

Hiện tượng xâm thực bơm và cách phòng tránh

Thực hành thiết kế hệ thống bơm hiệu quả

Hiện tượng xâm thực ở bơm không phải là hiện tượng mới, có tác động lớn đến hiệu suất của hệ thống bơm và ngày càng gia tăng. Mặc dù không có số liệu thống kê nhưng không có gì sai sót khi nói rằng trong 5 năm vừa qua hiện tượng xâm thực ở bơm đã tăng lên một cách rõ rệt.

Thông Thường thì máy bơm bị đổ lỗi về chất lượng sản phẩm. Các vấn đề về hệ thống bơm, bao gồm xâm thực, thường biểu hiện ở máy bơm nhưng hiếm khi được gây ra bởi bơm. Trên thực tế, chín trong số 10 sự cố máy bơm không phải do chính máy bơm gây ra mà do các vấn đề như xâm thực, thiết kế hệ thống kém và thiếu bảo trì.

Các vấn đề khác gây ra bởi xâm thực, chẳng hạn như rung động, có thể nghiêm trọng và có thể dẫn đến hư hỏng cơ học cho máy bơm. Các vấn đề liên quan đến hiện tượng xâm thực cũng có khả năng làm giảm tuổi thọ máy bơm từ 10 - 15 năm, xuống chỉ còn 2 năm trong các trường hợp cực đoan.

Tại sao xâm thực gia tăng khi 20 năm trước đây lại sự xuất hiện ít hơn? Một trong những nguyên nhân có thể nằm ở chỗ các kỹ sư thiết kế trong ngành công nghiệp nước hiện đang mong đợi hiểu được một loạt các công nghệ khác nhau. Việc các chuyên gia trong lĩnh vực này trở thành chuyên gia trong một số lĩnh vực khác là không khả thi. Hiện tượng xâm thực chủ yếu là do thiết kế hệ thống bơm kém và thiếu kiến thức về nguyên nhân gây ra xâm thực.

Bài viết này nghiên cứu các nguyên nhân và ảnh hưởng của xâm thực và các quy trình cần được theo dõi trong giai đoạn thiết kế. Các giải pháp tiềm năng cho việc cài đặt để tránh các vấn đề xâm thực được thảo luận; một số trong số này có thể đắt tiền và gây khó khăn. Tin tốt là hiện tượng xâm thực có thể tránh được.

Xâm thực là gì?

Xâm thực có thể có tác động tiêu cực nghiêm trọng đến hoạt động và tuổi thọ của máy bơm. Nó có thể ảnh hưởng đến nhiều khía cạnh của một máy bơm nhưng cánh bơm bị ảnh hưởng nghiêm trọng nhất. Một cánh bơm tương đối mới đã bị xâm thực thường trông giống như nó đã được sử dụng trong nhiều năm; vật liệu cánh có thể bị xói mòn và nó có thể bị hỏng không thể sửa chữa.

Xâm thực xảy ra khi chất lỏng trong máy bơm biến thành hơi ở áp suất thấp. Nó xảy ra do không có đủ áp suất ở cuối đầu hút của bơm hoặc NPSHa không đủ lớn.

Khi xâm thực diễn ra, bọt khí được tạo ra ở áp suất thấp. Khi chất lỏng đi từ phía hút của bánh công tác sang phía cửa xả, bọt khí nổ tung. Điều này tạo ra sóng xung kích đập vào bánh công tác và tạo ra rung động của bơm và hư hỏng cơ học, có thể dẫn đến hỏng hoàn toàn máy bơm.

Áp suất hơi là gì?

Tại một giá trị áp suất và nhiệt độ cụ thể, tùy theo các chất lỏng khác nhau mà các phân tử chất lỏng sẽ chuyển thành hơi. Một ví dụ hàng ngày là một nồi nước trên bếp. Khi đun sôi đến 100°C, bọt khí hình thành ở đáy chảo và hơi nước bốc lên. Điều này cho thấy áp suất hơi và nhiệt độ đã đạt được và nước sẽ bắt đầu sôi.

