kỳ thường được kết hợp với kiểm tra bảo trì, sửa chữa hoặc cải tạo thiết bị. Thực hành tốt là thực hiện một đợt khử băng một phần để làm ấm hệ thống đến mức hợp lý, tiến hành bảo trì, và sau đó hoàn tất khử băng ngay trước khi làm lạnh lại nhà máy. Lần khử băng cuối cùng phải loại bỏ hoàn toàn mọi hơi ẩm có thể đã tích tụ trong hệ thống do không khí chứa ẩm xâm nhập vào các khe hở trong thời gian ngừng vận hành.

Shutdown for periodic deriming is usually combined with maintenance checks, repairs, or modifications. It is good practice to accomplish a partial derime to get the plant reasonably warm, perform the maintenance, and then complete the derime immediately before cooling the plant down. The final derime should remove any water that could have accumulated in the system due to moisture-laden air migrating into openings during the shutdown.

- Cần tránh nhiệt độ quá cao và ứng suất nhiệt. Nhiệt độ khử băng phải phù hợp với vật liệu chế tạo nhà máy và theo thiết kế của hệ thống đường ống, và không được vượt quá nhiệt độ làm việc tối đa cho phép của thiết bị. Không nên sử dụng nhiệt độ cao hơn 150 °F (65,6 °C) đối với các nhà máy cũ có đường ống bằng đồng và các mối hàn mềm, vì sự lão hóa có thể làm giảm độ bền của các mối hàn này.

Excessive temperatures and thermal stresses should be avoided. Deriming temperatures should be consistent with materials of plant construction and according to plant piping design and should not exceed the maximum allowable working temperature of the equipment. Temperatures greater than 150 °F (65.6 °C) should not be used with older plants that have copper piping and soft solder joints, as aging can reduce the strength of the joints.

- Trong các nhà máy có sẵn khí khử băng khô, quá trình khử băng được xem là hoàn tất khi điểm sương của khí thải ra không ẩm hơn -40 °F đến -90 °F (-40 °C đến -68 °C).

In plants with dry deriming gas available, the derime is complete when the dew point of the exiting gas is not warmer than -40 °F to -90 °F (-40 °C to -68 °C).

- Trong các nhà máy chỉ có khí khử băng ẩm, độ ẩm tương đối của khí khử băng phải được giảm xuống mức thấp nhất có thể. Độ ẩm tương đối được giảm bằng cách duy trì máy nén khí ở áp suất cao nhất có thể đi qua bộ làm mát sau (aftercooler), sau đó giảm áp và gia nhiệt khí khử băng trong bộ gia nhiệt chuyên dụng. Cuối cùng, khí khử băng được đưa vào coldbox. Quá trình khử băng tiếp tục cho đến khi tất cả các đường xả, đường thoát nước và đường tín hiệu thiết bị đều nóng.

In plants with only wet deriming gas, the relative humidity of the deriming gas shall be lowered as much as possible. The relative humidity is lowered by maintaining the air compressor at the highest pressure possible through the aftercooler, then lowering the pressure, and heating the derimed gas in a dedicated heater. Finally, the deriming gas is sent to the coldbox. The derime continues until all vents, drains, and instrument lines are hot.

18. Sửa chữa và kiểm tra / *Repair and inspection*

18.1. Lưu ý chung về bảo trì / *General maintenance considerations*

- Điều quan trọng là phải duy trì thiết bị nhà máy ở trạng thái hoạt động cơ khí và điện đáng tin cậy. Nên chuẩn bị lịch trình bảo trì phòng ngừa cho từng hạng mục thiết bị. Tần suất ban đầu nên dựa trên khuyến nghị của nhà cung cấp và sau đó là dựa trên dữ liệu lịch sử.
It is important to maintain plant equipment in reliable mechanical and electrical working condition. A preventive maintenance schedule should be prepared for each equipment item. Frequencies should be based initially on vendor recommendations and eventually on historical data.
- Hoạt động của mạch bảo vệ điện phải được kiểm tra định kỳ. Việc kiểm tra chỉ được thực hiện bởi các kỹ thuật viên điện có trình độ.
The operations of electrical protection circuitry shall be tested periodically. The testing shall only be performed by qualified electrical technicians.
- Chỉ những người có trình độ mới phải bảo dưỡng thiết bị nhà máy. Điều đặc biệt quan trọng là tất cả các khe hở phải được duy trì theo khuyến nghị của nhà sản xuất.
Only qualified persons shall service plant equipment. It is particularly important that all clearances be maintained within the manufacturer's recommendation.
- Các bộ phận không phải là loại thay thế tương đương (replacement-in-kind) không bao giờ được sử dụng nếu không tuân theo quy trình MOC.
Components other than replacement-in-kind shall never be used without following a MOC procedure.

18.2. Kiểm soát giám sát / *Supervisory control*

- Tất cả công việc trong nhà máy phải được kiểm soát thông qua giấy phép làm việc và quy trình khóa/thẻ (LOTO) nhằm thúc đẩy phân tích nghiêm túc các khía cạnh an toàn và tiềm năng mối nguy của công việc đối với tất cả nhân viên.
All work in the plant shall be controlled through a work permit and lockout/tagout (LOTO) procedure that promotes critical analysis of the safety aspects and hazard potential of the job as it applies to all personnel.

18.3. Lưu ý đặc biệt về xây dựng và sửa chữa / *Special construction and repair considerations*

- Phải đặc biệt cẩn thận khi vận hành toàn bộ hoặc một phần nhà máy phân tách khí trong quá trình xây dựng hoặc sửa chữa tại địa điểm nhà máy. Cả hai hoạt động này đều có thể gây ra mối nguy tiềm ẩn cho nhau. Trong những giai đoạn này, người vận hành nhà máy phải đối phó với tất cả các khía cạnh thông thường của việc vận hành nhà máy không khí an toàn cộng với những mối nguy đặc biệt phát sinh từ sự kết hợp của hai hoạt động đồng thời này.
Particular care shall be taken when all or part of an air separation plant is operated during construction or repairs at the plant site. Either can represent a potential hazard to the other. During these periods, the plant operator has to deal with all the normal aspects of safe air plant operation plus those special hazards that result from the combination of the two simultaneous operations.
- Nhân viên xây dựng phải được làm quen với các quy định an toàn của nhà máy và được thông báo về các mối nguy tiềm ẩn, đặc biệt là những mối nguy đặc thù của cơ sở.
Construction personnel shall be familiarized with plant safety regulations and made aware of potential hazards, especially those unique to the facility.

18.4. Mối nguy của hộp lạnh (Coldbox) / *Coldbox hazards*

- Khi cần thiết phải vào hộp lạnh để thực hiện sửa chữa hoặc điều chỉnh, phải xem xét các mối nguy sau:
When it is necessary to enter a coldbox to carry out repairs or modifications, consideration shall be given to the following hazards:
 - Bầu không khí giàu oxy hoặc thiếu oxy bên trong hộp lạnh hoặc bên trong đường ống hoặc bình chứa cần làm việc phải được xử lý bằng cách sử dụng các quy trình ra vào không gian hạn chế;
Oxygen-enriched or oxygen-deficient atmosphere either within the coldbox or within the piping or vessels to be worked on shall be addressed by using confined space entry procedures;
 - Phải xử lý vấn đề làm việc trên cao nếu công việc được thực hiện ở độ cao đáng kể so với mặt đất; và
Working at heights shall be addressed if work is to be performed significantly above grade; and
 - Áp suất bị kẹt hoặc tăng cao, chất lỏng siêu lạnh và vật liệu cách nhiệt hộp lạnh phải được xem xét và xử lý.
Trapped or elevated pressure, cryogenic liquids, and the coldbox insulation shall be considered and addressed.

