



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11) CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ



1-0034473

(51)⁷ F04F 1/20; C02F 3/22; F04F 1/18; C02F 1/00; F04F 1/00 (13) B

(21) 1-2019-06498

(22) 20/11/2019

(45) 26/12/2022 417

(43) 30/01/2020 382A

(73) Trần Mạnh Hải (VN)

Viện Công nghệ Môi trường, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Nhà A30, số 18 Hoàng Quốc Việt, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội

(72) Trần Mạnh Hải (VN); Nguyễn Hoài Châu (VN); Cao Thế Hà (VN); Vũ Ngọc Duy (VN).

(54) PHƯƠNG PHÁP TUẦN HOÀN CHẤT LỎNG BẰNG KHÍ

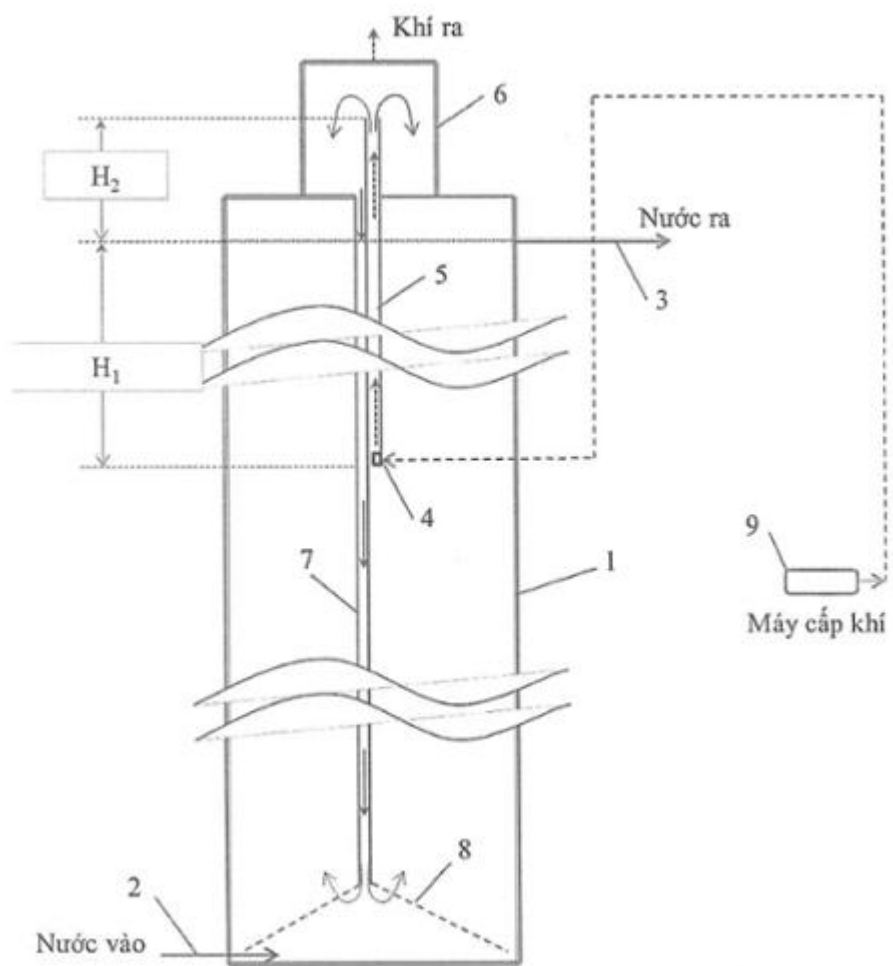
(57) Sáng chế đề cập đến phương pháp tuần hoàn chất lỏng bằng khí, cho phép xác định và/hoặc điều chỉnh lượng chất lỏng được kéo lên (lượng chất lỏng cần tuần hoàn) bởi mỗi lượng khí trong ống dẫn chất lỏng lên thẳng đứng phụ thuộc vào các yếu tố: (i) lưu lượng khí Q_K , (ii) chiều sâu ngập trong chất lỏng H_1 của ống, (iii) chiều cao dâng chất lỏng H_2 , (iv) khối lượng riêng của chất lỏng ρ , (v) độ nhớt của chất lỏng μ , và (vi) tiết diện ống S ở điều kiện áp suất khí quyển P_a , trong đó:

lượng chất lỏng cần tuần hoàn được kéo lên bởi mỗi lượng khí trong ống dẫn chất lỏng lên thẳng đứng được xác định bằng các phương trình (1) và (2) dưới đây:

$$Q_N = K \cdot Q_K \quad (1)$$

trong đó K được xác định theo phương trình (2):

$$\rho g H_2 + 0,85 \frac{\rho Q_K^2}{S^2} K(K+1) - \eta P_a \ln\left(1 + \frac{\rho g H_1}{P_a}\right) + 0,1535 \rho^{0,75} \mu^{0,25} Q_K^{0,75} \frac{H_1 + H_2}{d} K \left(\frac{K+1}{S}\right)^{1,875} \frac{1}{\sqrt[4]{K+1}-1} = 0 \quad (2)$$



Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến phương pháp tuần hoàn chất lỏng bằng khí, cho phép xác định và/hoặc điều chỉnh lượng chất lỏng được kéo lên (lượng chất lỏng cần tuần hoàn) bởi mỗi lượng khí trong ống dẫn chất lỏng lên thẳng đứng phụ thuộc vào các yếu tố: (i) lưu lượng khí Q_K , (ii) chiều sâu ngập trong chất lỏng H_1 của ống, (iii) chiều cao dâng chất lỏng H_2 , (iv) khối lượng riêng của chất lỏng ρ , (v) độ nhớt của chất lỏng μ , và (vi) tiết diện ống S ở điều kiện áp suất khí quyển P_a .

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Quá trình khí kéo chất lỏng (airlift) được sử dụng để vận chuyển chất lỏng hoặc hỗn hợp chất lỏng. Quá trình airlift này đã được ứng dụng trong một số lĩnh vực công nghiệp như dầu khí, hóa dầu. Ưu điểm của phương pháp này là hệ thống đơn giản, dễ chế tạo, dễ vận hành và bảo trì đơn giản, đặc biệt là khả năng chống tắc nghẽn. Do đó, quá trình này ngày càng được nghiên cứu và ứng dụng cho nhiều lĩnh vực khác nhau trong đó có xử lý nước và nước thải.

Hiện nay, hầu hết các quá trình airlift sử dụng khí nén có hoặc không có tuần hoàn khí và trong một số trường hợp đặc biệt sử dụng khí tự sinh. Chẳng hạn, với xử lý yếm khí nước thải thì khí tự sinh là khí sinh học (biogas), khi đó quá trình này được gọi là gaslift.

Các công bố liên quan đến quá trình này gồm một số mô hình thực nghiệm sử dụng không khí mô phỏng ảnh hưởng của chế độ dòng chảy của hỗn hợp khí-lỏng trong ống, ảnh hưởng của mức ngập trong chất lỏng của ống, ảnh hưởng của các phương pháp phun khí. Các công bố cho thấy hiệu suất quá trình bị ảnh hưởng bởi hai nhóm thông số gồm: cấu hình hình học và các thông số hoạt động (xem các tài liệu tham khảo từ 1 đến 10 dưới đây).

Trong các công bố này lượng chất lỏng thu được bởi mỗi lượng khí (hay hiệu suất quá trình) đạt rất thấp, thường dưới 30%. Với các cải thiện về chế độ dòng chảy trong ống dẫn chất lỏng lên, đường kính ống dẫn chất lỏng lên, chế độ phun khí, thì hiệu suất quá trình chỉ nâng lên được đến mức 60%.

Ngoài vấn đề về hiệu suất, các công bố nêu trên không cho phép xác định và điều chỉnh một cách chính xác, nhanh chóng lượng chất lỏng cần tuần hoàn

khí thay đổi cấu hình hình học và các thông số hoạt động của hệ thống như lưu lượng khí, chiều sâu ngập trong chất lỏng của ống, chiều cao dâng chất lỏng, khối lượng riêng của chất lỏng, độ nhớt của chất lỏng, và tiết diện ống S.

