Journal of Science and Transport Technology
University of Transport Technology

Determine the number of testing N large enough when calculating the reliability of the construction works according to the step-by-step statistical modeling method

Nguyen Van Vi
University of Transport Technology, Vietnam

Article info
Type of article:
Original research paper

DOI:
https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2024.vn.4.1.36-45

*Corresponding author:**
E-mail address:
vinv@utt.edu.vn

Received: 20/2/2024
Accepted: 26/3/2024
Published: 30/3/2024

Abstract: The calculation of construction works according to the method of reliability requires a large amount of information about the characteristic parameters of structure, of the ground, backfill, and load. However, the current design standards regulate a limited number of test samples, which do not fully reflect the nature of the quantity being tested, which greatly affects the accuracy of construction calculated results. Therefore, there needs to be a solution to overcome the above situation. In the article, a step-by-step statistical modeling method is presented to calculate the reliability of the construction with the determination of the necessary number of tests N, which is considered large enough and illustrate by calculating the reliability of tipping stability of some particular construction works such as retaining wall. The calculation results show that the simulation method creates a basis for calculating reliability and is an effective tool with high accuracy in calculating and designing construction works.

Keywords: The number of testing, the reliability of the construction works, the step-by-step statistical modeling method, retaing wall, simulation method.

Tạp chí điện tử
Khoa học và Công nghệ Giao thông
Trường Đại học Công nghệ GTVT

Xác định số lần thử nghiệm N đủ lớn khi tính toán độ tin cậy của công trình theo phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước

Nguyễn Văn Vi
Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, Việt Nam

Thông tin bài viết
Dạng bài viết:
Bài báo nghiên cứu

DOI:
https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2024.vn.4.1.36-45

***Tác giả liên hệ:**
Địa chỉ E-mail:
vinv@utt.edu.vn

Ngày nộp bài: 20/2/2024
Ngày chấp nhận: 26/3/2024
Ngày đăng bài: 30/3/2024

Tóm tắt: Việc tính toán công trình xây dựng theo phương pháp độ tin cậy đòi hỏi lượng thông tin lớn về các tham số đặc trưng của kết cấu, của đất nền, đất lấp và của tải trọng. Tuy nhiên, các Tiêu chuẩn thiết kế hiện hành đều quy định số lượng mẫu thí nghiệm hạn chế, không phản ánh đầy đủ bản chất của đại lượng được thí nghiệm, điều đó ảnh hưởng rất lớn đến độ chính xác của các kết quả tính toán công trình. Vì thế cần phải có giải pháp để khắc phục tình trạng trên. Trong bài báo trình bày phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước để tính toán độ tin cậy của công trình với việc xác định số lần thử nghiệm N cần thiết, được coi là đủ lớn, và minh họa bằng tính toán độ tin cậy về ổn định lật của một công trình cụ thể là tường chắn. Kết quả tính toán cho thấy phương pháp mô phỏng tạo cơ sở để tính toán độ tin cậy và là công cụ hữu hiệu, có độ chính xác cao trong việc tính toán và thiết kế công trình xây dựng.

Từ khóa: Số lần thử nghiệm, độ tin cậy của công trình, phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước, tường chắn, phương pháp mô phỏng.

1. Đặt vấn đề

Các kết quả nghiên cứu trong nhiều chục năm qua đã đưa đến kết luận rằng, hầu như tất cả các tham số của tải trọng, của độ bền và kích thước kết cấu, của các chỉ tiêu cơ lý của đất được đưa vào tính toán các công trình xây dựng đều là các đại lượng ngẫu nhiên [1],[2],[3]. Tuy nhiên, các Tiêu chuẩn thiết kế công trình hiện hành trên thế giới về cơ bản đều sử dụng phương pháp các trạng thái giới hạn hoặc các dạng tương tự được gọi là phương pháp “nửa xác suất”, “phương pháp hệ số an toàn bộ phận”,… Nhược điểm cơ bản của các phương pháp này là có mâu thuẫn trong phương pháp luận, nghĩa là sử dụng các tham số tính toán có bản chất ngẫu nhiên trong thuật toán với các quan hệ hàm số có tính tất định. Vì thế, ngày nay ở nhiều nước trên thế giới, để tính toán các công trình người ta đã sử dụng các phương pháp theo lý thuyết độ tin cậy. Bản chất của hệ phương pháp mới là xét đầy đủ tính chất ngẫu nhiên của các tham số được đưa vào tính toán, cũng như xét đến yếu tố thời gian.

Việc tính toán công trình theo phương pháp độ tin cậy đòi hỏi lượng thông tin lớn về các tham số đặc trưng của kết cấu và của tải trọng. Các tham số này chủ yếu do các thí nghiệm đưa lại. Tuy nhiên, các Tiêu chuẩn thiết kế hiện hành đều quy định số lượng mẫu thí nghiệm hạn chế, không phản ánh đầy đủ bản chất của đại lượng được thí nghiệm, điều đó ảnh hưởng rất lớn đến độ chính xác của các kết quả đánh giá an toàn của công trình. Nhưng tiến hành thí nghiệm với số lượng mẫu rất lớn lại đòi hỏi nhiều thời gian và kinh phí lớn. Vì thế cần phải có giải pháp để khắc phục tình trạng trên. Sử dụng phương pháp Monte Carlo là một trong những giải pháp chủ yếu, và phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước của tác giả là một dạng của phương pháp Monte Carlo. Tuy nhiên, khi tính toán các công trình xây dựng về độ tin cậy thì số lần thử nghiệm N cần đạt đến mức nào để được coi là đủ lớn?