Áp suất hơi được định nghĩa là áp suất mà tại đó các phân tử chất lỏng sẽ biến thành hơi (xem Hình 1.0). Cần lưu ý rằng áp suất hơi cho tất cả các chất lỏng thay đổi theo nhiệt độ. Nó cũng quan trọng để hiểu rằng áp suất hơi và nhiệt độ có liên hệ với nhau. Một nửa chai nước đầy chân không sẽ bắt đầu sôi mà không cần thêm bất kỳ nhiệt nào.

Áp suất không đổi tác động lên chất lỏng (áp suất khí quyển)

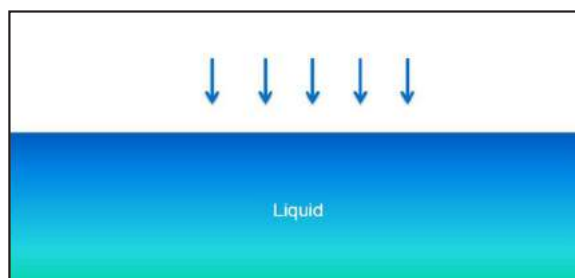


Figure 1.0

Tính chất của nước ở nhiệt độ khác nhau

Bằng cách điều chỉnh áp suất, ta có thể thay đổi nhiệt độ sôi của nước và nước có thể sôi tại nhiệt độ phòng. Hình 2.0 minh họa một bảng nhiệt độ từ 5 đến 100°C với sự thay đổi về áp suất hơi, tỷ trọng và trọng lượng riêng của nước

Temperature Degrees C	Vapour Pressure N/m ²	Density kg/m ³	Specific Gravity
5	871.9	999.9	0.9999
10	1227	999.7	0.9997
15	1704	999	0.999
20	2337	998.2	0.9982
25	3166	997	0.997
30	4242	995.6	0.9956
35	5622	994	0.994
40	7375	992.2	0.9922
45	9582	990.2	0.9912
50	12330	988.1	0.9881
55	15740	985.2	0.9852
60	19920	983.3	0.9833
65	25010	980.4	0.9804
70	31160	977.5	0.9775
75	38550	974.7	0.9747
80	47360	971.8	0.9718
85	57800	969	0.969
90	70110	965.3	0.9653
95	84530	961.5	0.9615
100	101325	957.9	0.9579

Figure 2.0

Ở 50°C, trọng lượng riêng là 999,9, mà một kỹ sư sẽ làm tròn thành 1000. Trọng lượng riêng là 0,9999 hoặc 1. Ở cuối bảng, người ta có thể thấy rằng ở 100 °C, trọng lượng riêng đã thay đổi thành khoảng 958, đáng kể nhưng không phải là sự thay đổi lớn. Nếu một người nhìn vào trọng lượng riêng, nó đã thay đổi từ 1 thành khoảng 0,96.

Độ biến thiên của áp suất hơi tại 50°C, áp suất hơi nước là 872 trong các hình tròn, nhưng ở 100°C là 101000. đây là một thay đổi lớn về áp suất. Điều này có nghĩa là đối với bất kỳ sự kết hợp nào của áp suất và nhiệt độ trong bảng, nước sẽ bắt đầu sôi và biến thành hơi (xem Hình 3.0). Ví dụ, một ly nước chịu áp suất 2337 N / m² ở 20°C sẽ bắt đầu sôi.

