

XÁC ĐỊNH HẰNG SỐ CÂN BẰNG CỦA AXIT AXETIC TỪ KẾT QUẢ CHUẨN ĐỘ ĐIỆN THẾ

Đến tòa soạn 25-3-2017

**Trần Thế Ngà, Vũ Thanh Thúy, Nguyễn Thị Mai Phương,
Nguyễn Thị Cẩm Vân, Đào Thị Phương Diệp**
Khoa Hóa học trường ĐHSP Hà Nội

SUMMARY

DETERMINATION OF EQUILIBRIUM CONSTANTS OF ACETIC ACID FROM RESULT OF POTENTIOMETRIC TITRATION METHOD

Acid dissociation constants of acetic acid were determined from pH values of potentiometric titration. The algorithm is established by combining values of potentiometric titration of only two solutions: strong acid HCl and a mixture of chloride acid and acetic acid. Because of the simplicity of the algorithm, iterative calculation is not required. Therefore, complex calculation programme is not necessary. The result shows a good correlation between experimentally determined pK_a values and the values made publicly in reference material.

Keyword: *equilibrium constants, acetic acid, potentiometric titration.*

1. MỞ ĐẦU

Việc sử dụng thuật toán tính lặp theo phương pháp bình phương tối thiểu (BPTT) và phương pháp đơn hình (ĐH) để xác định hằng số cân bằng (HSCB) của axit axetic đã được nghiên cứu trong [1]. Kết quả thu được khá phù hợp với số liệu tra trong tài liệu [2]. Tuy nhiên theo 2 phương pháp trên, để thu được kết quả tin cậy, các tác giả đã phải tiến hành chuẩn độ điện thế đo pH của nhiều (thường chọn 10) dung dịch axit có nồng độ khác nhau để xử lý thống

kê. Từ các giá trị pH thu được, nhóm tác giả đã phải lập chương trình tính khá phức tạp bằng ngôn ngữ lập trình Pascal để tính lặp giá trị HSCB của axit axetic. Vấn đề đặt ra là làm thế nào để giảm thiểu được số phép đo thực nghiệm, mà vẫn đảm bảo được tính thống kê? Có thể thiết lập được thuật toán tính trực tiếp HSCB mà không cần phải tính lặp hay không?

Để trả lời các câu hỏi trên, trong thông báo này chúng tôi nghiên cứu phương pháp xác định HSCB của axit axetic từ

việc tổ hợp kết quả chuẩn độ điện thế đo pH chỉ với 2 dung dịch: một dung dịch axit mạnh và một dung dịch hỗn hợp gồm axit mạnh và axit axetic. Thuật toán tính được thiết lập đơn giản theo điều kiện proton (ĐKP) mà không cần phải tính lặp phức tạp.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Tiến hành hai thí nghiệm sau:

1. Thí nghiệm 1: Chuẩn độ điện thế V_0 (ml) dung dịch axit mạnh HNO_3 nồng độ C_{01} (M) bằng V_1 (ml) dung dịch bazơ mạnh KOH nồng độ C (M).

2. Thí nghiệm 2: Chuẩn độ điện thế V_0 (ml) dung dịch hỗn hợp gồm axit mạnh HNO_3 nồng độ C_{01} (M) và axit axetic (HAc) nồng độ C_{02} (M) bằng V_2 (ml) dung dịch bazơ mạnh KOH nồng độ C (M).

Trong đó V_1, V_2 là thể tích dung dịch ***KOH đã tiêu thụ trong 2 thí nghiệm trên để pH của 2 dung dịch thu được là như nhau.***

**Thiết lập phương trình tính K_a của axit axetic:*

Sử dụng ĐKP với mức không (MK) là thành phần ban đầu áp dụng cho cả 2 hệ trên, ta có:

- Đối với thí nghiệm 1: $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] - [\text{K}^+] + [\text{NO}_3^-]$. Thay: $[i] = (i) \cdot f_{\pm}^{-1} = (i) \cdot \varphi$, đặt $h = (\text{H}^+)$, ta có:

$$h \cdot \varphi = \frac{K_w \cdot \varphi^2}{h \cdot \varphi} - \frac{C \cdot V_1}{V_1 + V_0} + \frac{C_{01} \cdot V_0}{V_1 + V_0} \rightarrow$$

$$(h - K_w \cdot h^{-1}) \varphi = \frac{C_{01} \cdot V_0}{V_1 + V_0} - \frac{C \cdot V_1}{V_1 + V_0} \quad (1)$$