Tài liệu tham khảo

- [1] William A, WurtsSam G, McneillDouglas G, Overhults, "Performance and design characteristics of airlift pumps for field applications," *World Aquac.*, vol. 25, no. 4, pp. 51–55.
- [2] Gajanan K. Awari, L. B. Bhuyar, D. G. Wakde, "A Generalized Gas-Liquid Two-Phase Flow Analysis for Efficient Operation of Airlift Pump," *J Braz Soc Mech Sci Eng*, vol. 29, no. 3, pp. 307–312, 2007.
- [3] S. Z. Kassab, H. A. Kandil, H. A. Warda, and W. H. Ahmed, "Experimental and analytical investigations of airlift pumps operating in three-phase flow," *Chem. Eng. J.*, vol. 131, no. 1–3, pp. 273–281, Jul. 2007.
- [4] S. Z. Kassab, H. A. Kandil, H. A. Warda, and W. H. Ahmed, "Air-lift pumps characteristics under two-phase flow conditions," *Int. J. Heat Fluid Flow*, vol. 30, no. 1, pp. 88–98, Feb. 2009.
- [5] P. Hanafizadeh and B. Ghorbani, "Review study on airlift pumping systems," *Multiph. Sci. Technol.*, vol. 24, no. 4, pp. 323–362, 2012.
- [6] A. Karimi, P. Hanafizadeh, S. Ghanbarzadeh, and M.H. Saidi, "Augmentation of Airlift Pump Performance in Step Geometry," 2010.
- [7] P. Hanafizadeh, A. Karimi, and M. H. Saidi, "Effect of Step Geometry on the Performance of the Airlift Pump," *Int. J. Fluid Mech. Res.*, vol. 38, no. 5, pp. 387–408, 2011.
- [8] H. E. Zaraki, M. Majidniya, M. H. Abadshapoori, and M. H. Saidi, "Experimental investigation of flow regime and efficiency of airlift pumps with tapered upriser pipe," *Multiph. Sci. Technol.*, vol. 28, no. 2, pp. 135–152, 2016.
- [9] W. H. Ahmed, A. M. Aman, H. M. Badr, and A. M. Al-Qutub, "Air injection methods: The key to a better performance of airlift pumps," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 70, pp. 354–365, Jan. 2016.
- [10] G. Ligus, D. Zajac, M. Masiukiewicz, and S. Anweiler, "A New Method of Selecting the Airlift Pump Optimum Efficiency at Low Submergence Ratios with the Use of Image Analysis," *Energies*, vol. 12, no. 4, p. 735, Feb. 2019.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Để khắc phục các vấn đề của tình trạng kỹ thuật đã biết nêu trên, mục đích của sáng chế là đề xuất phương pháp tuần hoàn chất lỏng bằng khí cho phép xác định và điều chỉnh lượng chất lỏng được kéo lên (lượng chất lỏng cần tuần hoàn) bởi mỗi lượng khí trong ống dẫn chất lỏng lên thẳng đứng phụ thuộc vào các yếu tố: (i) lưu lượng khí Q_K , (ii) chiều sâu ngập trong chất lỏng H_1 của ống, (iii)

chiều cao dâng chất lỏng H_2 , (iv) khối lượng riêng của chất lỏng ρ , (v) độ nhớt của chất lỏng μ , và (vi) tiết diện ống S ở điều kiện áp suất khí quyển P_a .

[1] Phương pháp tuần hoàn chất lỏng bằng khí trong hệ thống cần sự tuần hoàn chất lỏng, hệ thống này bao gồm:

vật chứa chất lỏng (1);

ống dẫn chất lỏng lên (5) có một phần ngập trong chất lỏng một đoạn H_1 gọi là chiều sâu ngập trong chất lỏng và một phần nhô lên khỏi chất lỏng một đoạn H_2 gọi là chiều cao dâng chất lỏng;

bộ phận cung cấp khí vào đầu dưới (4) của ống dẫn chất lỏng lên (5);

bộ phận tách pha lỏng-khí (6) bố trí phía trên vật chứa chất lỏng (1) và chứa một phần nhô lên của ống dẫn chất lỏng lên (5); và

ống tuần hoàn chất lỏng (7) kéo dài từ phần dưới của bộ phận tách pha lỏng-khí (6) tới phần dưới của vật chứa chất lỏng (1);

trong đó phương pháp này bao gồm các bước:

(i) cấp chất lỏng vào vật chứa chất lỏng (1) để ống dẫn chất lỏng lên (5) ngập trong chất lỏng này một đoạn H_1 ;

(ii) cấp khí vào đầu dưới (4) của ống dẫn chất lỏng lên (5) để kéo lượng chất lỏng cần tuần hoàn lên bộ phận tách pha lỏng-khí (6); và

(iii) tuần hoàn theo cách tự nhiên lượng chất lỏng này trở lại vật chứa chất lỏng (1) thông qua ống tuần hoàn chất lỏng (7); trong đó:

lượng chất lỏng được kéo lên bởi mỗi lượng khí trong ống dẫn chất lỏng lên (5) thẳng đứng ở bước (ii) được xác định bằng các phương trình (1) và (2) dưới đây:

$$Q_N = K \cdot Q_K \quad (1)$$

trong đó K được xác định theo phương trình (2):

$$\begin{aligned} & \rho g H_2 + 0,85 \frac{\rho Q_K^2}{S^2} K(K+1) - \eta P_a \ln\left(1 + \frac{\rho g H_1}{P_a}\right) + \\ & + 0,1535 \rho^{0,75} \mu^{0,25} Q_K^{0,75} \frac{H_1 + H_2}{d} K \left(\frac{K+1}{S}\right)^{1,875} \frac{1}{\sqrt[4]{\sqrt{K+1}-1}} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

trong các phương trình (1) và (2):

- H_1 là chiều sâu ngập trong chất lỏng, m
 H_2 là chiều cao dâng chất lỏng, m
 Q_N là lưu lượng chất lỏng đi lên trong ống lên (5), m³/s
 Q_K là lưu lượng khí cấp vào ống dẫn chất lỏng lên (5), m³/s
 d là đường kính ống dẫn chất lỏng lên (5), m
 S là tiết diện ống dẫn chất lỏng lên (5), m²
 g là gia tốc trọng trường, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
 ρ là khối lượng riêng của chất lỏng ở 25°C, kg/m³
 μ là độ nhớt động lực (dynamic) của chất lỏng ở 25°C, N.s/m²
 (1N = 1kg.m/s²)
 P_a là áp suất khí quyển, $P_a = 101.300 \text{ Pa} = \text{N/m}^2$ (1N = 1kg.m/s²)
 η là hiệu suất quá trình, %;

trong đó H_1 và H_2 phải thỏa mãn đồng thời các điều kiện sau:

H_2 nằm trong khoảng từ 0,1 đến 0,5 m;

$H_1 \geq 1,85 \text{ m}$;

$\frac{H_1}{H_2} \geq$ một giá trị nằm trong khoảng từ 3,7 đến 18,5; và

mối liên hệ giữa Q_K và S được thể hiện qua phương trình vận tốc khí $v_K = \frac{Q_K}{S}$ phải đảm bảo đạt tối thiểu 0,053 m/s (191 m/h).

[2] Theo một phương án thực hiện phương pháp theo mục [1], trong đó H_2 có thể bằng 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 hoặc 0,5 m và mối quan hệ giữa H_1 và H_2 được thể hiện như dưới đây:

$H_2 \text{ (m)}$	$\frac{H_1}{H_2}$
0,1	$\geq 18,5$
0,2	$\geq 9,25$
0,3	$\geq 6,17$
0,4	$\geq 4,62$
0,5	$\geq 3,7$

[3] Theo một phương án thực hiện phương pháp theo mục [1] hoặc [2], trong đó chất lỏng là nước, nước thải, hoặc hỗn hợp nước thải và bùn vi sinh.

[4] Theo một phương án thực hiện phương pháp theo mục bất kỳ trong số các mục từ [1] đến [3], trong đó bộ phận cung cấp khí vào đầu dưới (4) của ống dẫn chất lỏng lên (5) là máy nén không khí (9), và khí để kéo chất lỏng lên là không khí nén được cấp từ máy nén không khí này.

