

Đánh giá bằng thực nghiệm nguy cơ nổ chai chứa LPG

(Experimental evaluation of LPG tank explosion hazards, Jan Stawczyk Faculty of Process and Environmental Engineering, Technical University of Lodz, ul. Wolczanska 215, 90-924 Lodz, Poland)

Ngày 10 tháng 08 năm 2005 Phạm Công Tôn dịch.

Tóm tắt: LPG được tồn trữ dưới dạng lỏng trong bồn kín dưới áp suất khá cao. Trong trường hợp tai nạn, bồn bị va đập, 1 số lượng lớn hơi gas và năng lượng sẽ được giải phóng đủ để phá hủy bồn và khu vực xung quanh. Bài viết này mô tả vụ nổ thử nghiệm 1 bồn chứa LPG nhỏ. Những thiết bị thu nhận thông số của bình sẽ cung cấp khả năng nghiên cứu cơ chế diễn tiến vụ nổ và hiểu biết thêm về những nguy cơ của nó. Thử nghiệm cho phép ghi nhận nhiệt độ và áp suất của bình vào thời điểm xảy ra nổ vỡ. Kết quả nghiên cứu cũng giúp dựng lại diễn tiến vụ nổ từ đó nhận diện được những nguy hiểm của sự vỡ bồn LPG. Quá trình trạng thái môi chất vượt quá điểm tới hạn cũng được làm rõ.

1. Giới thiệu:

Khí hóa lỏng (LPG) là các chất như Propan, Butan và Clorin được chuyên chở và tồn trữ dưới dạng lỏng với áp suất tương đối cao trong bồn chứa kín. Nếu vì lý do nào đó, bồn chứa này bị hư hỏng, sự giảm áp suất đột ngột sẽ giải phóng một lượng lớn năng lượng và khí, có khả năng làm vỡ bồn tàn phá môi trường xung quanh. Mức độ nguy hiểm phụ thuộc vào khối lượng chất được giải phóng, tốc độ giải phóng, tính chất vật lý và hóa học của chất vào thời điểm được giải phóng, khả năng cháy nổ và độc tính của những chất thoát ra trong vụ nổ.

Nhiều khi, dòng khí hoá lỏng giải phóng ra với lưu lượng nhỏ và không gây hại cho môi trường. Nguy hiểm nhất là hiện tượng nổ do sự giãn nở đột ngột khi hóa hơi của các chất lỏng sôi (gọi tắt là hiện tượng BLEVE – boiling liquid expanding vapor explosion). Sự tàn phá của những vụ nổ như vậy thường liên quan đến sự chuyển đổi đột ngột từ pha lỏng sang pha hơi của khí hoá lỏng.

2. Hiện tượng nổ do sự giãn nở đột ngột khi hóa hơi của các chất lỏng sôi (dưới đây sẽ viết tắt là nổ do dẫn nở - ND)

Nổ do dẫn nở xảy ra khi chất lỏng có nhiệt độ cao hơn nhiệt độ sôi tương ứng của nó ở áp suất khí quyển bất ngờ được giải phóng ra ngoài. Sự rò rỉ này xảy ra do sự hư hỏng, thường là ở nhiều chỗ khác nhau trên bồn chứa. Những bồn chứa này thường bị rò rỉ do tác động ngoại lực, do quá đầy, do chiều dày bị rỉ mòn hay bị va đập cơ học, ví dụ như xe bồn bị tai nạn giao thông.

Tình thế thường gặp nhất là khi một bình chứa khí hóa lỏng bị lửa đốt. Vì bồn chứa hấp thụ nhiệt mạnh từ ngọn lửa, nhiệt độ chất lỏng bên trong nhanh chóng tăng cao. Áp lực bên trong bồn gia tăng do tốc độ bay hơi gia tăng. Ứng suất nhiệt, áp suất trong và sự yếu đi của bồn chứa do nhiệt, tất cả tạo thành tác nhân gây vỡ bồn đột ngột. Hầu hết khí hóa lỏng còn lại sẽ bay hơi tức thì do áp suất giảm đột ngột, phần còn lại tung tóe thành những giọt nhỏ do lực nổ.

Vì rằng vụ nổ xảy ra do lửa đốt, khi khí hóa lỏng phát tán ra ngoài, nếu là loại dễ cháy, khí này sẽ bốc cháy. Chính vì vậy, dạng của vụ nổ do dẫn nở khí thường có dạng 1 đám cháy lớn hay là 1 quả cầu lửa.

Trong 1 bình chứa khí hóa lỏng dưới áp lực, nếu áp suất bị giảm đột ngột, sự cân bằng giữa 2 pha lỏng và hơi bị thay đổi dẫn đến 1 lượng lỏng sẽ bay hơi đột ngột. Điều này có thể đưa đến cả lỏng và hơi bị đẩy về mọi phía, đóng góp đáng kể vào năng lượng nổ.

Cơ chế của vụ nổ do dẫn nổ vẫn còn chưa được làm rõ. Trong các tài liệu khoa học, nhiều giả thiết khác nhau đã được thảo luận. Những giả thiết này chủ yếu đề cập đến sự quá nhiệt của chất lỏng trong bồn. Người ta đoán rằng sự mất áp lực bất ngờ của khí hóa lỏng dẫn đến sự phân hủy thành những bọt khí toàn bộ khối lỏng trong bồn. Điều này tạo ra cái gọi là sự nổ do quá nhiệt của lỏng và hơi. Reid, trong giả thiết của mình, đã liên kết lực nổ với mức độ quá nhiệt của khối chất lỏng vào thời điểm vỡ bồn.

Trên thực tế, chất lỏng chỉ sôi khi đã có một độ quá nhiệt nào đó hay nói cách khác khi xảy ra hiện tượng sôi, nhiệt độ của khối chất lỏng phải cao hơn nhiệt độ sôi theo lý thuyết. Quá trình này được gọi là “sôi bọt (bubble nucleation)”. Khi sôi bọt, bọt khí được tạo ra ở những điểm được gọi là “nhân sôi”. Nhân sôi thường hình thành trong lớp chất lỏng nằm sát bề mặt cấp nhiệt hay tại các vết bẩn nhỏ, các vết dị thường về tinh thể, ion trên bề mặt nhận nhiệt. Nếu không có nhân sôi, nhiệt độ của khối chất lỏng sẽ gia tăng cho đến khi đạt đến biên giới hạn của miền quá nhiệt. Đây là trạng thái không ổn định và chỉ cần 1 nhân sôi duy nhất cũng đủ để tạo nên sự sôi mãnh liệt trong toàn bộ khối chất lỏng. Ở chế độ quá nhiệt cao như vậy, nhân sôi thường là các bọt khí nhỏ được tạo ra ngay bên trong khối chất lỏng.