Trong bài báo trình bày phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước để tính toán độ tin cậy của công trình với việc xác định số lần thử nghiệm N cần thiết, được coi là đủ lớn, và nêu ví dụ minh họa tính toán độ tin cậy về ổn định lật của công trình tường chắn cứng.

2. Phương pháp mô phỏng Monte Carlo

Trong thực tế người ta áp dụng các dạng khác nhau của phương pháp Monte Carlo có liên quan đến việc mô hình hóa các đại lượng ngẫu nhiên, chúng được gọi là các phương pháp Monte Carlo [4],[5]. Trong số các phương pháp Monte Carlo có thể tách ra các phương pháp mà trong đó mô hình của đại lượng hoặc quá trình cần tính toán hoàn toàn được phục hồi. Các phương pháp như thế được gọi là các phương pháp mô phỏng [4], mà phương pháp mô hình hoá thống kê từng bước của tác giả cũng thuộc vào số đó [4],[6],[7]. Vì thế, chúng ta xem nội dung của các phương pháp này.

2.1. Tạo các số ngẫu nhiên cơ sở

Để áp dụng các phương pháp mô phỏng Monte Carlo trong tính toán độ tin cậy của công trình, đòi hỏi phải tạo ra một số lượng lớn (hàng chục ngàn, thậm chí nhiều triệu) số ngẫu nhiên, được gọi là các số ngẫu nhiên cơ sở. Từ đó phân bố tương ứng của đại lượng ngẫu nhiên hoặc quá trình ngẫu nhiên được xây dựng một cách nhân tạo, và trong những bài toán khác nhờ mô hình toán học trên máy tính có thể phục hồi được phân bố thực của đại lượng ngẫu nhiên hoặc quá trình ngẫu nhiên.

Để tạo ra các số ngẫu nhiên cơ sở người ta đã sử dụng các phương pháp khác nhau, như chất đồng vị phân huỷ hay đèn điện, phương pháp phần giữa các bình phương,... [4]. Tuy nhiên, ngày nay người ta sử dụng phổ biến là các số ngẫu nhiên đặc biệt hay các số giả ngẫu nhiên, được tạo ra bởi các phương pháp chương trình (các algôrit chương trình) trên cơ sở các công thức truy hồi ở dạng [4],[8]:

$$\xi_{k+1} = F(\xi_k) \qquad (2.1)$$

ở đây k = 0, 1, 2,…

Nếu số ban đầu ξ_0 được cho trước thì tất cả các số tiếp theo $\xi_1, \xi_2, ...$ được tính theo một và chỉ một công thức (2.1) khi k = 0, 1, 2,…

Khi đó, với tính chất như dãy số ngẫu nhiên cơ sở người ta sử dụng các số ngẫu nhiên phân bố trong khoảng (0,1), từ đó bằng các cách biến đổi tiếp theo sẽ nhận được giá trị của các đại lượng ngẫu nhiên với quy luật phân bố cho trước. Như vậy, phân bố đều trong khoảng (0,1) chiếm vị trí đặc biệt trong kỹ thuật mô hình hóa thống kê hay kỹ thuật mô phỏng. Ngày nay các phương pháp thuật toán tạo ra các số ngẫu nhiên phân bố trong khoảng (0,1) dựa trên cơ sở các công thức truy hồi đã được tạo ra khá hoàn thiện [8].

Trong thực tế người ta sử dụng phổ biến nhất là bộ tạo các số giả ngẫu nhiên URAND do các nhà toán học Mỹ tạo ra trên cơ sở công thức truy hồi (2.1) [4]. Bộ tạo số ngẫu nhiên này thoả mãn được tất cả các yêu cầu về “chất lượng” của các số ngẫu nhiên và đã trải qua các thử nghiệm kiểm tra trên các bài toán mô hình. Ưu điểm khác của bộ tạo số này là tái tạo được các số giả ngẫu nhiên.

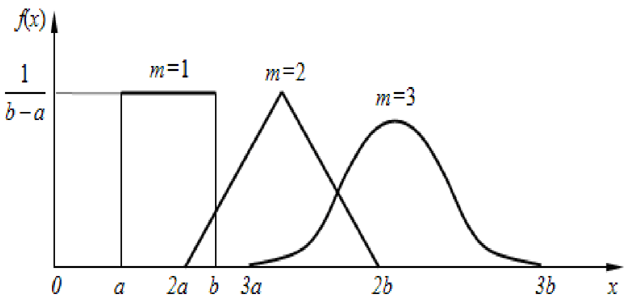
Trong hầu hết các ngôn ngữ lập trình đều có các mô-đun hoặc bộ tạo các số ngẫu nhiên dạng như URAND. Ví dụ, trong ngôn ngữ Turbo Pascal, khi phát lệnh “Random” máy tính sẽ cho kết quả là một số ngẫu nhiên ξ_k có giá trị trong khoảng (0,1).

Từ dãy số ngẫu nhiên cơ sở $\{\xi_k\}$ phân bố trong khoảng (0,1), bằng cách biến đổi tương ứng có thể nhận được các giá trị của đại lượng ngẫu nhiên với quy luật phân bố cho trước. Nguyên tắc chung của việc biến đổi để nhận được các giá trị của đại lượng ngẫu nhiên với quy luật phân bố cho trước được trình bày trong [9].