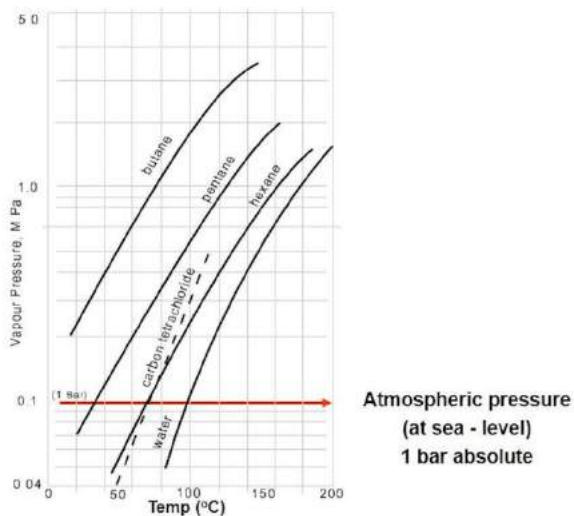


Figure 3.0

Tại 100°C, áp suất hơi là 101325 N / m², là áp suất khí quyển. Với xâm thực người ta phải đối phó với áp lực tuyệt đối, không phải áp lực đo. Bằng cách điều chỉnh nhiệt độ và áp suất, có thể đun sôi nước ở các điểm khác nhau. Các chất lỏng khác có biểu đồ tương tự, nhưng các giá trị sẽ khác nhau.

Ảnh hưởng của áp suất khí quyển được chỉ định trong Hình 3.1, nước sẽ bắt đầu sôi ở áp suất khí quyển 100°C (1 bar) ở mực nước biển. Các chất lỏng khác như hexane, carbon tetrachloride, pentane và butane rất khác nhau và sẽ sôi ở nhiệt độ thấp hơn nhiều so với nước. Butan, ví dụ, sẽ bắt đầu sôi ở nhiệt độ âm.

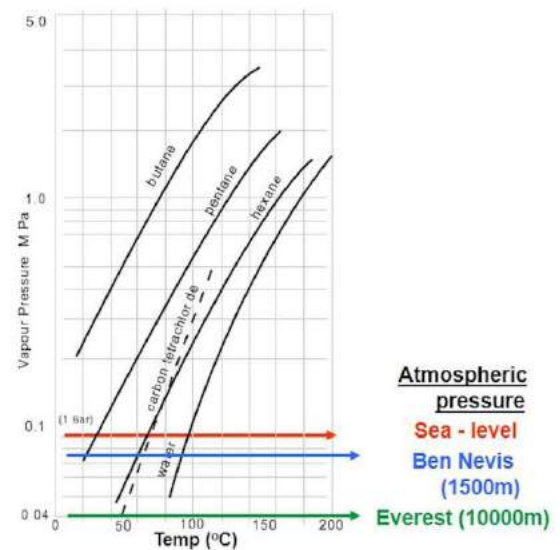


Figure 3.1

Áp suất phụ thuộc vào độ cao. Trong hình 3.1, một đường được vẽ cho đỉnh Ben Nevis, ngọn núi cao nhất ở Vương quốc Anh ở độ cao 1.344 mét, và đường lên đỉnh Everest ở Nepal ở độ cao 8.848 mét. Bảng này chứng minh rằng ở đỉnh Ben Nevis, áp suất hơi của nước đã giảm đủ để cho phép nó bắt đầu sôi ở 80°C. Mặc dù không chắc là máy bơm sẽ được lắp đặt trên đỉnh của những ngọn núi này, nhưng đó là trường hợp máy bơm sẽ được sử dụng ở nhiều địa điểm khác nhau trên thế giới với độ cao tương tự, bao gồm cả Nam Phi, cao hơn 1.700 mét so với mực nước biển. Ở những nơi như vậy, điều quan trọng là xác định sự thay đổi áp suất hơi cho vị trí đó.

Tác động của xâm thực lên máy bơm

Xâm thực gây ra sự suy giảm hiệu suất của máy bơm, hư hỏng cơ học, tiếng ồn và rung động cuối cùng có thể dẫn đến hỏng bơm. Rung là một triệu chứng phổ biến của xâm thực, và nhiều lần là dấu hiệu đầu tiên của một vấn đề. Rung gây ra vấn đề cho nhiều thành phần bơm, bao gồm trục, vòng bi và vòng đệm.