Nguyên nhân của việc bồn chứa bị phá vỡ một cách đột ngột có thể là sự không đủ bền của bình, sự gia tăng áp suất bất ngờ do sự va đập cơ học của khối chất lỏng trương phình lên khi bị mất áp lực (khởi đầu do nứt hay rách bồn chứa), do sự làm nguội bất ngờ của vùng thân bồn ở chỗ bị rách vì hơi và lỏng trào ra ở đây. Sự làm nguội bất ngờ này tạo ra ứng suất nhiệt làm cho bồn vỡ không kiểm soát.

Những hiện tượng sau đây được quan sát thấy khi môi chất bên trong bồn được phóng thích ra môi trường xung quanh:

- Bùng cháy của chất lỏng bị đốt.
- Phát sinh sóng nổ.
- Hình thành những vật văng bắn sơ cấp và thứ cấp.
- Hình thành quả cầu lửa.

3. Những nhân tố nguy hiểm

Những nguy cơ đi theo sau vụ nổ do dẫn nổ khí là sự văng bắn và sóng nổ. Nếu môi chất trong bồn chứa độc thì vùng đất có thể bị ô nhiễm hóa học. Mặt khác, nếu môi chất là chất cháy, có thể dẫn đến cháy nổ dây chuyền. Nếu chất cháy nổ không cháy ngay, sự lan rộng vùng cháy hay hiện tượng nổ thứ cấp có thể xảy ra sau đó.

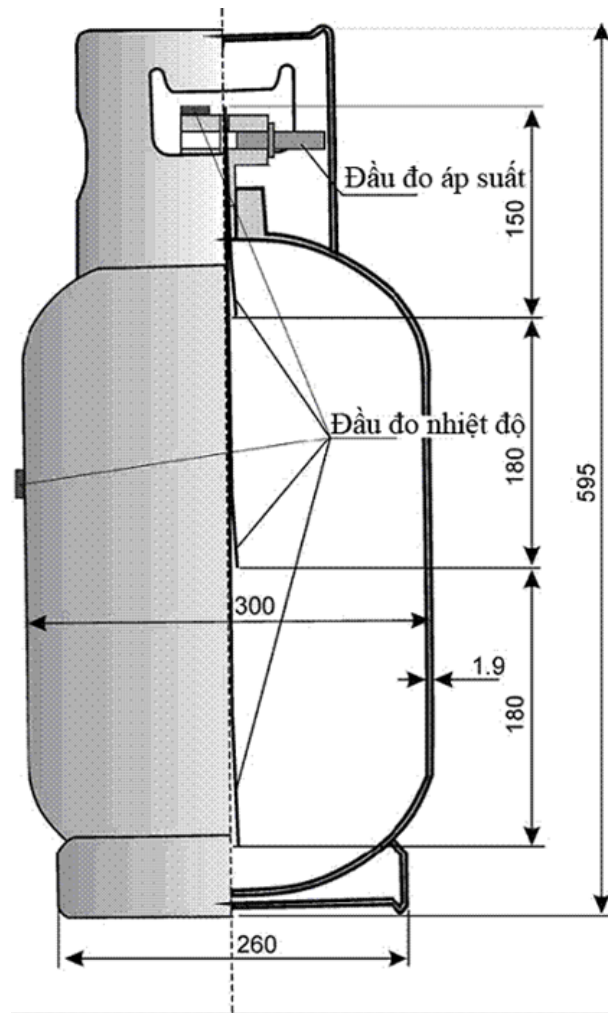
Kích thước quả cầu lửa tùy thuộc vào năng lượng tồn trữ bên trong bồn chứa. Hơi và lỏng bên trong quả cầu có thể bắt lửa từ nguồn nhiệt bên ngoài. Sự bốc cháy của đám mây khí hóa lỏng có thể chia ra các bước sau:

- Phát cháy ở rìa của đám mây.
- Sự phát tán đám mây trong không khí
- Vùng cháy lan rộng theo đám mây.

Giới hạn cháy nổ của những chất có thể tạo ra quả cầu lửa đặc trưng là khoảng 1.5-9.0% (theo thể tích).

Có nhiều tài liệu đưa ra các lý thuyết và cách tính kích thước, thời gian tồn tại và nhiệt phóng thích của quả cầu lửa. Nhiều thuyết đơn giản hóa hiện tượng bằng cách giả định rằng đường kính, vị trí và bề mặt phóng thích năng lượng của quả cầu lửa là không thay đổi trong suốt thời gian của hiện tượng. Một mô hình khác (tài liệu dẫn số 12) có vẻ thực tế hơn bằng cách đưa ra phương trình tính toán xét đến sự phát triển, bốc lên và thay đổi mức độ bức xạ nhiệt của quả cầu lửa. Sự biến đổi các thông số nhiệt động lực học của môi chất trong quá trình phát tán của chất lỏng quá nhiệt cũng được tích hợp vào trong mô hình giúp dự đoán mức độ tác động do bức xạ nhiệt của quả cầu lửa tạo nên do bình bị vỡ cũng như do hiện tượng dẫn nổ của khối lỏng quá nhiệt (BLEVE).

4. Thử nghiệm:



Hình 1: Sơ đồ đặt thiết bị đo trên bình gas.

Mục đích của thí nghiệm là phân tích quá trình xảy ra bên trong bình chứa LPG cũng như xác định được các mối nguy hiểm đi kèm với sự cố nổ bình. Thí nghiệm được tiến hành trên bình LPG loại 5 và 11 kg.

Do nhu cầu thử nghiệm, bình gas đã được sửa đổi. Van bình được thay thế bằng bộ phận đặc biệt cho phép đưa các đầu dò vào bên trong, thành bình không thay đổi. Các đầu dò gắn trên mặt ngoài và bên trong bình nhằm theo dõi những thông số cơ bản trong quá trình thử nghiệm. Sơ đồ lắp đặt như hình 1.

