

ỨNG DỤNG TÍNH TOÁN SONG SONG TRONG PHẦN MỀM ANSYS AUTODYN MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH NỔ VẬT NỔ CÓ VỎ BỌC

THE APPLICATION OF PARALLEL COMPUTING IN THE ANSYS AUTODYN SOFTWARE FOR SIMULATION OF THE DETONATION PROCESS OF CASED EXPLOSIVE DEVICE

ThS. Lê Xuân Cường¹, TS. Đặng Văn Đoàn¹, Phạm Công Thành¹, KS. Nguyễn Mạnh Hùng¹,
TS. Nguyễn Văn Thủy², TS. Phan Văn Tuấn², KS. Phan Thanh Phúc²

¹Viện Khoa học Hình sự, Bộ Công an

²Khoa Vũ khí, Học viện Kỹ thuật Quân sự

TÓM TẮT

Phá hủy vỏ bọc kim loại là quá trình vật lý nổ phức tạp. Trong nghiên cứu này, tác giả trình bày mô hình toán học bài toán nổ vật nổ có vỏ bọc và ứng dụng phương pháp tính toán song song trong phần mềm Ansys Autodyn để khảo sát quá trình phá hủy vật nổ có vỏ bọc. Kết quả nghiên cứu đã thiết lập được bài toán song song trên máy tính chuyên dụng 16 nhân, 32 luồng, tận dụng các khả năng của hệ đa bộ xử lý trên máy tính để đẩy nhanh quá trình tính toán, đáp ứng kịp thời việc nghiên cứu, giải bài toán mô phỏng quá trình phá hủy vật nổ có vỏ bọc. Kết quả này dùng để phục vụ công tác nghiên cứu, mô phỏng giải bài toán thiết kế đạn dược.

Từ khoá: *Mô phỏng; Vật nổ có vỏ bọc; Tính toán song song.*

ABSTRACT

Metal case failure is a complex process of physics explosion. In this study, the author presents the mathematical model of a problem of cased explosive device detonation and the application of parallel computing in the Ansys Autodyn software to investigate the destruction process of cased explosive device. The research results have set up a parallel problem on 32-thread, 16-core specialized computers, taking advantage of the capabilities of a multi-processor system on the computer to speed up the calculation process and timely responding to studying and solving the problem of simulation of the destruction process of cased explosive device. This result is used for research and simulation of a ammunition design problem.

Keywords: *Simulation, cased explosive device, parallel computing.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mô phỏng các quá trình nổ và va đập của vật nổ rất đa dạng và phong phú, tùy thuộc vào mục đích nghiên cứu sẽ đưa ra bài toán cụ thể. Để nghiên cứu quá trình nổ vật nổ thường chia thành hai nhóm cơ bản: Nổ vật nổ có vỏ bọc và nổ vật nổ không có vỏ bọc. Vật nổ có vỏ bọc là dạng kết cấu hay gặp trong kỹ thuật quân sự (bom, mìn, lựu đạn...) và một số vật nổ tự chế thường gặp trong công tác đấu tranh phòng, chống tội phạm (ống kim loại chế sẵn). Còn đối với vật nổ có vỏ bọc mỏng, vật lý nổ coi như nổ không có vỏ bọc (hộp lon bia, lon nước giải khát, hộp nhựa, bọc giấy, nilon...). Cùng với sự phát triển của khoa học máy tính, các phương pháp số giải bài toán biến dạng, phá hủy cũng được phát triển và hoàn thiện tới mức chuyên sâu như phần mềm Autodyn, Ls-Dyna [10-11], với khả năng giải các bài toán phi tuyến cao, xử lý chính xác sự tương tác giữa các miền vật lý khí, lỏng, rắn với vật liệu một pha hay đa pha.

Ở trong nước, đã có nhiều nghiên cứu về quá trình nổ, lan truyền và phá hủy của chất nổ ứng dụng trong thiết kế, chế tạo đạn dược song việc mô phỏng quá trình này chủ yếu nghiên cứu về sự phá hủy của đạn dược để xác định tính sinh mệnh hay khi va chạm với mục tiêu. Một trong số vấn đề quan trọng hiện nay khi khai thác các phần mềm mô phỏng hiện đại là cần nghiên cứu kỹ mô hình vật lý, trên cơ sở đó xây dựng mô hình toán học để có cơ sở khoa học lựa chọn giải pháp kỹ thuật phần mềm phù hợp với bài toán thực tế, bảo đảm sao cho tối ưu khả năng giải, giảm thiểu chi phí nhân công, vật tư và thiết bị. Điển hình là bài toán mô phỏng quá trình nổ với mô hình vật lý – toán học phức tạp, chi phí thời gian tính toán trên máy rất lớn. Do vậy, để đảm bảo tính khả thi áp dụng mô hình tính toán vào thực tế cần