Lỗ hổng trên cánh bơm



Cánh bơm bị xâm thực

Những bức ảnh này cho thấy thiệt hại xâm thực đối với một bánh công tác với các phân đoạn bị sút mẻ và thiệt hại cơ học nghiêm trọng.

Làm thế nào để tránh xâm thực

Giả sử không có thay đổi về điều kiện hút hoặc tính chất của chất lỏng trong quá trình vận hành, xâm thực có thể tránh được dễ dàng nhất trong giai đoạn thiết kế. Điều quan trọng là phải hiểu Net Positive Suction Head (NPSH) và tính đến nó trong suốt quá trình thiết kế. Để hiểu thuật ngữ này dễ dàng hơn, thật hữu ích khi chia nhỏ nó:

- **Net**: đề cập đến những gì còn lại sau khi tất cả các khoản khấu trừ đã được thực hiện
- **Positive**: Áp suất dương dễ dàng xác định
- **Suction head**: áp suất tại đầu hút của máy bơm

NPSH được định nghĩa là chênh lệch giữa áp suất hiện hữu ở đầu hút bơm và áp suất hơi của chất lỏng. Áp suất hơi là khác nhau đối với các chất lỏng khác nhau và thay đổi theo áp suất và nhiệt độ.

Áp suất hiện hữu ở đầu vào bơm là những gì còn lại sau khi mất vì ma sát, và tổn thất đầu vào và đầu ra đã được tính đến trong đường ống hút của hệ thống bơm. Do đó, trong giai đoạn thiết kế, cần phải tính toán những tổn thất này trong đường hút và khấu trừ những tổn thất này tại đầu hút sẵn có của máy bơm. Vì vậy, tại điểm lắp đặt máy bơm, sẽ còn lại một áp lực hiện hữu tại đầu bơm

Net Positive Suction Head Available (NPSHa)

Net Positive Suction Head Available (NPSHa) không liên quan gì đến máy bơm; nó là một giá trị cụ thể được xác định bởi việc thiết kế của hệ thống đang được xem xét. NPSHa là áp suất sẵn tại mặt bích kết nối đầu hút của bơm đang được đề cập và hoàn toàn độc lập với máy bơm được lắp đặt ở đó. Đó là sự chênh lệch giữa áp suất ở mặt bích đầu vào bơm và áp suất hơi của chất lỏng khi lắp đặt và được xác định bởi thiết kế có cấu trúc hệ thống và cao độ tương đối của ống hút của một hệ thống cụ thể.

$$\text{NPSHa} = P_{\text{pump inlet}} - \text{vapor pressure (m)}$$

Áp lực hiện hữu ở đầu vào bơm là phần còn lại sau khi đã khấu trừ tất cả các tổn thất như mô tả ở trên.

Net Positive Suction Head Required (NPSHr)

Net Positive Suction Head Required (NPSHr) là một đặc tính bơm không liên quan đến hệ thống. Tất cả các máy bơm, NPSHr đều khác nhau và các giá trị có thể được cung cấp từ nhà sản xuất máy bơm.

Điều gì gây ra xâm thực?

Xâm thực xảy ra trong một máy bơm khi nhiệt độ và áp suất của chất lỏng tại đầu hút của bánh công tác bằng với áp suất hơi của chất lỏng. Nó có thể xảy ra ở áp suất thấp và nhiệt độ hoạt động bình thường. Nó dẫn đến việc chất lỏng chuyển thành hơi và tạo ra nhiệt độ và áp suất rất cao, có thể đạt khoảng 10.000K(9726 oC) và 1GN / m2 (10000bar).

