

TÍNH TOÁN SỰ CỐ RỦI RO CỦA CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG

PGS.TS. NGUYỄN XUÂN CHÍNH, ThS. NGUYỄN HOÀNG ANH
Viện KHCN Xây dựng

Tóm tắt: Trong tính toán thiết kế các công trình xây dựng mặc dù đã sử dụng các hệ số tin cậy đối với tải trọng, vật liệu, điều kiện làm việc để bảo đảm độ an toàn sử dụng cho công trình. Tuy vậy, công trình vẫn tiềm ẩn khả năng xảy ra sự cố rủi ro. Tính toán và dự báo sự cố rủi ro sẽ đưa ra được kế hoạch khai thác, bảo trì và sửa chữa hợp lý nhằm bảo đảm an toàn và nâng cao hiệu quả khai thác công trình. Bài báo trình bày phương pháp tính toán sự cố rủi ro đối với công trình xây dựng.

1. Đặt vấn đề

Trong lĩnh vực xây dựng cũng như trong các ngành công nghiệp khác vẫn thường xảy ra các tình huống sự cố. Số liệu thống kê cho thấy khoảng 80% sự cố của công trình xây dựng là do thiếu sót và sai lầm của con người kể từ khâu khảo sát, thiết kế, thi công xây dựng đến sử dụng [3].

Đối với nhà và công trình để đảm bảo an toàn thì các kết cấu chịu lực cần chịu được tải trọng và tác động trong những trường hợp bất lợi và không xuất hiện sự cố rủi ro vượt ngưỡng quy định. Độ an toàn của kết cấu được xem là bảo đảm nếu sự cố rủi ro thực tế ở trong vùng giá trị cho phép.

Vùng giá trị sự cố rủi ro cho phép thể hiện mức độ an toàn kết cấu của nhà và công trình. Để áp dụng vào tính toán đánh giá tình trạng kỹ thuật của công trình cần có thông tin về giá trị sự cố rủi ro thực tế, giá trị này được xác định bằng sự kết hợp giữa con người và máy tính, thông qua các phương pháp toán học và công nghệ thông tin cùng với kiến thức và sự nhạy cảm của chuyên gia.

2. Sự cố rủi ro và cách tính toán rủi ro

Sự cố rủi ro là một đại lượng véc tơ, chịu sự điều chỉnh của các yếu tố chủ quan như thiết kế, thi công, tư vấn giám sát, các yếu tố kinh tế như chi phí bảo đảm an toàn kết cấu, sự tổn thất do sự cố,... và các yếu tố không chịu sự điều chỉnh là xác suất xuất hiện các tác động ngoài tính toán thiết kế.

Gần 80% trường hợp sự cố của nhà và công trình xảy ra do kết quả giao nhau của hai sự kiện độc lập: sự kiện xuất hiện mà thiết kế không lường trước được và sự kiện do lỗi của con người gây ra trong quá trình thi công xây dựng và sử dụng. Khi sự cố xảy ra thì thiệt hại phụ thuộc vào cả rủi ro khách quan và chủ quan.

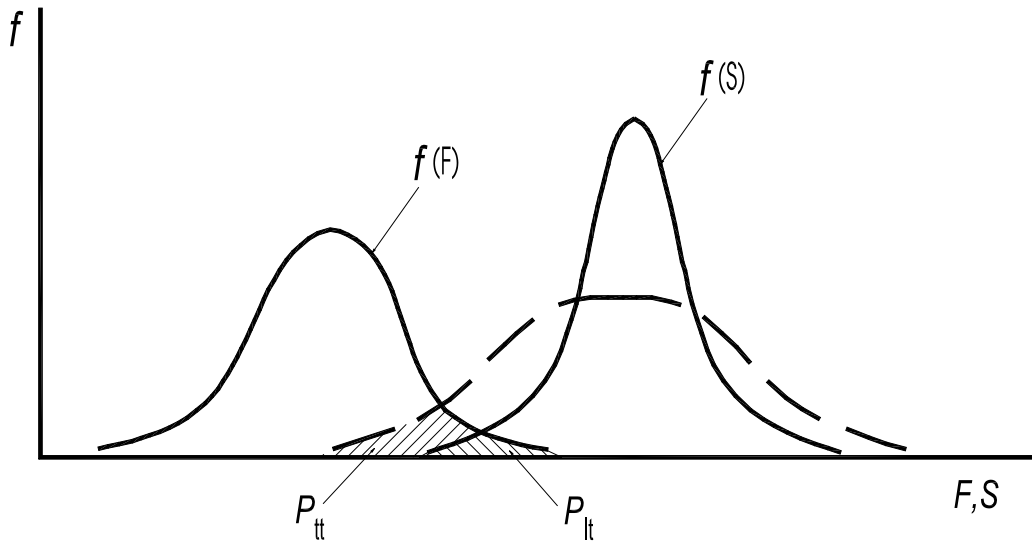
Dự báo sự cố rủi ro đối với công trình xây dựng theo cách tiếp cận bằng phương pháp xác suất cổ điển không thể thực hiện được do hai nguyên nhân. Thứ nhất sự cố của nhà và công trình là sự kiện ít xảy ra, thứ hai sai sót của con người trong quá trình thiết kế, thi công và sử dụng cũng không xác định được qua ứng xử của kết cấu. Do sự cố và mức độ tình trạng kỹ thuật của kết cấu nhà và công trình có mối liên quan chặt chẽ nên việc đánh giá sự cố rủi ro được tiến hành theo cách tiếp cận logic – xác suất, dựa trên cơ sở lý thuyết xác suất (định lý giả thuyết, định lý xác suất toàn phần,...), phương pháp lý thuyết tập hợp và phương pháp ra quyết định trong trường hợp không xác định.