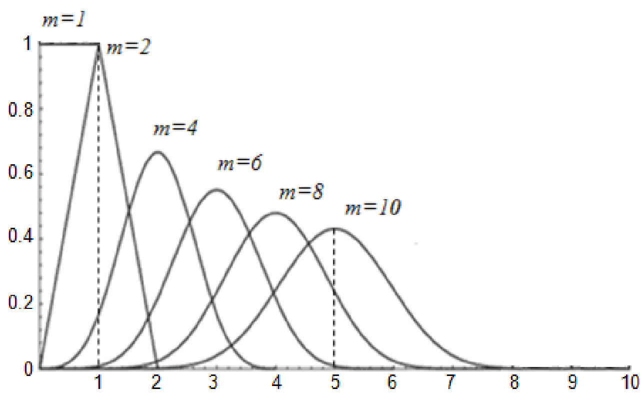
Dưới đây trình bày tóm tắt việc biến đổi để nhận được các giá trị của đại lượng ngẫu nhiên có quy luật phân bố chuẩn.

2.2. Mô phỏng các đại lượng ngẫu nhiên

Các kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng, hầu hết các tham số đặc trưng của kết cấu và tải trọng, cũng như của các chỉ tiêu cơ-lý của đất đều có phân bố chuẩn hoặc rất gần với phân bố chuẩn nếu điều kiện thí nghiệm như nhau và số lượng mẫu thí nghiệm đủ lớn [3],[4]. Vì thế ở đây chỉ trình bày phương pháp mô phỏng đối với các đại lượng ngẫu nhiên có phân bố chuẩn.



Hình 2.1. Phân bố tổng của m đại lượng ngẫu nhiên phân bố đều độc lập trong khoảng (a, b) [9]



Hình 2.2. Phân bố của tổng m đại lượng ngẫu nhiên phân bố đều độc lập trong khoảng (0,1) với m tăng dần [10]

Cơ sở của việc biến đổi để nhận được phân bố chuẩn của các đại lượng ngẫu nhiên là định lý giới hạn trung tâm của lý thuyết xác suất. Ở dạng đơn giản nhất, định lý này có thể được phát biểu như sau: Tổng của một số lượng đủ lớn m các đại lượng ngẫu nhiên độc lập và có phân bố bất kỳ sẽ có phân bố xấp xỉ với phân bố chuẩn [4],[8].

Lưu ý rằng, các đại lượng ngẫu nhiên độc lập và có phân bố bất kỳ, vì thế người ta thường sử dụng phân bố đều là dạng phân bố đơn giản nhất cho mục đích mô phỏng.

Có thể minh họa định lý giới hạn trung tâm bằng đồ thị. Trên Hình 2.1 trình bày phân bố tổng của m các đại lượng ngẫu nhiên phân bố đều độc lập trong khoảng (a, b) [9] và trên Hình 2.2 là các phân bố tổng của m phân bố đều trong khoảng (0,1) [10] với m tăng dần.

Phương pháp biến đổi để nhận được dãy số ngẫu nhiên phân bố chuẩn $\{x_k\}$ có các tham số cho trước $\bar{x}$, σ_x được trình bày chi tiết trong [4],[9]. Theo đó, đại lượng ngẫu nhiên phân bố chuẩn x được thể hiện ở dạng:

$$x_k = \bar{x} + \sigma_x \sqrt{\frac{12}{m}} \left(\sum_{k=1}^{m} \xi_k - \frac{m}{2} \right) \tag{2.2}$$

Chúng ta đưa vào ký hiệu

$$\xi_x = Z = \sqrt{\frac{12}{m}} \left(\sum_{k=1}^{m} \xi_k - \frac{m}{2} \right) \tag{2.3}$$

và gọi là số ngẫu nhiên chuẩn.

Tuỳ thuộc độ chính xác yêu cầu mà số lượng đại lượng ngẫu nhiên m có thể dao động trong các giới hạn khác nhau: từ 5 đến 15 [9], hoặc lớn hơn (20÷30) [4].

Một số tác giả đề nghị lấy m = 12, khi đó các giá trị của đại lượng ngẫu nhiên phân bố chuẩn x có các đặc trưng thống kê chính $\bar{x}$ và σ_x được tính theo công thức sau [4]:

$$x_k = \bar{x} + \sigma_x \left(\sum_{k=1}^{12} \xi_k - 6 \right) \tag{2.4}$$

Để tính toán các công trình xây dựng về độ tin cậy, tác giả đề nghị lấy số số hạng m trong giới hạn từ 6 đến 20. Khi lấy m = 18, ta nhận được

$$\xi_x = \sqrt{\frac{2}{3}} \left(\sum_{k=1}^{18} \xi_k - 9 \right) \tag{2.5}$$

và $$x_k = \bar{x} + \sigma_x \xi_x \tag{2.6}$$

Các công thức (2.5), (2.6) được sử dụng trong tất cả các chương trình do tác giả lập để tính toán xác suất và độ tin cậy của các công trình.

3. Phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước

3.1. Nội dung phương pháp

Phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước do tác giả nêu ra dựa trên thuật toán tất định và mô hình hóa thống kê các đại lượng ngẫu nhiên, cho phép xác định các đặc trưng thống kê của các phân bố nội lực và khả năng chịu tải trong các cấu kiện, cũng như của cả công trình nói chung, từ đó xác định được độ tin cậy của chúng [4],[6],[7]. Tuỳ thuộc độ chính xác yêu cầu, phương pháp có thể tạo hàng chục ngàn đến hàng tỷ giá trị ngẫu nhiên của các phân bố của tải trọng hoặc nội lực và độ bền hoặc khả năng chịu tải của công trình. Phương pháp này cũng có thể được xếp vào dạng các phương pháp mô phỏng.

Nội dung cơ bản của phương pháp như sau [2],[4].