[5] Theo một phương án thực hiện phương pháp theo mục [1] hoặc [2], trong đó chất lỏng là nước thải hoặc chất lỏng có thể xử lý yếm khí trong vật chứa chất lỏng (1), và trong đó bộ phận cung cấp khí vào đầu dưới (4) của ống dẫn chất lỏng lên (5) là bộ tách pha lỏng-khí và thu khí nội sinh (4'), bộ này tách và thu khí nội sinh tạo ra từ quá trình xử lý yếm khí chất lỏng trong vật chứa chất lỏng (1) để làm khí kéo chất lỏng lên.

[6] Theo một phương án thực hiện phương pháp theo mục [5], bộ phận cung cấp khí còn bao gồm máy nén không khí (9) hoạt động kết hợp với bộ tách pha lỏng-khí và thu khí nội sinh (4') để cấp không khí nén bổ sung vào đầu dưới (4) của ống dẫn chất lỏng lên (5), hỗ trợ việc kéo chất lỏng lên khi cần.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

Hình 1 là sơ đồ hệ thống khí kéo chất lỏng dùng khí nén để minh họa một phương án thực hiện của phương pháp theo sáng chế để làm ví dụ.

Hình 2 là sơ đồ hệ thống khí kéo chất lỏng dùng khí nội sinh để minh họa một phương án thực hiện khác của phương pháp theo sáng chế để làm ví dụ.

Hình 3 là sơ đồ hệ thống khí kéo chất lỏng dùng khí nội sinh kết hợp khí nén để minh họa một phương án thực hiện khác nữa của phương pháp theo sáng chế để làm ví dụ.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sau đây, phương pháp tuần hoàn chất lỏng bằng khí theo sáng chế sẽ được mô tả chi tiết dựa vào các phương án thực hiện cụ thể để làm ví dụ như được thể hiện trên các hình vẽ.

Xét trường hợp sử dụng khí nén

Hình 1 thể hiện hệ thống tuần hoàn chất lỏng sử dụng khí nén để thực hiện phương pháp nêu trên, hệ thống này bao gồm: vật chứa chất lỏng 1 có ống cấp

chất lỏng vào 2 ở dưới đáy và ống chất lỏng ra 3 ở phía trên của vật chứa, ống dẫn chất lỏng lên 5 có một phần ngập trong chất lỏng một đoạn H_1 gọi là chiều sâu ngập trong chất lỏng và một phần nhô lên khỏi chất lỏng một đoạn H_2 gọi là chiều cao dâng chất lỏng, bộ phận cung cấp khí vào đầu dưới 4 của ống dẫn chất lỏng lên 5 là máy nén không khí 9 bố trí bên ngoài vật chứa chất lỏng 1, bộ phận tách pha lỏng-khí 6 bố trí phía trên vật chứa chất lỏng cần kéo lên 1 và chứa một phần nhô lên của ống dẫn chất lỏng lên 5, và ống tuần hoàn chất lỏng 7 kéo dài từ phần dưới của bộ phận tách pha lỏng-khí 6 tới phần dưới của vật chứa chất lỏng 1. Tốt hơn là, nhưng sáng chế không chỉ giới hạn ở đó, ống tuần hoàn chất lỏng 7 được nối với bộ phận phân phối 8 dạng hình nón có các khe phân phối bố trí trên bề mặt, và ống cấp chất lỏng vào 2 cấp chất lỏng vào bên dưới bộ phận phân phối 8.

Hoạt động kéo chất lỏng bằng khí nén dựa trên lực nổi để đẩy (bơm) chất lỏng hoặc hỗn hợp chất lỏng lên trên thông qua ống thẳng đứng có một phần ngập trong chất lỏng hoặc hỗn hợp chất lỏng cần được bơm.

Do khối lượng riêng của khí nhẹ hơn rất nhiều so với khối lượng riêng của chất lỏng, khi nén khí vào ống thẳng đứng có một phần ngập trong chất lỏng (ống dẫn chất lỏng lên 5), thì khí sẽ đi lên (đây là thế năng của khí), hỗn hợp khí-chất lỏng sẽ có khối lượng riêng nhẹ hơn chất lỏng dẫn đến lớp chất lỏng phía dưới sẽ đẩy hỗn hợp khí-chất lỏng đi lên (đây chính là động năng của hỗn hợp do khí tạo ra), hỗn hợp khí-chất lỏng thoát ra khỏi đầu trên của ống dẫn chất lỏng lên 5 sẽ được tách thành pha lỏng và pha khí trong bộ phận tách pha lỏng-khí 6 ở trên đỉnh vật chứa chất lỏng cần kéo lên 1, mức chất lỏng tại đây cao hơn mức chất lỏng trong vật chứa, nên chất lỏng tự chảy trở lại vật chứa (đây chính là thế năng của chất lỏng), ngoài ra khi hỗn hợp đi lên trong ống sẽ tạo ra lực ma sát với thành ống (tổn thất do ma sát). Do đó, để có thể kéo được chất lỏng lên thì lượng khí phải đủ lớn (thế năng đủ lớn), lớn hơn tổng hợp các lực trên. Dựa vào định luật bảo toàn năng lượng, có thể xác định được lượng chất lỏng được kéo lên bởi mỗi lượng khí phụ thuộc vào (i) lưu lượng khí Q_K , (ii) chiều sâu ngập trong chất lỏng H_1 , (iii) chiều cao dâng chất lỏng H_2 , (iv) khối lượng riêng của chất lỏng ρ , (v) độ nhớt của chất lỏng μ , và (vi) tiết diện ống S ở điều kiện áp suất khí quyển P_a .

Với một chất lỏng xác định, trong số các yếu tố liên quan đến lượng chất lỏng kéo lên được bởi mỗi lượng khí cấp vào, các yếu tố H_1 , H_2 và S ảnh hưởng

trực tiếp đến hiệu suất của quá trình. Với cùng một lượng khí, cùng chiều sâu H_1 và chiều cao dâng chất lỏng H_2 , thì tiết diện S của ống lớn hơn sẽ cho hiệu suất cao hơn. Do ma sát giảm theo tổng diện tích bề mặt ống, nên với cùng một tiết diện thì ống có tổng diện tích tiếp xúc thấp sẽ cho hiệu suất cao hơn (hay Q_N lớn hơn). Theo đó, có nhu cầu là cần xác định điều kiện tối ưu của hệ thống để lượng chất lỏng được kéo lên bởi mỗi lượng khí cấp vào là lớn nhất hoặc có thể xác định và điều chỉnh được một cách dễ dàng lượng chất lỏng này mỗi khi các thông số của hệ thống và chất lỏng thay đổi, và sáng chế được đề xuất để giải quyết vấn đề này.

Lượng chất lỏng Q_N được kéo lên bởi mỗi lượng khí Q_K trong ống dẫn chất lỏng lên thẳng đứng 5 được xác định bằng các phương trình (1) và (2) dưới đây:

$$Q_N = K \cdot Q_K \quad (1)$$

Trong đó K được xác định theo phương trình (2):

$$\begin{aligned} & \rho g H_2 + 0,85 \frac{\rho Q_K^2}{S^2} K(K+1) - \eta P_a \ln\left(1 + \frac{\rho g H_1}{P_a}\right) + \\ & + 0,1535 \rho^{0,75} \mu^{0,25} Q_K^{0,75} \frac{H_1 + H_2}{d} K \left(\frac{K+1}{S}\right)^{1,875} \frac{1}{\sqrt[4]{\sqrt{K+1}-1}} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Trong các phương trình (1) và (2):

- H_1 là chiều sâu ngập trong chất lỏng, m
- H_2 là chiều cao dâng chất lỏng, m
- Q_N là lưu lượng chất lỏng trong ống dẫn chất lỏng lên 5, m^3/s
- Q_K là lưu lượng khí cấp vào ống dẫn chất lỏng lên 5, m^3/s
- d là đường kính ống dẫn chất lỏng lên 5, m
- S là tiết diện ống dẫn chất lỏng lên 5, m^2
- g là gia tốc trọng trường, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- ρ là khối lượng riêng của chất lỏng ở 25°C , kg/m^3
- μ là độ nhớt động lực (dynamic) của chất lỏng ở 25°C , N.s/m^2
($1\text{N} = 1\text{kg.m/s}^2$)
- P_a là áp suất khí quyển, $P_a = 101.300 \text{ Pa} = \text{N/m}^2$ ($1\text{N} = 1\text{kg.m/s}^2$)
- η là hiệu suất quá trình, %;

Với mỗi giá trị của Q_K , H_1 , H_2 , ρ , μ và S , sẽ thu được một giá trị của K . Có nhiều phương pháp để tìm nghiệm K của phương trình (2), ở đây tác giả sử dụng chương trình Excel. Sử dụng phương pháp phân tích mục tiêu “nếu ... thì ...” (hàm What-if Analysis) bằng cách dịch chuyển kết quả (Goal-seek) trong Excel để tính K . Cụ thể:

bước 1: nhập các giá trị của Q_K , H_1 , H_2 , ρ , μ và S ;

bước 2: thiết lập phương trình (2) trong excel (chẳng hạn tại ô C_{11});

bước 3: tại ô C_{11} sử dụng chức năng Goal-seek trong What-if Analysis (*Data* $\rightarrow$ *Data tool* $\rightarrow$ *What-if Analysis* $\rightarrow$ *Goal-seek*), hộp hội thoại Goal-seek xuất hiện, nhấp vào ô “To value” và nhập giá trị 0, chọn ô chứa giá trị của K (chẳng hạn tại ô C_{13}), nhấp vào ô “By changing cell”, nhấn “OK”, hộp hội thoại “Goal seek status” xuất hiện, tiếp tục nhấn “OK” ta sẽ thu được giá trị của K tại ô C_{13} .

