THIẾT KẾ HỆ THỐNG ĐO VÀ ĐIỀU KHIỂN ĐỂ NGHIÊN CỨU VÀ TỐI ƯU HÓA THIẾT BỊ TẠO KHÍ NITƠ SỬ DỤNG CHU TRÌNH HẤP PHỤ ÁP SUẤT THAY ĐỔI

Phạm Văn Chính[1*], Nguyễn Tuấn Hiếu[1], Lê Quang Tuấn[2], Vũ Đình Tiến[3]

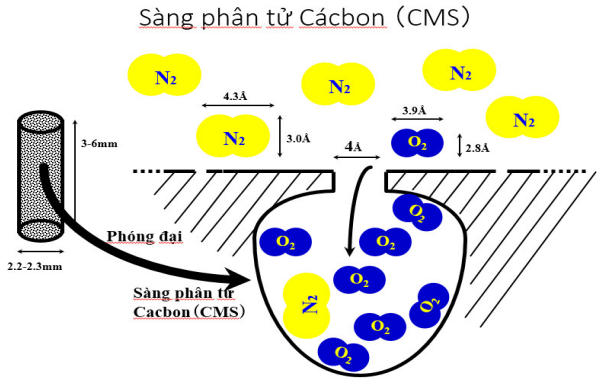
Tóm tắt: *Ngày nay, bộ điều khiển lập trình logic (PLC) và hệ thống điều khiển giám sát và thu thập số liệu (SCADA) đã được ứng dụng rộng rãi để điều khiển và giám sát các máy và thiết bị trong công nghiệp điện, hóa chất và dầu khí. Chúng cũng được sử dụng để đo các thông số kỹ thuật, thu thập số liệu thực nghiệm và điều khiển các cơ cấu chấp hành. Trong bài báo này, một bộ PLC S7-300 của Siemen và SCADA đã được áp dụng để thiết kế một hệ thống điều khiển cho thiết bị tạo khí nitơ ở qui mô pilot sử dụng chu trình hấp phụ thay đổi áp suất (PSA). Thiết bị này đã được chế tạo tại Viện Công nghệ - Tổng cục Công nghiệp quốc phòng để nghiên cứu mô phỏng và tối ưu hóa chế độ làm việc.*

Từ khóa: Lập trình logic (PLC); Hệ thống điều khiển giám sát và thu thập số liệu (SCADA); Chu trình hấp phụ thay đổi áp suất (PSA); Sàng phân tử cacbon (CMS); Hấp phụ; Nitơ.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khí nitơ (N_2) có thể xem như một khí trơ để sử dụng trong các lĩnh vực công nghiệp cơ khí, hóa chất, thực phẩm, dược phẩm, quân sự. Ở qui mô lớn, khí nitơ được phân tách từ không khí bằng kỹ thuật hóa lỏng và chưng phân đoạn. Ở qui mô nhỏ và vừa khí nitơ thường được phân tách bằng sàng phân tử carbon (CMS) và chu trình hấp phụ thay đổi áp suất (PSA) ở áp suất thấp. Kỹ thuật này cho phép để phân tách một số cấu tử khí từ một hỗn hợp khí dưới điều kiện áp suất theo sự khác nhau về kích thước phân tử và ái lực của chúng đối với một vật liệu hấp phụ thích hợp [1-4-11].

Sản suất N_2 theo chu trình hấp phụ áp suất thay đổi dựa trên đặc tính hấp phụ chọn lọc của sàng phân tử cacbon (Carbon Molecular Sieves - CMS). Về cơ bản nó cũng là một loại than hoạt tính, tuy nhiên miền phân bố kích thước mao quản rất hẹp nên có khả năng hấp phụ chọn lọc theo kích thước phân tử. Phần lớn CMS trên thị trường hiện nay được tạo ra từ nguyên liệu than antraxit với một quá trình hoạt hóa có kiểm soát. Cấu trúc mao quản sau đó có thể tiếp tục thay đổi bởi một quá trình xử lý nhiệt tiếp theo, bao gồm việc cracking các hydrocarbon trong hệ vi mao quản và khí hóa thêm một phần trong các điều kiện kiểm soát nghiêm ngặt. Nhờ đó, sàng phân tử carbon thu được có đường kính mao quản hiệu dụng trong khoảng từ 0,4 nm đến 0,9 nm, tuy nhiên độ xốp và dung lượng hấp phụ sẽ thấp hơn so với các loại than hoạt tính thông thường [1-4-11].