Trước hết cần thiết lập thuật toán tất định bao gồm các biểu thức toán học để tính toán công trình, trong đó đưa ra được hàm nội lực (hoặc hàm ngoại tải) và hàm độ bền (hoặc hàm khả năng chịu tải) của cấu kiện chịu tải hoặc của công trình. Sau đó tiến hành mô hình hóa thống kê từng bước các hàm trong thuật toán tất định.

Chúng ta xem xét nguyên tắc chung của việc mô hình hóa thống kê hàm của các đại lượng ngẫu nhiên khi biết các đặc trưng thống kê của các đại lượng này.

Giả sử cần xác định các đặc trưng thống kê của đại lượng F, là hàm của các đại lượng ngẫu nhiên $x_1, x_2, ..., x_n$, nghĩa là

$$F = f(x_1, x_2, ..., x_n) \tag{3.1}$$

trong đó đã biết các kỳ vọng toán $\bar{x}_i$ và phương sai $\sigma^2_{x_i}$ (với σ_{x_i} là độ lệch chuẩn) của mỗi đại lượng ngẫu nhiên $x_1, x_2, ..., x_n$.

Kỳ vọng toán và độ lệch chuẩn của đại lượng F được xác định theo trình tự sau:

1) tạo số ngẫu nhiên chuẩn ξ_{x1} theo công thức (2.5);

2) tính giá trị $x_1 = \bar{x}_1 + \sigma_{x1} \cdot \xi_{x1}$;

3) tạo số ngẫu nhiên chuẩn ξ_{x2};

4) tính giá trị $x_2 = \bar{x}_2 + \sigma_{x2} \cdot \xi_{x2}$;

…

n) tạo số ngẫu nhiên chuẩn ξ_{xn};

n+1) tính giá trị $x_n = \bar{x}_n + \sigma_{xn} \cdot \xi_{xn}$;

n+2) tính và ghi lại một giá trị F_i theo công thức (3.1).

n+3) các thao tác 1 ÷ (n + 2) được lặp lại *N* lần, nhận được N giá trị của F ;

n+4) cuối cùng, tính kỳ vọng toán và độ lệch chuẩn của đại lượng F theo các công thức:

$$\left.\begin{aligned} &\bar{F} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} F_i; \\ &\sigma_F = \sqrt{\frac{1}{N-1}\left[\sum_{i=1}^{N} F_i^2 - \frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{N} F_i\right)^2\right]}. \end{aligned}\right\} \tag{3.2}$$

Theo nguyên tắc trên, lần lượt từng bước mô hình hóa thống kê các đại lượng hay các hàm của các biến ngẫu nhiên trong thuật toán tất định, cho phép nhận được các tham số thống kê chủ yếu như kỳ vọng toán, độ lệch chuẩn,... của hàm nội lực S và hàm khả năng chịu tải R của các cấu kiện riêng biệt hoặc của cả công trình. Các tham số này được đưa vào để tính độ tin cậy của chúng.

Phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước được trình bày chi tiết trong [2],[4],[6].

3.2. Xác định số lần thử nghiệm N đủ lớn

Trong phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước, một vấn đề được đặt ra là: số lần thử nghiệm N cần thiết là bao nhiêu để được coi là đủ lớn?

Từ việc phân tích các kết quả nghiên cứu, tác giả có thể kết luận rằng: số lần thử nghiệm N cần thiết, được coi là đủ lớn, phụ thuộc vào sai số tương đối của các tham số của đại lượng ngẫu nhiên và phân bố của đại lượng tương ứng với giá trị N đó.

Đối với đại lượng ngẫu nhiên phân bố chuẩn X thì sai số tương đối của ước lượng kỳ vọng toán α_X và phương sai α_{D_X} được xác định theo các công thức [4]:

$$\alpha_X = \frac{1}{\sqrt{N}}, \quad \alpha_{D_X} = \sqrt{\frac{2}{N-1}} \tag{3.3}$$

Từ đó

$$N = \frac{1}{\alpha_X^2}, \quad N = \frac{2+\alpha_{D_X}^2}{\alpha_{D_X}^2} \tag{3.4}$$

Các biểu thức trong (3.4) đưa lại khả năng xác định số lượng thử nghiệm yêu cầu N đối với các giá trị sai số tương đối α_X và α_{D_X} cho trước. Trong Bảng 3.1 chỉ ra sự phụ thuộc của sai số tương đối của các ước lượng kỳ vọng toán và phương sai vào số lần thử nghiệm N.

Từ Bảng 3.1 thấy rằng, có thể đánh giá kỳ vọng toán với sai số 1,41%, và đánh giá phương sai với sai số không lớn hơn 2% khi số lần thử nghiệm chỉ khoảng 5000 lần.

Ngoài ra, cần xem xét dạng phân bố của đại lượng tương ứng với giá trị N. Có thể sử dụng các tiêu chuẩn trong Lý thuyết Thống kê để kiểm tra, nhưng sơ bộ có thể đánh giá trực quan từ biểu đồ thực nghiệm (xem ví dụ trong Mục 4).

Bảng 3.1. Sự phụ thuộc của sai số tương đối vào số lần thử nghiệm N [4]

Sai số tương đối (%)	Số lần thử nghiệm N						
	100	500	1000	5001	10 000	20 000	30 000
α_X . 100 %	10,00	4,47	3,16	1,41	1,00	0,70	0,58
α_{Dx} . 100 %	14,21	6,33	4,47	2,00	1,41	1,00	0,82

3.3. Xác định độ tin cậy của công trình

Từ kết quả tính toán theo phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước với số lần thử nghiệm N đủ lớn có thể tính được độ tin cậy của cấu kiện hoặc của cả công trình.