Một cái bếp gas, loại thường được dùng trong nhà bếp được dùng làm nguồn lửa đốt nóng bình chứa LPG. Trong tất cả các thí nghiệm, bình được đốt ở đáy bình. Phương pháp đốt như vậy là nhằm mô phỏng một cách sát nhất hiện tượng xảy ra khi các bình chứa LPG bị cháy.

Trong quá trình thử nghiệm, những thông số sau đây được ghi nhận:

- Nhiệt độ thành bình.
- Nhiệt độ lỏng và hơi bên trong bình.
- Áp suất bên trong bình.
- Áp suất xung quanh bình.

Để theo dõi các thông số trước và trong vụ nổ, một hệ thống thu nhận dữ liệu và kiểm soát quá trình chuyên dùng cho thí nghiệm này đã được thiết kế và lắp đặt.

5. Kết quả và bàn luận.

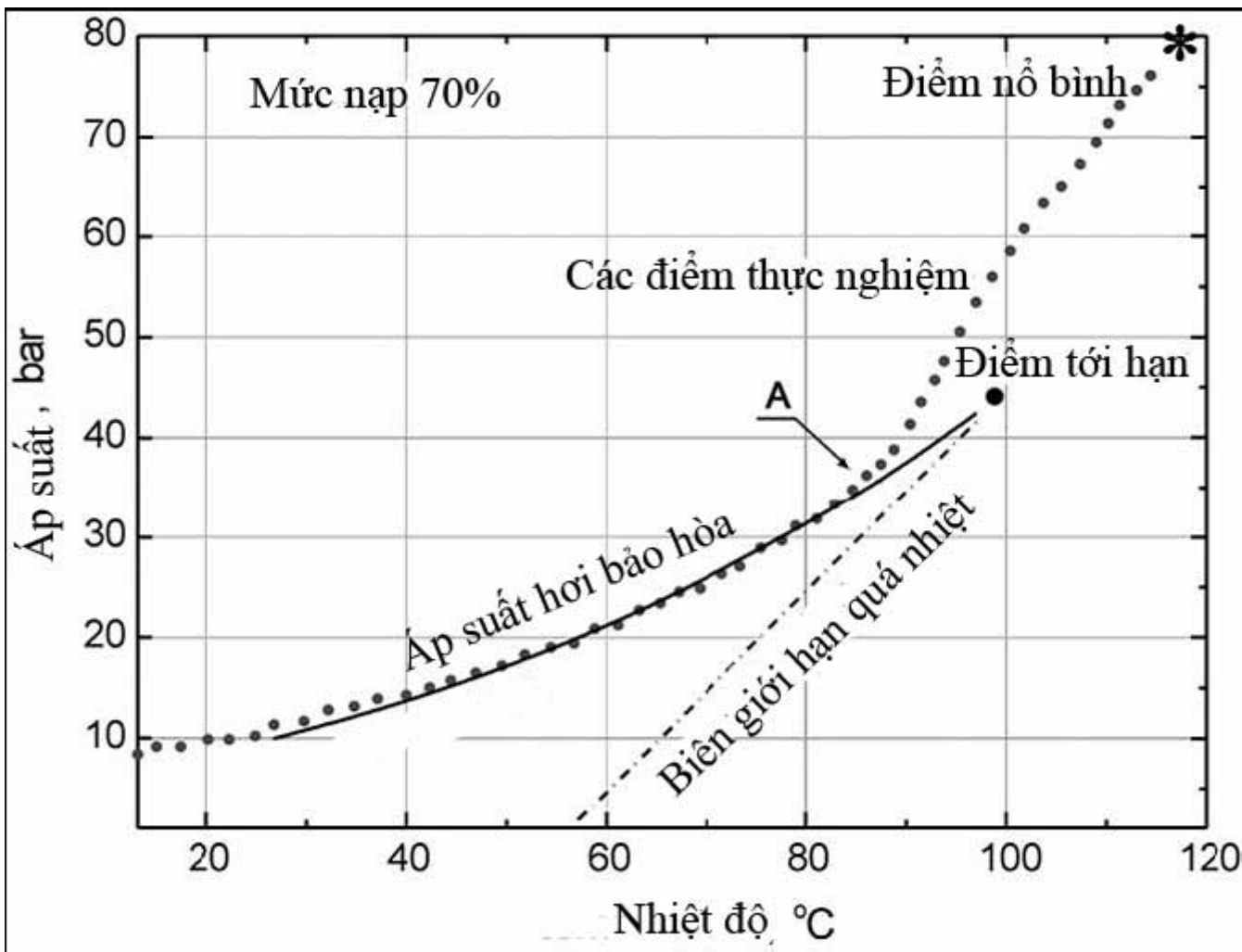
Trong loạt thử nghiệm, những thông số sau đây được thay đổi:

- Mức lỏng chứa trong bình.
- Cách đặt bình (nằm ngang hay đứng)
- Đặc điểm vị trí xảy ra vụ nổ (trong không gian được che chắn hay trong vùng trống).