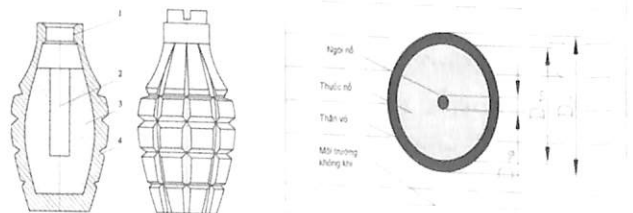
khai thác, sử dụng phương pháp mới với hiệu năng tính toán cao - Kỹ thuật tính toán song song [1], [3-8].

Trong phạm vi nghiên cứu, trên cơ sở mô hình vật lý của bài toán nổ vật nổ có vỏ bọc kim loại bằng lượng nổ cùng hệ thống các giả thiết phù hợp, tác giả xây dựng mô hình toán học và sử dụng phương pháp tính toán song song trong phần mềm Ansys Autodyn-3D để giải, nhằm khảo sát quá trình nổ của vỏ bọc kim loại, các kết quả tính toán được so sánh với kết quả thực nghiệm.

2. MÔ HÌNH TOÁN HỌC QUÁ TRÌNH NỔ CÓ VỎ BỌC

2.1. Mô hình hình học

Để đơn giản hoá trong quá trình mô phỏng quá trình nổ và va đập, trong các đối tượng vật nổ nghiên cứu, chọn mô hình hình học của bài toán tương tác giữa thuốc nổ và vỏ bọc (hình 1). Xem xét mô hình vật nổ dạng hình cầu hở, vật liệu chế tạo thân vỏ là kim loại, bên trong nhồi thuốc nổ ở dạng hình cầu, bên ngoài dạng hình cầu được tạo các rãnh tập trung ứng suất. Toàn bộ kết cấu thuốc nổ - vỏ bọc đặt trong môi trường không khí vô hạn. Trên cơ sở mô phỏng vật nổ có vỏ bọc đó, phát triển mô phỏng các loại vật nổ đa dạng khác.



Hình 1. Mô hình hình học của bài toán:
1) Lỗ ren lắp ngòi nổ; 2) Lỗ lắp ngòi nổ; 3) Thuốc nổ TNT; 4) Thân lựu đạn.

Các đặc trưng hình dạng của vật nổ gồm: D_{ng} – Đường kính ngòi nổ; D_m – Đường kính thuộc nổ; D_v – Đường kính vỏ.

2.2. Hệ thống các giả thiết

- Vật liệu vỏ kim loại đồng nhất, đẳng hướng, có tính bền, tính dẻo.

- Bỏ qua ảnh hưởng của trọng lực.

- Thời điểm ban đầu, thân vỏ và thuốc nổ không có ứng suất và biến dạng, xem xét trong điều kiện áp suất khí quyển. Trong môi trường không khí, thuốc nổ, vật liệu thân vỏ không có nguồn phát nhiệt và không có tác động của các ngoại lực và nguồn nhiệt bên ngoài.

2.3. Mô hình toán học

Để mô tả quá trình hình thành và lan truyền sóng nổ, biến dạng và phá vỡ thân vỏ vật nổ, va đập với môi trường xung quanh chúng ta nghiên cứu hệ phương trình mô tả bài toán bao gồm các phương trình bảo toàn cơ bản; các phương trình trạng thái mô tả tính chất của chất nổ, sản phẩm nổ, vật liệu thân vỏ, vật liệu va chạm; các phương trình động học và bổ sung [9]. Với các giả thiết đã đặt ra (mục 1.2), có thể bỏ qua các thành phần ngoại lực, bỏ qua quá trình trao đổi nhiệt trong vật chất thì hệ phương trình bao gồm các phương trình cơ bản sau:

- Phương trình bảo toàn khối lượng viết dưới dạng vi phân có dạng:

$$\frac{d\rho}{dt} + \nabla_i(\rho v^i) = 0; \quad (1)$$

Trong đó: ∇ - Toán tử Haminton; ρ - Mật độ; v - Thê tích tương đối.