Khi đó, vào thời điểm t bất kỳ, xác suất làm việc an toàn hay độ tin cậy của cấu kiện i hoặc của cả công trình có thể được xác định theo phương pháp bán bất biến tổng quát của A.Iu. Pavlov [4] hoặc theo công thức của phương pháp tuyến tính hóa:

$$P_i = 1 - \Phi\left\{\frac{\bar{S}_i - \bar{R}_i}{\sqrt{\sigma_{Si}^2 + \sigma_{Ri}^2}}\right\}, \qquad (3.5)$$

trong đó $\bar{S}_i, \sigma_{S_i}, \bar{R}_i, \sigma_{R_i}$ – tương ứng là kỳ vọng toán học và độ lệch chuẩn của hàm nội lực hoặc tải trọng S và hàm độ bền hoặc hàm khả năng R; Φ – là hàm phân bố chuẩn.

Tuỳ thuộc cách liên kết và tác dụng tương hỗ giữa các cấu kiện mà độ tin cậy của cả công trình sẽ được xác định [1],[2],[3].

Trên cơ sở phương pháp vừa trình bày, tác giả đã lập các chương trình tính trên ngôn ngữ Turbo Pascal để tính toán xác suất các dạng kết cấu khác nhau, cho phép xác định các tham số thống kê của nội lực và khả năng chịu tải của các cấu kiện với số lần thử nghiệm N đến $2,14.10^9$, từ đó nhận được các kết quả ổn định và hội tụ nhanh.

4. Kết quả áp dụng tính toán

Không làm mất tính tổng quát của bài toán chúng ta tiến hành tính toán độ tin cậy về ổn định lật của công trình tường chắn cứng. Độ tin cậy về các dạng sự cố khác của công trình được xác định tương tự.

Sơ đồ tính toán tường được thể hiện trên Hình 4.1 và các số liệu đưa vào tính toán được cho trong Bảng 4.1. Để đơn giản tính toán, bỏ qua ma sát giữa đất và tường khi tính áp lực đất.

Việc xác định độ tin cậy về sự cố lật quanh mép trước của tường được thực hiện theo phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước. Nội dung về thiết lập thuật toán tất định và mô hình hóa thống kê từng bước được trình bày chi tiết trong [2],[4].

Tác giả đã lập chương trình tính XSOTC, cho phép xác định các tham số thống kê của hàm mô men gây lật M_l và hàm mô men chống lật M_g của tường đối với điểm mép trước chân tường (điểm O trên Hình 4.1). Từ đó, độ tin cậy về lật của tường được xác định theo công thức:

$$P_o = 1 - \Phi\left\{\frac{\bar{M}_l - \bar{M}_g}{\sqrt{\sigma_{M_l}^2 + \sigma_{M_g}^2}}\right\}, \qquad (4.1)$$

trong đó Φ – hàm phân bố chuẩn; $\bar{M}_l, \sigma_{M_l}$, $\bar{M}_g, \sigma_{M_g}$ – tương ứng là kỳ vọng toán và độ lệch chuẩn của mô men gây lật và mô men giữ.

Ngoài ra, kiểm tra ổn định lật của tường theo phương pháp tất định cũng đã được tiến hành. Các kết quả tính toán theo phương pháp tất định và theo xác suất được thể hiện trong Bảng 4.2.

Trên Hình 4.2 thể hiện phân bố của mô men gây lật M_l và mô men giữ M_g theo kết quả mô phỏng bằng phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước với N = 10 000.

Như ví dụ minh họa, trên Hình 4.3 thể hiện quá trình thay đổi dạng phân bố của mô men gây lật M_l khi thay đổi số lần thử nghiệm N.

Từ các kết quả tính toán có thể nhận xét rằng:

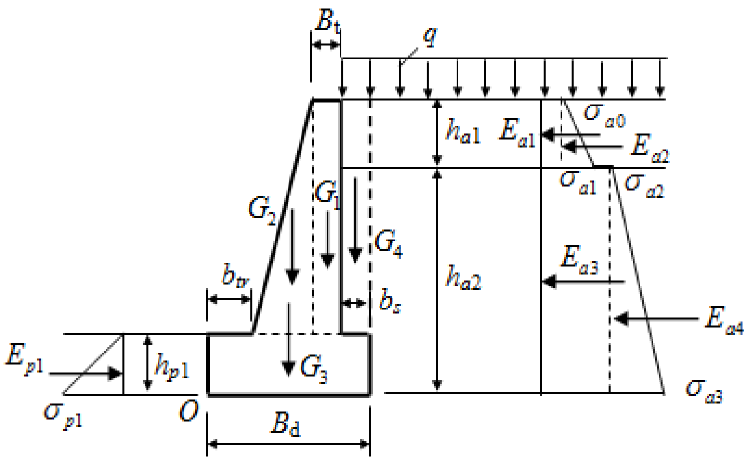
- Khi số lần thử nghiệm N tăng dần thì biểu đồ phân bố thực nghiệm tiến dần đến gần với phân bố chuẩn (xem Hình 4.3).

- Khi số lần thử nghiệm còn nhỏ (N < 1 000), biểu đồ phân bố thực nghiệm dạng bậc còn khác nhiều so với phân bố chuẩn (các Hình 4.3*a,b,c,d*).