Hình 1. *Cơ chế hấp phụ chọn lọc của CMS.*

Để phân tách nitơ, thường sử dụng loại CMS có đường kính lỗ mao quản là 4Å. Vì vậy, khi dòng không khí với áp suất thích hợp đi qua lớp vật liệu CMS thì phân tử O_2 với kích thước phân tử là 3,9 x 2,8 Å sẽ đi vào trong mao quản và bị giữ lại, còn các phân tử N_2 với kích thước phân tử là 4,1 x 3,0 Å sẽ đi qua, như vậy sẽ thu được N_2 với nồng độ cao [4]. Đặc tính hấp phụ chọn lọc CMS được minh họa như hình 1.

Trong nghiên cứu xây dựng mô hình thiết bị thí nghiệm và mô phỏng thiết bị tạo khí N_2 theo chu trình hấp phụ áp suất thay đổi (PSA) và vật liệu sàng phân tử cácbon (CMS), để đạt được kết quả nghiên cứu chính xác và nhanh chóng rất cần phải nghiên cứu, thiết kế bộ điều khiển lập trình logic (PLC) và hệ thống điều khiển giám sát và thu thập số liệu (SCADA) phức tạp để đo đạc, khảo sát và nghiên cứu các thông số làm việc và diễn biến của quá trình [2-3-8].

Ở trong nước, tại Viện Công nghệ - Tổng cục Công nghiệp quốc phòng và Bộ môn Máy và thiết bị công nghiệp hóa chất đã phối hợp thiết kế, chế tạo thiết bị tạo khí N_2 từ không khí bằng sàng phân tử các bon (CMS-240) làm việc theo chu trình hấp phụ áp suất thay đổi để nghiên cứu và tối ưu hóa thiết bị. Đồng thời thiết bị này đã được nghiên cứu, thiết kế hệ thống điều khiển PLC và hệ thống giám sát SCADA mục đích để điều khiển chế độ, thông số làm việc của thiết bị theo đúng chu trình công nghệ và đo đạc thu thập và xử lý số liệu, nghiên cứu quy luật của quá trình hấp phụ một cách tự động để mô phỏng và tối ưu hóa chế độ làm việc của thiết bị [1].

II. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Thiết kế hệ thống điều khiển PLC và SCADA cho thiết bị tạo khí N_2 từ không khí bằng sàng phân tử cácbon (CMS) theo chu trình hấp phụ áp suất thay đổi (PSA) được thực hiện trên cơ sở và phương pháp sau:

Thiết bị tạo khí N_2 đã được chế tạo và vật liệu sàng phân tử CMS-240 đã lựa chọn [1]: thông số tính toán, nguyên lý làm việc theo các sơ đồ công nghệ PFD và sơ đồ thiết bị đo lường P&ID. Từ đó nghiên cứu, thiết kế hệ thống điều khiển PLC và SCADA.

Chạy thử thiết bị, nhập xuất số liệu nghiên cứu quy luật và tối ưu hóa thiết bị hấp phụ đã được thiết kế, chế tạo.

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Sơ đồ công nghệ và nguyên lý làm việc