- Phương trình bảo toàn động lượng (phương trình chuyển động) có dạng [9]:

$$\rho \frac{dv_i}{dt} = \nabla_i \sigma_{ij}; \quad (2)$$

Trong đó: σ_{ij} - Các thành phần cường độ ứng suất.

- Phương trình bảo toàn năng lượng dạng rút gọn (khi không có nguồn nhiệt và dòng nhiệt) [9]:

$$\rho \frac{dE}{dt} = \sigma^{ij} \varepsilon_{ij}; \quad (3)$$

Trong đó: E - Nội năng riêng; ε_{ij} - Các thành phần tốc độ biến dạng.

- Phương trình liên hệ:

$$\frac{dD_{\sigma_{ij}}}{dt} + 2G \lambda D_{\sigma_{ij}} = 2G \left(\dot{\varepsilon}_{ij} + \frac{1}{3\rho} \frac{d\rho}{dt} g_{ij} \right); \quad (4)$$

Trong đó: λ - là đại lượng vô hướng; A_p - Công biến dạng dẻo.

- Phương trình trạng thái vật liệu thân vỏ dạng đa thức như sau:

$$p = C_0 + C_1\mu + C_2\mu^2 + C_3\mu^3 + (C_4 + C_5\mu + C_6\mu^2)E; \quad (5)$$

Trong đó: $C_0, C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ -

các hằng số vật liệu, $\mu = \frac{1}{v} - 1$

- Phương trình mô tả tính chất tăng bền của thân vỏ:

$$\sigma_T^d = \left[A + B.(\varepsilon_i^p)^n \right] \left(1 + C \ln \varepsilon_{i0}^p \right) \left(1 - T^m \right) \quad (6)$$

Trong đó: A - Giới hạn chảy của vật

liệu; B – Hệ số ứng suất biến cứng của vật liệu; C- Hằng số tốc độ biến dạng; m – Số mũ

mềm do nhiệt; n – Số mũ tăng cứng; $\varepsilon_{i0}^p = \frac{\varepsilon_i^p}{\dot{\varepsilon}_0}$

- Tốc độ biến dạng dẻo hiệu quả khi $\dot{\varepsilon}_0 = 1S^{-1}$;

$\bar{T} = \frac{T - T_0}{T_{nc} - T_0}$; T- Nhiệt độ hiện thời; T_0 - Nhiệt

độ ban đầu; T_{nc} -Nhiệt độ nóng chảy của vật liệu.

- Phương trình trạng thái sản phẩm nổ [2], [9]:

$$p = A \left(1 - \frac{\omega}{R_1 V} \right) e^{-R_1 V} + B \left(1 - \frac{\omega}{R_2 V} \right) e^{-R_2 V} + \frac{\omega E}{V}; \quad (7)$$

Trong đó: ω, A, B, R_1, R_2 – Các hằng số thực nghiệm.

- Phương trình trạng thái của không khí dạng gamma:

$$p = (\gamma - 1) \frac{\rho}{\rho_0} E; \quad (8)$$

Trong đó: γ là hệ số; p – Áp suất của sản phẩm nổ.

- Các phương trình động học:

$$u_i = u_i(X, t) = x_i(X, t) - X_i; \quad (9)$$

$$v_i = \frac{\partial u_i}{\partial t} = \dot{u}_i(X, t); \quad (10)$$

$$a_i = \frac{\partial v_i}{\partial t} = \ddot{u}_i(X, t); \quad (11)$$

- Các phương trình bổ sung:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (\nabla_i v_j + \nabla_j v_i); \quad (12)$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2} (\nabla_i u_j + \nabla_j u_i + \nabla_i u_k \nabla_j u^k); \quad (13)$$

$$\sigma_{ij} = -p g_{ij} + D_{\sigma ij}; \quad (14)$$

$$\lambda = \frac{3}{2\sigma_T^2} \sigma_{ij} \varepsilon_{ij}^p. \quad (15)$$

Trong đó: x_i - Dịch chuyển của chất điểm; u_i - số gia dịch chuyển; v_i - Vận tốc; a_i - gia tốc.