- Với N = 5 000 (Hình 4.3*e*), biểu đồ phân bố thực nghiệm đã gần với phân bố chuẩn hơn, nhưng dạng phân bố phân tán hơi rộng (tức hệ số độ nhọn Ex < 0). Cũng cần chú ý rằng, từ Bảng 3.1, khi N = 5 001 thì đánh giá kỳ vọng toán có sai số 1,41%, và đánh giá phương sai có sai số 2%, đó là những sai số còn tương đối lớn.

- Với số lần thử nghiệm N = 10 000 (Hình 4.3*f*), biểu đồ phân bố thực nghiệm có thể coi là phân bố chuẩn khi đường cong phân bố lý thuyết và biểu đồ thực nghiệm sát nhau (xem Hình 4.2*a*). Cũng từ Bảng 4.1, khi N = 10 000 thì đánh giá kỳ vọng toán chỉ có sai số 1,0%, và đánh giá phương sai có sai số 1,41%. Các sai số trong tính toán như thế đối với các ngành xây dựng hoàn toàn có thể chấp nhận được.

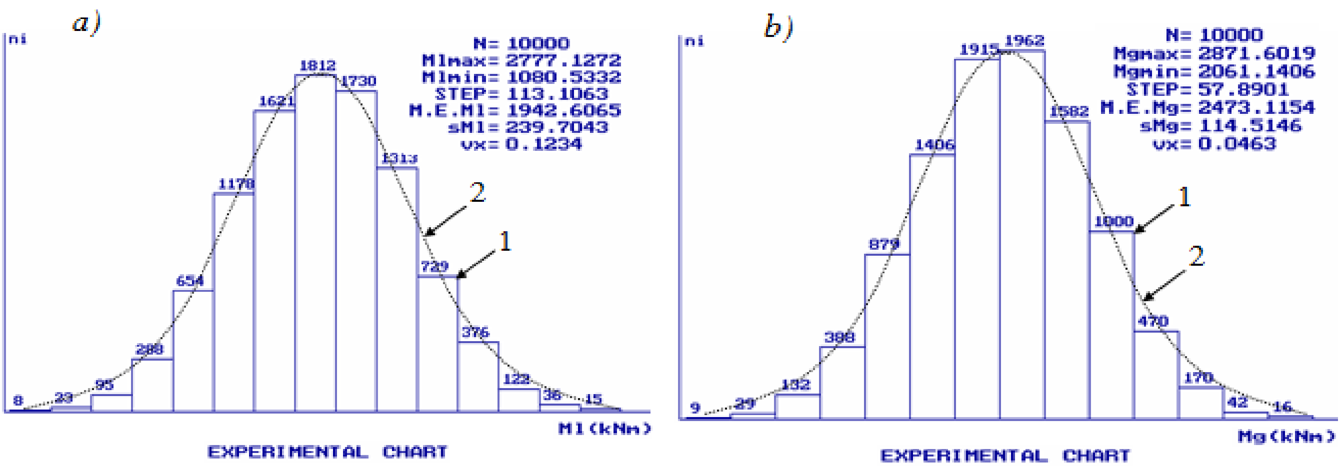
- Độ tin cậy về ổn định lật của tường với số lần thử nghiệm N = 10 000 và khi N ≥ 65 000 chênh lệch nhau không quá (0,1 – 0,2)% (xem Bảng 4.2). Vì thế, với độ chính xác cần thiết và để tiết kiệm thời gian chạy máy tính, tác giả đề nghị lấy N = 10 000 lần, được coi là đủ lớn, trong tính toán xác suất xác định độ tin cậy của công trình xây dựng khi sử dụng phương pháp mô phỏng.



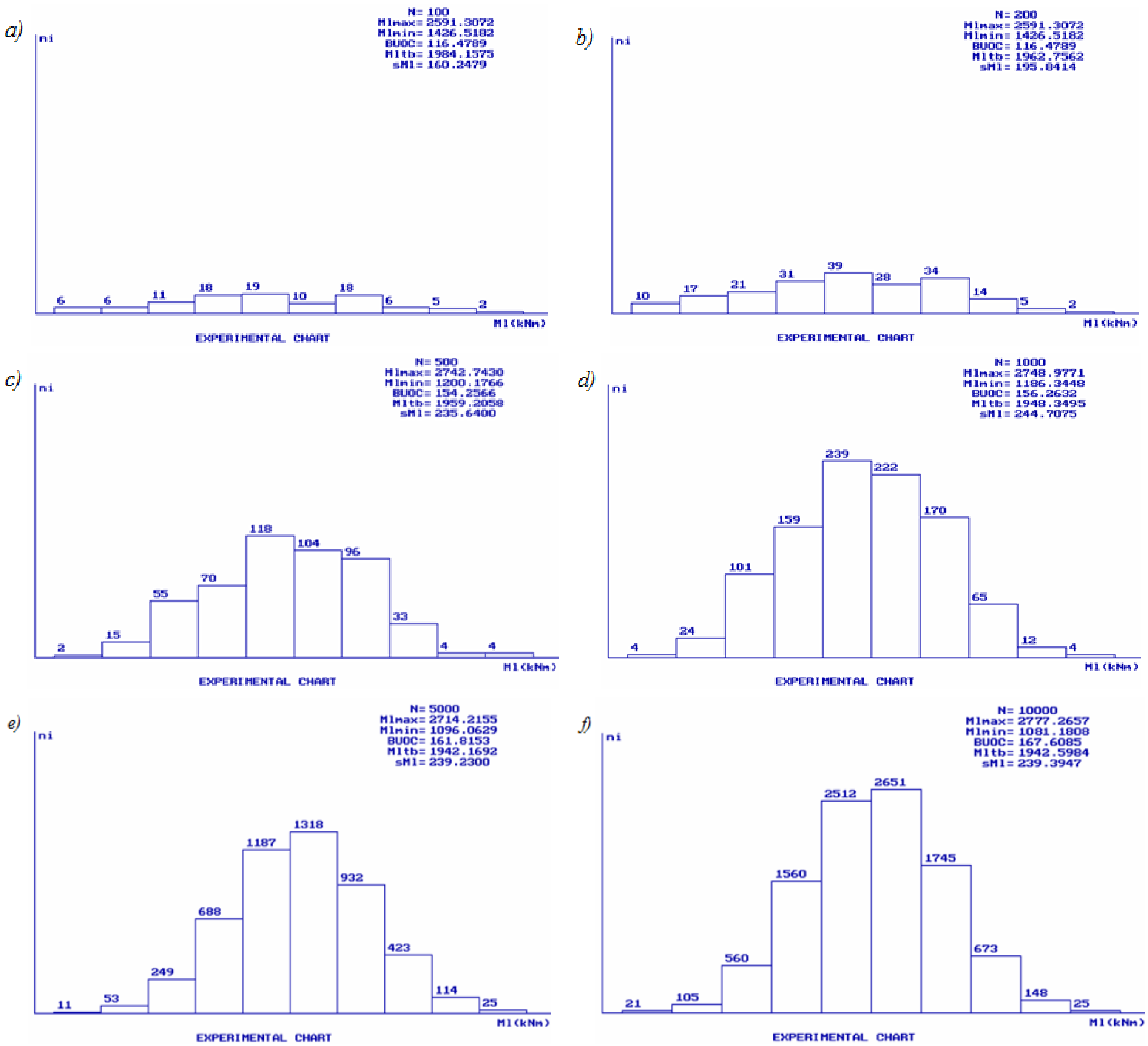
Hình 4.1. Sơ đồ tính toán tường chắn cứng