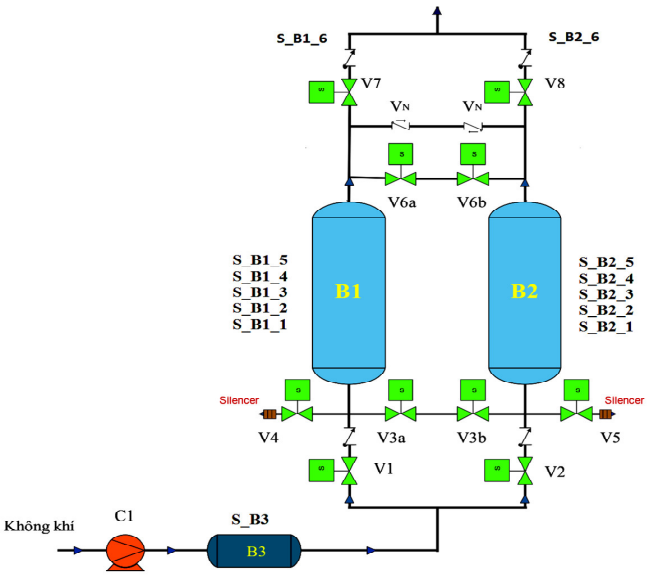
Chu trình làm việc của thiết bị tạo khí N_2 bao gồm 6 bước (ví dụ:áp suất làm việc của hệ thống đặt 6 bar) [1-8-11-12-13-14] được mô tả ở hình 2.

Hệ thống PSA được nghiên cứu mô phỏng tính toán, thiết kế theo [1] và làm việc theo bảng 1.

Bảng 1. *Trạng thái hoạt động của các van điều khiển trong một chu trình làm việc.*

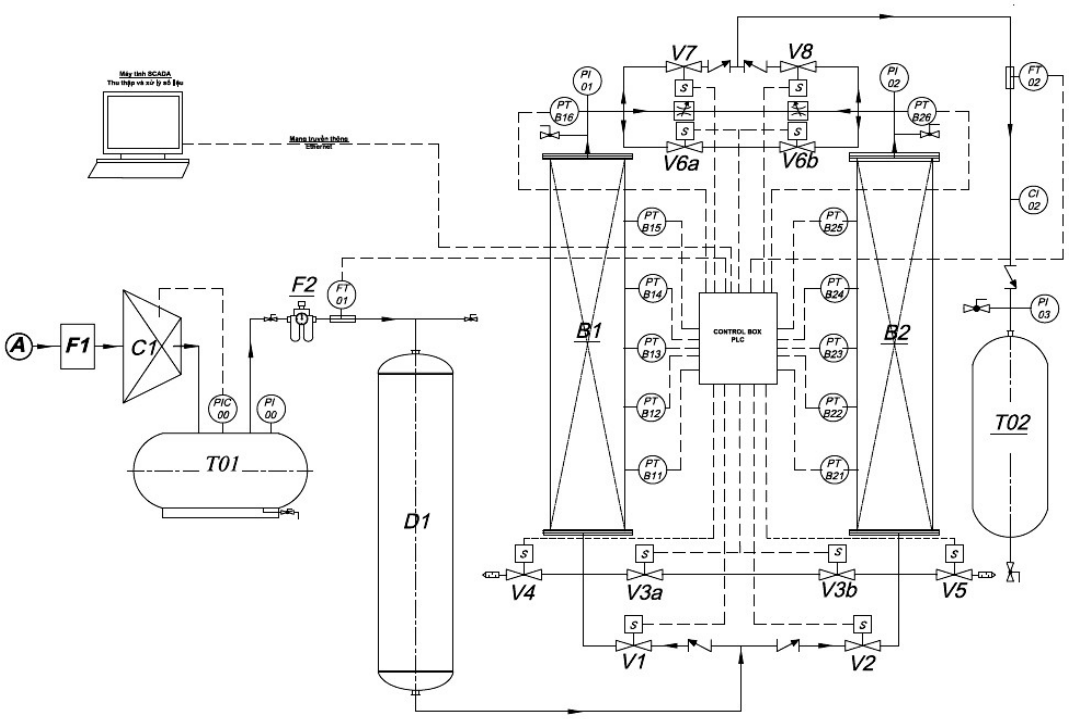
Thời gian/Trạng thái van điều khiển	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**
V1	1	1	0	0	0
V2	0	0	0	1	1
V3a,b	0	0	1	0	0
V4	0	0	0	1	1
V5	1	1	0	0	0