Đại lượng sự cố rủi ro thực tế, hao mòn vật lý và tuổi thọ còn lại của nhà và công trình cũng liên quan với nhau. Để xác định các đại lượng này cần sử dụng quy luật phân bố rủi ro được thể hiện qua chỉ số tích phân mức độ an toàn của công trình.

2.1 Quy luật phân bố sự cố rủi ro

Nhà và công trình được thiết kế và xây dựng được tính toán với hệ số an toàn để chịu các tải trọng và tác động bên ngoài, song thực tế cho thấy trong một số trường hợp độ dự trữ an toàn không bù được những sai sót do con người gây ra. Hơn nữa những sai sót này là những nguyên nhân chủ yếu gây ra sự cố công trình.

Tài liệu [4] cho thấy khi kết thúc công tác xây dựng công trình thì sai sót thực tế do con người, xác suất sự cố thực tế P_{tt} so với lý thuyết P_t tăng lên vài lần (hình1).



Hình 1. Xác suất sự cố lý thuyết P_{tt} và thực tế P_{lt}

Trên hình thể hiện quy luật phân bố tác động F và khả năng S của công trình, ký hiệu f là hàm mật độ xác suất của F và S . Sai sót của con người làm suy giảm khả năng S của công trình và làm tăng xác suất sự cố so với giá trị tính toán thiết kế.

Xác suất sự cố thực tế của công trình đối với tập hợp không hạn chế các ngôi nhà mới xây dựng có thể viết dưới dạng:

$$P_{tt} = P_{lt} + P_{bs}$$

trong đó: P_{bs} – Xác suất bổ sung sự cố sai sót do con người (thiết kế, thi công, giám sát, sử dụng,...). Để xác định P_{bs} sử dụng giả thiết (công thức Bayet) để tiên nghiệm xác suất sự cố xảy ra.

$$P_{bs} = P_{lt}P(C/A) / [P_{lt}P(C/A) + (1 - P_{lt})P(C/A^*)]$$

trong đó: $P(C/A)$ – xác suất sự kiện C nếu xảy ra sự cố, $P(C/A^*)$ – xác suất sự kiện C nếu không xảy ra sự cố.

Đặt $P(C/A^*) = v$ thì $P(C/A) = 1 - v$.

Thay các giá trị này vào biểu thức Bayet cùng với việc chấp nhận rằng xác suất P_{lt} có số mũ là khoảng 10^{-6} [4], ta có:

$$P_{bs} = P_{lt}(1 - v) / v$$

Cộng P_{bs} và P_{lt} thu được $P_{tt} / P_{lt} = 1 / v$, trong đó v được hiểu là mức độ tin cậy của kết cấu chịu lực.

Các đại lượng P_{tt} và P_{lt} là các số nguyên dương. Đại lượng P_{lt} đạt được khi không có một sai sót nào xảy ra trong quá trình xây lắp kết cấu chịu

Xét hai sự kiện ngược nhau: C – có sai sót trong xây lắp kết cấu chịu lực của nhà, C^* – không có sai sót. Các sự kiện C và C^* tạo thành nhóm sự kiện không tương hợp trong quá trình xây dựng, đến trước lúc xây dựng thì tập hợp C là tập hợp rỗng.