- Đối với thí nghiệm 2: $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] - [\text{K}^+] + [\text{NO}_3^-] + [\text{Ac}^-]$. Tương tự, sau khi biến đổi ta có:

$$(h - K_w \cdot h^{-1}) \varphi = \frac{C_{01} \cdot V_0}{V_2 + V_0} - \frac{C V_2}{V_2 + V_0} + \frac{C_{02} \cdot V_0}{V_2 + V_0} \cdot \frac{K_a \cdot \varphi}{h + K_a \cdot \varphi} \quad (2)$$

Với φ là nghịch đảo của hệ số hoạt độ trung bình $f_{\pm}$ của các cấu tử cùng điện tích và được tính theo phương trình

Davies:

$$\lg \varphi = 0,5115 \cdot (Z_i)^2 \cdot \left(\frac{\sqrt{I}}{1 + \sqrt{I}} - 0,2 \cdot I \right).$$

Vì V_1, V_2 là thể tích dung dịch ***KOH đã tiêu thụ trong 2 thí nghiệm trên để 2 dung dịch thu được có cùng giá trị pH,*** nên từ (1) và (2) ta có:

$$\frac{C_{01} \cdot V_0 - C V_1}{V_1 + V_0} = \frac{C_{01} \cdot V_0 - C V_2 + C_{02} \cdot V_0 \cdot \frac{K_a \cdot \varphi}{h + K_a \cdot \varphi}}{V_2 + V_0}$$

(3)

Sau 1 số phép biến đổi thích hợp chúng ta thu được:

$$\frac{K_a \cdot \varphi}{h + K_a \cdot \varphi} = \frac{(C_{01} + C) \cdot (V_2 - V_1)}{C_{02} \cdot (V_0 + V_1)} = P \quad (4)$$

$$\rightarrow K_a (\varphi - P \cdot \varphi) = h \cdot P \quad (5)$$

Đặt $X = \varphi - P \cdot \varphi$ (6); $Y = h \cdot P$ (7), khi đó biểu thức (5) có dạng: $Y = K_a \cdot X$

(8)

Từ kết quả chuẩn độ điện thế, tiến hành xử lý thống kê theo nguyên lý bình phương tối thiểu với n điểm thực

thí nghiệm ta có: $\sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i = K_a \cdot \sum_{i=1}^n X_i^2$ hay

$$K_a = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2} \quad (9).$$

Để đánh giá độ chính xác của kết quả xác định hệ số K_a theo phương trình dạng $Y = K_a \cdot X$, chúng tôi tiến hành xác định cận tin cậy ε_{K_a} theo các công thức sau:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - 1} \quad (10);$$

$$S_{K_a} = \sqrt{\frac{S^2}{\sum_{i=1}^n X_i^2}} \quad (11) \rightarrow$$

$$\varepsilon_{K_a} = S_{K_a} \cdot t_{(\alpha=0,95; f=n-1)} \quad (12)$$

và áp dụng công thức tính sai số của phép đo gián tiếp chúng tôi tính được

$$S_{pK_a} = \frac{1}{2,303} \cdot \frac{S_{K_a}}{K_a} \quad (13)$$

Ở đây: ε_{K_a} là cận tin cậy của K_a ; n là số điểm thực nghiệm;

Y_i và $\hat{Y}_i$ là giá trị thực nghiệm ($Y_i = h_i \cdot P_i$) và giá trị lý thuyết

(tính theo phương trình đường chuẩn $\hat{Y}_i = K_a \cdot X_i$ khi đã biết giá trị K_a) tương ứng;

S^2 là phương sai; S_{K_a} và S_{pK_a} là độ lệch chuẩn của K_a và pK_a ;

$t_{(\alpha=0,95; f=n-1)}$ là thừa số Student ứng với xác suất tin cậy $\alpha = 0,95$

và số bậc tự do $f = n - 1$.

3. THỰC NGHIỆM

3.1. Pha dung dịch

- Dung dịch KNO_3 0,5000 M.

- Dung dịch KOH $7,2100 \cdot 10^{-2}$ M (đã được chuẩn hóa bằng phương pháp chuẩn độ thể tích với chất gốc là axit oxalic) trong dung dịch KNO_3 0,5000 M.

- Dung dịch 1 gồm HNO_3 $3,7072 \cdot 10^{-3}$ M trong dung dịch KNO_3 0,5000 M (**DD1**).