Từ giá trị K thu được từ phương trình (2) và giá trị của Q_K đã biết, xác định được lượng chất lỏng Q_N được kéo lên theo phương trình (1).

Từ phương trình (2) cũng như kết quả thực nghiệm cho thấy để thu được giá trị của K lớn (hay Q_N lớn), thì $\frac{H_1}{H_2}$ phải lớn và/hoặc $\frac{Q_K}{S}$ phải nhỏ.

Một cách thuận lợi để đạt được điều này là: (i) tăng chiều sâu ngập trong chất lỏng H_1 ; (ii) và/hoặc giảm chiều cao dâng chất lỏng H_2 ; và/hoặc (iii) giảm Q_K hoặc tăng tiết diện ống S .

Kết quả thực nghiệm cho thấy rằng với mỗi giá trị H_2 nằm trong khoảng từ 0,1 đến 0,5 m, $H_1 \geq 1,85$ m, đồng thời $\frac{H_1}{H_2} \geq$ là một giá trị nằm trong khoảng từ 3,7 đến 18,5, thì khi $\frac{H_1}{H_2}$ tăng cho thấy giá trị của K tăng. Giá trị của H_2 cần nằm trong khoảng nêu trên còn để đảm bảo có không gian lắp đặt đường nước ra 3 và tạo chênh áp cho dòng xuống. Tốt hơn là, H_2 nằm trong khoảng từ 0,2 đến 0,5 m, tốt hơn nữa là từ 0,3 đến 0,5 m, tốt hơn nữa là từ 0,3 đến 0,4 m.

Tốt hơn là, ống dẫn chất lỏng lên 5 được tạo kết cấu để cho phép thay đổi được chiều dài ở một hoặc cả hai đầu của ống, theo đó tạo thuận lợi cho điều chỉnh tăng hoặc giảm H_1 và/hoặc H_2 . Theo một phương án, ống dẫn chất lỏng lên 5 có thể được nối dài hoặc tháo rời từng đoạn bằng các đầu nối thích hợp để tăng hoặc giảm H_1 và/hoặc H_2 .

Theo một số phương án của phương pháp theo sáng chế để làm ví dụ, các giá trị tối ưu của H_1 tính theo H_2 được thể hiện ở Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1

H_2 (m)	$\frac{H_1}{H_2}$
0,1	$\geq 18,5$
0,2	$\geq 9,25$
0,3	$\geq 6,17$
0,4	$\geq 4,62$
0,5	$\geq 3,7$

Mối liên hệ giữa Q_K và S được thể hiện qua phương trình $v_K = \frac{Q_K}{S}$, trong đó v_K là vận tốc khí. Số liệu thực nghiệm với các tiết diện ống tăng dần cũng chỉ ra rằng K tăng khi tiết diện ống tăng dù tại cùng một lưu lượng khí hoặc tại các lưu lượng khí Q_K giảm dần, giá trị tối thiểu phải đạt của v_K là 0,053 m/s (190 m/h), đây cũng chính là giá trị tối ưu khi lựa chọn tiết diện ống dẫn chất lỏng lên 5 trong hệ khí kéo chất lỏng.

Kết quả thực nghiệm với các điều kiện nêu trên cho thấy, hiệu suất quá trình η đạt tối thiểu 80%.

Ngưỡng tối thiểu của v_K là dựa theo thực nghiệm, dưới mức này $Q_N = 0$. Như đã mô tả ở trên là “thế năng của khí phải $\geq$ động năng hỗn hợp khí-chất lỏng + thế năng của chất lỏng ở độ cao H_2 + tổn thất do ma sát”. Ngưỡng tối đa của v_K là khi lưu lượng khí quá lớn, thế năng của khí lớn hơn tổng động năng hỗn hợp khí-chất lỏng + thế năng của chất lỏng ở độ cao H_2 + tổn thất do ma sát, khi đó khí sẽ thoát ngược ra ngoài. Thực nghiệm cho thấy v_K nằm trong khoảng từ 0,053 đến 0,404 m/s đảm bảo khí chưa thoát ngược ra ngoài, v_K lớn hơn nữa thì vẫn K giảm.

Phương pháp tuần hoàn chất lỏng thực hiện trên hệ thống trên Hình 1 có thể được áp dụng cho chất lỏng là nước, nước thải, hỗn hợp nước thải và bùn vi sinh, hoặc các chất lỏng có tính chất vật lý gần giống nước, nước thải, hoặc hỗn hợp nước thải và bùn vi sinh này. Theo các phương án thực hiện ưu tiên của sáng chế, chất lỏng là nước, nước thải, hoặc hỗn hợp nước thải và bùn vi sinh.

Xét trường hợp sử dụng khí nội sinh

Hình 2 thể hiện hệ thống tuần hoàn chất lỏng sử dụng khí nội sinh để thực hiện phương pháp theo sáng chế, hệ thống này bao gồm:

vật chứa chất lỏng 1 có ống cấp chất lỏng vào 2 ở dưới đáy và ống thoát chất lỏng ra 3 ở phía trên, vật chứa này chứa chất lỏng có khả năng xử lý yếm khí;

ống dẫn chất lỏng lên 5 có một phần ngập trong chất lỏng một đoạn H_1 gọi là chiều sâu ngập trong chất lỏng và một phần nhô lên khỏi chất lỏng một đoạn H_2 gọi là chiều cao dâng chất lỏng;

bộ phận cung cấp khí vào đầu dưới 4 của ống dẫn chất lỏng lên 5 là bộ tách pha lỏng-khí kết hợp thu khí nội sinh 4' được gắn với đầu dưới 4 của ống dẫn chất lỏng lên 5, khác với phương án sử dụng máy nén không khí 9 như trên Hình 1, bộ tách pha lỏng-khí và thu khí nội sinh 4' có nhiệm vụ tách và thu khí nội sinh tạo ra từ quá trình xử lý yếm khí chất lỏng bên trong vật chứa chất lỏng 1 để làm khí kéo chất lỏng lên;

bộ phận tách pha lỏng-khí 6 bố trí phía trên vật chứa chất lỏng cần kéo lên 1 và chứa một phần nhô lên của ống dẫn chất lỏng lên 5; và

ống tuần hoàn chất lỏng 7 kéo dài từ phần dưới của bộ phận tách pha lỏng- khí 6 tới phần dưới của vật chứa chất lỏng cần kéo lên 1. Tốt hơn là, nhưng sáng chế không chỉ giới hạn ở đó, ống tuần hoàn chất lỏng 7 được nối với bộ phận phân phối 8 dạng hình nón có các khe phân phối bố trí trên bề mặt, và ống cấp chất lỏng vào 2 cấp chất lỏng vào bên dưới bộ phận phân phối 8.

Hình 3 là hình vẽ thể hiện một phương án cải biến của phương án trên Hình 2, trong đó bộ phận cung cấp khí còn bao gồm máy nén không khí 9 (như trên Hình 1) để cấp không khí nén vào đầu dưới của ống dẫn chất lỏng lên 5 khi cần.