Bong khí hình thành trong quá trình xâm thực. Khi áp suất trong máy bơm tăng lên, những bong bóng đó sụp đổ dưới dạng một vụ nổ - cũng dữ dội như một vụ nổ. Vụ nổ khiến sóng xung kích truyền qua chất lỏng và đâm vào bánh công tác gây ra thiệt hại cơ học.



Impeller damage.

NPSHr được định nghĩa là chênh lệch giữa áp suất ở đầu vào bơm và áp suất hơi cần thiết cho bơm đang xét. Không nên lấy giá trị này để đảm bảo rằng xâm thực sẽ không xảy ra, bởi vì nó được đo trong quá trình thử nghiệm khi bơm chỉ bắt đầu xâm thực. Sự khởi đầu của xâm thực được đo là điểm cột áp đẩy của bơm giảm 3%.

Do đó, cần phải đảm bảo rằng NPSHa lớn hơn NPSHr và vì thế, một giá trị áp suất dư (margin) được xây dựng theo phương trình.

$$\text{NPSHa} \geq \text{NPSHr} + \text{margin}$$

Nguyên tắc vàng là đảm bảo luôn có đủ áp suất dư để tránh xâm thực. Giá trị của áp suất dư thường được chỉ định nội bộ bởi các chuyên gia tư vấn thiết kế, nhưng các nhà sản xuất máy bơm sẽ luôn đưa ra lời khuyên. Thông thường, giá trị áp suất dư khoảng 1,5 mét là đủ để tránh hiện tượng xâm thực.

NPSHa là một đặc điểm của thiết kế hệ thống có thể kiểm soát. Mọi nỗ lực nên được thực hiện ở giai đoạn thiết kế để đảm bảo có đủ NPSHa trong một hệ thống. Hậu quả của việc không làm như vậy có thể chứng minh là tốn kém khi khắc phục hiện tượng xâm thực

Hiểu về hiện tượng xâm thực

Hình 4.0 minh họa một mặt cắt ngang của một đoạn ống hút và bánh công tác trong máy bơm. Nó xác định 5 vị trí. Xem xét dòng chất lỏng chảy qua máy bơm từ vị trí 1 đến 5, rõ ràng là điều này tương đương với hệ thống dòng chảy ống liên tục và lưu lượng ở mọi vị trí từ 1 đến 5 phải không đổi.

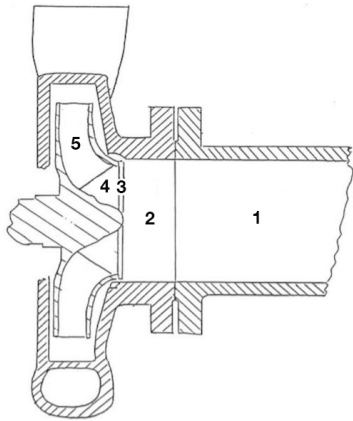


Figure 4.0

Theo định nghĩa, vì có tiết diện lớn ở vị trí 1, đi xuống khu vực có tiết diện rất nhỏ, vận tốc nước tại bánh công tác cao hơn nhiều so với trong ống hút.

Khi vận tốc trong hệ thống ống tăng, áp suất giảm và khi vận tốc giảm, áp suất tăng. Lý do cho điều này là một vận tốc cao hơn tạo ra tổn thất áp lớn hơn, do đó gây lãng phí năng lượng. Lý tưởng nhất, là không mất áp. Hiệu quả tương tự như vòi nước tưới vườn. Tốc độ dòng chảy của nước là như nhau, nhưng tốc độ có thể tăng lên bằng cách bóp đầu vòi. Nước rời khỏi vòi có đầu vận tốc cao nhưng ở áp suất khí quyển.

Hình 4.1 cho thấy áp suất tại các vị trí khác nhau trong máy bơm. Nó chứng tỏ rằng áp suất qua bánh công tác giảm xuống và sau đó phục hồi khi nó rời khỏi máy bơm. Điều này là do thực tế là đường kính của bánh công tác nhỏ so với ống hút và bánh công tác bơm đang bổ sung năng lượng cho chất lỏng, do đó làm tăng áp suất của nó.