- Dung dịch 2 gồm HNO_3 $3,7072 \cdot 10^{-3}$ M và HAc $3,9560 \cdot 10^{-3}$ M trong dung dịch KNO_3 0,5000 M (**DD2**).

3.2. Chuẩn độ điện thế DD1 và DD2 bằng dung dịch KOH

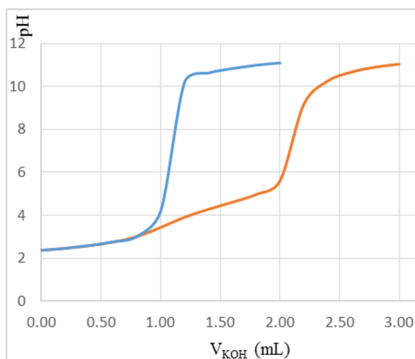
Dung dịch chuẩn độ được loại bỏ ảnh hưởng của CO_2 nhờ quá trình sục khí N_2 trước khi chuẩn độ. Mỗi dung dịch chúng tôi đều tiến hành chuẩn độ điện thế 3 lần độc lập trên máy đo pH SCHOTT 850 của Đức (hiện số với 3 chữ số thập phân) để lấy giá trị pH trung bình (pH_{TB}), với thể tích của dung dịch KOH mỗi lần thêm vào dung dịch chuẩn độ là như nhau. Các thí nghiệm đều được thực hiện ở nhiệt độ $25^\circ C \pm 0,3^\circ C$. Kết quả chuẩn độ **DD1** và **DD2** bằng dung dịch KOH được trình bày tóm tắt trong *bảng 1*.

Bảng 1: Kết quả chuẩn độ điện thế đo pH của DD1 và DD2 bằng dung dịch KOH

TT	V_{KOH} (mL)	Kết quả đo pH của DD1				Kết quả đo pH của DD2			
		pH ₁	pH ₂	pH ₃	pH _{TB(1)}	pH ₁	pH ₂	pH ₃	pH _{TB(2)}
1	0,00	2,383	2,380	2,380	2,381	2,391	2,364	2,358	2,371
2	0,20	2,474	2,472	2,472	2,473	2,481	2,464	2,457	2,467
3	0,40	2,595	2,598	2,599	2,597	2,600	2,583	2,582	2,588
4	0,60	2,763	2,768	2,779	2,770	2,765	2,750	2,758	2,758
5	0,80	3,033	3,052	2,979	3,021	3,013	3,005	3,026	3,015
6	1,00	3,937	4,051	4,632	4,207	3,431	3,422	3,471	3,441
7	1,20	10,163	10,222	10,215	10,200	3,908	3,894	3,948	3,917
8	1,40	10,597	10,634	10,647	10,626	4,276	4,269	4,313	4,286
9	1,60	10,788	10,865	10,850	10,834	4,604	4,590	4,645	4,613
10	1,80	10,958	11,018	10,994	10,990	4,954	4,952	5,027	4,978
11	2,00	11,073	11,113	11,099	11,095	5,522	5,593	5,724	5,613
12	2,20					8,975	9,260	9,286	9,174
13	2,40					10,210	10,275	10,276	10,254
14	2,60					10,652	10,685	10,670	10,669
15	2,80					10,885	10,905	10,914	10,901
16	3,00					11,038	11,038	11,047	11,041

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Từ kết quả đo pH của **DD1** ($pH_{TB(1)}$) và của **DD2** ($pH_{TB(2)}$), chúng tôi xây dựng đường cong chuẩn độ 2 dung dịch bằng dung dịch KOH. Đường cong chuẩn độ **DD1** và **DD2** ($pH_{TB(2)}$) bằng dung dịch KOH được biểu diễn trên *hình 1*



Hình 1: Đường cong chuẩn độ **DD1** và **DD2** bằng dung dịch KOH

Từ kết quả *bảng 1* và *hình 1* cho thấy: trong phép chuẩn độ dung dịch **20,00 mL HNO₃**, bước nhảy chuẩn độ (BNCD) nằm trong khoảng $pH = 4,207 \div 10,200$. Nghĩa là khi **pH = 4,207** (ứng với $V_{KOH} = 1,00 \text{ mL} \approx V_{TD} = 1,03 \text{ mL}$), có thể coi đã chuẩn độ gần hết HNO₃. Tương tự, đối với phép chuẩn độ cũng **20,00 mL hỗn hợp 2 axit**, BNCD có giá trị $pH = 5,613 \div 9,174$. Tức là khi **pH = 5,613** cả 2 axit đã bị trung hòa

gần như hoàn toàn. Vì C_{HNO₃} trong cả 2 dung dịch chuẩn độ là như nhau, nên trong khu vực **pH = 4,207 ÷ 5,613 axit axetic bị chuẩn độ**. Chính vì vậy chúng tôi chọn khu vực **pH = 4,200 ÷ 5,400** để khảo sát kết quả xác định HSCB K_a.