Gọi: $P(C^*) = v$ – xác suất trong ngôi nhà được xây dựng không có sai sót,

$$P(C) = (1 - v) - \text{xác suất của sự kiện ngược lại.}$$

Trước lúc xây dựng, xác suất sự cố và không sự cố của nhà được xác định theo lý thuyết là P_{lt} và $(1 - P_{lt})$. Từ công thức Bayet [1], [2] ta có:

Thực tế cho thấy luôn tồn tại sai sót vì vậy giá trị P_{tt} / P_{lt} luôn lớn hơn 1.

Vì P_{tt} / P_{lt} cho thấy xác suất sự cố thực tế lớn hơn xác suất sự cố lý thuyết bao nhiêu lần, đại lượng này là chỉ số tích phân thể hiện tình trạng kỹ thuật của kết cấu chịu lực của công trình và có thể xem nó là giá trị rủi ro “ r ” của công trình:

$$r = P_{tt} / P_{lt} = 1 / v \tag{1}$$

Để tìm quy luật phân bố đại lượng r của tập hợp không hạn chế các ngôi nhà mới xây dựng khi thiếu các số liệu thống kê, sử dụng các tiên đề sau:

Tiên đề 1: Xác suất của giá trị $r \leq 1$ bằng không (là điều hiển nhiên vì thực tế trong quá trình xây lắp không thể tránh sai sót).

Tiên đề 2: Đường cong phân bố là không đối xứng, mode $\langle r \rangle$ của đại lượng ngẫu nhiên r dịch chuyển về bên trái so với giá trị trung bình.

Theo các tiên đề đáp ứng phân bố Renlay [2] có dạng sau:

$$f(r) = (r - 1) / \sigma^2 \cdot \exp\left[-(r - 1)^2 / 2\sigma^2\right] \quad (2)$$

Trong biểu thức trên thông số σ liên quan đến giá trị kỳ vọng toán của rủi ro R theo công thức:

$$R = 1 + 1,25\sigma \quad (3)$$

Để xác định giá trị trung bình của rủi ro R sử dụng công thức (1) có:

$$R = 1 / Mv \quad (4)$$

Trong đó: Mv - giá trị trung bình (kỳ vọng toán) của đại lượng ngẫu nhiên v mà giá trị bằng số của nó nằm trong khoảng 0 đến 1.

2.2 Giá trị sự cố rủi ro tiêu chuẩn

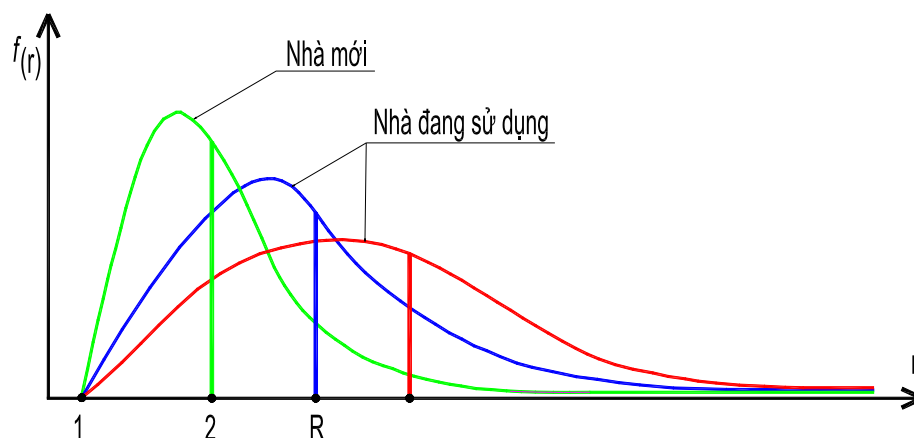
Giá trị sự cố rủi ro tiêu chuẩn là giá trị rủi ro trung bình khi đạt đến giá trị này thì kết cấu chịu lực chuyển sang trạng thái khác. Theo định nghĩa thì rủi

ro tiêu chuẩn là một đại lượng bất biến vì nó không phụ thuộc vào giải pháp kết cấu cũng như số tầng của công trình. Những giá trị này được sử dụng để đưa ra yêu cầu về mức độ an toàn của kết cấu khi đánh giá tình trạng kỹ thuật của chúng.

Giá trị rủi ro tiêu chuẩn bao gồm:

- Rủi ro tự nhiên R_{bt} là giá trị rủi ro của công trình sau khi kết thúc xây dựng.
- Rủi ro giới hạn cho phép R_{cf} khi vượt giá trị này công trình chuyển từ tình trạng bình thường sang tình trạng hư hỏng. Khi đó công trình cần được tiến hành sửa chữa.
- Rủi ro giới hạn R_{gh} khi đạt đến giới hạn này công trình sẽ mất khả năng chịu lực.