V6a,b	0	0	1	0	0
V7	0	1	0	0	0
V8	0	0	0	0	1



Hình 2. *Sơ đồ công nghệ PFD hệ thống tách khí N_2 từ không khí theo PSA.*

3.2. Sơ đồ P&ID (Sơ đồ công nghệ và thiết bị đo lường)



Hình 3. *Sơ đồ PID thiết bị tách khí N_2.*

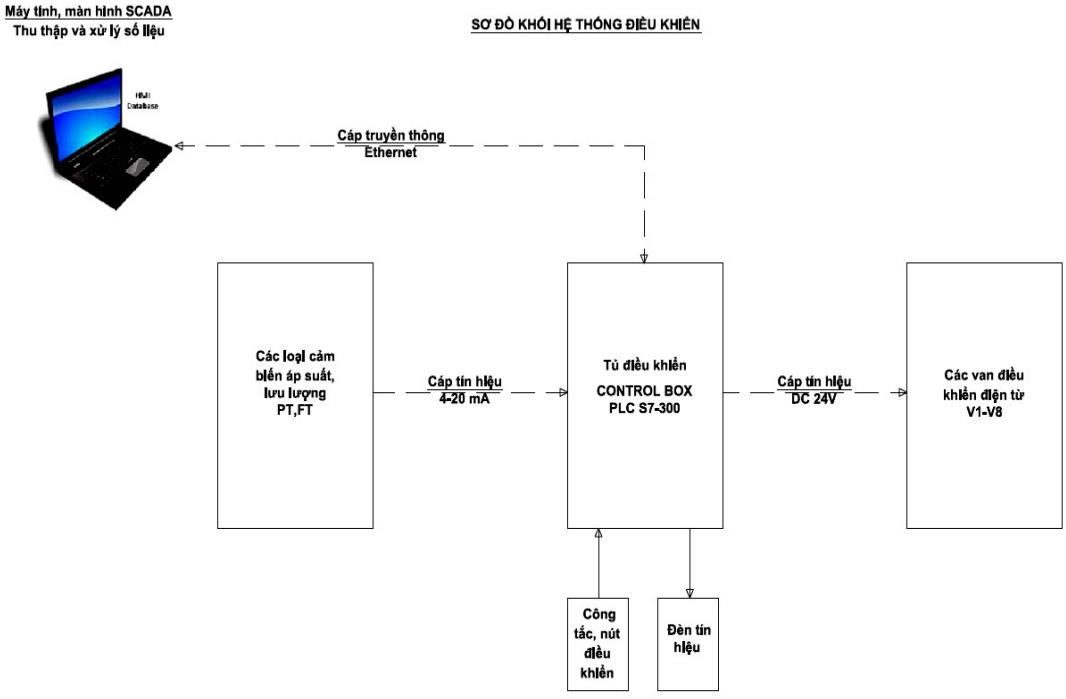
Mô hình thiết bị hấp phụ áp suất thay đổi (PSA) đã được xây dựng theo sơ đồ công nghệ PFD hình 2 và sơ đồ thiết bị và thiết bị đo lường (P&ID) hình 3 bằng vật liệu sàng phân tử CMS-240 (Bảng 2) đã tính toán, thiết kế, lựa chọn bao gồm các thiết bị chính sau [1-7]: Máy nén khí đồng bộ bao gồm: lọc khí F1, máy nén khí C1, bình tích T01, đồng hồ và bộ điều khiển áp suất đặt; Thiết bị tách nước và tách dầu F2; Cột tách ẩm D1; Hai cột hấp phụ B1 và B2 (DxH =114x700mm); Bình tích lấy sản phẩm T02; Các van điện từ đóng mở: V1, V2, V3ab, V4, V5, V6ab, V7, V8; Các van một chiều, van tiết lưu; Các cảm biến, đồng hồ đo áp suất: PT, PI; Các thiết bị đo lưu lượng: FT; Bộ điều khiển PLC S7-300 lập trình trên WinCC; Máy tính giám sát và điều khiển SCADA, thu thập số liệu nghiên cứu [2-3-8-11].