Theo phương án thực hiện ưu tiên đối với hệ thống sử dụng khí nội sinh để làm ví dụ, chất lỏng là nước thải chứa các chất hữu cơ có khả năng phân hủy sinh học, ví dụ nước thải sản xuất bia, nước thải sinh hoạt, nước thải sản xuất cồn etanol, nước thải chế biến thực phẩm, hoặc chất lỏng bất kỳ khác có khả năng sinh khí trong quá trình xử lý yếm khí trong vật chứa chất lỏng 1.

Hoạt động kéo chất lỏng bằng khí tự sinh (ở đây là khí sinh học) về bản chất là giống so với phương pháp sử dụng không khí nén như nêu trên. Điểm khác biệt của hai quá trình tuần hoàn chất lỏng sử dụng không khí nén và sử dụng khí sinh học là ở khối lượng riêng ρ của không khí và khí sinh học. Ở điều kiện tiêu chuẩn, khối lượng riêng ρ của không khí = 1,2928 g/L; với sinh học (được coi là chứa 65% CH₄ và 35% CO₂ theo tỷ lệ thể tích), khối lượng riêng của CH₄ và CO₂ tương ứng là $\rho = 0,7167$ và 1,9768 g/L, vậy khối lượng riêng của khí sinh học $\rho_{\text{khí sinh học}} = (0,35 \cdot 1,9768) + (0,65 \cdot 0,7167) = 1,1577$ g/L. Hiệu quả dâng chất lỏng của không khí nén hay khí sinh học được đánh giá thô qua phương trình Stock: $v_s = \frac{g(\rho_p - \rho_w)d_p^2}{18\mu}$, trong đó: v_s là vận tốc dâng của bọt khí

(m/s), g là gia tốc trọng trường = 9,81 m/s²; d_p là đường kính bọt khí (m); μ là độ nhớt động lực (dynamic) của chất lỏng ở 25°C, N.s/m² (có thể sử dụng nhớt kế hoặc máy đo độ nhớt để xác định). Vậy, vận tốc dâng của bọt khí chỉ phụ thuộc vào $\Delta\rho$. Trong trường hợp của không khí thì $\Delta\rho = (1,293 - 999,80) = -998,507$ g/L; của khí sinh học thì $\Delta\rho = (1,158 - 999,8) = -998,642$ g/L, chênh lệch = 0,01%. Như vậy có thể kết luận sự thay đổi loại khí không dẫn tới sự thay đổi lớn về tốc độ dâng bọt khí và hoàn toàn có thể sử dụng phương pháp tính nêu trên để tính lượng chất lỏng thu được cho cả hai trường hợp sử dụng không khí và khí sinh học.

Điểm khác biệt nữa giữa chất lỏng không phải là nước với nước là sự khác nhau của khối lượng riêng ρ và độ nhớt μ .

Xét trường hợp chất lỏng cần kéo lên là hỗn hợp phản ứng trong bồn phản ứng vi sinh yếm khí: với mật độ bùn vi sinh thường gặp trong các bồn xử lý yếm khí cao tải thường ở mức 20-40 kg/m³ và khối lượng riêng của bùn yếm khí hoạt tính ở mức 1,00-1,05 g/mL, thì khối lượng riêng tối đa của hỗn hợp bùn-chất lỏng yếm khí xác định được như sau: chấp nhận là mật độ bùn ở mức 40 kg/m³; khối lượng riêng của bùn lấy giá trị cao nhất là 1,05 mg/mL; vậy thể tích bùn trong 1 m³ hỗn hợp = $40/1,05 = 38,1$ L = 0,038 m³; phần còn lại là chất lỏng = 0,962 m³. Vậy khối lượng của 1 m³ hỗn hợp bùn-chất lỏng ở 25°C = $40 + (997 \times 0,962) = 999$ kg/m³. Khối lượng riêng ρ của nước tra cứu theo tài liệu chuyên ngành thường ở mức gần 1000 kg/m³, ví dụ: khối lượng riêng của nước ở 25°C là 997 kg/m³. So với 999 kg/m³ của chất lỏng, thì độ chênh chỉ ở mức 0,2%. Như

vậy, các số hạng trong phương trình (2) liên quan đến khối lượng riêng chỉ sai ở mức $\pm 0,2\%$.

Xét trường hợp chất lỏng là nước thải có độ nhớt cao hơn độ nhớt của nước: Độ nhớt của nước thải sẽ phụ thuộc vào nồng độ và bản chất các chất hữu cơ hòa tan (phần lớn trong đó là cacbon hydrat). Nước thải được coi là đặc thì COD (Chemical oxygen demand- nhu cầu oxy hóa hóa học) khoảng 10 đến 50 g/L. Giả thiết nước thải là chất lỏng đường sucroza (công thức phân tử là $C_{12}H_{22}O_{11}$). Nghiên cứu thực nghiệm (J.F.Swindells và cộng sự (1958)) cho thấy khi tăng nồng độ sucroza thì độ nhớt tăng, mối liên hệ giữa độ nhớt của nước với độ nhớt của chất lỏng đường sucroza được xác định bởi phương trình $\mu = \alpha \cdot \mu_{\text{nước}}$, trong đó $\mu_{\text{nước}}$ là độ nhớt của nước ở $20^\circ\text{C} = 0,001002$ (kg/m.s). Với chất lỏng chứa hàm lượng sucroza bằng 3, 5 và 10% thì độ nhớt của chất lỏng tương ứng là 0,001084 (tăng 8,2%); 0,001146 (tăng 8,2%) và 0,001336 (tăng 33,3%). Kết quả tính K theo phương trình (2) cho thấy mức giảm, so với trường hợp chất lỏng là nước, tối đa tương ứng là 1; 1,7 % và 3,9%.

Như vậy, trong cả hai trường hợp sử dụng khí nén hoặc khí sinh học để kéo nước hoặc nước thải hoặc các chất lỏng có tính chất vật lý (khối lượng riêng, độ nhớt) gần giống nước thì phương pháp trên đều có thể áp dụng với sự điều chỉnh giảm theo các số liệu tính toán đã trình bày.

Theo một khía cạnh khác nữa, sáng chế đề xuất phương pháp sử dụng khí để bơm chất lỏng qua ống dẫn, thẳng đứng hoặc về cơ bản thẳng đứng. Ống này có cấu tạo và sự liên kết với cơ cấu cung cấp khí giống như của ống dẫn chất lỏng lên 5 trên các Hình 1-3, do đó dưới đây phương pháp này được mô tả dựa vào các Hình này mà không nhất thiết phải bổ sung các hình vẽ tương ứng khác.

Phương pháp bơm chất lỏng theo khía cạnh này bao gồm các bước:

- (i) bố trí ống dẫn chất lỏng lên 5 ngập trong chất lỏng một đoạn H_1 và nhô lên khỏi chất lỏng một đoạn H_2 ;
- (ii) cấp khí vào đầu dưới đầu dưới 4 của ống dẫn chất lỏng lên 5 để kéo lượng chất lỏng cần bơm lên;

trong đó lượng chất lỏng được kéo lên bởi mỗi lượng khí trong ống dẫn chất lỏng lên 5 thẳng đứng ở bước (ii) được xác định bằng các phương trình (1) và (2) dưới đây:

$$Q_N = K.Q_K \quad (1)$$

trong đó K được xác định theo phương trình (2):

$$\begin{aligned} &\rho g H_2 + 0,85 \frac{\rho Q_K^2}{S^2} K(K+1) - \eta P_a \ln\left(1 + \frac{\rho g H_1}{P_a}\right) + \\ &+ 0,1535 \rho^{0,75} \mu^{0,25} Q_K^{0,75} \frac{H_1 + H_2}{d} K \left(\frac{K+1}{S}\right)^{1,875} \frac{1}{\sqrt[4]{\sqrt{K+1}-1}} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

trong các phương trình (1) và (2):

- H_1 là chiều sâu ngập trong chất lỏng, m
- H_2 là chiều cao dâng chất lỏng, m
- Q_N là lưu lượng chất lỏng trong ống dẫn chất lỏng lên 5, m³/s
- Q_K là lưu lượng khí cấp vào ống dẫn chất lỏng lên 5, m³/s
- d là đường kính ống dẫn chất lỏng lên 5, m
- S là tiết diện ống dẫn chất lỏng lên 5, m²
- g là gia tốc trọng trường, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
- ρ là khối lượng riêng của chất lỏng ở 25°C, kg/m³
- μ là độ nhớt động lực (dynamic) của chất lỏng ở 25°C, N.s/m²
(1N = 1kg.m/s²)
- P_a là áp suất khí quyển, $P_a = 101.300 \text{ Pa} = \text{N/m}^2$ (1N = 1kg.m/s²)
- η là hiệu suất quá trình, %;

trong đó H_1 và H_2 phải thỏa mãn đồng thời các điều kiện sau:

H_2 nằm trong khoảng từ 0,1 đến 0,5 m;

$H_1 \geq 1,85 \text{ m}$;

$\frac{H_1}{H_2} \geq$ một giá trị nằm trong khoảng từ 3,7 đến 18,5; và

mối liên hệ giữa Q_K và S được thể hiện qua phương trình vận tốc khí $v_K = \frac{Q_K}{S}$ phải đảm bảo đạt tối thiểu 0,053 m/s (190 m/h).