Để tìm giá trị rủi ro tiêu chuẩn sử dụng quy luật phân bố (2). Khi đó giá trị rủi ro bình thường bằng giá trị rủi ro tự nhiên đối với nhà mới xây dựng, được biểu thị qua kỳ vọng toán của quy luật phân bố rủi ro đối với tập hợp không giới hạn nhà mới xây dựng (hình 2). Trong hình 2: r – giá trị rủi ro; $f(r)$ – hàm mật độ xác suất rủi ro.



Hình 2. Dạng quy luật phân bố sự cố rủi ro của các ngôi nhà mới xây dựng và sự xuống cấp của chúng trong quá trình sử dụng

Với các tập hợp như vậy, quy luật phân bố của đại lượng v có thể xem là đối xứng qua giá trị 0,5. Điều đó có nghĩa là không phụ thuộc vào dạng đường cong phân bố của đại lượng ngẫu nhiên v , giá trị trung bình của Mv bằng 0,5. Từ công thức (4) rủi ro tự nhiên của công trình xây dựng đồng nghĩa với rủi ro bình thường R_{bt} có giá trị bằng 2. Nói cách khác xác suất thực tế về rủi ro của công trình sau khi kết thúc xây dựng trung bình vượt 2 lần so với xác suất dự kiến khi thiết kế.

Nguyên nhân công trình bị xuống cấp là do vật liệu bị lão hóa, hao mòn vật lý và do sử dụng không

đúng quy định. Dưới tác động của các yếu tố nói trên giá trị trung bình của sự cố rủi ro tăng lên (dịch chuyển về phía phải). Khi này tính bất định về tình trạng kỹ thuật của kết cấu chịu lực của nhà và công trình thông qua đại lượng entropy tăng lên. Trong trường hợp chung (khi có quy luật phân bố bất kỳ) thì entropy thông tin của quy luật phân bố xác định theo [6]:

$$H = -\sum P(A_i) \log_2 P(A_i) \quad (5)$$

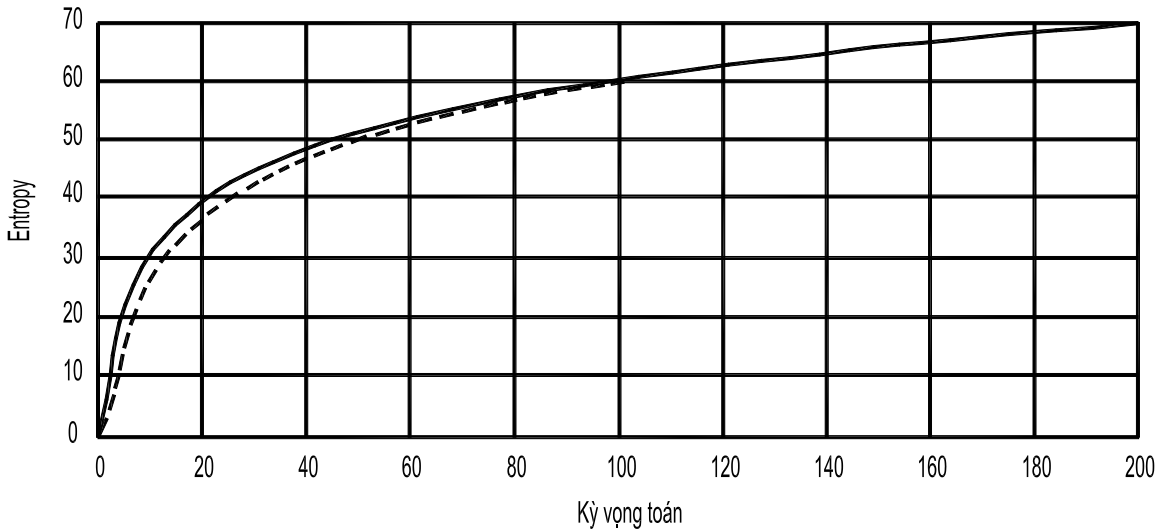
trong đó: $P(A_i)$ – xác suất sự kiện xác định từ quy luật phân bố và được hiểu là sự cố rủi ro nằm trong vùng giá trị “i”.