Bảng 2. *Thông số của vật liệu hấp phụ CMS.*

Vật liệu	Đường kính hạt[mm]	Khối lượng riêng[kg/m^3]	Độ cứng [N/p min]	Áp suất hấp phụ [Mpa]	Khối lượng[kg]	Độ xốp
CMS-240	1,6-2,2	630-660	100	0,6	10	0,4

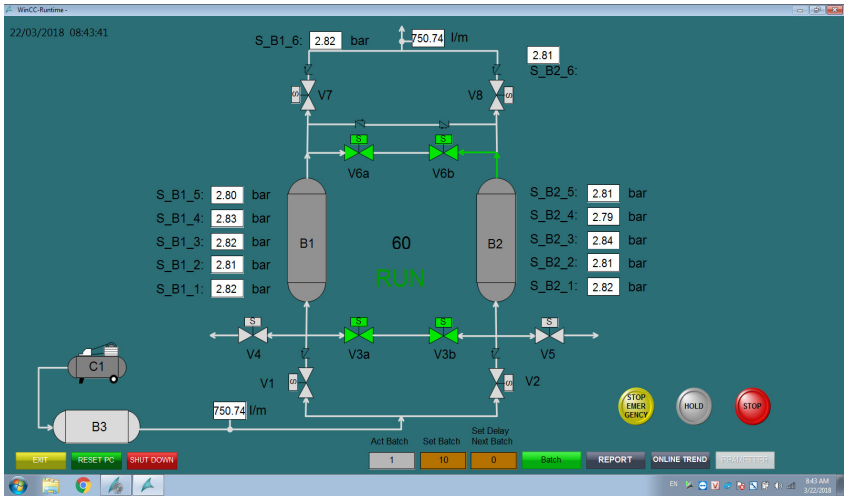
Chọn mua vật liệu CMS - 240 tại áp suất hấp phụ 0,8 Mpa sẽ thu được 240 m^3/h.t với độ tinh khiết 99,5%, tỷ lệ thu hồi N_2/không khí là 44%.

3.3. Sơ đồ hệ thống điều khiển, giám sát



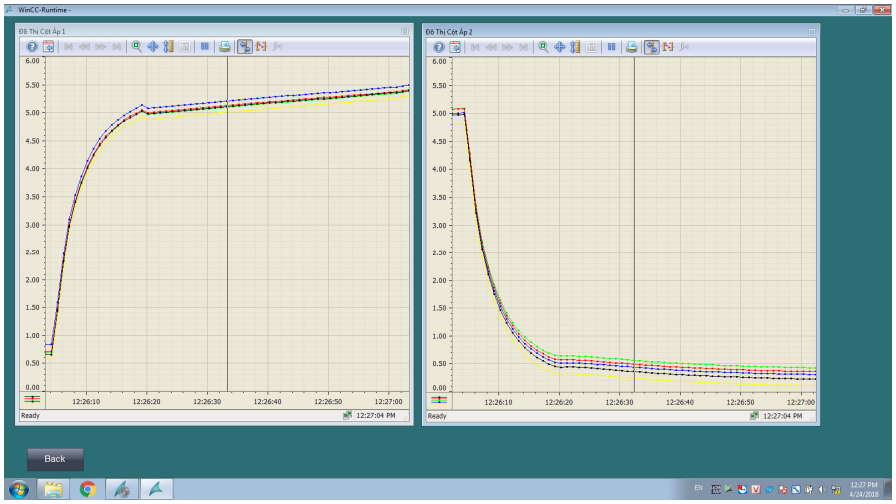
Hình 4. *Sơ đồ hệ thống điều khiển.*

Trên cơ sở sơ đồ P&ID trên hình 2 ta lập trình điều khiển PLC và SCADA: lập trình điều khiển PLC theo bảng 1 và lập trình hệ điều khiển, giám sát và thu thập số liệu SCADA bằng WinCC và mạng truyền thông theo hình 4 ta có kết quả sau:



Hình 5. *Màn hình giám sát, điều khiển SCADA.*

Từ hình 5 cho thấy ta có thể dễ dàng đặt các tham số làm việc cho một lần thí nghiệm như thời gian của chu trình, thời gian lấy mẫu các lần đo và cài đặt số chu trình làm việc liên tục hay gián đoạn.



Hình 6. *Sự thay đổi áp suất theo chiều cao của cột hấp phụ B1, B2.*

Theo kết quả hình 6 cho chúng ta thấy sự thay đổi rõ nét của áp suất theo chiều cao của cột, các cảm biến được lắp cách nhau 10 cm và độ chênh áp suất trung bình theo chiều cao tương ứng là 0,1 bar/10cm.