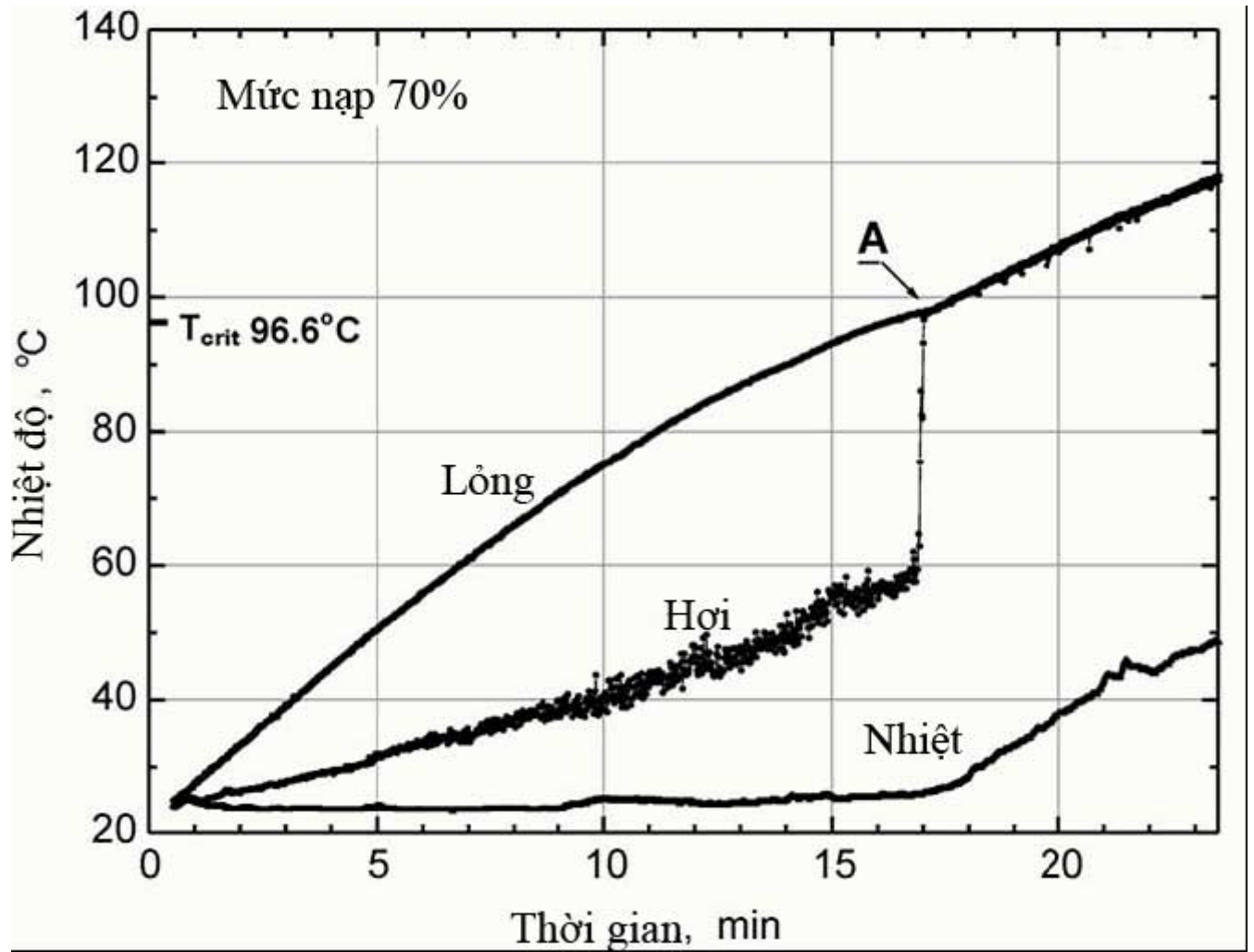
Trong giai đoạn đầu tiên của quá trình đốt nóng, áp suất bên trong bình bám theo đường cong của hơi bão hòa propan (xem hình 2). Gần điểm A (85 o C, 35 bar) đường cong lệch ra khỏi đường bão hòa. Điểm A biểu hiện thời điểm môi chất trong bình chuyển từ tình trạng 2 pha (lỏng và hơi) sang trạng thái 1 pha (hình 3). Lý giải khả chấp nhất là do sự vượt quá mức nạp tới hạn (critical tank load) của bình. Đối với propan, mức nạp tới hạn là khoảng 43% dung tích bình. Bình sẽ bị nổ ở giá trị áp suất và nhiệt độ vượt quá điểm tới hạn (critical point).

Thời điểm nổ bình được giả định là lúc mà áp suất trong bình giảm xuống đột ngột do bình bắt đầu nứt ra (xem hình 4). Có thể quan sát thấy sự suy giảm áp suất nhưng khó có thể mô tả được chính xác cơ chế phá hủy của bình. Chúng tôi giả định rằng có sự dẫn nổ đoạn nhiệt của vật chất đang ở trạng thái siêu tới hạn. Một phần của môi chất siêu tới hạn này sẽ trộn lẫn với không khí thành hơi, phần còn lại

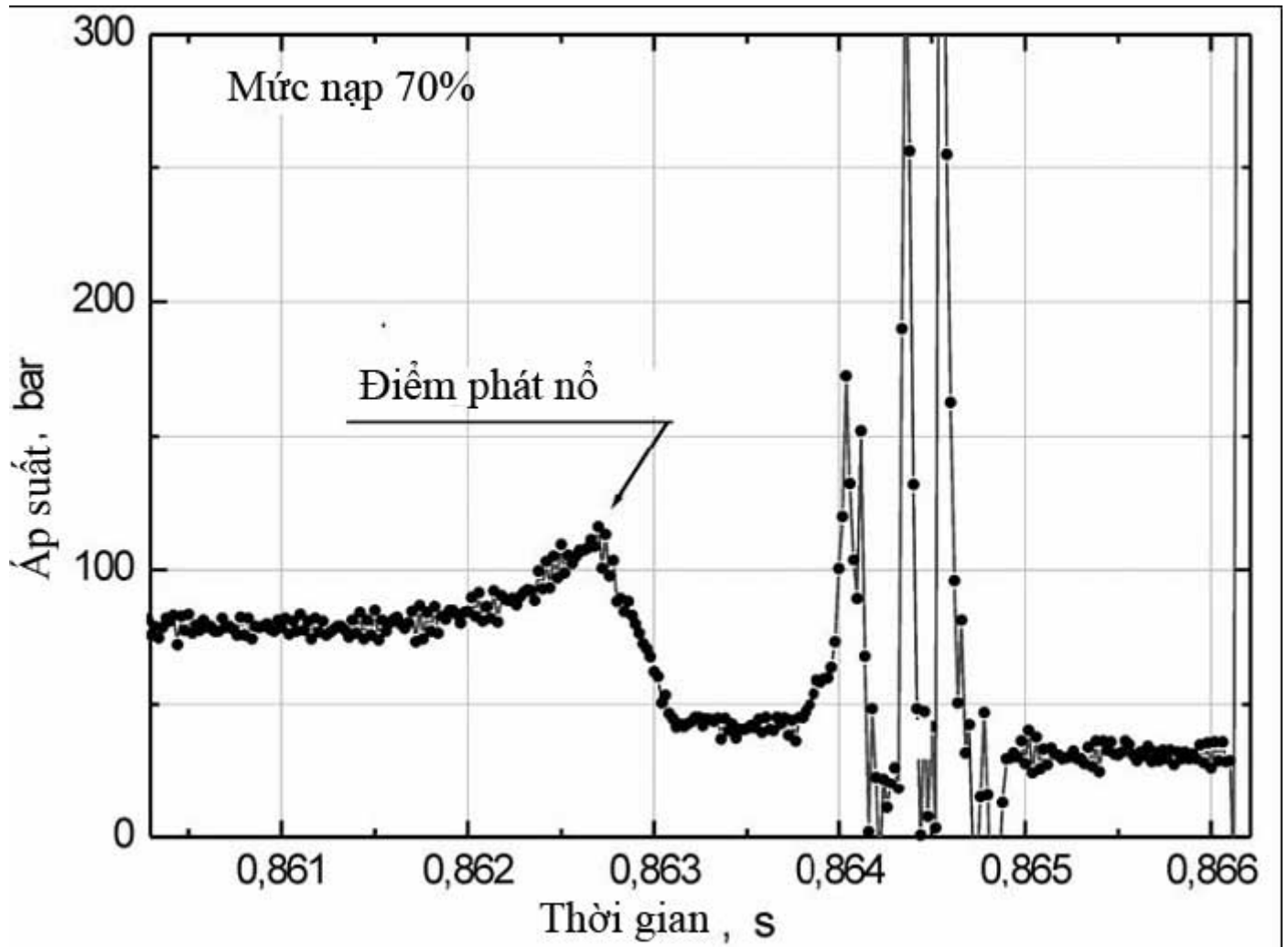
trở lại trạng thái hai pha (hơi và lỏng) bình thường. Minh chứng cho sự tồn tại của trạng thái 2 pha là sự thay đổi áp suất sau khi nổ bình và đám mây propan vào thời điểm vụ nổ (xem hình 5 – hình chụp vụ nổ) có chứa những giọt lỏng. Sự giảm áp suất đưa pha lỏng vào tình trạng quá nhiệt và tạo ra các tâm sôi trong lòng các giọt lỏng. Sự gia tăng áp suất dữ dội sau đó là kết quả của việc sự sôi đột ngột này làm phát sinh hơi nhanh hơn là hơi thoát ra khỏi bình qua các lỗ thoát.