KẾT CẤU – CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG

Trong hình 3 thể hiện đồ thị của hàm $H(R)$ được xây dựng bằng thử nghiệm trên máy tính từ các công thức (2), (3), (5), đường chấm thể hiện mối quan hệ giữa entropy thông tin và giá trị kỳ vọng

toán R của quy luật phân bố sự cố rủi ro. Đồ thị nhận được của phương trình gần đúng (đường liền trong hình 3) có dạng:

$$H(R) = \log_{2,15} R \tag{6}$$



Hình 3. Quan hệ giữa entropy thông tin và giá trị sự cố rủi ro trung bình của công trình xây dựng

Đồ thị ở hình 3 đặc trưng cho mức độ phát triển bất định tình trạng kỹ thuật của kết cấu chịu lực phụ thuộc vào giá trị sự cố rủi ro trung bình của công trình, biểu thức (6) thực chất là quy luật suy giảm của kết cấu chịu lực của công trình.

Để ứng dụng vào thực tế đường cong lý thuyết của quy luật phân bố trong hình 3, chia đường cong này làm 3 đoạn thẳng, ở mỗi điểm gấp khúc, tốc độ của entropy thay đổi.

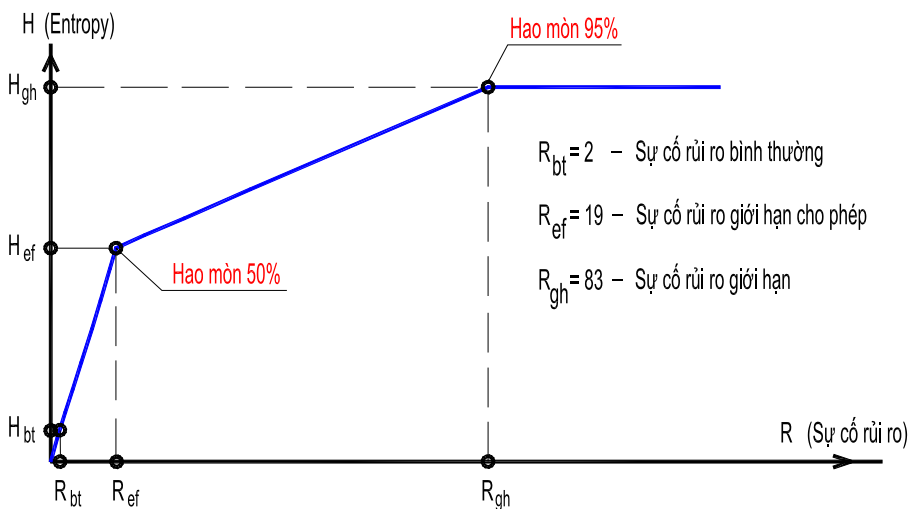
Nghiên cứu sự cố rủi ro của các công trình mới xây dựng, công trình đã và đang sử dụng cũng như các công trình bị hư hỏng ở những thời gian khác nhau, cùng với việc phân tích kết quả các nghiên cứu cho phép lựa chọn điểm gấp khúc (giá trị

ngưỡng sự cố rủi ro), trong hình 4. Ở đây tình trạng kỹ thuật của công trình được đánh giá như sau:

- Công trình bảo đảm an toàn nếu kết cấu chịu lực không bị nứt;
- Công trình bị hư hỏng nếu kết cấu chịu lực có những vết nứt nhưng chưa đến mức gây sập đổ kết cấu;
- Công trình nguy hiểm nếu kết cấu có những vết nứt có thể gây sập đổ kết cấu.

Trong hình 4 thể hiện biểu đồ lý tưởng về quan hệ “entropy – sự cố rủi ro”, được gọi là “mô hình suy giảm kết cấu chịu lực của công trình”.

Mô hình này cho phép xác định được các nội dung sau:



Hình 4. Mô hình suy giảm khả năng chịu lực và các giá trị ngưỡng sự cố rủi ro

a. Thời gian sử dụng công trình từ thời điểm kết thúc xây dựng đến khi đạt đến sự cố rủi ro ở điểm gấp khúc đầu tiên ($R=19$) xác định dự trữ an toàn T_{at} của công trình. Trong giai đoạn này, kết cấu chịu lực của công trình không có vết nứt và có thể khẳng định rằng kết cấu chịu lực có đủ khả năng chịu các tác động đã được thiết kế, mặt khác do có dự trữ về độ bền nên nó còn có khả năng chịu được cả những tải trọng và tác động chưa được kể đến khi thiết kế. Tình trạng kỹ thuật của công trình ở giai đoạn này có thể xem là an toàn và giá trị sự cố rủi ro bằng 19 được chấp nhận là giá trị rủi ro giới hạn cho phép R_{cf} .