Theo một phương án thực hiện phương pháp theo khía cạnh này, H_2 có thể bằng 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 hoặc 0,5 m và mối quan hệ giữa H_1 và H_2 được thể hiện như dưới đây:

H_2 (m)	$\frac{H_1}{H_2}$
0,1	$\geq 18,5$
0,2	$\geq 9,25$
0,3	$\geq 6,17$
0,4	$\geq 4,62$
0,5	$\geq 3,7$

Theo một phương án thực hiện phương pháp theo khía cạnh này, trong đó chất lỏng là nước, nước thải, hỗn hợp nước thải và bùn vi sinh, hoặc chất lỏng có các tính chất vật lý (khối lượng riêng, độ nhớt) trong khoảng đã nêu và khí để kéo chất lỏng lên là không khí nén được cấp từ máy nén không khí.

Theo một phương án thực hiện phương pháp theo khía cạnh này, trong đó chất lỏng là nước thải hoặc chất lỏng có thể xử lý yếm khí và trong đó khí để kéo chất lỏng lên là khí nội sinh tạo ra từ quá trình xử lý yếm khí chất lỏng. Theo một cách của phương án này, có thể cấp bổ sung không khí nén vào đầu dưới (4) của ống dẫn chất lỏng lên (5) để kết hợp cùng với khí nội sinh kéo chất lỏng lên.

Các phương án theo khía cạnh này có thể được ứng dụng trong các phương pháp và hệ thống cần sự tuần hoàn chất lỏng, ví dụ trong phương pháp và hệ thống tuần hoàn chất lỏng như được thể hiện trên các Hình 1-3 nêu trên. Theo đó, các nội dung và biện luận cho phương pháp và hệ thống tuần hoàn chất lỏng nêu trên cũng được áp dụng cho các phương án bơm chất lỏng và ngược lại.

Ví dụ thực hiện sáng chế

Ví dụ 1: sử dụng không khí nén để kéo chất lỏng là nước trong hệ thống như được thể hiện trên hình 1.

Bảng 2 dưới đây thể hiện sự thay đổi giá trị của K tại tiết diện ống $S = 0,000206 \text{ m}^2$ (đường kính ống $d = 0,0162 \text{ m}$), tỷ lệ giữa chiều sâu ngập nước H_1 và chiều cao dâng nước H_2 tăng, và vận tốc khí v_k giảm từ $8,3 \cdot 10^{-5}$ đến $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ (hay từ 5 đến 1 lít/phút)

Bảng 2

H ₁ (m)	H ₂ (m)	H ₁ /H ₂	Q _K (m ³ /s)	8,3.10 ⁻⁵	6,7.10 ⁻⁵	5.10 ⁻⁵	3,3.10 ⁻⁵	1,7.10 ⁻⁵
			v_k (m/s)	0,404	0,323	0,242	0,162	0,081
1,85	0,5	3,70	K	1,57	1,75	1,98	2,25	2,55
			Q _N (m ³ /s)	13,1.10 ⁻⁵	11,7.10 ⁻⁵	9,91.10 ⁻⁵	7,51.10 ⁻⁵	4,25.10 ⁻⁵
2,85	0,5	5,70	K	1,86	2,12	2,46	2,92	3,54
			Q _N (m ³ /s)	16.10 ⁻⁵	14.10 ⁻⁵	12.10 ⁻⁵	9,7.10 ⁻⁵	5,9.10 ⁻⁵
2,85	0,2	14,25	K	2,29	2,68	3,25	4,18	5,99
			Q _N (m ³ /s)	19,1.10 ⁻⁵	17,9.10 ⁻⁵	16,3.10 ⁻⁵	13,9.10 ⁻⁵	10.10 ⁻⁵
2,85	0,1	28,50	K	2,46	2,91	3,58	4,72	7,26
			Q _N (m ³ /s)	20,5.10 ⁻⁵	19,4.10 ⁻⁵	17,9.10 ⁻⁵	15,7.10 ⁻⁵	12,1.10 ⁻⁵

Số liệu thực nghiệm từ Bảng 2 cho thấy, khi tỷ lệ H₁/H₂ tăng dần và/hoặc vận tốc khí $v_k = \frac{Q_K}{S}$ giảm dần, thì giá trị đạt được của K tăng dần.

Bảng 3 dưới đây thể hiện sự thay đổi giá trị của K tại H₁ = 2,85 m và H₂ = 0,5m với các tiết diện ống S tăng từ 0,000206 m² (đường kính ống d = 0,0162 m) đến 0,00158 m² (đường kính ống d = 0,0448 m, tại cùng một lưu lượng khí hoặc tại các lưu lượng khí Q_K giảm dần từ 10.10⁻⁵ đến 1,7.10⁻⁵ m³/s (6 lít/phút đến 1 lít/phút) cũng chỉ ra rằng giá trị đạt được của K tăng khi tiết diện ống S tăng. Mối liên hệ giữa Q_K và S được thể hiện qua phương trình $v_k = \frac{Q_K}{S}$ tối thiểu phải đạt 0,053 m/s (191 m/h), đây cũng chính là giá trị tối ưu khi lựa chọn tiết diện ống dẫn chất lỏng lên trong hệ khí kéo nước.

Bảng 3

S (m^2)		Q_K (m^3/s)						
		10.10^{-5}	$8,3.10^{-5}$	$6,7.10^{-5}$	5.10^{-5}	$3,3.10^{-5}$	$2,5.10^{-5}$	$1,7.10^{-5}$
0,000206	v_K (m/s)	-	0,404	0,323	0,242	0,162	0,121	0,081
	K	-	1,86	2,12	2,46	2,92	3,21	3,54
	Q_N (m^3/s)	-	16.10^{-5}	14.10^{-5}	12.10^{-5}	$9,7.10^{-5}$	$8,0.10^{-5}$	$5,9.10^{-5}$
0,000445	v_K (m/s)	-	0,187	0,150	0,112	0,075	0,056	0,037
	K	-	2,98	3,21	3,45	3,70	3,82	-
	Q_N (m^3/s)	-	25.10^{-5}	21.10^{-5}	17.10^{-5}	12.10^{-5}	$9,6.10^{-5}$	-
0,00158	v_K (m/h)	0,063	<u>0,053</u>	0,042	0,032	-		-
	K	3,98	4,03	0	0	-		-
	Q_N (m^3/s)	$39,8.10^{-5}$	$33,6.10^{-5}$	0	0	-		-

Hiệu quả đạt được của sáng chế

Phương pháp theo sáng chế cho phép xác định và/hoặc điều chỉnh lượng chất lỏng được kéo lên (lượng chất lỏng cần tuần hoàn) bởi mỗi lượng khí trong ống dẫn chất lỏng lên thẳng đứng khi điều chỉnh các yếu tố: (i) lưu lượng khí Q_K , (ii) chiều sâu ngập trong chất lỏng H_1 của ống, (iii) chiều cao dâng chất lỏng H_2 , (iv) khối lượng riêng của chất lỏng ρ , (v) độ nhớt của chất lỏng μ , và (vi) tiết diện ống S ở điều kiện áp suất khí quyển P_a .