Khi giải các phương trình trên cần phải đặt điều kiện đầu vào và điều kiện biên phù hợp. Giả sử rằng vật liệu thân vỏ và chất nổ (thời điểm ban đầu) không có biến dạng, không có ứng suất và không chuyển động. Khi đó có các điều kiện đầu sau đây:

$$v_i(x_i, 0) = v_0, \rho(x_i, 0) = \rho, \sigma_{ij}(x_i, 0) = 0 \quad (16)$$

$$\rho_{ij}(x_i, 0) = 0, E(x_i, 0) = E_0 \quad (17)$$

Giữa thân vỏ, thuốc nổ, không khí cần phải đặt điều kiện tiếp xúc. Các điều kiện biên trên bề mặt này bị khống chế bởi vận tốc chuyển động của các điểm nằm trên bề mặt tiếp xúc. Các điểm của bề mặt này không xuyên qua bề mặt của vật liệu kia:

$$v_1 \cdot n = v_2 \cdot n \quad (18)$$

Trong đó: v_1, v_2 – Vận tốc của các điểm thuộc vật liệu thứ nhất và thứ hai nằm trên bề mặt tiếp xúc.

Trạng thái ứng suất cũng bị hạn chế, tại các điểm này theo định luật 3 Niuton:

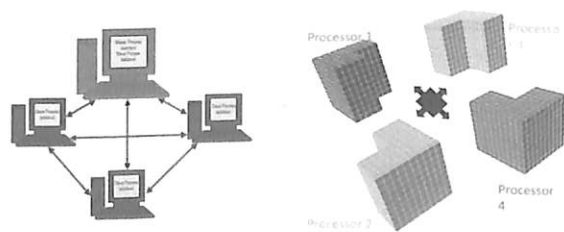
$$(\sigma_{ij1} - \sigma_{ij2}) n^j = 0 \quad (19)$$

Trong đó: $\sigma_{ij1}, \sigma_{ij2}$ - Ứng suất tại các điểm trên bề mặt tiếp xúc có cùng tọa độ nhưng lần lượt thuộc vật liệu thứ nhất và thứ hai.

3. ỨNG DỤNG MÔ ĐUN TÍNH TOÁN SONG SONG TRONG ANSYS MÔ PHỎNG THỰC NGHIỆM NỔ

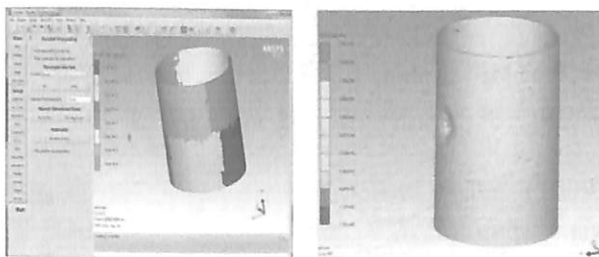
Tính toán song song là một hình thức tính toán trong đó nhiều phép tính được thực hiện đồng thời, hoạt động trên nguyên tắc là những vấn đề lớn đều có thể chia thành nhiều phần nhỏ hơn, sau đó được giải quyết tương tranh (trong lĩnh vực tính toán). Có nhiều hình thức khác nhau của tính toán song song: Song song cấp bit, song song cấp lệnh, song song dữ liệu và song song tác vụ. Trong những năm gần đây, tính toán song song đã trở thành mô hình thống trị trong lĩnh vực kiến trúc máy tính, phần lớn là dưới dạng bộ xử lý đa nhân [3-7]. Mục đích của xử lý song song là tận dụng các khả năng của các hệ đa bộ xử lý để thực hiện những tính toán nhanh hơn trên cơ sở sử dụng nhiều bộ xử lý đồng thời. Cùng với tốc độ xử lý nhanh hơn, việc xử lý song song cũng sẽ giải quyết được những bài toán lớn, gần với thực tế hơn.

Một số mô đun tính toán song song đã được Ansys hỗ trợ phát triển trong đó có mô đun Autodyn. Tuy nhiên, việc ứng dụng vào trong các bài toán lớn tại Việt Nam còn hết sức hạn chế, chưa có các công trình công bố rộng rãi, chi tiết về vấn đề này.



Hình 2. Sơ đồ xử lý song song trong Ansys

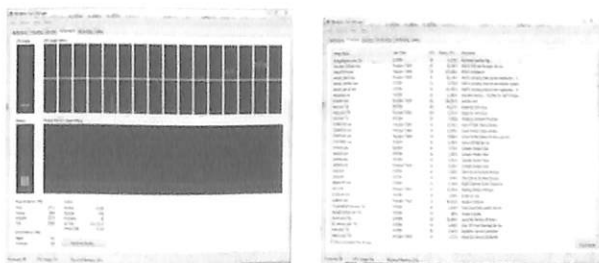
Với mục tiêu nghiên cứu ứng dụng mô đun tính toán song song vào công việc xây dựng mô hình thực nghiệm nổ, tác giả sẽ không đi sâu tìm hiểu về các thuật toán cũng như chương trình tính toán, chỉ tập trung vào việc ứng dụng phần mềm để xử lý bài toán. Quá trình khai thác, nhóm tác giả đã hợp tác với Trung tâm DASI, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Việc thiết lập bài toán song song được thực hiện trên máy tính chuyên dụng 16 nhân, 32 luồng tại Phòng Thí nghiệm Đạn-Ngòi, Bộ môn Đạn, Học viện Kỹ thuật Quân sự. Hình ảnh thiết lập chế độ tính toán song song được mô tả trong hình 3.