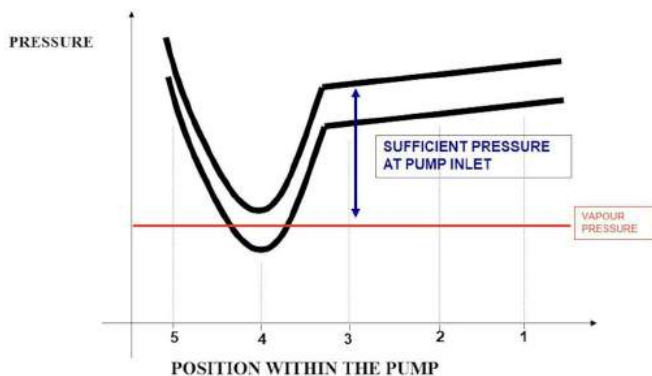


Figure 4.1

Đồ thị hệ thống bơm tốt và xấu

Hình 5.0 minh họa sự thay đổi áp suất thông qua một cánh bơm với hai đường được vẽ, một màu đỏ và một màu xanh lá cây, để biểu thị áp suất hơi của các chất lỏng khác nhau được bơm.

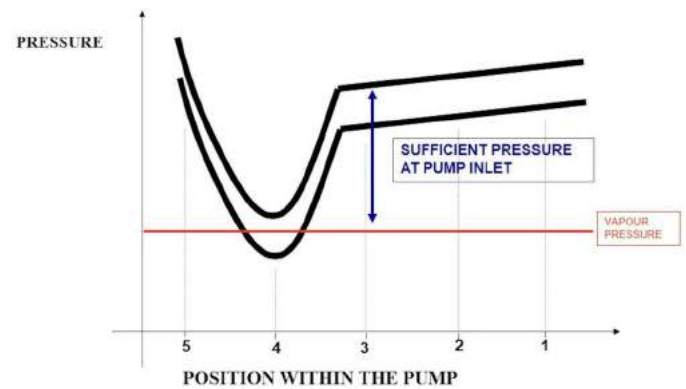


Figure 5.0

Trong trường hợp đường áp suất hơi đỏ bị cắt ngang bởi đường biểu thị áp suất thì tại vị trí đó - áp suất tại cánh bơm, sẽ thấp hơn áp suất hơi của chất lỏng. Điều này có nghĩa là hệ thống, trong đó máy bơm được lắp đặt, không cung cấp đủ NPSHa, và theo định nghĩa, xâm thực sẽ xảy ra.

Đối với đường áp suất hơi màu xanh lá cây, đường cong không cắt ngang qua đường tại bất kỳ điểm nào. Điều này cho thấy có đủ NPSHa và áp suất sẽ không giảm xuống dưới áp suất hơi của chất lỏng. Hệ thống này đã được thiết kế chính xác, và xâm thực sẽ không xảy ra.

Tránh xâm thực

Như đã thảo luận ở trên, điều quan trọng là phải đảm bảo có đủ NPSHa để chất lỏng vẫn ở trên áp suất hơi.

Thử nghiệm xâm thực bơm được thực hiện bởi nhà sản xuất xác định NPSHr cho mỗi bơm. Trong giai đoạn thiết kế, nhà sản xuất sẽ có thể cung cấp NPSHr cho bất kỳ máy bơm nào đang được xem xét.

Theo Hình 6.0, đường cong NPSHr của bơm có được thông qua thử nghiệm bằng cách khởi động bơm và chạy nó ở một áp suất và lưu lượng nhất định. Áp suất đầu đẩy và lưu lượng được đo và áp suất hút cũng được đo. Việc hút vào máy bơm sau đó được điều tiết, mô phỏng việc giảm NPSHa cho đến khi áp suất đầu đẩy của bơm giảm 3%. Tại thời điểm này, áp suất hút được ghi lại cùng với lưu lượng dòng chảy, và điều này trở thành một điểm trên đường cong NPSHr Q-H. Thử nghiệm được lặp lại cho các tốc độ dòng chảy và áp suất khác nhau cho đến khi thực hiện đủ các phép đo để vẽ đường cong NPSHr.