Sử dụng phương pháp giải tích, chúng tôi tính các thể tích V_1 và V_2 – là thể tích dung dịch KOH cần thêm vào dung dịch 1 và dung dịch 2 để 2 dung dịch thu được có cùng giá trị pH.

Từ đó tính tiếp các giá trị P_i , X_i , Y_i ứng với $n = 13$ điểm thực nghiệm (là 13 giá trị pH đo được khác nhau) theo các biểu thức (4), (6), (7). Do các dung dịch đều được khống chế lực ion $I = 0,5000$ và các ion trong hệ đều có điện tích là ± 1 , nên tính theo phương trình Davies, thu được $\phi = 1,4478$.

Sau khi tính được giá trị K_a theo (9), chúng tôi tính giá trị $\hat{Y}_i$ lý thuyết theo phương trình $\hat{Y}_i = K_a \cdot X_i$, và tính giá trị bình phương độ lệch $((Y_i - \hat{Y}_i)^2)$ giữa Y_i thực nghiệm ($Y_i = h_i \cdot P_i$) và $\hat{Y}_i$ lý thuyết tương ứng.

Kết quả tính các giá trị V_1 , V_2 , P_i , X_i , Y_i , $\hat{Y}_i$, $(Y_i - \hat{Y}_i)^2$, X_i^2 , $X_i \cdot Y_i$ được ghi tóm tắt trong *bảng 2*.

Bảng 2: Kết quả tính các giá trị V_1 , V_2 , P_i , X_i , Y_i , $\hat{Y}_i$, $(Y_i - \hat{Y}_i)^2$, X_i^2 , $X_i \cdot Y_i$ ở 13 giá trị pH khác nhau

pH	V_1	V_2	P_i	X_i	Y_i	$\hat{Y}_i$	$(Y_i - \hat{Y}_i)^2$	X_i^2	$X_i \cdot Y_i$
4,200	0,999	1,353	0,3235	0,9794	$2,0415 \cdot 10^{-5}$	$1,8806 \cdot 10^{-5}$	$2,5889 \cdot 10^{-12}$	0,9592	$1,9993 \cdot 10^{-5}$
4,300	1,003	1,409	0,3699	0,9122	$1,8540 \cdot 10^{-5}$	$1,7516 \cdot 10^{-5}$	$1,0486 \cdot 10^{-12}$	0,8322	$1,6913 \cdot 10^{-5}$
4,400	1,006	1,470	0,4226	0,8359	$1,6824 \cdot 10^{-5}$	$1,6051 \cdot 10^{-5}$	$5,9753 \cdot 10^{-13}$	0,6988	$1,4064 \cdot 10^{-5}$
4,500	1,010	1,531	0,4753	0,7597	$1,5030 \cdot 10^{-5}$	$1,4588 \cdot 10^{-5}$	$1,9536 \cdot 10^{-13}$	0,5771	$1,1418 \cdot 10^{-5}$
4,600	1,013	1,592	0,5279	0,6834	$1,3261 \cdot 10^{-5}$	$1,3123 \cdot 10^{-5}$	$1,9044 \cdot 10^{-14}$	0,4671	$9,0634 \cdot 10^{-6}$
4,700	1,016	1,648	0,5756	0,6145	$1,1484 \cdot 10^{-5}$	$1,1800 \cdot 10^{-5}$	$9,9856 \cdot 10^{-14}$	0,3776	$7,0569 \cdot 10^{-6}$
4,800	1,020	1,703	0,6224	0,5466	$9,8649 \cdot 10^{-6}$	$1,0496 \cdot 10^{-5}$	$3,9829 \cdot 10^{-13}$	0,2988	$5,3926 \cdot 10^{-6}$