Hình 3. Mô hình mảnh văng va chạm vào cốc nước được tính song song với 8 lõi



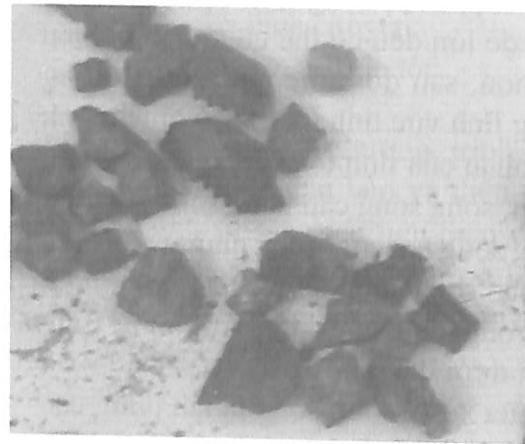
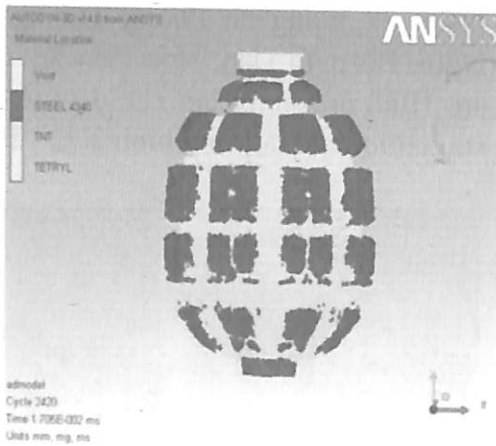
Hình 4. Tỷ lệ sử dụng CPU khi tính toán song song



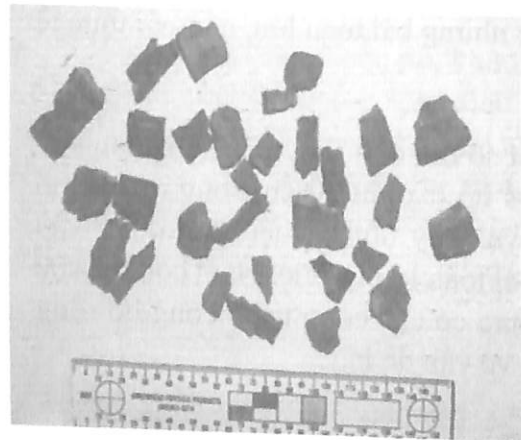
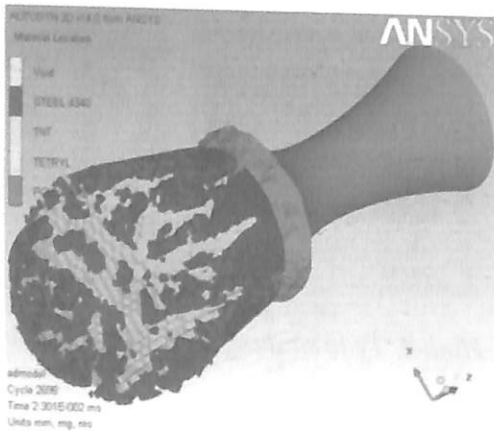
Hình 5. Tỷ lệ sử dụng CPU khi tính toán tuần tự

Trên hình 4 và hình 5 là kết quả sử dụng tài nguyên máy, với cùng một cấu hình máy tính (CPU Xeon 16 x 2 nhân chuyên dùng cho máy trạm; Ram 32 Gb; Card đồ họa chuyên dụng 8 Gb), tỷ lệ sử dụng công suất tài nguyên máy cho thấy CPU khác nhau rất lớn: Sử dụng 50% CPU cho phương pháp tính toán song song và 3% CPU cho phương pháp tính toán tuần tự.