- Các điều kiện tiên quyết cho bất kỳ công việc nào bên trong hộp lạnh nên được hoàn thành, chẳng hạn như:
Prerequisites to any work within the coldbox should be completed such as:
 - xả chất lỏng;
draining of liquids;
 - loại bỏ sương giá;
deriming;
 - cách ly chắc chắn các đường ống chất lỏng và khí sản phẩm bằng van chặn kép và xả (double block and bleed) hoặc bịt mặt bích;
positively isolating product liquid and gas lines with double block and bleed valving or blinding of flanges;
 - cách ly chắc chắn khí thông thổi vỏ hộp bằng van chặn kép và xả (double block and bleed) hoặc bịt mặt bích;
positively isolating the casing purge gas with double block and bleed valving or blinding of flanges;
 - giảm áp suất; và
depressurizing; and
 - thông thổi bằng không khí, sau đó là theo dõi bầu không khí.
purging with air followed by atmosphere monitoring.
- Trong những trường hợp hiếm hoi, việc vào hộp lạnh mà không làm ấm hoàn toàn là không thể tránh khỏi. Đây là một hoạt động cực kỳ nguy hiểm. Phải xem xét cẩn thận và đầy đủ các mối nguy bổ sung của môi trường hộp lạnh như tầm nhìn hạn chế, nhiệt độ siêu lạnh và bầu không khí giàu oxy hoặc thiếu oxy.
In rare instances, entry into the coldbox without complete warming is unavoidable. This is an extremely hazardous activity. Careful and complete consideration shall be given to the extra hazards of the coldbox environment such as limited visibility, cryogenic temperatures, and oxygen-enriched or oxygen-deficient atmospheres.
- Một phần hoặc toàn bộ vật liệu cách nhiệt hộp lạnh phải được loại bỏ trước khi bắt đầu bất kỳ công việc nào bên trong vỏ hộp. Mức độ loại bỏ vật liệu cách nhiệt phụ thuộc vào loại vật liệu cách nhiệt được sử dụng trong hộp lạnh và vị trí của thiết bị cần làm việc. Các hộp lạnh được cách nhiệt bằng vật liệu cách nhiệt dạng bột như perlite, vermiculite và Micro-cel™ nên được làm trống đến mức thấp hơn vị trí công việc hộp lạnh sẽ diễn ra. Quy trình cấp phép làm việc phải xác định các mối nguy và biện pháp giảm thiểu, bao gồm nhưng không giới hạn ở:
Part or all of the coldbox insulation shall be removed before the start of any work within the casing. The extent of insulation removal depends on the type of insulation used in the coldbox and the location of the equipment to be worked on. Coldboxes insulated with powdered insulation such as perlite, vermiculite, and Micro-cel™ should be emptied to a level below where the coldbox work will take place. The work permitting process shall identify the hazards and mitigations including but not limited to:
 - không gian hạn chế;
confined space;
 - làm giàu oxy hoặc thiếu oxy;
oxygen enrichment or oxygen deficiency;
 - sự bắc cầu perlite;
perlite bridging;
 - bị chôn vùi; và
engulfment; and
 - tiếp xúc lạnh/bỏng lạnh.
cold exposure/frostbite.
- Tham khảo AIGA 032 để được hướng dẫn về thao tác an toàn đối với hộp lạnh cách nhiệt bằng bột và AIGA 079 để được hướng dẫn về thiết kế và vận hành các vỏ bọc siêu lạnh [71, 64].
Refer to AIGA 032 for guidance on the safe handling of powder-insulated coldboxes and AIGA 079 for guidance on the design and operation of cryogenic enclosures [71, 64].
- Có thể vào các hộp lạnh được cách nhiệt bằng vật liệu cách nhiệt dạng len để sửa chữa cục bộ bằng cách đào đường hầm xuyên qua len sau khi thông thổi kỹ không gian cách nhiệt bằng không khí. Các đường hầm này phải được chống đỡ đầy đủ để bảo vệ chống sụp đổ vật liệu cách nhiệt và được thông gió tích cực bằng không khí trong lành. Nhân viên thao tác len đá phải luôn mặc quần áo bảo hộ, găng tay và kính bảo hộ để ngăn ngừa kích ứng da và mắt. Vật

liệu cách nhiệt này cũng nên được kiểm tra định kỳ xem có bị ẩm không. Nếu bị ẩm, nó nên được loại bỏ và thay thế bằng len đá mới. Công việc như vậy bên trong vỏ bọc cách nhiệt bằng len khoáng là việc ra vào không gian hạn chế và nên được thực hiện như mô tả trong 18.5.

Coldboxes insulated with wool-type insulation can be entered for local repairs by tunneling through the wool after thorough purging of insulation space with air. These tunnels shall be adequately shored to guard against insulation collapse and positively ventilated with fresh air. Personnel handling the rock wool shall always wear protective clothing, gloves, and goggles to prevent skin and eye irritation. This insulation also should be checked periodically for moisture. If moist, it should be discarded and replaced with fresh rock wool. Such work within a mineral wool-insulated enclosure is a confined space entry and should be performed as described in 18.5.

18.5. **Mối nguy khi làm việc trong bầu không khí giàu oxy hoặc thiếu oxy / Hazards of working in oxygen-enriched or oxygen-deficient atmospheres**

- Phải thực hiện các biện pháp phòng ngừa nghiêm ngặt trước khi vào bất kỳ không gian hạn chế nào như vỏ hộp lạnh, bình chứa, bồn tồn chứa, ống dẫn hoặc các khu vực kín hoặc thông gió kém khác có bầu không khí có khả năng giàu oxy hoặc thiếu oxy, vì có thể xảy ra thương tích hoặc tử vong. Bầu không khí bên trong tất cả các không gian hạn chế đó phải được kiểm tra và nghiêm cấm nhân viên không được bảo vệ vào bầu không khí không nằm trong phạm vi oxy từ 19.5% đến 23.5%. Để được hướng dẫn thêm, hãy xem CGA P-12, 29 CFR 1910.146, AIGA 008 và AIGA 005 [7, 8, 9, 14].

Strict precautions shall be taken before entering any confined spaces such as coldbox casings, vessels, storage tanks, ducts, or other closed or poorly ventilated areas with potentially oxygen-enriched or oxygen-deficient atmospheres, as injuries or fatalities can occur. Atmospheres within all such confined spaces shall be checked and unprotected personnel prohibited from entering an atmosphere that does not fall within the range of 19.5% to 23.5% oxygen. For further guidance, see CGA P-12, 29 CFR 1910.146, AIGA 008, and AIGA 005 [7, 8, 9, 14].

- **CẢNH BÁO: Việc vào khu vực có bầu không khí giàu oxy hoặc thiếu oxy mà không tuân theo các quy trình thích hợp có thể dẫn đến thương tích hoặc tử vong.**
WARNING: Entering an area with an oxygen-enriched or oxygen-deficient atmosphere without following proper procedures can result in injury or death.