Bảng 4.1. Số liệu để tính toán tường chắn cứng

Kỳ vọng toán	Độ lệch chuẩn	Kỳ vọng toán	Độ lệch chuẩn	Kỳ vọng toán	Độ lệch chuẩn
$\bar{B}_t$ = 1,0 m	σ_{Bt} = 0,02 m	$\bar{h}_{a1}$ = 2,0 m	σ_{ha1} = 0,03 m	$\bar{\phi}_{a1}$ = 30^0	$\sigma_{\varphi a1}$ = 4^0
$\bar{B}_d$ = 5,0 m	σ_{Bd} = 0,1 m	$\bar{h}_{a2}$ = 8,0 m	σ_{ha2} = 0,15 m	$\bar{\phi}_{a2}$ = 20^0	$\sigma_{\varphi a2}$ = 3^0
$\bar{b}_{tr}$ = 1,0 m	σ_{btr} = 0,02 m	$\bar{h}_{p1}$ = 2,0 m	σ_{hp1} = 0,03 m	$\bar{\phi}_{p1}$ = 40^0	$\sigma_{\varphi p1}$ = 6^0
$\bar{b}_s$ = 1,5 m	σ_{bs} = 0,03 m	$\bar{\gamma}_{a1}$ = 19 kN/m^3	$\sigma_{\gamma a1}$ = 2,0 kN/m^3	$\bar{c}_{a1}$ = 0	σ_{ca1} = 0
$\bar{\gamma}_{bt}$ = 24 kN/m^3	σ_{bt} = 1,2 kN/m^3	$\bar{\gamma}_{a2}$ = 17 kN/m^3	$\sigma_{\gamma a2}$ = 1,6 kN/m^3	$\bar{c}_{a2}$ = 3 kPa	σ_{ca2} = 0,4 kPa
$\bar{q}$ = 30 kPa	σ_q = 6 kPa	$\bar{\gamma}_{p1}$ = 18 kN/m^3	$\sigma_{\gamma p1}$ = 1,7 kN/m^3	$\bar{c}_{p1}$ = 0 kPa	σ_{cp1} = 0



Hình 4.2. Phân bố của mô men gây lật (a) và mô men giữ (b): 1- kết quả mô phỏng theo phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước với N =10 000; 2- đường phân bố lý thuyết



Hình 4.3. Sự thay đổi dạng phân bố của M_l khi tăng số lần thử nghiệm N

Bảng 4.2. Kết quả tính toán

Theo phương pháp tất định						
Các đại lượng	Mô men lật: M_l = 1933,471 kNm			Mô men giữ: M_g = 2466,875 kNm		
Hệ số ổn định lật	$k_0 = \frac{M_g}{M_l} \approx 1,28$					
Theo phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước						
Số lần thử nghiệm N	Kỳ vọng toán của mô men lật $\bar{M}_l$ (kNm)	Độ lệch chuẩn của mô men lật σ_{Ml} (kNm)	Kỳ vọng toán của mô men giữ $\bar{M}_g$ (kNm)	Độ lệch chuẩn của mô men giữ σ_{Mg} (kNm)	Chỉ số độ tin cậy β	Độ tin cậy P
1 000	1948,3495	244,7075	2463,6614	111,4177	1,917	0,9724
5 000	1942,1692	239,2300	2473,6353	114,3610	2,004	0,9772
10 000	1942,6065	239,7043	2473,1154	114,5146	1,998	0,9771
65 000	1944,3240	240,5656	2471,9909	114,7718	1,980	0,9761
100 000	1946,2452	240,2326	2473,0157	114,8052	1,978	0,9760
1.10^6	1945,8344	240,1140	2472,7168	114,8718	1,979	0,9761
100.10^6	1945,3345	240,0499	2472,7430	114,8429	1,982	0,9762

5. Thảo luận

- Ngày nay phương pháp tuyến tính hóa và phương pháp mô phỏng Monte Carlo được coi là các phương pháp cơ bản để tính toán xác định độ tin cậy của các công trình [2],[11]. Tuy nhiên, phương pháp tuyến tính hóa chỉ được sử dụng khi các biến đầu vào là các biến ngẫu nhiên có phân bố chuẩn và công trình có kết cấu tương đối đơn giản. Vì thế, để xác định độ tin cậy của các công trình chủ yếu người ta sử dụng các dạng khác nhau của phương pháp mô phỏng Monte Carlo, và phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước của tác giả cũng thuộc số đó.