Từ hình 6 cho ta thấy đoạn từ 1 đến 15 s là thời gian tăng áp; đoạn từ 15-20 s là thời gian mở van lấy sản phẩm; đoạn từ 20-60 s là thời gian lấy sản phẩm ổn định; đoạn từ 60-65 s là thời gian cân bằng; đoạn từ 65 – 110 s là thời gian giảm áp suất; đoạn từ 110-125 s là thời gian xả và làm sạch. Tương tự như vậy, trong cùng một thời điểm ở cột B2 có diễn biến thay đổi áp suất ngược lại so với cột B1. Ta có thể làm thí nghiệm ở nhiều tham số khác nhau, nhưng căn cứ vào kết quả mô phỏng thì sẽ rút ngắn được thời gian thí nghiệm để có thể tối ưu hóa làm việc của thiết bị để đạt được nồng độ khí N_2 cao nhất.

Kết quả thí nghiệm cuối cùng tìm ra bộ thông số làm việc tối ưu nhất các tham số cơ bản để đạt được độ tinh khiết của khí N2 cao nhất (nồng độ khí O2 thấp nhất trong dòng sản phẩm) là:

- Áp suất làm việc: Plv = 6,0 bar.
- Thời gian cân bằng: T3 = 5s; Thời gian lấy sản phẩm và nhả hấp phụ: T2 = T5 = 45s

Bảng 3. *Kết quả chạy thực nghiệm với thời gian cân bằng là 5s, thời gian lấy sản phẩm là 45s.*

	Cột 1			Cột 2		
P_{lv} (bar)	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5
P_{cb} (bar)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
O_2 min(%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Thời gian cân bằng t(s)	5	5	5	5	5	5

Từ các kết quả thí nghiệm cho chúng ta thấy:

Ở áp suất làm việc 6 bar và thời gian hấp phụ 15s (năng suất của hệ thống): khi thời gian cân bằng giảm xuống 5s; thời gian lấy sản phẩm và nhả hấp phụ 45s, thì nồng độ N2 đã tăng lên cao đạt 99,5%, sử dụng thiết bị đo nồng độ khí O_2 để tham chiếu của hãng SENKO – KOREA SP2nd cảm biến điện hóa. Nồng độ nitơ duy trì ổn định ở mức cao.

IV. KẾT LUẬN

Đã xây dựng thành công một hệ thống điều khiển PLC và hệ thống giám sát SCADA để đo đạc và điều khiển các cơ cấu chấp hành của thiết bị tách khí N_2 ở qui mô pilot làm việc theo chu trình áp suất thay đổi PSA để phục vụ nghiên cứu và tối ưu hóa chế độ làm việc của thiết bị.

Đã nghiên cứu, khảo sát và tối ưu hóa chế độ làm việc của thiết bị bằng hệ thống PLC, SCADA trên cho kết quả quy luật thay đổi áp suất và các tham số của chu trình nồng độ N_2 sản phẩm đạt mức trên 99%.

Đã khảo sát sự thay đổi áp suất theo chiều cao của cột hấp phụ.

Do vậy, việc áp dụng PLC, SCADA vào nghiên cứu quá trình PSA là rất hiệu quả cho kết quả nghiên cứu nhanh chóng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Phạm Văn Chính, Vũ Đình Tiến, Lê Quang Tuấn, *"Nghiên cứu mô phỏng thiết bị tách khí nitơ theo chu trình hấp phụ áp suất thay đổi (PSA) bằng phần mềm Aspen Adsorption"*, Trang 604-610, Tạp chí Công thương (ISSN:0866-7756), số 5+6, tháng 4/2018.

[2]. Nguyễn Kim Ánh, Nguyễn Mạnh Hà, *"Giáo trình Mạng truyền thông Công nghiệp"*, trường Đại học Bách Khoa Đà Nẵng, 2007.

[3]. Trần Thu Hà, *"Tự động hóa trong công nghiệp với WINCC"*, NXB Hồng Đức, TP Hồ Chí Minh, 2007.