Hình 2: Đường cong áp suất và nhiệt độ của propan trong thử nghiệm



Hình 3: Nhiệt độ bên trong bình trong thử nghiệm với mức độ nạp bình là 70%



Hình 4: Diễn tiến của áp suất trong bình ở thời điểm vụ nổ



Hình 5: Đám mây propan sau khi nổ bình.

Nhiệt độ của propan vào thời điểm nổ bình phụ thuộc vào mức lỏng nạp vào bình. Khi nạp 80% hoặc hơn dung tích bình thì nhiệt độ này là khoảng 120 oC và sự gia tăng nhiệt độ là đồng hành giữa 2 pha lỏng và hơi.

Bình nổ ở nhiệt độ trên 115 0C trong trường hợp nạp bình 80% và 150 0C trong trường hợp nạp 40%. Áp suất khi nổ là từ 72-120 bar. Bình nổ không có sự can thiệp từ bên ngoài. Mức độ nạp bình quyết định áp suất lớn nhất trong bình vào thời điểm nổ.

Nhiệt độ tối đa của thành bình vào khoảng 120 0C. Thép chế tạo bình chỉ bị yếu đi ở nhiệt độ trên 1000°C. Sự theo dõi nhiệt độ thành bình chứng tỏ rằng trong trường hợp này bình không hề bị yếu đi do nhiệt. Chỉ có thể giả định rằng bình bị nứt do sự gia tăng đột ngột áp suất trong. Áp suất trong đóng vai trò quan trọng trong việc tạo ra vết nứt đầu tiên. Trong trường hợp bình yếu đi vì nhiệt, sự nổ xảy ra khi ứng suất tại 1 điểm vượt quá ứng suất bền của kim loại.

Bộ đốt được đặt dưới đáy của bình để tránh đốt nóng vùng chứa hơi. Vào lúc bắt đầu đốt nhiệt độ của phần lỏng cao hơn nhiệt độ hơi. Sự khác biệt đáng kể giữa nhiệt độ hơi và lỏng được nhận thấy trong

trường hợp nạp bình 80% (Xem hình 3). Sau vài phút, nhiệt độ hơi tăng nhanh và bằng nhiệt độ lỏng. Có lẽ thời điểm này trạng thái 2 pha đã chuyển sang 1 pha siêu tới hạn. Bình nạp càng ít, nhiệt độ thời điểm nổ bình càng cao.