Phương pháp theo sáng chế cho phép nâng cao hiệu suất kéo chất lỏng lên tới mức $\geq 80\%$ so với mức 60% của tình trạng kỹ thuật đã biết.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp tuần hoàn chất lỏng bằng khí trong hệ thống cần sự tuần hoàn chất lỏng, hệ thống này bao gồm:

vật chứa chất lỏng (1);

ống dẫn chất lỏng lên (5) có một phần ngập trong chất lỏng một đoạn H_1 gọi là chiều sâu ngập trong chất lỏng và một phần nhô lên khỏi chất lỏng một đoạn H_2 gọi là chiều cao dâng chất lỏng;

bộ phận cung cấp khí vào đầu dưới (4) của ống dẫn chất lỏng lên (5);

bộ phận tách pha lỏng-khí (6) bố trí phía trên vật chứa chất lỏng (1) và chứa một phần nhô lên của ống dẫn chất lỏng lên (5); và

ống tuần hoàn chất lỏng (7) kéo dài từ phần dưới của bộ phận tách pha lỏng-khí (6) tới phần dưới của vật chứa chất lỏng (1);

trong đó phương pháp này bao gồm các bước:

(i) cấp chất lỏng vào vật chứa chất lỏng (1) để ống dẫn chất lỏng lên (5) ngập trong chất lỏng này một đoạn H_1 ;

(ii) cấp khí vào đầu dưới (4) của ống dẫn chất lỏng lên (5) để kéo lượng chất lỏng cần tuần hoàn lên bộ phận tách pha lỏng-khí (6); và

(iii) tuần hoàn theo cách tự nhiên lượng chất lỏng này trở lại vật chứa chất lỏng (1) thông qua ống tuần hoàn chất lỏng (7); trong đó:

lượng chất lỏng cần tuần hoàn được kéo lên bởi mỗi lượng khí trong ống dẫn chất lỏng lên (5) thẳng đứng ở bước (ii) được xác định bằng các phương trình (1) và (2) dưới đây:

$$Q_N = K \cdot Q_K \quad (1)$$

trong đó K được xác định theo phương trình (2):

$$\begin{aligned} & \rho g H_2 + 0,85 \frac{\rho Q_k^2}{S^2} K(K+1) - \eta P_a \ln\left(1 + \frac{\rho g H_1}{P_a}\right) + \\ & + 0,1535 \rho^{0,75} \mu^{0,25} Q_K^{0,75} \frac{H_1 + H_2}{d} K \left(\frac{K+1}{S}\right)^{1,875} \frac{1}{\sqrt[4]{\sqrt{K+1}-1}} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

trong các phương trình (1) và (2):

H_1 là chiều sâu ngập trong chất lỏng, m

- H_2 là chiều cao dâng chất lỏng, m
 Q_N là lưu lượng chất lỏng trong ống dẫn chất lỏng lên (5), m³/s
 Q_K là lưu lượng khí cấp vào ống dẫn chất lỏng lên (5), m³/s
 d là đường kính ống dẫn chất lỏng lên (5), m
 S là tiết diện ống dẫn chất lỏng lên (5), m²
 g là gia tốc trọng trường, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
 ρ là khối lượng riêng của chất lỏng ở 25°C, kg/m³
 μ là độ nhớt động lực (dynamic) của chất lỏng ở 25°C, N.s/m²
 $(1\text{N} = 1\text{kg.m/s}^2)$
 P_a là áp suất khí quyển, $P_a = 101.300 \text{ Pa} = \text{N/m}^2$ ($1\text{N} = 1\text{kg.m/s}^2$)
 η là hiệu suất quá trình, %;

trong đó H_1 và H_2 phải thỏa mãn đồng thời các điều kiện sau:

H_2 nằm trong khoảng từ 0,1 đến 0,5 m;

$H_1 \geq 1,85 \text{ m}$;

$\frac{H_1}{H_2} \geq$ một giá trị nằm trong khoảng từ 3,7 đến 18,5; và

mối liên hệ giữa Q_K và S được thể hiện qua phương trình vận tốc khí $v_k = \frac{Q_K}{S}$ phải đảm bảo đạt tối thiểu 0,053 m/s.

2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó H_2 bằng 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 hoặc 0,5 m và mối quan hệ giữa H_1 và H_2 được thể hiện như dưới đây:

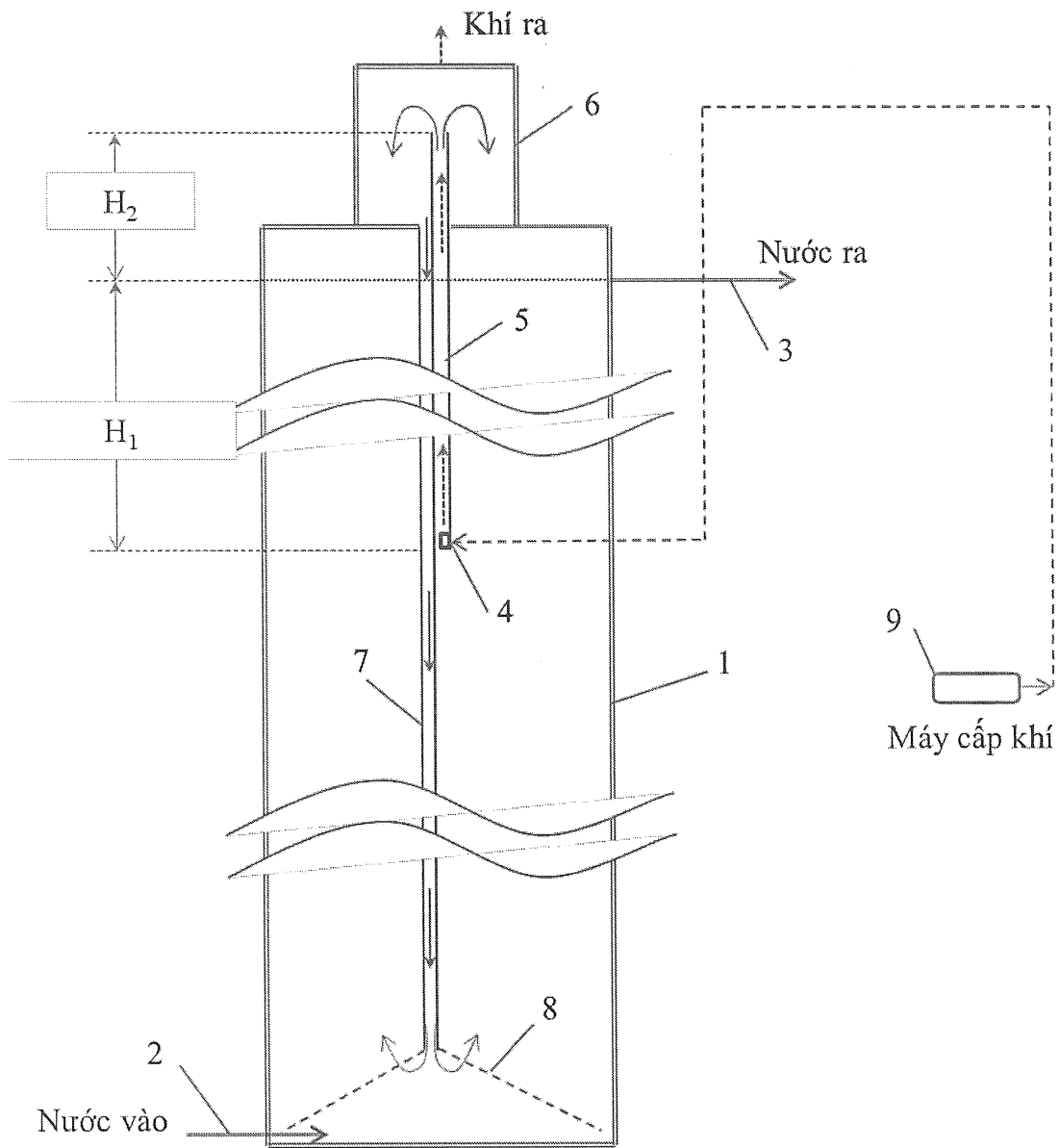
$H_2 \text{ (m)}$	$\frac{H_1}{H_2}$
0,1	$\geq 18,5$
0,2	$\geq 9,25$
0,3	$\geq 6,17$
0,4	$\geq 4,62$
0,5	$\geq 3,7$