18.6. **Làm sạch / Cleaning**

- Việc làm sạch oxy có các yêu cầu đặc biệt. Tất cả thiết bị, đường ống và bình chứa được thay thế hoặc sửa chữa phải được làm sạch thích hợp trước khi đưa trở lại hoạt động. Tất cả các bộ phận thay thế phải tương thích với oxy và phải được làm sạch cho dịch vụ oxy. Tất cả các công cụ được sử dụng để tháo và thay thế các bộ phận phải được làm sạch cho dịch vụ oxy, xem AIGA 012 và ASTM G93 [34, 35].

Oxygen cleaning has special requirements. All equipment, piping, and vessels that are replaced or repaired shall be suitably cleaned before being returned to service. All replacement parts shall be oxygen compatible and shall be cleaned for oxygen service. All tools used to remove and replace components shall be cleaned for oxygen service, see AIGA 012 and ASTM G93 [34, 35].

- Nhiều bộ phận của quy trình ASU không gặp phải chất lỏng giàu oxy trong quá trình vận hành bình thường. Tuy nhiên, chúng có thể tiếp xúc với oxy trong quá trình sự cố, khởi động và ngừng hoạt động. Thực hành phổ biến là làm sạch tất cả thiết bị siêu lạnh cho dịch vụ oxy.

Many parts of the ASU process do not encounter oxygen-enriched fluids during normal operation. However, they can be exposed to oxygen during process upsets, startup, and shutdown. It is common practice to clean all cryogenic equipment for oxygen service.

19. **Vận hành và đào tạo / Operations and training**

19.1. **Quy trình vận hành / Operating procedures**

- Nhà máy phân tách khí bao gồm tất cả các bộ phận máy móc nên được vận hành và bảo trì theo hướng dẫn vận hành do nhà sản xuất cung cấp. Các hướng dẫn này phải được tích hợp vào các quy trình vận hành và bảo trì của nhà máy.

The air separation plant including all of the machinery components should be operated and maintained in accordance with operating instructions furnished by the manufacturers. These instructions shall be incorporated into plant operating and maintenance procedures.

- Tài liệu nhà máy cần thiết để hỗ trợ vận hành và bảo trì phải được xác định, sẵn có, chính xác, cập nhật, được hiểu rõ và được sử dụng. Các ví dụ về tài liệu nhà máy bao gồm:

Plant documentation required to support operations and maintenance shall be identified, available, accurate, up to date, understood, and used. Examples of plant documentation include:

- sổ tay vận hành;
operating manual;
 - sơ đồ quy trình và thiết bị đo đạc;
process and instrumentation diagrams;
 - bản vẽ bố trí cơ sở;
facility layout drawing;
 - bảng dữ liệu thiết bị;
equipment data sheet;
 - bản vẽ điện; và
electrical drawings; and
 - logic máy tính của hệ thống điều khiển.
control system computer logic.
- Giao tiếp hiệu quả giữa các ca làm việc là điều cần thiết để thúc đẩy hoạt động nhà máy an toàn và đáng tin cậy liên tục. Điều này đặc biệt quan trọng trong các điều kiện sự cố hoặc vận hành chuyển tiếp như loại bỏ sương giá, làm lạnh, bảo trì, khởi động, v.v. Các quy trình phải được xây dựng để tạo điều kiện cho việc giao tiếp này.
Effective communication between work shifts is essential to promote continued safe and reliable plant operations. This is particularly important during upset conditions or transient operations such as derime, cool down, maintenance, startup, etc. Procedures shall be developed to facilitate this communication.

19.2. Quy trình chạy thử / *Commissioning procedures*

- Một quy trình, thường được gọi là đánh giá an toàn trước khi khởi động (PSSR), phải được thiết lập để kiểm tra sự sẵn sàng vận hành và tính toàn vẹn của các hệ thống trước khi chúng được đưa vào hoạt động.
A procedure, commonly referred to as a prestartup safety review (PSSR), shall be established to check the operational readiness and the integrity of systems before they are brought into service.

19.3. Quy trình khẩn cấp / *Emergency procedures*

- Các quy trình nên được xây dựng để bao gồm việc ứng phó với các điều kiện khẩn cấp dự kiến mà hoạt động của nhà máy có thể gặp phải. Các điều kiện khẩn cấp tiềm ẩn nên bao gồm các điều kiện sự cố nhà máy, trục trặc cơ học và mất điện cũng như các nhiễu loạn dân sự và môi trường có thể ảnh hưởng đến an toàn nhà máy. Các điều kiện khẩn cấp nên được xem xét là:
Procedures should be developed to cover the response to anticipated emergency conditions, which plant operations can experience. Potential emergency conditions should include plant upset conditions, mechanical malfunctions, and power failures as well as environmental and civil disturbances that can affect plant safety. Emergency conditions that should be considered are:
- cháy;
fire;
- rò rỉ sản phẩm lớn, nổ đường ống, hoặc giải phóng năng lượng;
major product release, pipeline rupture, or energy release;
- rò rỉ perlite lớn;
major perlite release;
- rò rỉ quy trình đáng kể bên trong vỏ bọc siêu lạnh;
significant process leak within cryogenic enclosure;
- điều kiện thời tiết khắc nghiệt như bão, lốc xoáy, lũ lụt, hoặc lạnh cực độ;
severe weather conditions such as hurricane, tornado, flood, or extreme cold;
- sự cố công nghiệp lân cận như cháy nổ, rò rỉ hydrocarbon, rò rỉ hóa chất độc hại;
adjacent industry incidents such as explosions, hydrocarbon releases, toxic chemical releases;
- thương tích cá nhân, ví dụ, báo động nhân viên gặp nạn;
personnel injury, for example, man-down alarm;
- xâm nhập/đe dọa an ninh tại địa điểm (xem CGA P-50 và AIGA 003, Tiêu chuẩn An ninh Địa điểm) [91,94];
site intrusion/security threat (see CGA P-50 and AIGA 003, Standard for Site Security) [91,94];
- đám mây sương mù từ sự rò rỉ siêu lạnh; và

fog cloud from a cryogenic release; and

- thay đổi chất lượng không khí do các sự kiện môi trường như sương mù và khói từ cháy rừng, đốt nương rẫy, hoặc đốt sinh khối khác.
air quality changes due to environmental events such as haze and smoke from forest fires, burning farmland, or other biomass combustion.

19.4. Quản lý sự thay đổi / *Management of change*

- MOC là quy trình được sử dụng để đảm bảo rằng các thay đổi được thực hiện đúng cách, an toàn và được lập thành tài liệu. Các tài liệu này phải được lưu giữ tại nhà máy. Bất kỳ thay đổi nào được đề xuất đối với thiết bị, hệ thống điều khiển, phần mềm, quy trình và cơ sở vật chất phải yêu cầu đánh giá bằng văn bản bởi nhân sự có năng lực kỹ thuật và sự chấp thuận của nhân sự được ủy quyền trước khi thực hiện. Việc đánh giá và ủy quyền này phải áp dụng cho tất cả các sửa đổi hoặc thay đổi được đề xuất, cho dù chúng là vĩnh viễn, tạm thời hay khẩn cấp. Tất cả các tài liệu nhà máy thích hợp như sơ đồ quy trình và thiết bị, thông số kỹ thuật và bản vẽ thiết bị, và quy trình vận hành và bảo trì phải được cập nhật.

MOC is the procedure used to ensure that changes are implemented correctly and safely and are documented. These documents shall be maintained at the plant. Any proposed change to equipment, controls, software, procedures, and facilities shall require a documented review by technically competent personnel and approval by authorized personnel before implementation. This review and authorization shall apply to all proposed modifications or changes whether they are permanent, temporary, or emergency in nature. All appropriate plant documentation such as a process and instrument diagram, equipment specifications and drawings, and operating and maintenance procedures shall be updated.