- Theo kết quả trong Bảng 4.2, khi N đủ lớn (N ≥ 10 000), kỳ vọng toán của mô men lật $\bar{M}_l$ và của mô men giữ $\bar{M}_g$ chênh lệch so với các kết quả tính toán tất định tương ứng là 0,24% và 0,46%. Trong tính toán các công trình xây dựng các sai số như thế có thể coi là nhỏ.

- Phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước cho phép tính toán xác định được độ tin cậy của các công trình với các tham số kết cấu và tải trọng là các biến ngẫu nhiên có quy luật phân bố chuẩn. Khi phân bố của các biến đầu vào không phải phân bố chuẩn hoặc một số biến không phải phân bố chuẩn thì kết quả tính toán sẽ có những sai số nhất định và cần xét đến những sai số đó khi xác định độ tin cậy của công trình.

6. Kết luận

Trong nghiên cứu này, cách tiếp cận mô phỏng số các đại lượng ngẫu nhiên có quy luật phân bố đã biết để tính toán độ tin cậy của một công trình được kiến nghị. Dựa trên kết quả phân tích áp dụng cho công trình tường chắn, tác giả rút ra một số kết luận sau:

- Việc mô phỏng các đại lượng ngẫu nhiên có quy luật phân bố đã biết và sử dụng các dữ liệu này để tính toán độ tin cậy của công trình góp phần khắc phục nhược điểm của các Tiêu chuẩn hiện hành về số lượng mẫu thử hạn chế.

- Theo phương pháp mô phỏng hay mô hình hóa thống kê từng bước trong tính toán độ tin cậy của các công trình xây dựng, để đảm bảo độ chính xác cần thiết, đề nghị lấy số lần thử nghiệm N ≥ 10 000.

- Phương pháp của tác giả có thể được áp dụng để tính toán xác định độ tin cậy của các dạng công trình xây dựng khác nhau trên cơ sở thuật toán tất định tin cậy.

- Khi các tham số đầu vào của kết cấu và tải trọng là các đại lượng ngẫu nhiên có quy luật phân bố không phải phân bố chuẩn, có thể chuyển đổi về phân bố chuẩn và áp dụng phương pháp đã trình bày hoặc dựa vào các phương pháp trong tài liệu [9] để tiến hành mô phỏng theo quy luật phân bố đã biết.

Tài liệu tham khảo

[1] N.V. Vi. (1996). Tính toán các công trình bến cảng theo lý thuyết độ tin cậy. Tạp chí Giao thông vận tải, No 9, 1996, Hà Nội.

[2] N.V. Vi. (2018). Độ tin cậy của công trình xây dựng. NXB Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội – 2018.

[3] Lưchov A. X. (1995). Các phương pháp xác suất tính toán các kết cấu xây dựng. Moscow: NXB “Hiệp hội các Trường đại học về xây dựng”, 1995. – 142 tr.

[4] N.V. Vi. (2017). Phương pháp mô hình hóa thống kê từng bước trong tính toán độ tin cậy của các công trình cảng. NXB Giao thông vận tải. Hà Nội - 2009 (tái bản năm 2014 và 2017).

[5] Sobol’ I. M. (1973). Các phương pháp số Monte-Carlo. Moscow: NXB “Khoa học”, 1973 – 311 tr.

[6] N.V. Vi. (2003). Phương pháp mô hình hóa thống kê trong tính toán độ tin cậy của các công trình kỹ thuật thủy của cảng. Moscow: “Khoa học và Kỹ thuật Giao thông vận tải”, số 4-2003, tr. 88–97).

[7] N.V. Vi. (2004). Tính toán độ tin cậy về ổn định chung của công trình bến tường cừ bằng phương pháp mô hình hóa thống kê. “Cảng sông và cảng biển Nga” – Tuyển tập các báo cáo của Hội nghị khoa học - thực tiễn toàn Liên bang lần thứ 2, Moscow, ngày 16-19 tháng 11 năm 2004, tr. 102 – 109).

[8] Sobol’ I. M. (1978). Phương pháp Monte-Carlo. Xuất bản lần thứ 3. Moscow: NXB “Khoa học”, 1978 – 64 tr.

[9] Kredentser B.P., Laxtovchenko M.M., Xenetskiy X.A., Shishonok N.A. (1967). Giải các bài toán độ tin cậy và khai thác trên các máy tính điện tử vạn năng. Moscow: NXB Radio Xô-viết, 1967. – 400 tr.

[10] Naveen Kumar Boiroju and M. Krishna Reddy. (2012). Generation of standard normal random numbers. Department of Statistics, Osmania University, Hyderabad - 500 007, 2012, India.

[11] RD 31-31-35-85. (1986). Các nguyên tắc cơ bản tính toán các công trình bến cảng về độ tin cậy. Moscow: V/O “Mortekhinformreklama”, 1986.