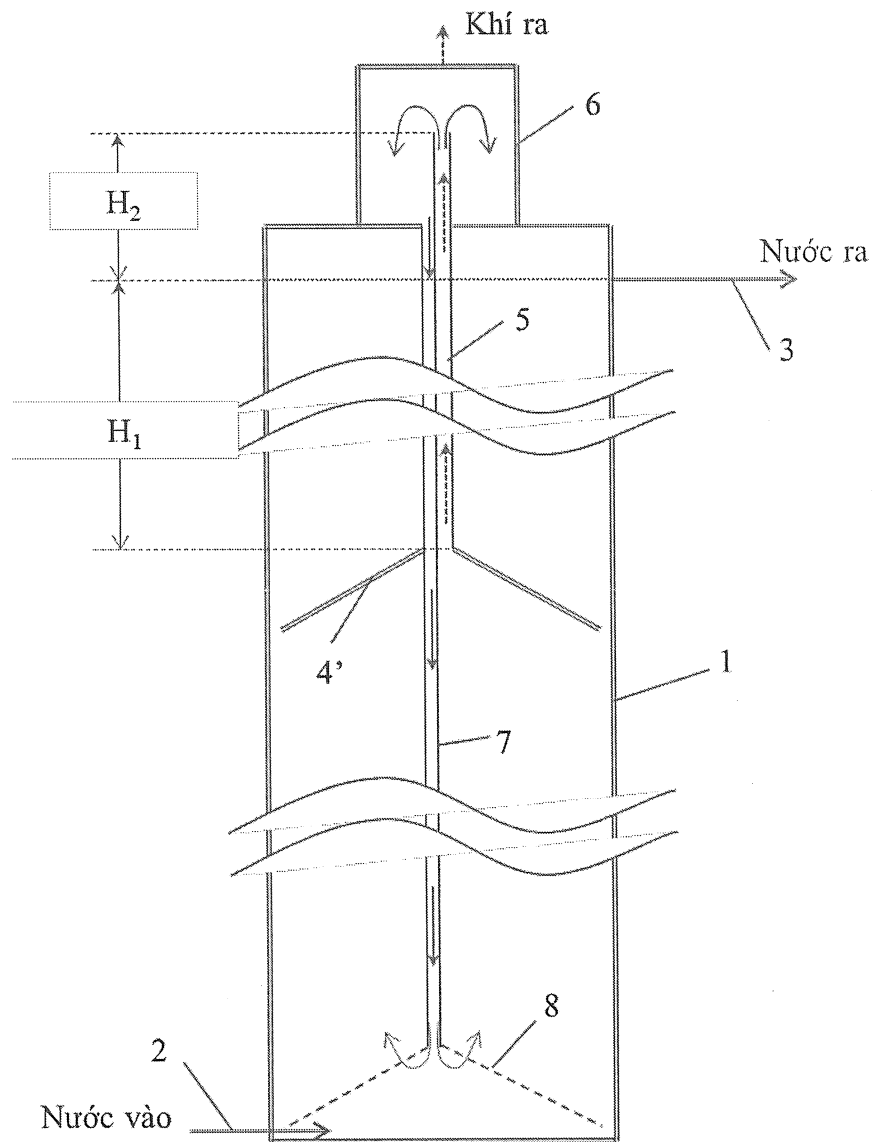
3. Phương pháp theo điểm 1 hoặc 2, trong đó chất lỏng là nước, nước thải, hoặc hỗn hợp nước thải và bùn vi sinh.

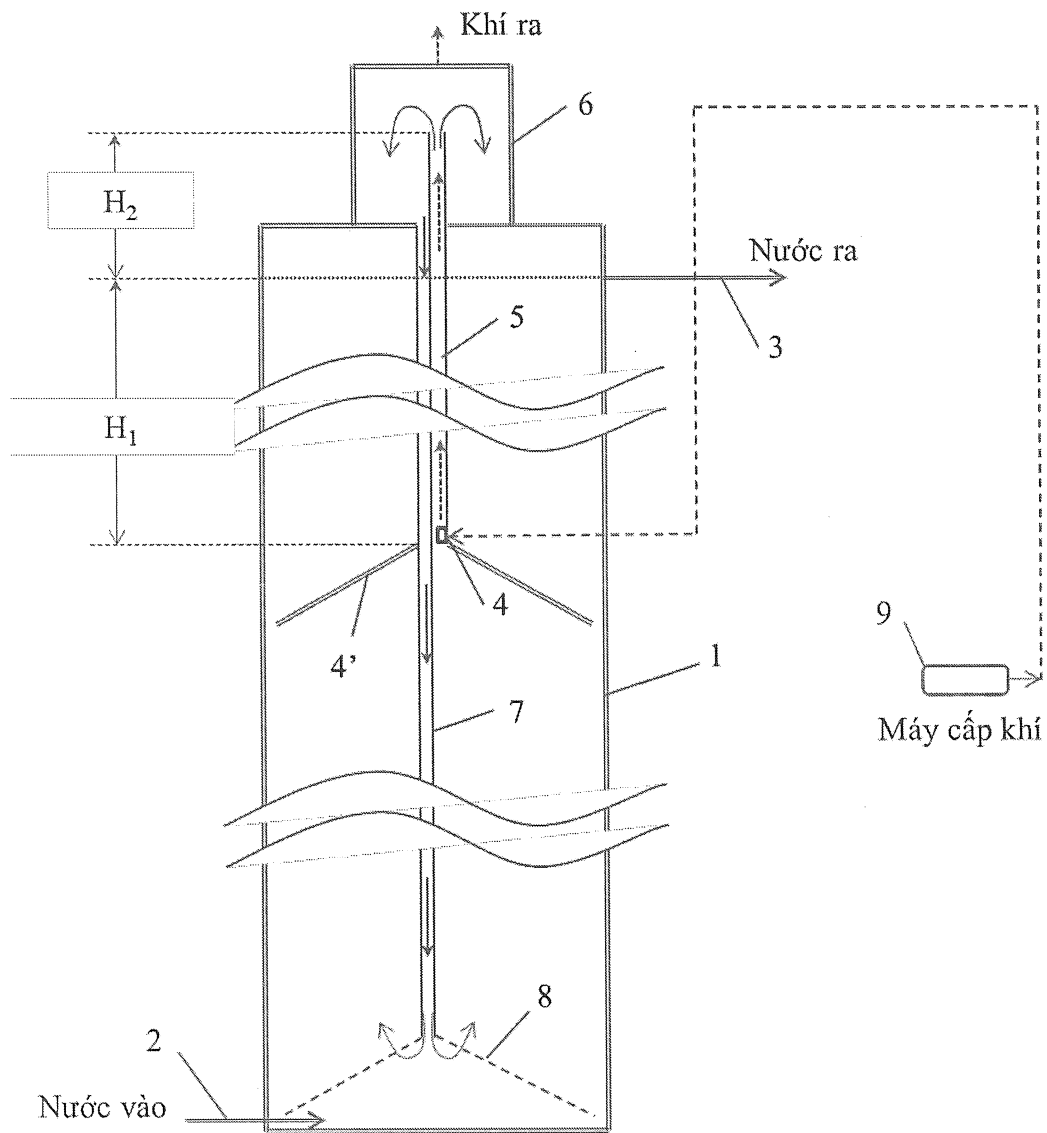
4. Phương pháp theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, trong đó bộ phận cung cấp khí vào đầu dưới (4) của ống dẫn chất lỏng lên (5) là máy nén không khí (9), và khí để kéo chất lỏng lên là không khí nén được cấp từ máy nén không khí này.

5. Phương pháp theo điểm 1 và 2, trong đó chất lỏng là nước thải hoặc chất lỏng có thể xử lý yếm khí trong vật chứa chất lỏng (1), và trong đó bộ phận cung cấp khí vào đầu dưới (4) của ống dẫn chất lỏng lên (5) là bộ tách pha lỏng-khí và thu khí nội sinh (4'), bộ này tách và thu khí nội sinh tạo ra từ quá trình xử lý yếm khí chất lỏng trong vật chứa chất lỏng (1) để làm khí kéo chất lỏng lên.

6. Phương pháp theo điểm 5, trong đó bộ phận cung cấp khí còn bao gồm máy nén không khí (9) hoạt động kết hợp với bộ tách pha lỏng-khí và thu khí nội sinh (4') để cấp không khí nén bổ sung vào đầu dưới (4) của ống dẫn chất lỏng lên (5), hỗ trợ việc kéo chất lỏng lên khi cần.



**Hình 2**



Hình 3