Ứng dụng mô phỏng quá trình nổ lựu đạn F1 bằng sử dụng tính toán song song so với phương pháp tính toán tuần tự kết quả cơ bản không thay đổi nhưng với thời gian chạy máy nhanh hơn nhiều lần (từ 4 giờ chạy máy giảm xuống còn ½ giờ) và như vậy, nhờ ứng dụng phương pháp tính toán song song sẽ đem lại hiệu quả rõ rệt.



a) b)
 Hình 6. Dạng mảnh vỏ quả lựu đạn F1, (a) mô phỏng, (b) thực nghiệm



a) b)
 Hình 7. Dạng mảnh vỏ quả lựu đạn chày: (a) Mô phỏng trên Ansys Autodyn-3D; (b) Mảnh vỏ thu tại hiện trường nổ

So sánh lý thuyết, mô phỏng nhận thấy: Về cơ bản hình dạng, kích thước mảnh vỡ tương đối phù hợp với thực nghiệm. Một số thông số cơ bản của quả mô phỏng nổ lựu đạn F1 được thể hiện trong bảng dưới đây.

Bảng 1. Một số thông số cơ bản của quá mô phỏng nổ quả lựu đạn F1:

Thứ tự mảnh	Khối lượng mảnh (mg)	Thể tích mảnh (mm ³)	Chiều dài mảnh (mm)	Tốc độ trung bình (m/s)
1	6.71E+03	8.59E+02	24.75	842.72
2	6.69E+03	8.57E+02	25.11	845.79
3	6.60E+03	8.47E+02	25.43	840.72
4	6.57E+03	8.41E+02	24.98	846.95
5	6.52E+03	8.33E+02	25.16	853.2
6	6.31E+03	8.08E+02	26.13	844.14
7	6.31E+03	8.07E+02	25.7	847.01
8	5.65E+03	7.23E+02	25.93	870.52

4. KẾT LUẬN

Sử dụng mô đun tính toán song song trong giải bài toán chuyên sâu sẽ khai thác được tối đa bộ nhớ máy tính, đẩy nhanh quá trình tính toán, tiết kiệm thời gian, nhân vật lực máy so với phương pháp tính toán tuần tự. Đối với bài toán mô phỏng thực nghiệm hiện trường nổ với nhiều đối tượng phức tạp nên nhất thiết phải thiết lập môi trường tính toán song song và chạy trên các máy tính chuyên dụng cấu hình cao mới đáp ứng yêu cầu bài toán đặt ra. Trong khuôn khổ bài báo, bước đầu tác giả tiếp cận mô hình bài toán, khai thác và ứng dụng mô đun tính toán song song để cải thiện tốt hơn tốc độ mô phỏng bài toán thực nghiệm nổ. Kết quả này có thể vận dụng để giải các bài toán chuyên sâu khác trong lĩnh vực thiết kế, chế tạo đạn dược. ❖

Ngày nhận bài: 06/7/2018

Ngày phản biện: 20/7/2018

Tài liệu tham khảo:

[1]. Đoàn Văn Ban, Nguyễn Mậu Hân (2009); *Xử lý song song và phân tán*, NXB. Khoa học và Kỹ thuật.

- [2]. Nguyễn Văn Thùy (2001); *Vật li nổ*, NXB. Quân đội Nhân dân, Hà Nội.
- [3]. Ananth Grama, Anshui Gupta George Karipis, Vipin Kumar (2003), *Introduction to Parallel Computing*, Pearson.
- [4]. Barry Wilkinson, Michael Allen (1999), *Parallel Programming*, Techniques and Applications Using Networked Workstations and Parallel Computers, Prentice Hall New Jersey.
- [5]. M. Sasikumar, Dinesh Shikhare, P. Ravi Prakash (2000), *Introduction to Parallel Processing*, Prentice – Hall.
- [6]. Seyed H. Roosta (1999), *Parallel Processing and Parallel Algorithms*, Theory and Computation, Springer.
- [7]. Michael J. Quinn (1994), *Parallel Computing Theory and Practice*, McGraw-Hill.
- [8]. Shaharuddin Salleh, Albert Y. Zomaya (1999), *Scheduling in Parallel Computing Systems*, Kluwer Academic Publisher.
- [9]. Орленко Леонид Петрович (2006) - *Физика взрыва и удара*, Машк – Москва.
- [10]. ANSYS Inc (2011), *ANSYS Workbench User's Guide*.
- [11]. Harry, John. O (2006), *LS-DYNA theoretical manual*, Livermore Software Technology Corporation.