[4]. Tạ Ngọc Đôn, *"Rây phân tử và vật liệu hấp phụ"*, Nhà xuất bản Bách Khoa Hà Nội, 2012.

[5]. Đinh Trọng Xoan, Nguyễn Trọng Khuông, Tưởng Thị Hội, Nguyễn Phương Khuê, Hà Thị An, Hà Văn Trương, Nguyễn Bin, Đỗ Văn Đài, Long Thanh Hùng, Phan Văn Thơm, Lê Nguyên Đương, Đinh Văn Huỳnh, Trần Xoa, Phạm Xuân Toản, *"Sổ tay quá trình và thiết bị công nghệ hoá chất - Tập1"*, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 1999.

[6]. Đinh Trọng Xoan, Nguyễn Trọng Khuông, Tưởng Thị Hội, Nguyễn Phương Khuê, Hà Thị An, Hà Văn Trương, Nguyễn Bin, Đỗ Văn Đài, Long Thanh Hùng, Phan

Văn Thơm, Lê Nguyên Đương, Đinh Văn Huỳnh, Trần Xoa, Phạm Xuân Toản, *"Sổ tay quá trình và thiết bị công nghệ hoá chất - Tập 2"*, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 1999.

[7]. Hồ Hữu Phương, *"Cơ sở tính toán thiết bị hóa chất"*; Khoa Đại học tại chức đại học Bách Khoa Hà Nội, 1977.

[8]. Asha John, Aksa Andrews,...; "*Nitrogen plant automation using PLC and SCADA",* International Journal of General Engineering and Technology (IJGET), ISSN(P)2278-9928, Volume 3, Issue 2, March 2014.

[9]. SIEMENS A&G System Software for S7-300/400 System and Standard Functions Manual, SIEMENS Đức, 1998.

[10]. SIEMENS A&G ET 200M Distributed I/O Device Manual, SIEMENS, 2000.

[12]. Carlos A.Grande; "*Advance in Pressure Swing Adsorption for Gas Separation",* International Scholarly Research Network ISRN Chemical Engineering, Volume 2012, Article ID 982934, 13 page ,2012.

[13]. Snehal V.Patel, Dr.J.M.Patel; "*Separation of High Purity from Air by Pressure Swing Adsorption on Carbon Molecular Sieve",* International Journal of Engineering Research and Technology, Volume 3, Issue 3, March 2014.

[14]. M.Delavar, N.Nabian; "*An investigation on the Oxygen and Nitrogen separation from air using carbonaceous adsorbents",* Journal of Engineering Science and Technology, Volume 10, No.11, 2015.

[15] .D.Roy Chowdhury, S.C.Sarkar; *"Application of Pressure Swing Adsorption Cycle in the quest of production of Oxygen and Nitrogen",* International Journal of Engineering Science and Innovative Technology, Volume 5, Issue 2, March 2016.

ABSTRACT

DESIGN OF A SYSTEM FOR CONTROL AND MEASUREMENT TO STUDY AND OPTIMIZE NITROGEN GENERATOR USING PRESSURE SWING ADSORPTION (PSA)

Nowadays, Programmable logic controller (PLC) and supervision control and data acquisition (SCADA) systems were widely applied to control and monitor machinery and equipment in the electrical, chemical and petroleum industries. They also were used to measure the technical parameters, collect experimental data and control actuators. In this work, a PLC S-300 of Siemen and SCADA are applied to design a control system for a nitrogen generator in pilot scale using pressure swing adsorption (PSA). This equipment has been manufactured by Institute of Technology - General Department of Defense Industry for study simulation and optimization of its operation mode.

Keywords: Programming logic controler (PLC); Supervisory control and data acquisition (SCADA); Pressure swing adsorption (PSA); Carbon molecular sieve (CMS); Adsorption; Nitrogen.

Nhận bài ngày 01 tháng 7 năm 2018
Hoàn thiện ngày 10 tháng 9 năm 2018
Chấp nhận đăng ngày 20 tháng 9 năm 2018

Địa chỉ: [1] Viện Công nghệ - TCCNQP;
[2] Viện Hóa học vật liệu – Viện KHQS;
[3] Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.
[*]Email: pvchinhvcn@gmail.com.