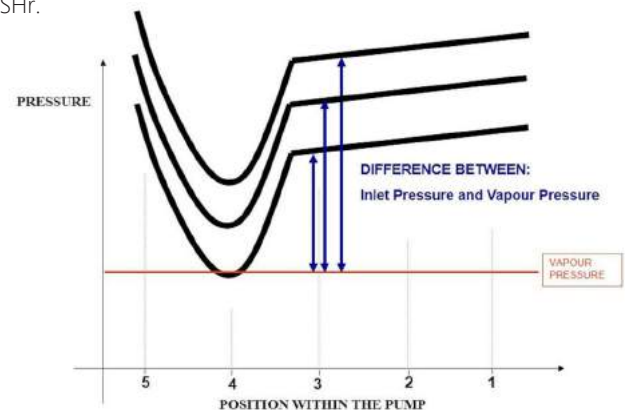


Figure 6.0

Phần kết luận

Không thể có ngay bản thiết kế hệ thống bơm để tránh xâm thực. Trong quá trình thiết kế, có thể dễ dàng xác định giá trị của NPSHa (không phụ thuộc vào bơm). NPSHa sau đó có thể được so sánh với NPSHr cho các loại máy bơm đang được xem xét. Nếu không có đủ NPSHa, việc thay đổi thiết kế hệ thống sẽ dễ dàng hơn nhiều so với sau khi đã xây dựng và lắp đặt. Chúng tôi khuyến nghị rằng mọi thay đổi cần thiết đều được thực hiện ở giai đoạn thiết kế vì mọi chi phí phát sinh thêm sẽ thấp hơn nhiều so với chi phí khắc phục cài đặt khi có vấn đề xâm thực.

Trong trường hợp cần khắc phục bơm đang bị xâm thực về cơ bản chỉ có hai giải pháp có thể giải quyết vấn đề. Đầu tiên là tăng NPSHa vào bơm hoặc giảm NPSHr bằng bơm.

Các tùy chọn có sẵn để tăng NPSHa sẽ phụ thuộc vào bản chất của hệ thống được đề cập. Điều này có thể bao gồm tăng áp lực lên đầu hút của máy bơm, hoặc giảm tổn thất ma sát trong hệ thống đường ống để tạo thêm áp lực cho máy bơm. Tăng áp lực cung cấp

có thể đạt được bằng cách nâng mực nước tĩnh, tạo áp lực cho bể cấp, sử dụng bơm tăng áp hoặc giảm tổn thất ma sát trong hệ thống đường ống bằng cách sử dụng ống có đường kính lớn hơn hoặc ít linh kiện và phụ kiện hơn. Áp lực có thể được cung cấp cho bể cấp với việc sử dụng bơm tăng áp.

Tuy nhiên, đây hiếm khi là các tùy chọn khả thi cho cài đặt hiện có và hầu như không thực tế do vấn đề không gian, chi phí. Tương tự, hiếm khi thay thế hệ thống đường ống hút bằng đường kính lớn hơn.

Tùy chọn thứ hai để giải quyết xâm thực máy bơm khi đã cài đặt hiện tại là thay thế máy bơm bị hỏng bằng máy bơm có NPSHr thấp hơn hoặc cài đặt song song bằng nhiều máy bơm.

Trong nhiều trường hợp, các tùy chọn trên có thể không khả thi và trong mọi trường hợp chúng có thể liên quan đến chi phí và sự gián đoạn hệ thống đáng kể.

Thiết kế tốt để tránh hiện tượng xâm thực luôn là lựa chọn tốt nhất.