4,900	1,023	1,757	0,6693	0,4788	3,4258.10 ⁻⁶	9,1939.10 ⁻⁶	5,8998.10 ⁻¹³	0,2293	4,0344.10 ⁻⁶
5,000	1,026	1,807	0,7114	0,4179	7,1136.10 ⁻⁶	8,0245.10 ⁻⁶	8,2974.10 ⁻¹³	0,1746	2,9727.10 ⁻⁶
5,100	1,030	1,839	0,7369	0,3809	5,8534.10 ⁻⁶	7,3140.10 ⁻⁶	2,1334.10 ⁻¹²	0,1451	2,2297.10 ⁻⁶
5,200	1,033	1,870	0,7624	0,3440	4,8105.10 ⁻⁶	6,6054.10 ⁻⁶	3,2217.10 ⁻¹²	0,1183	1,6547.10 ⁻⁶
5,300	1,036	1,901	0,7879	0,3070	3,9490.10 ⁻⁶	5,8950.10 ⁻⁶	3,7869.10 ⁻¹²	0,0943	1,2125.10 ⁻⁶
5,400	1,040	1,933	0,8134	0,2701	3,2384.10 ⁻⁶	5,1865.10 ⁻⁶	3,7951.10 ⁻¹²	0,0730	8,7469.10 ⁻⁷
Tổng							19,3044.10 ⁻¹²	5,0453	9,6880.10 ⁻⁴

Từ kết quả bảng 2, ta có:

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \text{cc} = 19,3044.10^{-12};$$

$$\sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i = 9,6880.10^{-4}; \quad \sum_{i=1}^n X_i^2 = 5,0453.$$

Theo (9) suy ra:

$$K_a = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot X_i}{\sum_{i=1}^n X_i^2} = \frac{9,6880.10^{-5}}{5,0453} = 1,9202.10^{-5}$$

hay $pK_a \approx 4,72$.

Áp dụng các công thức (11) và (12), chúng tôi tính được $S_{K_a} = 5,65.10^{-7}$;

$\varepsilon_{K_a} = 1,2.10^{-6}$ và sử dụng công thức (13) tính được $S_{pK_a} = 0,013 \approx 0,01$.

Vậy $K_a = (1,92 \pm 0,12).10^{-5}$ và $pK_a \approx 4,72 \pm 0,01$.

Nhận xét:

Để xác định được HSCB của axit axetic (HAc), trong [1] các tác giả đã phải tiến hành chuẩn độ điện thế 10 dung dịch axit có nồng độ khác nhau. Từ các giá trị pH đo được, nhóm tác giả đã phải lập chương trình tính phức tạp để xác định hằng số cân bằng (HSCB) của axit này, trong đó *kết quả thu được từ hệ đệm axit axetic – axetat* (hệ D) theo phương pháp đơn hình ($pK_a = 4,73$) là hợp lý nhất so với số liệu tra trong tài liệu [2]. Nhận xét này cũng phù hợp với [3], khi các tác giả tiến hành xác định HSCB của axit axetic và axit benzoic từ kết quả chuẩn độ điện thế đo pH của 10 dung

dịch hỗn hợp gồm 2 axit này: *hệ đệm thường cho kết quả chính xác nhất*.

Trong tài liệu [4], để xác định hằng số bền của phức cacboxilat của titan, với các phối tử được chọn là axit axetic, axit oxalic và axit oxalaxetic, trước tiên các tác giả tiến hành xác định các hằng số phân li axit của 3 axit trên từ kết quả thực nghiệm, theo phương pháp chuẩn độ điện thế 1 dung dịch axit mạnh và 1 dung dịch hỗn hợp gồm axit mạnh với từng axit trong số 3 axit trên. Bằng cách thiết lập phương trình tính tương tự, nhóm tác giả trong [4] cũng rút ra được phương trình tính có dạng $Y = K_a \cdot X$ (như phương trình (8)). Để xác định được giá trị K_a của mỗi axit, trong khu vực pH mà lượng axit yếu bị trung hòa từ khoảng 20% đến 80% (*mỗi hệ thu được đều là hệ đệm*), *cứ với một giá trị pH đo được, các tác giả tính được 1 giá trị K_a , sau đó các tác giả cộng lại, chia trung bình, mà không tiến hành xử lý thống kê!* Ví dụ với trường hợp axit axetic, các tác giả đã lấy trung bình cộng của 18 giá trị pK_a (dao động từ 4,5055 đến 4,7807) tính được từ 18 giá trị pH, cho kết quả $pK_{a(\text{HAc})} = 4,699$. Nhưng với phối tử là axit oxalic, các tác giả xác định $pK_{a1} = 1,4645$ cũng tương tự bằng cách lấy trung bình cộng của 13 giá trị pK_{a1} , dao động từ 0,5342 đến 5,0970 thì quả là không thật hợp lý!!!