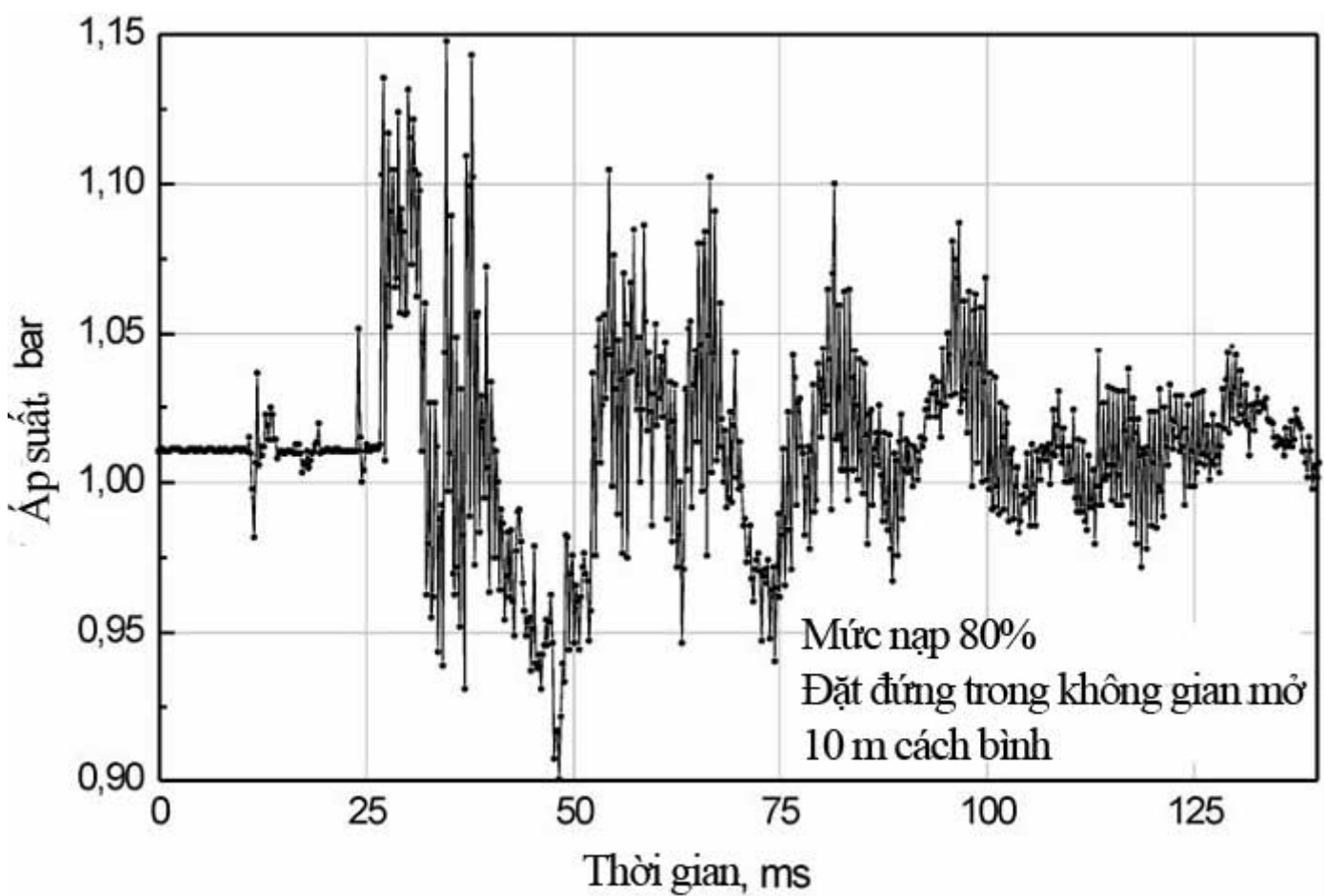
Việc bình bị vỡ ra đột ngột khi bị nổ đi kèm với những đợt sóng áp lực nổ trong tất cả các phương án thử nghiệm. Biên độ của sóng phụ thuộc trực tiếp vào áp lực bên trong bình trong quá trình nổ và khoảng cách từ đầu đo. Những đỉnh nhọn nhìn thấy trên hình 4 và 6 tương ứng với quá trình bình xì hở và quá trình hoá hơi dữ dội của pha lỏng.

Giá trị lớn nhất của biên độ sóng áp lực nổ đo được ở khoảng cách 10m từ bình là vào khoảng 1,15 bar (hình 6). Theo lý thuyết, áp lực nổ của trinitrotoluen (TNT) được tính theo công thức:

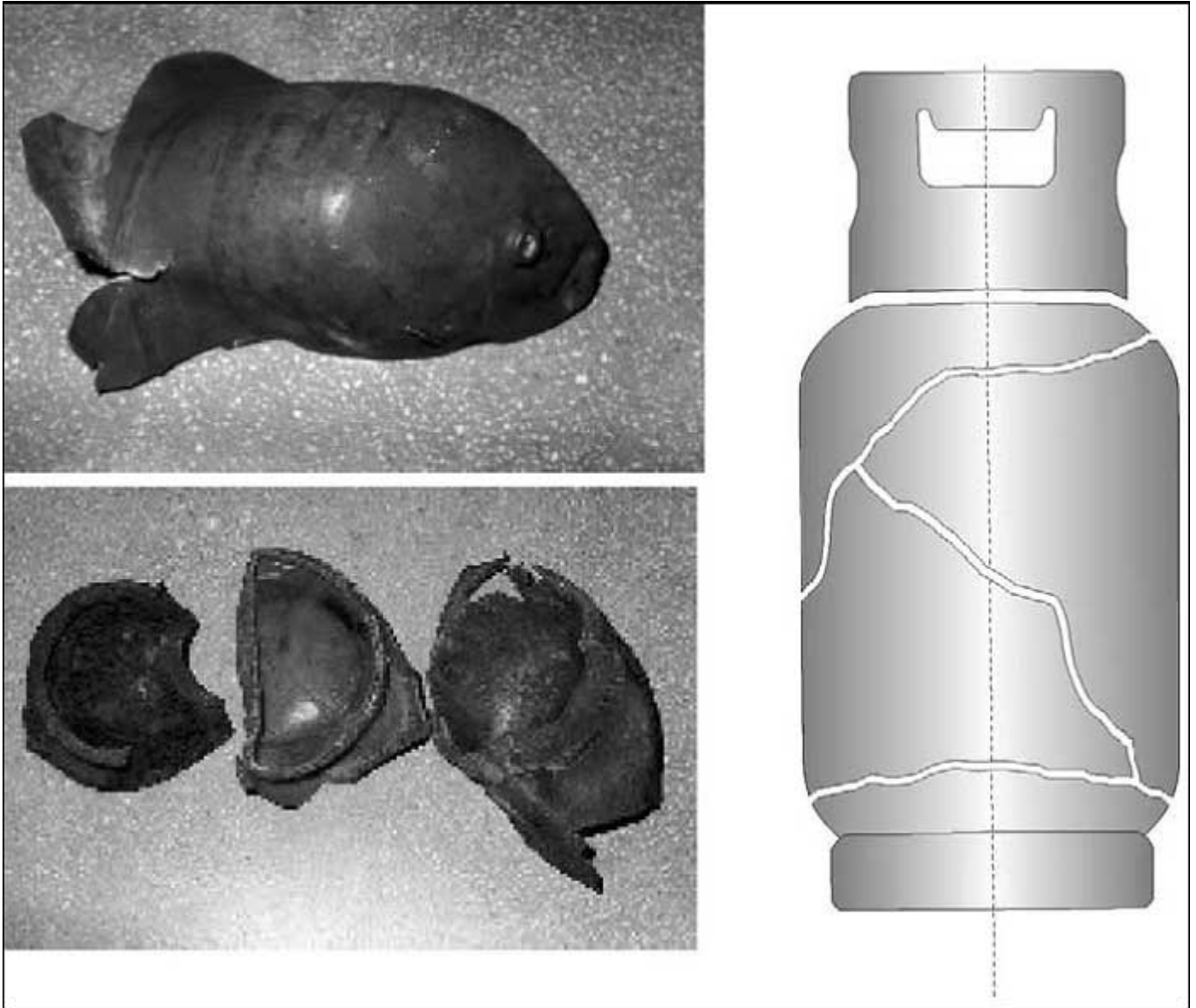
$$\frac{\Delta P}{P} = 1.06l^{-1} + 4.3l^{-2} + 14l^{-3}$$

trong đó $l = r/q^{1/3}$ với r là khoảng cách tới tâm nổ, q là khối lượng thuốc nổ.