Khi công trình đạt tới giá trị sự cố rủi ro giới hạn cho phép thì giá trị hao mòn vật lý là 50%. Ở mức hao mòn này, yêu cầu phải tiến hành sửa chữa lớn với mục đích khôi phục khả năng chịu lực của kết cấu. Nếu không thực hiện các biện pháp gia cường, sửa chữa thì sự cố rủi ro tiếp tục phát triển cho đến khi đạt giá trị giới hạn $R_{gh} = 83$, xác định độ dư trữ giới hạn T_{gh} của công trình.

b. Khi công trình có sự cố rủi ro vượt giá trị giới hạn cho phép thì tốc độ phát triển của entropy thông tin sẽ chậm lại, nó cho thấy công trình đang chuyển từ trạng thái an toàn sang trạng thái hư hỏng, trong kết cấu chịu lực xuất hiện các vết nứt là nguyên nhân gây ra các sự cố. Ở tình trạng hư hỏng kết cấu mất dần khả năng chịu tải và đến khi sự cố rủi ro tiếp tục phát triển thì kết cấu mất hoàn toàn khả năng chịu lực.

c. Khi công trình có giá trị sự cố rủi ro đạt đến giá trị giới hạn $R_{gh} = 83$ thì không chỉ mức độ bất định tình trạng kỹ thuật của kết cấu chịu lực đạt giá trị cực đại mà giá trị hao mòn vật lý cũng đạt đến giá trị tương ứng.

Khi $R > R_{gh}$ về lý thuyết thì kết cấu mất khả năng chịu lực và sự phát triển của entropy thông tin bị dừng lại. Điều đó có nghĩa là công trình đã ở vào tình trạng nguy hiểm.

Các đại lượng sự cố rủi ro R_{bt} , R_{cf} , R_{gh} là bất biến vì chúng không phụ thuộc vào kết cấu loại nhà cũng như số tầng của nhà. Hai đại lượng R_{bt} và R_{cf} là giới hạn dưới và trên của vùng giá trị sự cố rủi ro của công trình. Khi mà giá trị sự cố rủi ro thực tế ở trong vùng giá trị này thì mức độ an toàn về kết cấu được cho là đạt yêu cầu.

Mức độ tin cậy tiêu chuẩn của các nhóm kết cấu khác với các giá trị tiêu chuẩn sự cố rủi ro là các giá trị này biến động. Chúng phụ thuộc vào loại kết cấu và số tầng của nhà và công trình. Để xác định mức độ tin cậy của hệ kết cấu chịu lực có n các nhóm kết cấu được bố trí theo mô hình nối tiếp. Sử dụng giả thiết là sai sót của con người gây ra ở nhóm kết cấu này không phụ thuộc vào sai sót xảy ra trong nhóm kết cấu khác. Với mô hình và giả thiết nêu trên cho phép đánh giá mức độ tin cậy v của kết cấu chịu lực theo lý thuyết độ tin cậy ta có:

$$v = \prod p \quad (7)$$

trong đó: $\prod p$ - là tích độ tin cậy tất cả các nhóm kết cấu của công trình

Thay công thức (7) vào biểu thức (4) thì sự cố rủi ro trung bình của công trình sẽ là:

$$R = 1 / Mv = 1 / \prod (Mp) \quad (8)$$

Xét trường hợp tình trạng kỹ thuật giả định của công trình khi tất cả các nhóm kết cấu chịu lực có độ tin cậy trung bình Mp như nhau và bằng p_{bt} . Trong trường hợp này sự cố rủi ro của nhà R sẽ bằng R_{bt} , công thức (8) có dạng $R_{bt} = 1 / p_{bt}^n$, từ đây xác định độ tin cậy bình thường của kết cấu chịu lực. Kết quả là:

$$p_{bt} = (R_{bt})^{-1/n}, \text{ tương tự có } p_{cf} = (R_{cf})^{-1/n} \quad (9)$$

2.3 Phương pháp tính sự cố rủi ro thực tế của công trình [3]

Biết được sự cố rủi ro thực tế có thể đánh giá tình trạng kỹ thuật của công trình theo 3 khả năng: an toàn, hư hỏng và nguy hiểm.

Trong việc đánh giá tình trạng kỹ thuật của nhà và công trình sử dụng các tiêu chí sau:

- Các giá trị trung bình sự cố rủi ro của công trình gồm có: sự cố rủi ro bình thường $R_{bt} = 2$, sự cố rủi ro giới hạn cho phép $R_{cf} = 19$ và sự cố rủi ro giới hạn $R_{gh} = 83$;
- Độ tin cậy tiêu chuẩn của các nhóm kết cấu chịu lực gồm có: độ tin cậy bình thường $p_{bt} = 2^{-1/n}$, độ tin cậy giới hạn cho phép $p_{gh} = 19^{-1/n}$, trong đó n số nhóm kết cấu cùng loại kết cấu chịu lực của công trình.