- Các thay đổi phải thuộc phạm vi MOC bao gồm:

Changes that shall fall under MOC include:

- sửa đổi thiết bị hiện có để tăng lưu lượng, áp suất và/hoặc độ tinh khiết;
modification of existing equipment to increase flows, pressures, and/or purities;
- sửa đổi hoặc bổ sung thiết bị và/hoặc đường ống, cấu trúc vỏ bọc coldbox, thiết bị thao tác quy trình và sản phẩm, v.v.;
modification or addition of equipment and/or piping, coldbox enclosure structure, process and product handling equipment, etc.;
- thay đổi hệ thống điều khiển;
changing control systems;
- bỏ qua các hệ thống an toàn;
bypassing of safety systems;
- thay đổi quy trình hoặc hướng dẫn vận hành;
changing procedures or operating instructions;
- vận hành ngoài giới hạn thiết kế;
operating outside of design limits;
- thay đổi công nghệ quy trình;
changing process technology;
- thay đổi thiết bị hoặc vật liệu chế tạo;
changing equipment or materials of construction;
- thay đổi thông số kỹ thuật thiết bị; hoặc
changing equipment specifications; or
- sửa đổi chương trình máy tính.
modifying computer programs.

- Thay thế tương đương là sự thay thế chính xác hoặc giải pháp thiết kế thay thế đáp ứng tất cả các thông số kỹ thuật thiết kế của mục được thay thế. Thay thế tương đương không yêu cầu sự chấp thuận của MOC, xem AIGA 010 [74].

Replacement-in-kind is an exact replacement or design alternative that meets all design specifications of the item being replaced. Replacement-in-kind does not require MOC approval, see AIGA 010 [74].

19.5. Đào tạo nhân sự / *Personnel training*

- Tất cả nhân sự tham gia vào việc chạy thử, vận hành và bảo trì các nhà máy phân tách khí phải được thông báo về các mối nguy mà họ có thể gặp phải. Ngoài ra, các cá nhân phải được đào tạo chuyên biệt về các hoạt động mà họ được tuyển dụng. Đào tạo phải bao gồm, nhưng không nhất thiết phải giới hạn ở, các chủ đề sau đây cho tất cả nhân sự:

All personnel involved in the commissioning, operation, and maintenance of air separation plants shall be informed regarding the hazards to which they can potentially be exposed. In addition, individuals shall receive specific training in the activities for which they are employed. Training shall cover, but not necessarily be confined to, the following subjects for all personnel:

- các mối nguy tiềm ẩn của vật liệu;
potential hazards of the materials;
 - thiết bị bảo hộ cá nhân (PPE);
personal protective equipment (PPE);
 - các quy định an toàn tại công trình; và
site safety regulations; and
 - các quy trình khẩn cấp, bao gồm:
emergency procedures, including:
 - sơ tán
evacuation
 - sử dụng quần áo/thiết bị bảo hộ
use of protective clothing/apparatus
 - sơ cứu và
first aid treatment and
 - sử dụng thiết bị chữa cháy.
use of fire suppressant equipment.
- Khuyến nghị rằng việc đào tạo được thực hiện theo một hệ thống chính thức hóa và hồ sơ đào tạo phải được lưu giữ. Nên tiến hành đánh giá mức độ hiểu biết về khóa đào tạo để xác định xem có cần đào tạo thêm hay không.
It is recommended that the training be carried out under a formalized system and that records be kept of the training given. An assessment of understanding of the training should be conducted to identify whether further training is required.
- Chương trình đào tạo nên xác định các yêu cầu đối với việc đào tạo bồi dưỡng định kỳ.
The training program should identify requirements for periodic refresher training.
- Để biết thêm thông tin về đào tạo nhân sự, xem AIGA 009, Đào tạo An toàn cho Nhân viên [92].
For additional information regarding training of personnel, see AIGA 009, Safety Training of Employees [92].

20. Tài liệu tham khảo / References

- Trừ khi có quy định khác, phiên bản mới nhất phải được áp dụng.
Unless otherwise specified, the latest edition shall apply.
- [1] Schmidt, William, K., Winegardner, M. Dennehy, và H. Castle-Smith, “Thiết kế và Vận hành An toàn Đơn vị Phân tách khí Siêu lạnh,” Process Safety Progress, Tháng 12 năm 2001, Tập 20, Số 4, tr. 269-279. www.aiche.org
Schmidt, William, K., Winegardner, M. Dennehy, and H. Castle-Smith, “Safe Design and Operation of a Cryogenic Air Separation Unit,” Process Safety Progress, Dec 2001, Vol. 20, No.4, pp. 269-279. www.aiche.org
 - [2] AIGA 057, Sử dụng An toàn Bộ trao đổi nhiệt nhôm hàn cho việc Sản xuất Oxy có Áp suất, Hiệp hội Khí Công nghiệp Châu Á, www.asiaiga.org
AIGA 057, Safe Use of Brazed Aluminum Heat Exchangers for Producing Pressurized Oxygen, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
- LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế cho các tiêu chuẩn ngành. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định khu vực. Xem lời tựa tài liệu được tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham khảo khu vực đã được hài hòa.
NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.
- [3] ANSI/ISA/IEC 61511-1, An toàn Chức năng—Hệ thống Thiết bị An toàn cho Lĩnh vực Công nghiệp Quy trình—Phần 1: Khung, định nghĩa, hệ thống, phần cứng và các yêu cầu lập trình ứng dụng.
www.iec.ch

ANSI/ISA/IEC 61511-1, *Functional Safety—Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector—Part 1: Framework, definitions, system, hardware and application programming requirements*. www.iec.ch/www.iec.ch

- [4] Dược điển Hoa Kỳ và Công thức Quốc gia, Dược điển Hoa Kỳ. www.usp.org
United States Pharmacopoeia and National Formulary, U.S. Pharmacopoeia. www.usp.org
- [5] CGA G-10.1, Đặc điểm kỹ thuật Hàng hóa cho Nitơ, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
CGA G-10.1, Commodity Specification for Nitrogen, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
- [6] CGA G-4.3, Đặc điểm kỹ thuật Hàng hóa cho Oxy, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
CGA G-4.3, Commodity Specification for Oxygen, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
- [7] CGA P-12, Thao tác An toàn Chất lỏng Siêu lạnh, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
CGA P-12, Safe Handling of Cryogenic Liquids, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
- [8] Bộ Quy tắc Liên bang, Tiêu đề 29 (Lao động), Giám đốc Tài liệu, Văn phòng In ấn Chính phủ Hoa Kỳ. www.gpo.gov
Code of Federal Regulations, Title 29 (Labor), Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office. www.gpo.gov
- [9] AIGA 008, Mối nguy của Bầu khí quyển Thiếu Oxy, Hiệp hội Khí Công nghiệp Châu Á, www.asiaiga.org
AIGA 008, Hazards of Oxygen-Deficient Atmospheres, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org

LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế cho các tiêu chuẩn ngành. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định khu vực. Xem lời tựa tài liệu được tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham khảo khu vực đã được hài hòa.
NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.
- [10] Bản tin An toàn CSB, Mối nguy Ngạt Nitơ, Ủy ban Điều tra Mối nguy và An toàn Hóa chất Hoa Kỳ. www.csb.gov
CSB Safety Bulletin, Hazards of Nitrogen Asphyxiation, U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. www.csb.gov
- [11] Tài liệu quảng cáo CSB, Bầu khí quyển Giàu Nitơ Có Thể Gây Tử Vong, Ủy ban Điều tra Mối nguy và An toàn Hóa chất Hoa Kỳ. www.csb.gov
CSB Brochure, Nitrogen-Enriched Atmospheres Can Kill, U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. www.csb.gov
- [12] Bài thuyết trình PowerPoint của CSB, Các Mối nguy Ngạt Nitơ, Ủy ban Điều tra Mối nguy và An toàn Hóa chất Hoa Kỳ. www.csb.gov
CSB PowerPoint Presentation, The Hazards of Nitrogen Asphyxiation, U.S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. www.csb.gov
- [13] ANSI/ASSE Z88.2, Các Quy tắc Bảo vệ Hô hấp, Viện Tiêu chuẩn Quốc gia Hoa Kỳ. www.assp.org
ANSI/ASSE Z88.2, Practices for Respiratory Protection, American National Standards Institute. www.assp.org
- [14] AIGA 005, Mối nguy Cháy của Oxy và Bầu khí quyển Giàu Oxy, Hiệp hội Khí Công nghiệp Châu Á, www.asiaiga.org
AIGA 005, Fire Hazards of Oxygen and Oxygen-Enriched Atmospheres, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org

LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế cho các tiêu chuẩn ngành. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định khu vực. Xem lời tựa tài liệu được tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham khảo khu vực đã được hài hòa.
NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.
- [15] AIGA 066, Lựa chọn Thiết bị Bảo hộ Cá nhân, Hiệp hội Khí Công nghiệp Châu Á, www.asiaiga.org
AIGA 066, Selection of Personal Protective Equipment, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org

LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế về các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định của khu vực. Xem lời tựa của tài liệu được tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham khảo khu vực đã được hài hòa hóa.

NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.

- [16] EIGA Doc 94, Tác động Môi trường của các Đơn vị Tách Khí, Hiệp hội Khí Công nghiệp Châu Âu. www.eiga.eu
EIGA Doc 94, Environmental Impacts of Air Separation Units, European Industrial Gases Association. www.eiga.eu

- [17] AIGA 085, Hệ thống Nạp Tàu chở Bồn Siêu lạnh chứa Oxy, Nitơ và Argon Lỏng, Asia Industrial Gases Association, Inc. www.asiaiga.org
AIGA 085, Liquid Oxygen, Nitrogen, and Argon Cryogenic Tanker Loading Systems, Asia Industrial Gases Association, Inc. www.asiaiga.org

LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế về các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định của khu vực. Xem lời tựa của tài liệu được tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham khảo khu vực đã được hài hòa hóa.

NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.

- [18] ASTM G63, Hướng dẫn Tiêu chuẩn Đánh giá Vật liệu Phi kim loại cho Dịch vụ Oxy, ASTM International. www.astm.org
ASTM G63, Standard Guide for Evaluating Nonmetallic Materials for Oxygen Service, ASTM International. www.astm.org

- [19] ASTM G94, Hướng dẫn Tiêu chuẩn Đánh giá Kim loại cho Dịch vụ Oxy, ASTM International. www.astm.org
ASTM G94, Standard Guide for Evaluating Metals for Oxygen Service, ASTM International. www.astm.org

- [20] AIGA 076, Sử dụng An toàn Đệm Cấu trúc Nhôm cho Chưng cất Oxy, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
AIGA 076, Safe Use of Aluminum-Structured Packing for Oxygen Distillation, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org

LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế về các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định của khu vực. Xem lời tựa của tài liệu được tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham khảo khu vực đã được hài hòa hóa.

NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.

- [21] ASTM A312, Quy cách Tiêu chuẩn cho Ống Thép Không Gỉ Austenitic Không hàn, Hàn, và Gia công Lạnh Nặng, ASTM International. www.astm.org
ASTM A312, Standard Specification for Seamless, Welded, and Heavily Cold Worked Austenitic Stainless Steel Pipe, ASTM International. www.astm.org

- [22] ASTM B241, Quy cách Tiêu chuẩn cho Ống Nhôm và Hợp kim Nhôm Không hàn và Ống Ép đùn Không hàn, ASTM International. www.astm.org
ASTM B241, Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Seamless Pipe and Seamless Extruded Tube, ASTM International. www.astm.org

- [23] ASTM B209, Quy cách Tiêu chuẩn cho Tấm và Tấm Dày Nhôm và Hợp kim Nhôm, ASTM International. www.astm.org
ASTM B209, Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate, ASTM International. www.astm.org

- [24] ASTM B75, Quy cách Tiêu chuẩn cho Ống Đồng Không hàn, ASTM International. www.astm.org
ASTM B75, Standard Specification for Seamless Copper Tube, ASTM International. www.astm.org

- [25] ASTM B88, Quy cách Tiêu chuẩn cho Ống Nước Đồng Không hàn, ASTM International. www.astm.org
ASTM B88, Standard Specifications for Seamless Copper Water Tube, ASTM International. www.astm.org

- [26] ASTM B165, Quy cách Tiêu chuẩn cho Ống và Ống Dẫn Hợp kim Niken-Đồng Không hàn, ASTM International. www.astm.org
ASTM B165, Standard Specification for Nickel-Copper Alloy Seamless Pipe and Tube, ASTM International. www.astm.org
- [27] ASTM B127, Quy cách Tiêu chuẩn cho Tấm Dày, Tấm và Dải Hợp kim Niken-Đồng (UNS N04400) ASTM International. www.astm.org
ASTM B127, Standard Specifications for Nickel-Copper Alloy (UNS N04400) Plate, Sheet, and Strip,
- [28] ASTM B43, Quy cách Tiêu chuẩn cho Ống Đồng Đỏ Không hàn, Kích cỡ Tiêu chuẩn, ASTM International. www.astm.org
ASTM B43, Standard Specification for Seamless Red Brass Pipe, Standard Sizes, ASTM International. www.astm.org
- [29] ASTM A403, Quy cách Tiêu chuẩn cho Phụ kiện Ống Thép Không Gỉ Austenitic Rèn, ASTM International. www.astm.org
ASTM A403, Standard Specification for Wrought Austenitic Stainless Steel Piping Fittings, ASTM International. www.astm.org
- [30] ASTM A53, Quy cách Tiêu chuẩn cho Ống, Thép, Đen và Mạ Kẽm Nhúng Nóng, Hàn và Không hàn, ASTM International. www.astm.org
ASTM A53, Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot-Dipped, Zinc-Coated Welded and Seamless, ASTM International. www.astm.org
- [31] ASTM A106, Quy cách Tiêu chuẩn cho Ống Thép Carbon Không hàn dùng cho Dịch vụ Nhiệt độ Cao. www.astm.org
ASTM A106, Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service. www.astm.org
- [32] ASTM G88, Hướng dẫn Tiêu chuẩn Thiết kế Hệ thống cho Dịch vụ Oxy, ASTM International. www.astm.org
ASTM G88, Standard Guide for Designing Systems for Oxygen Service, ASTM International. www.astm.org
- [33] AIGA 106, Hệ thống Ống Dẫn Có Vỏ Chân Không trong Dịch vụ Oxy Lỏng, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
AIGA 106, Vacuum-Jacketed Piping in Liquid Oxygen Service, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
- LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế về các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định của khu vực. Xem lời tựa của tài liệu được tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham khảo khu vực đã được hài hòa hóa.
- NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.*
- [34] AIGA 012, Làm sạch Thiết bị cho Dịch vụ Oxy, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
AIGA 012, Cleaning of Equipment for Oxygen Service, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
- LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế về các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định của khu vực. Xem lời tựa của tài liệu được tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham khảo khu vực đã được hài hòa hóa.
- NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.*
- [35] ASTM G93, Thực hành Tiêu chuẩn về Phương pháp Làm sạch và Mức độ Sạch cho Vật liệu và Thiết bị được Sử dụng trong Môi trường Giàu Oxy, ASTM International. www.astm.org
ASTM G93, Standard Practice for Cleaning Methods and Cleanliness Levels for Material and Equipment Used in Oxygen-Enriched Environments, ASTM International. www.astm.org
- [36] NFPA 70, Bộ luật Điện Quốc gia®, Hiệp hội Phòng cháy chữa cháy Quốc gia. www.nfpa.org
NFPA 70, National Electrical Code®, National Fire Protection Association. www.nfpa.org
- [37] EIGA Doc 134, Bầu khí quyển có Khả năng Gây Nổ, Chỉ thị EU 1999/92/EC, European Industrial Gases Association. www.eiga.eu