Tương đương với áp lực nổ như đo được trong thí nghiệm với bình LPG 11 kg là lực nổ của khoảng 0,7 kg TNT .

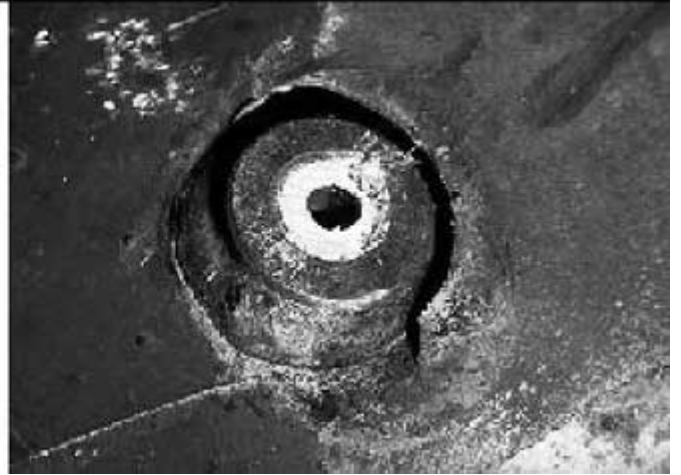
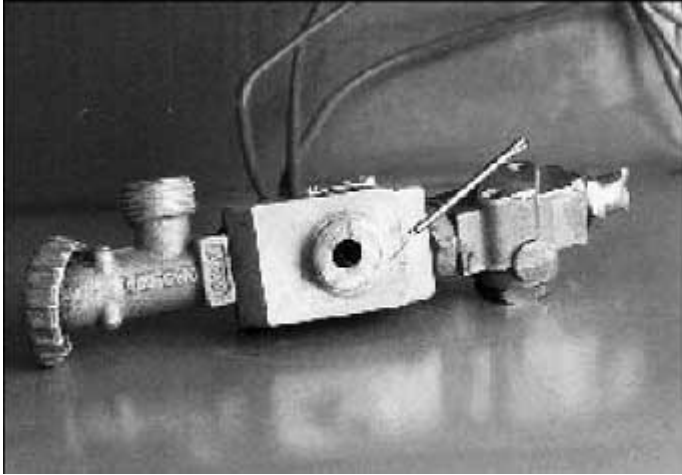


Hình 6: Áp lực nổ ở khoảng cách 10 m đến bình.



Hình 7: Các mảnh vỡ của bình và sơ đồ vỡ của bình.

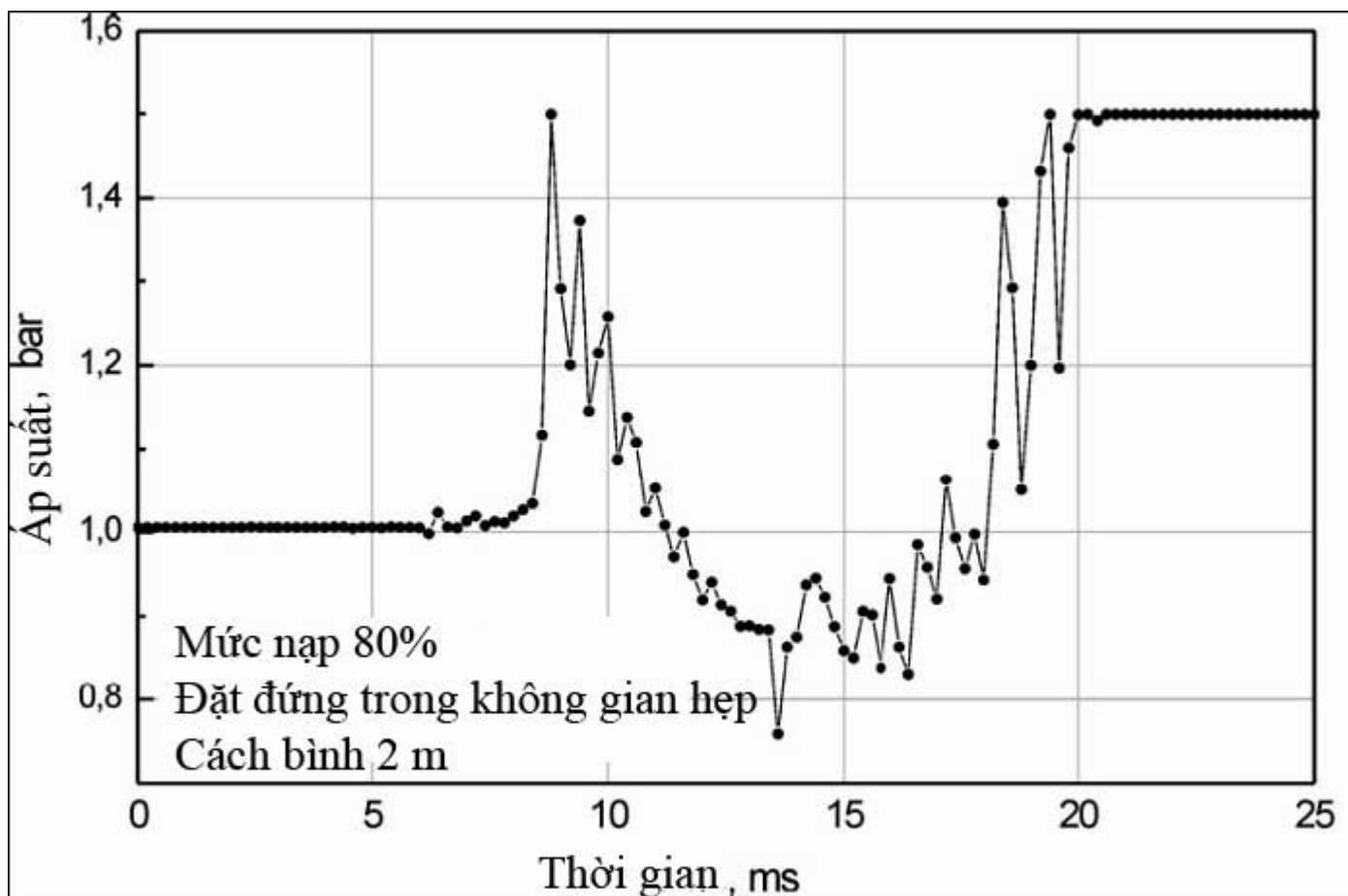
Trong quá trình nổ, thường là có 3-5 mảnh văng ra và nhiều mảnh nhỏ riêng lẻ. Tất cả bình đều bị xé với sơ đồ tương tự nhau và những mảnh này có cả đáy cong của bình (hình 7). Trong mỗi thử nghiệm, phần ren bắt van đầu bình đều bị phá làm cho tất cả các đầu dò tín hiệu đều bị hất tung ra ngoài (hình 8). Phần chòm bình thường bị xé ra kèm theo với 1 phần thân khá lớn. Phần thân thì bị xé ra từ 2 đến 3 mảnh.