Để xác định giá trị trung bình sự cố rủi ro thực tế R cần thực hiện khảo sát sơ bộ và khảo sát chi tiết

kết cấu chịu lực của công trình. Theo kết quả khảo sát, trong mỗi nhóm kết cấu chịu lực tìm ra kết cấu bị hư hỏng nhiều nhất và ít nhất theo đó xác định mức độ hư hỏng, độ tin cậy của kết cấu.

- Đối với từng nhóm kết cấu, theo bảng [3] xác định mức độ hư hỏng của các nhóm kết cấu và tương ứng là độ tin cậy p_1 và p_2 của chúng;
- Xác định độ tin cậy trung bình của từng nhóm kết cấu theo công thức:

$$M_p = (p_2 - p_1) / 2;$$

- Tính sự cố rủi ro trung bình của công trình theo công thức: $R = 1 / \prod(M_p)$, trong đó $\prod(M_p)$ là tích độ tin cậy trung bình của tất cả n nhóm kết cấu chịu lực.

- So sánh giá trị sự cố rủi ro trung bình R với giá trị sự cố rủi ro trung bình quy định để đánh giá tình trạng kỹ thuật của công trình với 3 khả năng sau:

- + Nếu $R_{bt} < R < R_{cf}$ – tình trạng an toàn;
- + Nếu $R_{cf} < R < R_{gh}$ – tình trạng hư hỏng;
- + Nếu $R > R_{gh}$ – tình trạng nguy hiểm.

Để bảo đảm độ tin cậy và chính xác của kết quả tính toán sự cố rủi ro, thực hiện mô hình hóa các tình huống rủi ro và thử nghiệm trên máy tính theo phương pháp Monte – Carlo. Thử nghiệm tuân theo biểu thức toán học (1), biểu thị mối liên hệ giữa sự cố rủi ro với độ tin cậy của các nhóm kết cấu chịu lực theo công thức:

$$r_{tt} = 1 / v_{tt} = 1 / \prod p \quad (10)$$

trong đó: $\prod p$ – tích độ tin cậy của tất cả các nhóm kết cấu chịu lực.

Quá trình thử nghiệm bao gồm các bước sau:

- Theo giá trị p_1 và p_2 cụ thể hóa luật phân bố xác suất độ tin cậy p của kết cấu trong các nhóm f (p) = $1 / (p_2 - p_1)$;

- Đối với mỗi nhóm N lần biểu thị đại lượng ngẫu nhiên p theo công thức:

$$p = p_1 + q (p_2 - p_1), \text{ trong đó } q - \text{đại lượng ngẫu nhiên phân bố đều trong khoảng } [0;1];$$

- N lần thử nghiệm sự cố rủi ro của công trình theo công thức $(r_{tt})_i = 1 / \prod(p)_i$; trong đó $\prod(p)_i$ – tích n giá trị của p được biểu thị trước đó, bao gồm cả i lần thử nghiệm sự cố rủi ro ($i = 1, 2, \dots, N$; $N = 10^4$);

- Theo chuỗi thống kê từ N giá trị ngẫu nhiên sự cố rủi ro r_{tt} dựng biểu đồ phân bố sự cố rủi ro thực tế và biểu đồ xác định giá trị trung bình của sự cố rủi ro R^* ;

- So sánh R^* với giá trị sự cố rủi ro tìm được R và theo số phần trăm chênh lệch của các đại lượng này xác định độ chính xác và độ tin cậy của kết quả tính toán sự cố rủi ro thực tế của công trình.

3. Ví dụ tính toán sự cố rủi ro

Đánh giá mức độ an toàn (sự cố rủi ro) của hệ kết cấu chịu lực của cầu cạn đỡ đường ống với các điều kiện sau:

- Cầu gồm các dầm bê tông cốt thép liên tục 4 nhịp được gối trên các trụ bê tông;
 - Thời gian sử dụng: 50 năm;
 - Số nhóm kết cấu chịu lực cùng loại n = 5;
- Tên gọi và thứ tự các nhóm kết cấu cho trong bảng 1.