Để khắc phục nhược điểm phải tiến hành nhiều phép đo thực nghiệm và phải tiến hành lập chương trình tính phức tạp theo thuật toán tính lặp của [1] và [3], đồng thời để khắc phục nhược điểm “không

xử lý thống kê” (mà phải lấy giá trị trung bình cộng của nhiều giá trị rất lệch nhau) của [4], trong thông báo này, chúng tôi tiến hành thực nghiệm tương tự như tài liệu [4], nhưng đã loại bỏ ảnh hưởng của CO₂ nhờ quá trình sục khí N₂ vào dung dịch chuẩn độ trước khi chuẩn độ và đã khống chế lực ion bằng cách thêm muối trơ vào cả dung dịch chuẩn và dung dịch chuẩn độ.

Xuất phát từ nhận xét: trong số các hệ nghiên cứu, *hệ đệm thường cho kết quả phù hợp nhất*, chính vì vậy chúng tôi không cần lựa chọn nhiều hệ nghiên cứu như [1] và [3], mà chỉ cần lựa chọn khu vực pH, ở đó axit axetic bị trung hòa từ khoảng 32% đến 81% để thu được các hệ đệm khác nhau. Từ n = 13 điểm thực nghiệm (ứng với 13 giá trị pH), chúng tôi đã tiến hành xử lý thống kê để đưa hệ phương trình qui ước gồm 13 phương trình 1 ẩn (K_a) thành 1 phương trình chuẩn (phương trình (9)), do đó tính dễ dàng được HSCB của axit axetic. Đồng thời cũng bằng phương pháp thống kê, chúng tôi đã đánh giá được độ chính xác của phép xác định giá trị pK_a của axit này: pK_a = 4,72 ± 0,01 ở 25°C ± 0,3°C, trong môi trường KNO₃ 0,5000 M. Kết quả thu được là đáng tin cậy và phù hợp tốt với [2] (pK_a = 4,76) và [5] (pK_a dao động từ 4,74 đến 4,81 tùy thuộc điều kiện và phương pháp xác định).

Từ kết quả thu được có thể khẳng định ưu điểm của phương pháp nghiên cứu đã làm giảm đáng kể số phép đo thực nghiệm, mà vẫn đảm bảo được tính thống kê, đồng thời có thể sử dụng phần mềm Excel để tính trực tiếp và dễ dàng HSCB mà không cần phải lập chương trình tính lặp.

5. KẾT LUẬN

Đã vận dụng hợp lý phương pháp chuẩn độ điện thế một dung dịch axit mạnh và một dung dịch hỗn hợp gồm axit mạnh

và axit axetic để xác định HSCB của axit axetic. Phương trình tính được thiết lập đơn giản theo điều kiện proton (ĐKP) mà không cần phải lập chương trình tính lặp phức tạp. Kết quả thu được, được xử lý thống kê nên đảm bảo độ tin cậy. Giá trị HSCB của axit axetic xác định được từ thực nghiệm phù hợp tốt với kết quả đã được công bố trong các tài liệu tham khảo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đào Thị Phương Diệp, Tống Thị Sơn, Đào Văn Bảy, Nguyễn Thị Thanh Mai (2013), *Xác định HSCB của axit axetic từ kết quả thực nghiệm đo pH theo phương pháp BPTT và phương pháp đơn hình*. Tạp chí Hóa học, T.51 (2C), tr.702-709.
- [2] Nguyễn Tinh Dung (2007), *Hoá học phân tích 1. Cân bằng ion trong dung dịch*. NXB Đại học Sư phạm, 2005. Tái bản lần thứ ba năm 2013.
- [3] Nguyễn Tinh Dung, Đào Thị Phương Diệp, Mai Châu Phương, Trần Thị Xuyên (2010), *Sử dụng phương pháp BPTT để xác định đồng thời HSCB của axit axetic và axit benzoic trong hỗn hợp từ dữ liệu pH thực nghiệm*. Tạp chí Phân tích Hóa, Lý và Sinh học, T.15, số 4, tr.96-104.
- [4] Abdalazeem. A. Omar*, Elmugdad. A. Ali (2014), *Titanium carboxylate complexes stability constants estimated by four graphical methods*. International Journal of Basic and Applied Sciences, 3(4), 497-506.
- [5] G. Kortum, W. Vogel and K. Andrussov (1961), *Dissociation Constants of Organic Acids in Aqueous Solution*. Butterworth & Co. Ltd., London, 241-242.