Hình 8: Đầu van và vị trí tách ra khỏi bình



Hình 9: Tường bị phá hủy sau khi nổ bình trong không gian kín.



Hình 10: Sóng áp lực nổ ở khoảng cách 2m khi nổ trong không gian kín.

Vì lý do an toàn, bình được cho nổ trong không gian trung, xung quanh cao dần lên nên 1 số mảnh vỡ va đập vào mặt đất. Nếu thử nghiệm trên đất bằng, những mảnh vỡ này còn bay xa hơn nhiều. Khả năng bay xa của các mảnh vỡ phụ thuộc vào hình dạng và trọng lượng của chúng. Mảnh vỡ to nhất tìm thấy ở khoảng cách 70m. Những mảnh vỡ phẳng, nhỏ, nhẹ (như đầu bình) có thể tìm thấy ở khoảng cách 200-300m.

Loại bình dùng thử nghiệm rất thường được đặt trong không gian kín. Thử nghiệm cho phép ước lượng khả năng tàn phá của vụ nổ trong 1 toà nhà. Những mảnh vỡ của bình và áp lực nổ tác động và xô lệch tường gạch vài cm. Vụ nổ cũng làm bật vữa trên tường và 1 lỗ thủng, có thể là do van bình. Trong thử nghiệm, bức tường cách tâm nổ 2 m ghi nhận được 1 sự gia tăng áp lực của sóng nổ ít nhất là 0,5 bar trong quá trình nổ (Hình 10). Theo tài liệu [3], áp lực này có thể làm điếc tai, xô ngã người, làm hỏng cấu trúc xây dựng và vỡ cửa sổ.

Một sự tàn phá nữa có thể đi kèm vụ nổ là quả cầu lửa. Hiện tượng này đã không được ghi nhận trong quá trình thử nghiệm vì áp lực nổ đã thổi tung bộ đốt là nguồn lửa duy nhất trong khu vực nổ có thể kích cháy đám mây hơi đốt.

6. Kết luận:

Những tác động của vụ nổ do khí đốt hóa lỏng đã được ghi nhận và phân tích. Vụ nổ đã gây ra sóng áp lực nổ và những vật văng bẻ gãy.

Áp lực nổ trong không gian trống không gây nguy hiểm tức thời lên người. Nó có thể tàn phá các vật thể xung quanh.

Nguy cơ lớn nhất là những vật văng bẻ gãy. Phần lớn chúng phân tán trong bán kính 100m xung quanh vụ nổ. Phạm vi xa nhất có vật văng bẻ gãy là 300m. Theo tài liệu, tầm văng bắn của bình 11kg là 200m. Chúng tôi nhận thấy qua thực nghiệm này là phạm vi văng bẻ gãy củ vụ nổ có thể xa hơn. Nguyên nhân có lý nhất cho sự khác biệt trong thử nghiệm của chúng tôi và tài liệu trên có thể là sự khác nhau về hình thể và cấu trúc bình.

Sự nổ của bình trong không gian kín gây hại nghiêm trọng cho người và vật. Nguy cơ lớn nhất đến từ những vật văng bẻ gãy mà có thể va đập vào tường. Áp lực nổ có thể gây hậu quả nghiêm trọng lên thính giác và kết cấu toà nhà.

Phân tích những tác động nêu trên của vụ nổ do khí hóa lỏng chúng ta có thể đi đến kết luận rằng, ngoài cự ly 300 m cách tâm vụ nổ do bình 11 kg hồ hợp propan-butan, con người không bị 1 nguy cơ nào. Trong trường hợp cứu hộ, trong phạm vi 50 m cách tâm vụ nổ, biện pháp phòng chống áp lực nổ cần phải tính đến.

Kết quả của nghiên cứu này đã được chứng nhận bởi Main School Fire Service ở Warsaw và được dùng để nghiên cứu phát triển các phương pháp cứu hộ khi xảy ra nổ khí hóa lỏng.

Khái niệm “LPG – Liquefied pressure gas” trong bài viết này rộng hơn khái niệm “LPG – Liquefied petroleum gas” mà chúng ta thường sử dụng, nó bao gồm Khí dầu mỏ hóa lỏng (Liquefied petroleum gas) và cả các khí có thể hóa lỏng ở nhiệt độ thường như Clo, H₂S, v.v.

Cần phân biệt mức nạp tới hạn này với mức nạp tới hạn được cho trong các tiêu chuẩn an toàn. Nếu mức lỏng ít hơn giới hạn này, khi bị đốt nóng, môi chất bên trong bình sẽ biến đổi theo quá trình thông thường: sôi >> chuyển thành hơi bão hòa khô >> hơi quá nhiệt. Còn nếu mức lỏng cao hơn giới hạn này, khi bị đốt nóng môi chất bên trong bình sẽ biến đổi theo quá trình sôi hai pha (lỏng + hơi bão hòa) >> chuyển thành trạng thái siêu tới hạn, ở trạng thái này, không còn sự phân biệt về mặt vật lý giữa trạng thái lỏng và hơi như thông thường nữa. (ND)