Bảng 1. Tên gọi và thứ tự các nhóm kết cấu cùng loại của cầu cạn

Bộ phận công trình	Số thứ tự và tên gọi các nhóm
Phần ngàm cầu cạn	1. Nền
	2. Móng
	3. Trụ
Phần thân cầu cạn	4. Các tấm dưới dầm
	5. Các dầm

Yêu cầu về an toàn kết cấu cho trong bảng 2.

Bảng 2. Yêu cầu về an toàn kết cấu của cầu cạn

Các chỉ số an toàn tiêu chuẩn	Giá trị các chỉ số
Sự cố rủi ro bình thường	$R_{bt} = 2$
Sự cố rủi ro giới hạn cho phép	$R_{cf} = 19$
Mức độ tin cậy bình thường	$p_{bt} = (R_{bt})^{-1/n} = 2^{-1/5} = 0,871$
Mức độ tin cậy giới hạn cho phép	$p_{cf} = (R_{cf})^{-1/n} = 19^{-1/5} = 0,555$
Sự cố rủi ro giới hạn	$R_{gh} = 83$

Thông tin kết quả khảo sát tình trạng kỹ thuật của các nhóm kết cấu chịu lực của cầu cạn cho trong bảng 3, trong đó các giá trị ở cột 3 và 4 được xác định theo bảng 2 của tài liệu [3].

Bảng 3. Thông tin kết quả khảo sát

Nhóm kết cấu	Hư hỏng trong nhóm kết cấu	Mức độ hư hỏng trong nhóm	
		Nặng nhất	Nhẹ nhất
1	2	3	4
1	Đất nền bị ẩm ướt đến độ sâu 0,4 m	7.2	6
2	Bê tông bị no nước	4.3	4.1
3	Có các vết nứt hình nêm với bề rộng đến 0,5 mm; Trụ bê tông chia thành khối, cường độ bê tông thay đổi từ 18 MPa (ở dưới mỗi nối) đến 6 MPa (trên mỗi nối)	8.3	8.2
4	Bê tông bị xốp, bị ăn mòn, có nhiều vết nứt với bề rộng đến 1 mm	9.2	9.1
5	Bê tông dầm bị xốp, cốt thép dưới bụng dầm bị lộ và bị rỉ. Ở cánh dầm khoảng cách 0,8 m từ thân có các vết nứt đến 2 mm	10.1	9.2

Kết quả đánh giá qua các dữ liệu khảo sát thực hiện theo nguyên tắc được quy định [3] thể hiện ở bảng 4.

Bảng 4. Kết quả đánh giá qua số liệu khảo sát

Số thứ tự nhóm	Giá trị mức độ tin cậy		Độ tin cậy trung bình của kết cấu trong nhóm Mp
	Kết cấu hư hỏng nặng nhất p ₁	Kết cấu hư hỏng nhẹ nhất p ₂	
1	0,441	0,500	0,471
2	0,644	0,730	0,687
3	0,343	0,365	0,354
4	0,303	0,322	0,313
5	0,267	0,303	0,285

Giá trị sự cố rủi ro thực tế của kết cấu chịu lực cầu cạn xác định theo công thức:

$$R = 1 / \Pi(Mp) = 1 / (0,471.0,687.0,354.0,313.0,285) = 97,86$$

Kết luận: Sự cố rủi ro của cầu cạn vượt giá trị giới hạn, cho thấy cầu đang ở tình trạng nguy hiểm, không còn khả năng tiếp tục sử dụng.

4. Kết luận

Tính toán được sự cố rủi ro trong các công trình xây dựng giúp cho người thiết kế, thi công và sử dụng đánh giá được tình trạng kỹ thuật của công trình ở các thời điểm khác nhau, trên cơ sở đó đưa ra các biện pháp can thiệp, xử lý kịp thời nhằm bảo đảm an toàn sử dụng và kéo dài tuổi thọ công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đào Hữu Hồ (2008). Xác suất thống kê (in lần thứ 11). Nhà Xuất bản Đại học quốc gia Hà Nội.
- [2] Болотин В.В (1982). Методы теории вероятности и теории надежности в расчетах сооружений. М. Стройиздат.
- [3] А.П Мельчаков (2006). Расчет и оценка риска аварии и безопасного ресурса строительных объектов. Издательство ЮУрГУ.
- [4] Аугусти Г., Баратта А (1988). Вероятностные методы в строительном проектировании. Стройиздат.
- [5] Paula.Tobias, David C.Trindade. Applied Reliability. Chapman & Hall/Crc.
- [6] Вентцель Е. С., Овчаров Л. А (1999). Теория вероятностей. М. Наука.

Ngày nhận bài: 26/10/2016.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 12/12/2016.