EIGA Doc 134, Potentially Explosive Atmospheres, EU Directive 1999/92/EC, European Industrial Gases Association. www.eiga.eu

- [38] ANSI/ASA S12.3, Phương pháp Thống kê để Xác định và Kiểm chứng Giá trị Phát xạ Tiếng ồn Đã công bố của Máy móc và Thiết bị, Acoustical Society of America. www.acousticalsociety.org
ANSI/ASA S12.3, Statistical Methods for Determining and Verifying Stated Noise Emission Values of Machinery and Equipment, Acoustical Society of America. www.acousticalsociety.org
- [39] ANSI/ASA S12.5, Âm học - Yêu cầu về Hiệu suất và Hiệu chuẩn Nguồn Âm Tham chiếu được Sử dụng để Xác định Mức Công suất Âm thanh, Acoustical Society of America.
www.acousticalsociety.org
ANSI/ASA S12.5, Acoustics-Requirements for the Performance and Calibration of Reference Sound Sources Used for the Determination of Sound Power Levels, Acoustical Society of America. www.acousticalsociety.org
- [40] ANSI/ASA S12.7, Phương pháp Đo Lường Tiếng ồn Xung, Acoustical Society of America.
www.acousticalsociety.org
ANSI/ASA S12.7, Methods for Measurements of Impulse Noise, Acoustical Society of America. www.acousticalsociety.org
- [41] ANSI/ASA S12.9, Đại lượng và Quy trình Mô tả và Đo lường Âm thanh Môi trường
ANSI/ASA S12.9, Quantities and Procedures for Description and Measurement of Environmental Sound,
 Phần 1: Đại lượng Cơ bản và Định nghĩa, Acoustical Society of America.
www.acousticalsociety.org
Part 1: Basic Quantities and Definitions, Acoustical Society of America. www.acousticalsociety.org
- [42] ASME PTC 36, Đo lường Tiếng ồn Công nghiệp, American Society of Mechanical Engineers.
www.asme.org
ASME PTC 36, Measurement of Industrial Noise, American Society of Mechanical Engineers. www.asme.org
- [43] AIGA 035, Vận hành An toàn Thiết bị Đun sôi Lại/Thiết bị Ngưng tụ trong các Đơn vị Tách Khí, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
AIGA 035, Safe Operation of Reboilers/Condensers in Air Separation Units, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
- LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế về các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định của khu vực. Xem lời tựa của tài liệu được tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham khảo khu vực đã được hài hòa hóa.
NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.
- [44] McKinley, C. and F. Himmelberger, “Vai trò của các Tạp chất Không khí trong Việc Xây dựng Nguyên tắc An toàn Nhà máy Oxy,” Chemical Engineering Progress, March 1957, Vol. 53, No. 3, pp. 112-121. www.aiche.org
McKinley, C. and F. Himmelberger, “The Role of Air Contaminants in Formulating Oxygen Plant Safety Principles,” Chemical Engineering Progress, March 1957, Vol. 53, No. 3, pp. 112-121. www.aiche.org
- [45] CGA P-11, Hướng dẫn về Thực hành Hệ mét trong Ngành Công nghiệp Khí Nén, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
CGA P-11, Guideline for Metric Practice in the Compressed Gas Industry, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
- [46] Bohlken, S.F., “Vụ Nổ Bộ Trao Đổi Nhiệt tại Đơn vị Rửa Nitơ,” Chemical Engineering Progress, Vol. 57, No. 4 (April 1961), pp. 49-52. www.aiche.org
Bohlken, S.F., “Heat Exchanger Explosion at a Nitrogen-Wash Unit,” Chemical Engineering Progress, Vol. 57, No. 4 (April 1961), pp. 49-52. www.aiche.org
- [47] Sakai, Y., “Đơn vị Amoniac Này Đã Phát Nổ,” Petroleum Refiner, Vol. 40, No. 1 (January 1961), pp. 178-181. www.gulfpub.com
Sakai, Y., “This Ammonia Unit Exploded,” Petroleum Refiner, Vol. 40, No. 1 (January 1961), pp. 178-181. www.gulfpub.com
- [48] Haseba, S., T. Shimose, N. Kubo, T. Kitagawa, “Nổ oxit nitric,” Tạp chí Kỹ thuật Hóa học, Tập. 62, Số 4 (Tháng 4 năm 1966), tr. 92-96. www.aiche.org
Haseba, S., T. Shimose, N. Kubo, T. Kitagawa, “Nitric Oxide Explosion,” Chemical Engineering Progress,

Vol. 62, No. 4 (April 1966), pp. 92-96. www.aiche.org

- [49] Wenning, U., “Nitrous Oxide trong các Nhà máy Tách Khí,” Reports on Science and Technology, Số 60 (1998), Linde AG. www.linde.com
Wenning, U., “Nitrous Oxide in Air Separation Plants,” Reports on Science and Technology, No. 60 (1998), Linde AG. www.linde.com
- [50] Hardeveld, R.M., M.J. Groeneveld, J.-Y. Lehman, và D.C. Bull, “Điều tra về Vụ nổ Đơn vị Tách Khí,” Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 14 (2001), tr. 167-180, Elsevier. www.elsevier.com
Hardeveld, R.M., M.J. Groeneveld, J.-Y. Lehman, and D.C. Bull, “Investigation of an Air Separation Unit Explosion,” Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 14 (2001), pp. 167-180, Elsevier. www.elsevier.com
- [51] Schmidt, William P., Jignesh Shah, D. J. Bozym, Bruce K. Dawson, “Sương mù Hydrocarbon và An toàn ASU”, Hội nghị chuyên đề Phòng ngừa Tổn thất lần thứ 42, New Orleans, LA, Bài báo 48c, ngày 7 tháng 4 năm 2008. www.aiche.org
Schmidt, William P., Jignesh Shah, D. J. Bozym, Bruce K. Dawson, “Hydrocarbon Haze and ASU Safety”, 42nd Loss Prevention Symposium, New Orleans, LA, Paper 48c, April 7, 2008. www.aiche.org
- [52] AIGA 028, Nhà máy Khí Không Khí Không Người Lái—Thiết kế và Vận hành, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
AIGA 028, Unmanned Air Gas Plants—Design and Operation, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
- LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế về các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định khu vực. Xem lời nói đầu của tài liệu được tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham khảo khu vực đã được hài hòa hóa.
- NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.
- [53] ASME B19.1, Tiêu chuẩn An toàn cho Hệ thống Máy nén Khí, American Society of Mechanical Engineers. www.asme.org
ASME B19.1, Safety Standard for Air Compressor Systems, American Society of Mechanical Engineers. www.asme.org
- [54] ASME B19.3, Tiêu chuẩn An toàn cho Máy nén trong Công nghiệp Quy trình, American Society of Mechanical Engineers. www.asme.org
ASME B19.3, Safety Standard for Compressors for Process Industries, American Society of Mechanical Engineers. www.asme.org
- [55] Tiêu chuẩn của Hiệp hội các nhà sản xuất bộ trao đổi nhiệt dạng ống, Hiệp hội các nhà sản xuất bộ trao đổi nhiệt dạng ống. www.tema.org
Standards of the Tubular Exchanger Manufacturers’ Association, Tubular Exchanger Manufacturers’ Association. www.tema.org
- [56] Quy chuẩn Nồi hơi và Bình chịu áp lực ASME, Mục VIII, Phần 1, American Society of Mechanical Engineers. www.asme.org
ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Div 1, American Society of Mechanical Engineers. www.asme.org
- [57] AIGA 021, Hệ thống Đường ống và Ống dẫn Oxy, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
AIGA 021, Oxygen Pipeline and Piping Systems, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org

LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế về các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định khu vực. Xem lời nói đầu của tài liệu được tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham khảo khu vực đã được hài hòa hóa.

NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.

- [58] AIGA 048, Máy nén piston dùng cho dịch vụ oxy, Hiệp hội Khí công nghiệp châu Á, www.asiaiga.org

AIGA 048, *Reciprocating Compressors for Oxygen Service*, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org

LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế về các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định khu vực. Xem lời nói đầu của tài liệu được tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham khảo khu vực đã được hài hòa hóa.

NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.

- [59] AIGA 071, Máy nén ly tâm dùng cho dịch vụ oxy, Hiệp hội Khí công nghiệp châu Á, www.asiaiga.org

AIGA 071, *Centrifugal Compressors for Oxygen Service*, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org

LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế về các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định khu vực. Xem lời nói đầu của tài liệu được tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham khảo khu vực đã được hài hòa hóa.

NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.

- [60] W. Schmidt, K. Kovak, W. Licht, và S. Feldman, “Quản lý Tạp chất Dạng vết trong Tách Khí Siêu lạnh,” AIChE Spring Meeting, Atlanta, GA, ngày 5-9 tháng 3 năm 2000. www.aiche.org
W. Schmidt, K. Kovak, W. Licht, and S. Feldman, “Managing Trace Contaminants in Cryogenic Air Separation,” AIChE Spring Meeting, Atlanta, GA, March 5-9, 2000. www.aiche.org

- [61] Nghị định thư Montreal về các Chất làm Suy giảm Tầng Ozone, United Nations Environment Programme. www.unep.org/ozone
Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, United Nations Environment Programme. www.unep.org/ozone

- [62] AIGA 055, Bơm Oxy Lỏng Ly tâm, Dẫn động bằng Động cơ Điện, Cố định, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
AIGA 055, *Stationary, Electric-Motor-Driven, Centrifugal Liquid Oxygen Pumps*, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org

LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế về các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định khu vực. Xem lời nói đầu của tài liệu được tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham khảo khu vực đã được hài hòa hóa.

NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.

- [63] AIGA 089, Bơm piston siêu lạnh và hệ thống bơm dùng cho oxy, argon và nitơ, Hiệp hội Khí công nghiệp châu Á, www.asiaiga.org
AIGA 089, *Reciprocating Cryogenic Pumps and Pump Installations for Oxygen, Argon, and Nitrogen*, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org

LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế về các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định khu vực. Xem lời nói đầu của tài liệu được tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham khảo khu vực đã được hài hòa hóa.

NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.

- [64] AIGA 079, Thiết kế và Vận hành An toàn Vỏ bọc Siêu lạnh, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
AIGA 079, *Safe Design and Operation of Cryogenic Enclosures*, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org

LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế về các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy

định khu vực. Xem lời nói đầu của tài liệu được tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham khảo khu vực đã được hài hòa hóa.

NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.

- [65] Miller, E., S. Auvil, N. Giles, và G. Wilson, “Độ hòa tan của Nitrous Oxide dưới dạng Chất tan Tinh khiết và trong Hỗn hợp với Carbon Dioxide trong Chất lỏng Tách Khí,” AICHE Spring Meeting, Atlanta, GA, ngày 5-9 tháng 3 năm 2000 American Institute of Chemical Engineers. www.iche.org
Miller, E., S. Auvil, N. Giles, and G. Wilson, “The Solubility of Nitrous Oxide as a Pure Solute and in Mixtures with Carbon Dioxide in Air Separation Liquids,” AICHE Spring Meeting, Atlanta, GA, March 5-9, 2000,
- [66] Meneses, D., J. Thonneller, C. Szulman, và E. Werlen, “Hành vi của Tạp chất Dạng vết trong các Đơn vị Tách Khí,” Cryogenics 2000 Conference, Prague, Tháng 10 năm 2000, International Institute of Refrigeration. www.iifir.org
Meneses, D., J. Thonneller, C. Szulman, and E. Werlen, “Trace Contaminant Behavior in Air Separation Units,” Cryogenics 2000 Conference, Prague, October 2000, International Institute of Refrigeration. www.iifir.org
- [67] CGA G-5, Hiệp hội Khí nén Hydro, Inc. www.cganet.com
CGA G-5, Hydrogen, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
- [68] AIGA 087, Tiêu chuẩn cho Hệ thống Ống dẫn Hydro tại Địa điểm Người dùng, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
AIGA 087, Standard for Hydrogen Piping Systems at User Locations, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
- [69] CGA G-5.5, Tiêu chuẩn cho Hệ thống Xả Hydro, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
CGA G-5.5, Standard for Hydrogen Vent Systems, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
- [70] CGA P-28, Tài liệu Hướng dẫn Quản lý An toàn Quy trình OSHA và Kế hoạch Quản lý Rủi ro EPA cho Hệ thống Cung cấp Hydro Lỏng Số lượng Lớn, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
CGA P-28, OSHA Process Safety Management and EPA Risk Management Plan Guidance Document for Bulk Liquid Hydrogen Supply Systems, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
- [71] AIGA 032, Quản lý Perlite, Hiệp hội Khí công nghiệp châu Á, www.asiaiga.org
AIGA 032, Perlite Management, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org

LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế về các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống hệt nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định khu vực. Xem lời nói đầu của tài liệu được tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham khảo khu vực đã được hài hòa hóa.

NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.

- [72] CGA P-78, Hướng dẫn Sử dụng An toàn Hệ thống Khí điều khiển được Hỗ trợ bởi các Loại Khí Khác ngoài Không Khí, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
CGA P-78, Guideline for the Safe Use of Instrument Air Systems Backed Up by Gases Other Than Air, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
- [73] AIGA 027, Hệ thống Hóa hơi Siêu lạnh—Phòng ngừa Nứt Giòn Thiết bị và Đường ống, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
AIGA 027, Cryogenic Vaporization Systems—Prevention of Brittle Fracture of Equipment and Piping, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org

LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế cho các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định của khu vực. Xem lời tựa tài liệu tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham chiếu khu vực đã được hài hòa hóa.

NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.

- [74] AIGA 010, Quản lý Thay đổi, Hiệp hội Khí Công nghiệp Châu Á, www.asiaiga.org
AIGA 010, Management of Change, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org

- [75] AIGA 117, Quản lý Tính toàn vẹn của Nhà máy, Hiệp hội Khí Công nghiệp Châu Á, www.asiaiga.org
AIGA 117, Plant Integrity Management, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
- LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế cho các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định của khu vực. Xem lời tựa tài liệu tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham chiếu khu vực đã được hài hòa hóa.
- NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.*
- [76] EEMUA 191, Hệ thống Báo động - Hướng dẫn Thiết kế, Quản lý và Mua sắm, Hiệp hội Người dùng Thiết bị & Vật liệu Kỹ thuật. www.eemua.org
EEMUA 191, Alarm Systems - A Guide to Design, Management and Procurement, Engineering Equipment & Materials Users Association. www.eemua.org
- [77] EIGA Safety Info HF 08, Quản lý Báo động Nhiệm vụ, Hiệp hội Khí Công nghiệp Châu Âu. www.eiga.eu
EIGA Safety Info HF 08, Task Alarm Management, European Industrial Gases Association. www.eiga.eu
- [78] CGA P-8.2, Hướng dẫn Xác nhận Đơn vị Tách khí và Đơn vị Vận chuyển Hàng hóa Nạp đầy Oxy Y tế và Nitơ Y tế, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
CGA P-8.2, Guideline for Validation of Air Separation Unit and Cargo Transport Unit Filling for Medical Oxygen and Medical Nitrogen, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
- LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế cho các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định của khu vực. Xem lời tựa tài liệu tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham chiếu khu vực đã được hài hòa hóa.
- NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.*
- [79] AIGA 031, Hệ thống Tồn chứa Oxy, Nitơ và Argon Lồng Số lượng lớn tại các Địa điểm Sản xuất, Hiệp hội Khí Công nghiệp Châu Á, www.asiaiga.org
AIGA 031, Bulk Liquid Oxygen, Nitrogen, and Argon Storage Systems at Production Sites, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
- LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế cho các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định của khu vực. Xem lời tựa tài liệu tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham chiếu khu vực đã được hài hòa hóa.
- NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.*
- [80] API Standard 620, Thiết kế và Xây dựng Bồn tồn chứa Áp suất thấp, Hàn, Lớn, Viện Dầu khí Hoa Kỳ. www.api.org
API Standard 620, Design and Construction of Large, Welded, Low-pressure Storage Tanks, American Petroleum Institute.
- [81] AIGA 075, Phương pháp Tính toán để Phân tích và Ngăn ngừa Áp suất quá mức trong quá trình Nạp lại Bồn tồn chứa Siêu lạnh có Đĩa nổ, Hiệp hội Khí Công nghiệp Châu Á, www.asiaiga.org
AIGA 075, Calculation Method for the Analysis and Prevention of Overpressure During Refilling of Cryogenic Storage Tanks with Rupture Disk(s), Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
- LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế cho các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định của khu vực. Xem lời tựa tài liệu tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham chiếu khu vực đã được hài hòa hóa.
- NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.*
- [82] AIGA 054, Ngăn ngừa Nạp quá đầy Trong quá trình Nạp bồn Siêu lạnh, Hiệp hội Khí Công nghiệp Châu Á, www.asiaiga.org

AIGA 054, Prevention of Excessive During Filling of Cryogenic Vessels, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org

LƯU Ý—Ấn phẩm này là một phần của chương trình hài hòa hóa quốc tế cho các tiêu chuẩn công nghiệp. Nội dung kỹ thuật của mỗi tài liệu khu vực là giống nhau, ngoại trừ các yêu cầu quy định của khu vực. Xem lời tựa tài liệu tham chiếu để biết danh sách các tài liệu tham chiếu khu vực đã được hài hòa hóa.

NOTE—This publication is part of an international harmonization program for industry standards. The technical content of each regional document is identical, except for regional regulatory requirements. See the referenced document preface for a list of harmonized regional references.

- [83] CGA P-35, Hướng dẫn Dỡ hàng từ xe bồn Oxy, Nitơ và Argon Siêu lạnh, Hiệp hội khí nén, Inc. www.cganet.com
CGA P-35, Guideline for Unloading Tankers of Cryogenic Oxygen, Nitrogen, and Argon, Compressed Gas Association, Inc.
- [84] CGA S-1.3, Tiêu chuẩn Thiết bị Giảm áp—Phần 3—Bồn chứa Tồn chứa Cố định cho Khí Nén, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
CGA S-1.3, Pressure Relief Device Standards—Part 3—Stationary Storage Containers for Compressed Gases, Compressed Gas Association, Inc.
- [85] ASME B31.3, Đường ống Công nghệ, The American Society of Mechanical Engineers. www.asme.org
ASME B31.3, Process Piping, The American Society of Mechanical Engineers. www.asme.org
- [86] NACE SP0169, Kiểm soát Ăn mòn Bên ngoài trên Hệ thống Đường ống Kim loại Ngầm hoặc Chìm, NACE International. www.nace.org
NACE SP0169, Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems,
- [87] Tiêu chuẩn ASME PTC 25, Thiết bị giảm áp, Hiệp hội Kỹ sư Cơ khí Hoa Kỳ. www.asme.org
ASME PTC 25, Pressure Relief Devices, The American Society of Mechanical Engineers.
- [88] API Standard 520, Định cỡ, Lựa chọn và Lắp đặt Thiết bị Giảm áp, Phần I—Định cỡ và Lựa chọn, Viện Dầu khí Hoa Kỳ. www.api.org
API Standard 520, Sizing, Selection and Installation of Pressure-relieving Devices, Part I—Sizing and Selection, American Petroleum Institute.
- [89] API Standard 520, Định cỡ, Lựa chọn và Lắp đặt Thiết bị Giảm áp, Phần II—Lắp đặt, Viện Dầu khí Hoa Kỳ. www.api.org
API Standard 520, Sizing, Selection, and Installation of Pressure-relieving Devices, Part II—Installation, American Petroleum Institute. www.api.org
- [90] API Standard 521, Hệ thống Giảm áp và Xả áp, Viện Dầu khí Hoa Kỳ. www.api.org
API Standard 521, Pressure-relieving and Depressuring Systems, American Petroleum Institute.
- [91] CGA P-50, Tiêu chuẩn An ninh Địa điểm, Compressed Gas Association, Inc. www.cganet.com
CGA P-50, Standard for Site Security, Compressed Gas Association, Inc.
- [92] AIGA 009, Đào tạo an toàn cho nhân viên, Hiệp hội Khí Công nghiệp Châu Á, www.asiaiga.org
AIGA 009, Safety training of employees, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
- [93] AIGA SB 22/20, Danh mục Kiểm tra An toàn cho ASU và Bồn tồn chứa Chất lỏng, Hiệp hội Khí Công nghiệp Châu Á, www.asiaiga.org
AIGA SB 22/20, Safety Inspection Checklist for ASUs and Liquid Storage Tanks, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org
- [94] AIGA 003, Hướng dẫn An ninh Địa điểm, Hiệp hội Khí Công nghiệp Châu Á, www.asiaiga.org
AIGA 003, Site Security Guidelines, Asia Industrial Gases Association, www.asiaiga.org